



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

**EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE VAPOR DE UNA INDUSTRIA DE BEBIDAS
PARA LA REDUCCIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE CONDENSADOS DE VAPOR**

Francisco José Ronquillo Marroquín

Asesorado por Ing. José Manuel Tay Oroxom

Co asesorado por Ing. Jorge Luis Domínguez Monterroso

Guatemala, abril de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE VAPOR DE UNA INDUSTRIA DE BEBIDAS
PARA LA REDUCCIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE CONDENSADOS DE VAPOR**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

FRANCISCO JOSÉ RONQUILLO MARROQUÍN

ASESORADO POR EL ING. JOSÉ MANUEL TAY OROXOM

CO ASESORADO POR ING. JORGE LUIS DOMÍNGUEZ MONTERROSO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, ABRIL DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Orlando Posadas Valdez
EXAMINADOR	Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Wong Davi
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE VAPOR DE UNA INDUSTRIA DE BEBIDAS PARA LA REDUCCIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE CONDENSADOS DE VAPOR

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 31 de octubre de 2011.


Francisco José Ronquillo Marroquín



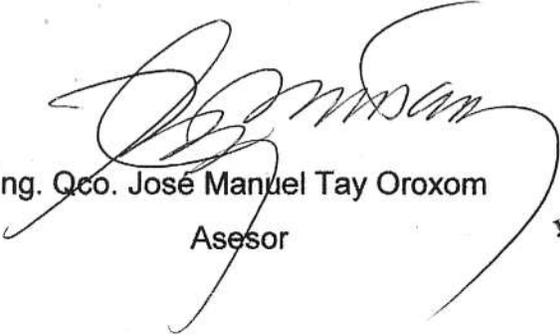
Guatemala, 08 de noviembre del 2012

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad San Carlos de Guatemala
Guatemala

Señor Director:

Por medio de la presente le hago constar que he revisado el informe final del trabajo de graduación de la estudiante Francisco José Ronquillo Marroquín quien se identifica con número de carné 2006-30144, titulado: **"EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE VAPOR DE UNA INDUSTRIA DE BEBIDAS PARA LA REDUCCIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE CONDENSADOS DE VAPOR"**

El informe final mencionado lo encuentro satisfactorio y merece la aprobación.
Sin otro particular me suscribo.


Ing. Qco. José Manuel Tay Oroxom
Asesor

José Manuel Tay Oroxom
Ma. Ingeniero Químico
Colegiado No. 121



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

Guatemala, 31 de Octubre de 2011
Ref. EI.Q.TG.242.2011

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

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el Acta TG- 253-2011-A-DI le informo que reunidos los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del "protocolo", para optar al título de INGENIERO QUÍMICO al estudiante universitario Francisco José Ronquillo Marroquín, identificado con carné No. 2006-30144, titulado: "PROPUESTA PARA EL AUMENTO DEL PROCENTAJE DE APROVECHAMIENTO DE CONDENSADOS DE VAPOR EN UNA PLANTA DE GENERACION DE VAPOR" el cual ha sido asesorado por el ingeniero Químico José Manuel Tay Oroxom, como consta en el Acta.

Siguiendo procedimientos internos, la Escuela de Ingeniería Química ha procedido a aprobarlo con la siguiente modificación en el título: "EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE VAPOR DE UNA INDUSTRIA DE BEBIDAS PARA LA REDUCCIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE CONDENSADOS DE VAPOR". Se recomienda autorice al estudiante del curso de Seminario de Investigación, proceder con la fase de ejecución del proyecto de investigación, del trabajo de graduación de acuerdo al cronograma aprobado,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Inga. Teresa Lisely de León Arana, M.Sc.
COORDINADORA
Tribunal que revisó el protocolo
Del trabajo de graduación



C.c.: archivo



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

Ref.EIQ.TG.071.2013

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 del estudiante, **FRANCISCO JOSÉ RONQUILLO MARROQUÍN** titulado: "EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE VAPOR DE UNA INDUSTRIA DE BEBIDAS PARA LA REDUCCIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE CONDENSADOS DE VAPOR". Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.


Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, marzo 2013

Cc: Archivo
VMMV/ale

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 234 .2013

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: **EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE VAPOR DE UNA INDUSTRIA DE BEBIDAS PARA LA REDUCCIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE CONDENSADOS DE VAPOR**, presentado por el estudiante universitario: **Francisco José Ronquillo Marroquín**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy ~~Olympo~~ Paiz Recinos

Decano



Guatemala, 3 de abril de 2013

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

A mis padres

Jesús Ronquillo y Ruth Marroquín, que me han formado y me han brindado todo lo que siempre he necesitado, apoyándome incondicionalmente.

A mis hermanos

Juan Carlos y María Ronquillo Marroquín, que me han apoyado y aconsejado toda la vida.

A mis educadores

Por enseñarme todo cuanto estuvo a su alcance y dotarme de conocimientos y valores.

AGRADECIMIENTOS A:

A mis padres	Por brindarme la oportunidad de estudiar esta carrera y apoyarme siempre.
A mis hermanos	Por animarme y apoyarme en el transcurso de mi carrera universitaria.
Mi asesor	Ing. Manuel Tay por su tutoría, enseñanzas, consejos y ayuda en la realización del trabajo de graduación y durante la carrera.
A mis amigos	Por acompañarme a lo largo de la carrera, compartiendo y apoyándome en todo momento.
Ing. José Luis Quemé e Ing. Jorge Domínguez	Por guiarme, apoyarme y abrirme las puertas para realizar este trabajo.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por darme la oportunidad de estudiar esta carrera y brindarme la formación y conocimientos que poseo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Vapor de agua	3
2.2. Uso de vapor en la industria	4
2.3. Generación de vapor en la industria	6
2.3.1. Calderas piro-tubulares.....	8
2.3.1.1. Ciclos de concentración en calderas	8
2.3.2. Condensados de vapor.....	11
2.3.3. Retorno de condensados de vapor.....	11
2.3.4. Evaporación instantánea de condensados	12
2.4. Balance de masa	13
2.5. Producción más Limpia	14
3. DISEÑO METODOLÓGICO	17
3.1. Variables.....	17
3.1.1. Variables de control	17
3.1.2. Variables de control independientes.....	19

3.1.3.	Variables de control dependientes	20
3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	21
3.2.1.	Tipo de estudio.....	22
3.2.2.	Diseño general	22
3.2.3.	Población de estudio	22
3.2.4.	Selección y tamaño de la muestra	23
3.2.5.	Unidades de análisis de observación	23
3.3.	Recursos humanos disponibles	23
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	24
3.4.1.	Equipo de medición.....	24
3.4.2.	Instrumentos de laboratorio.....	24
3.4.3.	Reactivos de laboratorio.....	24
3.5.	Técnica cualitativa y cuantitativa	25
3.5.1.	Monitoreo y muestreo.....	26
3.5.1.1.	Monitoreo de agua cruda.....	26
3.5.1.2.	Muestreo de agua tratada	27
3.5.1.3.	Muestreo de retorno de condensados	27
3.5.1.4.	Muestreo del agua en el tanque de retorno condensados.....	28
3.5.1.5.	Muestreo y monitoreo de agua de alimentación de las calderas	29
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	30
3.7.	Análisis estadístico.....	31
3.7.1.	Promedio estadístico	31
3.7.2.	Desviación estándar	32
4.	RESULTADOS.....	33
4.1.	Medición de flujos y acumulaciones	33

4.2.	Porcentaje de recuperación de condensados de vapor.....	35
4.3.	Principales pérdidas de condensados de vapor en el sistema	37
4.4.	Propiedades físico químicas del agua	40
4.5.	Ciclos de concentración óptimos en calderas.....	43
4.6.	Propuesta de modificaciones al sistema de vapor.....	44
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	49
	CONCLUSIONES	55
	RECOMENDACIONES.....	57
	BIBLIOGRAFÍA.....	59
	APÉNDICES	61

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Diagrama de equilibrio termodinámico del agua	3
2.	Ciclo de generación de vapor ideal	6
3.	Ciclo de generación de vapor real.....	7
4.	Porcentaje de masa de agua que se evapora instantáneamente	13
5.	Diagrama de flujo de la técnica cuantitativa	25
6.	Ubicación de hidrómetro de agua cruda.....	26
7.	Ubicación del contador de agua tratada y de la toma de muestra No.1	27
8.	Ubicación de la toma de muestra No.2	28
9.	Ubicación de la toma de muestra No.3	29
10.	Ubicación de la toma de muestra No.4 e hidrómetros de agua en alimentación de calderas.....	30
11.	Distribución porcentual de los flujos de condensados de vapor promedio	39
12.	Tanque de retorno de condensados en la actualidad	45
13.	Tanque de retorno de condensados con el condensador de vapor instantáneo instalado	46
14.	Diseño y dimensiones del condensador.....	47

TABLAS

I.	Ventajas del vapor saturado.....	5
II.	Concentraciones recomendadas dentro de la caldera	10

III.	Variables de control involucradas en la investigación	17
IV.	Variables independientes y su descripción	19
V.	Variables dependientes y su descripción	20
VI.	Flujo promedio de agua cruda, alimentación y acumulación en tanques para los primero 20 días de medición	33
VII.	Flujo promedio de agua cruda, alimentación y acumulación en tanques para los últimos 20 días de medición	34
VIII.	Porcentaje promedio de recuperación de vapor en los primeros 20 días de medición	35
IX.	Porcentaje promedio de recuperación de vapor en los últimos 20 días de medición	36
X.	Pérdidas de condensados como vapor instantáneo y condensados no retornados, en los primeros 20 días	37
XI.	Pérdidas de condensados como vapor instantáneo y condensados no retornados, en los últimos 20 días	38
XII.	Concentración de hierro, sílice, sólidos totales disueltos y alcalinidad total en agua de alimentación de calderas	40
XIII.	Concentración promedio de sólidos totales disueltos en el agua para los primeros 20 días de medición	41
XIV.	Concentración promedio de sólidos totales disueltos en el agua para los últimos 20 días de medición	42
XV.	Ciclos de concentración óptimos en calderas	43
XVI.	Propuestas para la reducción de las pérdidas de condensados	44
XVII.	Condiciones de trabajo para el condensador	47
XVIII.	Costos y beneficio monetario al utilizar el condensador de vapor instantáneo	48

LISTADO DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A_{TD}	Agua acumulada en el tanque deareador
A_{TCR}	Agua acumulada en el tanque de retorno de condensados
A_{C1}	Agua acumulada en la caldera 1
A_{C2}	Agua acumulada en la caldera 2
A_{C3}	Agua acumulada en la caldera 3
A_s	Área de la superficie de transferencia de calor
CNR	Cantidad de condensados no recuperados
Cc	Ciclos de concentración
k_l	Coeficiente de conductividad térmica del agua líquida
h_{horiz}	Coeficiente de transferencia de calor para los tubos horizontales
$[TDS]_{Cal}$	Concentración de TDS dentro de la caldera
$[TDS]_{Al}$	Concentración de TDS en la alimentación de calderas
g	Constante de gravedad
ρ_l	Densidad del agua líquida
S_a	Desviación estándar
D_{Ext}	Diámetro exterior de los tubos (m)
HP	Dimensional de potencia, caballos de fuerza
BHP	Dimensional de potencia, caballos de fuerza de calderas
bar	Dimensional de presión
h_{fg}	Entalpía de condensación
h_{fg}^*	Entalpía de condensación arreglada

VFC	Flujo de agua debido a la evaporación instantánea
CR	Flujo de condensados que ingresa al tanque de retorno de condensados
Q	Flujo de energía que se transfiere
TC	Flujo proveniente del tanque de retorno de condensados
°C	Grados Celsius, dimensional de temperatura
L_{tubo}	Longitud de los tubos (m)
n	Número total de muestras
N_{tubos}	Número de tubos
ppm	Partes por millón
TDS	Sólidos totales disueltos
T_s	Temperatura de la superficie exterior de los tubos
T_{Sat}	Temperatura de saturación del vapor
a_i	Valor de la muestra <i>i</i>
[TDS]_{Calmax}	Valor máximo recomendado para concentración de TDS
Cc_{max}	Valor máximo recomendado para los Cc
\bar{a}	Valor promedio estadístico
u_l	Viscosidad dinámica del agua líquida

GLOSARIO

Agua cruda	Agua que no posee ningún tipo de tratamiento para reducir alguno o varios de sus componentes. Proviene directamente de uno de los pozos de la industria.
Agua de reposición	Agua previamente suavizada que ingresa al sistema de generación de vapor en compensación de los condensados no recuperados.
Agua suavizada	Agua cruda a la cual, por medio del contacto de una resina de intercambio iónico, se le han eliminado los carbonatos y bicarbonatos de calcio y magnesio, obteniendo únicamente carbonatos y bicarbonatos de sodio.
Condensador	Equipo de transferencia de calor que, por medio de contacto indirecto de un flujo de vapor y un flujo de agua a menor temperatura, condensa el flujo de vapor.
Condensados no recuperados	Condensados que salen de las fronteras del sistema de generación de vapor y se pierden al ambiente.

Dearedor	Tanque cilíndrico, en donde se inyecta vapor vivo al agua de alimentación de las calderas para eliminar el oxígeno disuelto en ella.
Hidrómetro	Equipo que mide la cantidad de agua que fluye en una tubería por unidad de tiempo.
Sólidos Totales Disueltos (TDS)	Comprenden las sales inorgánicas (principalmente de calcio, magnesio, potasio y sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica que están disueltas en el agua.
Vapor vivo	Vapor producido en una de las calderas que no se ha utilizado en algún proceso.

RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó el sistema de generación de vapor de una industria de bebidas, para cuantificar las pérdidas de condensados de vapor y proponer soluciones para minimizarlas.

Se determinó la cantidad de condensados de vapor que son recuperados, mediante un balance de masa y se identificaron los puntos dentro del sistema de vapor donde existen pérdidas de condensados, para proponer una mejora del diseño y operación de los equipos. Se establecieron los ciclos de concentración óptimos para las calderas.

Para realizar el balance de masa y para determinar la frecuencia óptima de purga, se determinaron los puntos de monitoreo y se realizaron mediciones diarias del consumo de agua y las propiedades fisicoquímicas de interés de distintos flujos de agua.

Se determinó la viabilidad de cada una de las modificaciones propuestas y se realizó el cálculo de los costos de fabricación e instalación. Con dichas modificaciones se obtendrá un beneficio monetario, ya que al reducir las pérdidas de condensado se obtienen menores gastos por consumo de bunker y de tratamiento de agua.

OBJETIVOS

General

Evaluar los insumos, productos y operación del sistema de vapor de una industria de bebidas, para la reducción de las pérdidas de los condensados.

Específicos

1. Medir los flujos de agua cruda y el agua de alimentación de cada caldera diariamente, así como la acumulación de agua en el deareador y en el tanque de retorno de condensados.
2. Calcular el porcentaje de recuperación actual de los condensados de vapor y las principales pérdidas de condensados, mediante un balance de masa en el sistema de vapor.
3. Determinar la concentración de sólidos totales disueltos, sílice, hierro y alcalinidad total en el agua de alimentación de las calderas y los sólidos disueltos en los condensados recuperados, el agua de reposición y la mezcla de estos dos dentro del tanque de condensados.
4. Determinar los ciclos de concentración máximos dentro de las calderas, en base a la concentración de hierro, sílice, sólidos totales y alcalinidad total del agua de alimentación.

5. Establecer modificaciones en los equipos del sistema de vapor, y en la operación de los mismos, que disminuyan las pérdidas de condensados.
6. Determinar los costos de fabricación, instalación y operación de las mejoras propuestas, así como su beneficio financiero.

INTRODUCCIÓN

La generación de vapor es un proceso que se encuentra en la mayoría de industrias, ya que el vapor es el medio más común para transportar la energía térmica demandada por cada equipo. Para su producción se utiliza generalmente un sistema de calderas, el cual consta de un sistema de tratamiento de agua, la caldera, la distribución de vapor y un sistema de retorno de los condensados de vapor.

Es importante recuperar los condensados de vapor, ya que están constituidos de agua tratada y a alta temperatura. Su recuperación significa un consumo menor de combustible, al momento de generar más vapor en la caldera, y una menor cantidad de agua cruda consumida.

En la industria, que es objeto de estudio del presente trabajo, existen pérdidas de los condensados de vapor. Se realizó un monitoreo del sistema de vapor con el cual se determinó el porcentaje de condensados recuperados y se recomendó un procedimiento para aumentar ese porcentaje.

se recomendó un procedimiento con el cual reducirán las pérdidas de energía, esto tendrá un beneficio monetario para la empresa y reducirá la cantidad de bunker consumido, lo cual permitirá reducir los gases de combustión emitidos a la atmósfera, promoviendo así la producción más limpia.

1. ANTECEDENTES

En 2007, Henry Marot Palacios Martínez realizó un estudio sobre el ahorro económico al realizar mejoras en el sistema de vapor en un hospital, trabajo titulado: Estudio para el rediseño de la red de vapor y retorno del condensado para el Hospital General San Juan de Dios, Guatemala.

En este trabajo se estudian las pérdidas monetarias que posee dicho hospital al tener pérdidas de vapor y de condensados de vapor a lo largo de su sistema de vapor. Se demuestra que se obtiene un gasto de Q 5.756,40 al año debido a la pérdida de condensados y se sugiere un rediseño del sistema de condensados para evitar este tipo de pérdidas.

Se demuestra la importancia de la recuperación de la mayor cantidad posible de condensados, ya que los condensados de vapor consisten en agua tratada y a alta temperatura.

En 2008, Ronald Gustavo Hernández Bosarreyes realiza una investigación titulada: Propuesta de ahorro de energía, mediante el uso adecuado del sistema de distribución de vapor y retorno de condensados en una empresa textil, en la cual recomienda mejorar las trampas de vapor, reducir el número de purgas de la caldera, capacitar al personal que trabaja en el sistema de generación de vapor y tener un programa de mantenimiento preventivo.

Todas estas recomendaciones, son técnicas con las cuales se aumenta el aprovechamiento de condensados de vapor y se logra disminuir los costos de operación del sistema de vapor.

En el 2009, Jorge Villacrés y Francisco Andrade realizaron una tesis titulada: Ahorro energético en el sistema de recuperador de condensados de una planta industrial en Guayaquil utilizando un *surge Tank*, estudio realizado en Guayaquil Ecuador. En este trabajo se analiza el ahorro en los costos por consumo de bunker al sustituir un tanque de condensados de vapor abierto por uno presurizado (*Surge Tank*) y se llega a la conclusión de que se puede ahorrar un 15% de energía.

La implementación de un tanque presurizado es una posible solución para evitar las pérdidas de condensados, debido a la evaporación instantánea que se posee en un tanque de condensados abierto a la atmósfera.

En el 2010, Priscilla María Paz Marroquín realizó una investigación titulada: Implementación de un sistema de recuperación de calor en un compresor de tornillo rotatorio de 75 HP para el precalentamiento del agua de una caldera. En dicho trabajo se analiza el aumento de la eficiencia energética del compresor y el ahorro financiero al consumir la caldera menos combustible para la generación de vapor.

Dicho ahorro monetario en la generación de vapor se debe a que el agua se alimenta a la caldera a una temperatura mayor, comparada con la temperatura cuando no se poseía el sistema de recuperación de calor.

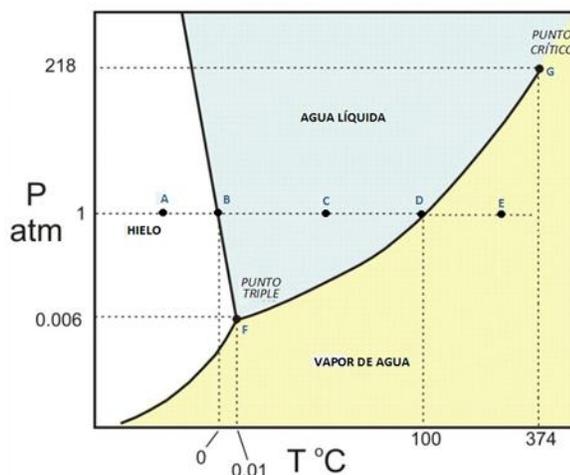
2. MARCO TEÓRICO

Los sistemas de generación de vapor se utilizan en diversas industrias y es la forma de suministrar la energía necesaria a los procesos que la requieren. A continuación se explicarán los sistemas de generación de vapor, haciendo énfasis en la recuperación de condensados.

2.1. Vapor de agua

El agua la podemos encontrar en cualquiera de sus tres estados en la naturaleza, ya sea sólida en los glaciales, líquida en los mares o en vapor en el aire. Su estado depende, básicamente, de la presión y la temperatura a la que se encuentre. Esto se representa en el siguiente diagrama:

Figura 1. Diagrama de equilibrio termodinámico del agua



Fuente: Levine, Ira. Fisicoquímica. Volumen 1. p. 59.

Como se puede apreciar en la imagen anterior a una atmosfera de presión y a bajas temperaturas el agua está en un estado sólido, en el punto A por ejemplo. Si se aumenta la temperatura, manteniendo constante la presión, se alcanza el punto B, el cual está sobre la línea que divide el estado sólido del líquido. En este punto coexisten los dos estados en equilibrio, pero si se sigue aumentando la temperatura, hasta el punto C, el agua se encuentra en estado líquido. Al seguir aumentando la temperatura, isobáricamente, se llega al punto D, sobre la línea de equilibrio líquido-vapor. En el punto D existe un equilibrio entre el agua líquida y su vapor y al seguir aumentando la temperatura hasta el punto E se tiene solamente vapor de agua.

El punto F es el punto triple, en esas condiciones se encuentran en equilibrio el agua en sus tres estados. El punto crítico, punto G, representa el límite al cual se puede encontrar el agua en equilibrio vapor – líquido, cualquier condición de presión o temperatura, sobre los valores críticos, representan al agua en estado supercrítico la cual posee propiedades distintas, sin embargo esto no es objeto de estudio en esta investigación.

2.2. Uso de vapor en la industria

Las industrias demandan grandes cantidades de energía y la mayoría de esta energía se utiliza para la producción de vapor. El vapor se utiliza en diversas industrias, como por ejemplo, en las industrias alimenticias, petroquímicas, de textiles, farmacéuticas, y muchas otras. El vapor de agua tiene una gran aplicación a nivel industrial debido a que posee muchas ventajas:

- No es tóxico y es estable
- Su producción es barata ya que el agua se consigue con facilidad

- El agua requiere pocas modificaciones para poder ser utilizada en los equipos.
- Posee una alta conductividad térmica
- Tiene un alto calor específico
- Posee una gran entalpia de condensación

Posee pocas limitaciones, siendo la principal las condiciones a las cuales se puede utilizar, estas están limitadas por su temperatura y presión críticas, que son de 374°C y 220 bar respectivamente. Más allá de estos valores es imposible utilizar vapor de agua.

El vapor se puede utilizar indirectamente para calentar otra sustancia, en intercambiadores de calor y marmitas; directamente, en esterilización, sanitización, lavados o en reacciones de un proceso.

Generalmente se utiliza vapor saturado en procesos de calentamiento o cocción, debido a sus siguientes ventajas:

Tabla I. **Ventajas del vapor saturado**

PROPIEDAD	VENTAJA
Calentamiento equilibrado a través de la transferencia de calor latente	Mejora la productividad y la calidad del producto
La presión puede controlar la temperatura	La temperatura puede establecerse rápida y precisamente
Elevado coeficiente de transferencia de calor	Área de transferencia de calor requerida es menor, permitiendo la reducción del costo inicial del equipo
Se origina del agua	Limpio, seguro y de bajo costo

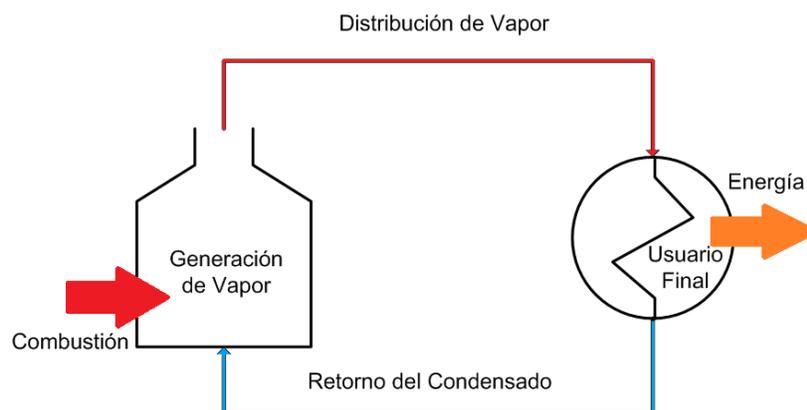
Fuente: elaboración propia.

2.3. Generación de vapor en la industria

La generación de vapor a nivel industrial se realiza principalmente por medio de calderas, en las cuales se evapora agua por medio de la adición de calor obtenida gracias a la quema de un combustible.

El ciclo ideal del vapor se muestra en la figura 2. Idealmente se aprovecha toda la energía liberada por la combustión, evaporando el agua dentro de la caldera. El vapor se transporta hasta los usuarios, siendo estos, por ejemplo, intercambiadores de calor o tanques enchaquetados, en ellos se condensa el vapor proporcionando la energía requerida. Los condensados del vapor se recuperan y se alimentan nuevamente a la caldera.

Figura 2. **Ciclo de generación de vapor ideal**

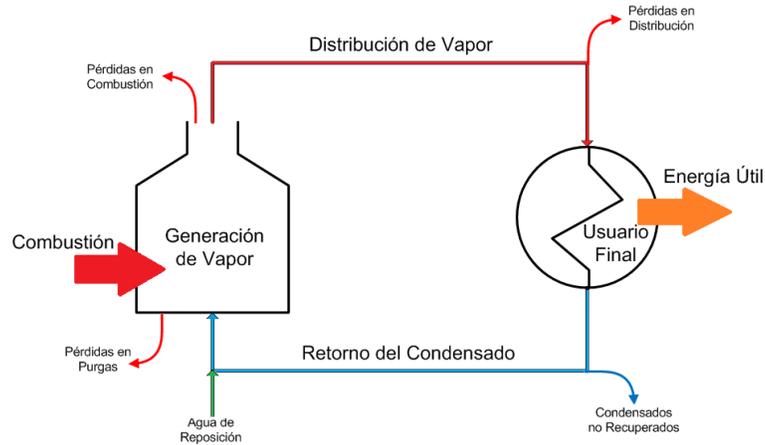


Fuente: <http://www.cdts.espol.edu.ec/documentos/Auditoria%20Energetica.pdf>.

Consulta: 27 de octubre de 2011.

En la realidad se tienen diversas pérdidas de energía y agua en un sistema de vapor. Estas pérdidas se representan, de una manera general, en la figura 3.

Figura 3. **Ciclo de generación de vapor real**



Fuente: <http://www.cdts.espol.edu.ec/documentos/Auditoria%20Energetica.pdf>.

Consulta: 27 de octubre de 2011.

Existen diversas pérdidas de energía en la generación de vapor. No se aprovecha totalmente el calor liberado en la combustión ya que los gases de combustión salen a una temperatura alta, aproximadamente 160 °C y existe una resistencia a la transferencia de calor hacia el agua, causada por el material de la caldera y por posibles incrustaciones.

Las purgas de las calderas pirotubulares son necesarias para evitar la excesiva formación de depósitos en las superficies de intercambio de calor, pero a la vez son una pérdida de energía ya que el agua desechada posee calor sensible.

Se pierde energía en la distribución del vapor debido a la transferencia de calor que existe a través de la tubería, lo cual provoca la condensación del vapor dentro de las tuberías. Es frecuente la pérdida de alguna parte de los condensados de vapor, principalmente por evaporación instantánea, o evaporación *flash*, tema que se explicará con más detalle posteriormente.

Debido a las pérdidas de los condensados de vapor y a las purgas, se debe de dosificar agua de reposición, la cual debe de tener un tratamiento adecuado para evitar daños a los equipos.

Los constituyentes básicos de un sistema de generación de vapor son: la calderas, donde se evapora el agua; la línea de distribución, la cual lleva el vapor a los diversos equipos donde es utilizado; la línea de retorno de condensados y un sistema de tratamiento de agua. A continuación se describen los equipos mencionados.

2.3.1. Calderas pirotubulares

Una caldera es un equipo en donde se quema un combustible y el calor generado por la combustión, se transfiere por contacto indirecto al agua dentro de la caldera. El agua se evapora y se puede distribuir en una tubería a los distintos usuarios.

Se denomina pirotubular debido a que la llama y los gases de combustión se desplazan dentro de tubos, desde el quemador hasta la chimenea, y el agua permanece fuera de ellos.

2.3.1.1. Ciclos de concentración en calderas

Los ciclos de concentración de una caldera se pueden definir como la cantidad de veces que se concentran los componentes del agua de alimentación dentro de ella. Por ejemplo, si el agua de alimentación posee 90 partes por millón de sólidos totales disueltos (TDS) y dentro de la caldera se tienen 1800 partes por millón de TDS, los ciclos de concentración, con respecto a los TDS, se calculan:

$$C_c = \frac{[TDS]_{Cal}}{[TDS]_{Al}}$$

Ecuación No. 1

Donde: C_c = Ciclos de concentración
 $[TDS]_{Cal}$ = Concentración de TDS dentro de la caldera (ppm)
 $[TDS]_{Al}$ = Concentración de TDS en el agua de alimentación (ppm)

Entonces se obtiene:

$$C_c = \frac{[TDS]_{Cal}}{[TDS]_{Al}} = \frac{1800 \text{ ppm}}{90 \text{ ppm}} = 20 \text{ Ciclos de concentración}$$

Se obtienen 20 ciclos de concentración dentro de la caldera, con respecto a los TDS. Estos ciclos se pueden calcular con los distintos componentes del agua de alimentación, los de mayor importancia, por el efecto perjudicial que tienen sobre los tubos de la caldera, son: el hierro, sílice, alcalinidad total y los TDS.

Para evitar los distintos problemas ocasionados por la acumulación de los componentes del agua de alimentación en las calderas, se han establecido las concentraciones máximas de estos (según Norma BS 2486), las cuales se presentan a continuación:

Tabla II. **Concentraciones recomendadas dentro de la caldera**

PARÁMETRO	VALOR RECOMEDADO
pH a 25 °C	10.5 - 11,8
Alcalinidad Total CaCO ₃	< 700 ppm
Alcalinidad Cáustica	> 350 ppm
Secuestrantes de Oxígeno:	
☐ Sulfito de Sodio	30 – 70 ppm
☐ Hidrazina	0.1 – 10 ppm
☐ Taninos	120 – 180 ppm
☐ Dietilhidroxilamina	0.1 – 1.0 ppm (en agua alimentación)
Fosfato Na ₃ PO ₄	30 - 60 mg/l
Hierro	< 3.0 ppm
Sílice	150 ppm
Sólidos disueltos	< 3500 ppm
Sólidos en suspensión	< 200 ppm
Conductividad	< 7000 uS/cm
Condición general	Incoloro, claro y libre de agentes insolubles.

Fuente: Norma BS 2486.

Para tener la menor cantidad de purga posible se debe de trabajar al límite de las concentraciones anteriores. Se calculan los ciclos de concentración máximos de la siguiente manera, tomando por ejemplo los TDS:

$$C_{c_{\max}} = \frac{[TDS]_{\text{Calmax}}}{[TDS]_{\text{Al}}} \quad \text{Ecuación No. 2}$$

Donde:

- $C_{c_{\max}}$ = Ciclos de concentración máximos
- $[TDS]_{\text{Calmax}}$ = Concentración de TDS máxima dentro de la caldera (ppm)
- $[TDS]_{\text{Al}}$ = Concentración de TDS en el agua de alimentación (ppm)

Se deben de calcular los ciclos de concentración máximos en base a los distintos compuestos del agua de alimentación y se trabaja con el valor menor.

2.3.2. Condensados de vapor

La condensación de vapores sobre superficies tubulares más frías que la temperatura de condensación del vapor, es de gran importancia en los procesos en los que intervienen vapores tales como el vapor de agua.

La temperatura de condensación de una sustancia pura depende exclusivamente de la presión, y por lo tanto el proceso de condensación de una sustancia pura es un proceso isotérmico. Además el condensado es un líquido puro.

Un vapor puede condensar sobre una superficie fría en una de dos formas, las cuales se describen por los términos goteo y película, siendo la de película la más común. El vapor se condensa debido a que transfiere energía sobre la superficie fría, razón por la cual se utiliza el vapor de agua para distribuir la energía en la industria.

El vapor producido en las calderas no es puro, ya que se agregan aminas, por lo tanto al condensarse puede tener un pH básico, así mismo puede tener cierta cantidad de sólidos disueltos ya que el vapor entra en contacto con distintos equipos y tubería.

2.3.3. Retorno de condensados de vapor

El vapor que se condensa tiene dos calidades importantes y de interés desde el punto de vista de eficiencia. Primero, contiene calor en una cantidad que puede ser importante comparada con el calor total del vapor. Segundo, el condensado es agua limpia y ya tratada, sin sólidos disueltos, con excepción de

los que arrastra en su flujo a través de la tubería. El retorno del condensado entonces, implica tres ahorros:

- Ahorro de combustible debido a su calor sensible
- Ahorro en el tratamiento de agua que entra a la caldera
- Ahorro en combustible debido a la reducción de la purga necesaria para mantener un nivel adecuado de sólidos disueltos en la caldera.

Existen diversos sistemas de recuperación de condensados, a continuación se presentan los básicos:

- **Sistemas abiertos:** son los más simples y comunes. Se llaman abiertos por que el tanque donde se almacena el condensado está abierto a la atmosfera. En estos sistemas se tiene una tubería de retorno de condensado y un tanque abierto. Debido al vapor instantáneo del condensado se observa un venteo o flujo de vapor a la atmósfera.
- **Sistemas cerrados:** poseen un tanque cerrado, este se encuentra a una presión mayor a la atmosférica, evitando parcialmente la evaporación *flash*. Los vapores *flash* que se forman no se pierden pues ayudan a mantener la presión en el tanque.

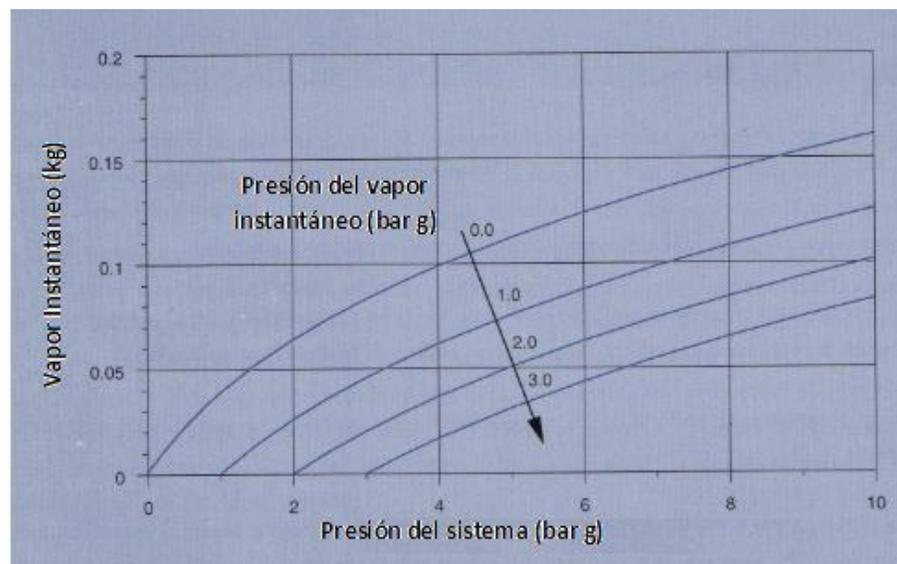
2.3.4. Evaporación instantánea de condensados

Cuando los condensados son descargados a un ambiente de menor presión, por ejemplo en una trampa de vapor, la energía que posee es mayor a la que requiere para estar en estado líquido. El exceso de energía reevapora

parte del condensado a un vapor de menor presión. Este vapor es llamado como vapor *flash* y es simplemente un vapor saturado a una menor presión.

La cantidad de agua que se evapora instantáneamente, en función de la presión a la que trabaja el sistema de retorno de condensados y la presión del ambiente, se puede calcular mediante la siguiente figura:

Figura 4. **Porcentaje de masa de agua que se evapora instantáneamente**



Fuente: Getränke-Fachverlag, Carl, Hans. Brewery Utilities (*manual of good practice*). p. 40.

2.4. Balance de masa

El balance de una cantidad que se conserva (masa total, masa de una especie determinada, energía o momentum), en un sistema (una sola unidad de proceso, un conjunto de unidades o un proceso completo) se puede escribir de manera general como:

Entrada	+	Generación	-	Salida	-	Consumo	=	Acumulación
(Entra a través de las fronteras del sistema)		(Se produce dentro del sistema)		(Sale a través de las fronteras del sistema)		(Se consume dentro del sistema)		(Se acumula dentro del sistema)

Esto se fundamenta en la Ley de la Conservación de la Energía, en la cual se dice que la energía no se crea ni se destruye. Al igual que en la Ley de la Conservación de la Materia.

Es posible hacer dos tipos de balances, dependiendo del tipo de proceso que sea el objeto de estudio:

- Balance diferencial: el cual indica lo que ocurre en un sistema en un instante determinado. Cada término de la ecuación de balance es una velocidad (de entrada, de generación, etc.) y se da en las unidades de la cantidad balanceada dividida entre la unidad de tiempo. Éste es el tipo de balance que por lo general se aplica a un proceso continuo.
- Balances integrales: estos describen lo que ocurre entre dos instantes determinados. Cada término de la ecuación es una porción de la cantidad que se balancea y tiene la unidad correspondiente. Este tipo de balances se aplica a procesos intermitentes o por lotes, y los dos instantes determinados son: el momento después de que se realiza la alimentación y el momento anterior al que se retire el producto.

2.5. Producción más Limpia

La Producción más Limpia se define como la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva a procesos, productos y servicios con el fin de aprovechar al máximo todos los recursos, tales como energía, agua y materias

primas, y eliminar o reducir la utilización de materiales tóxicos. Todo esto para prevenir daños al medio ambiente y al ser humano.

Para los procesos productivos se aplica Producción más Limpia en todas sus fases, desde la materia prima hasta el producto final. En este caso se estudiará la aplicación de producción más limpia en el sistema de generación de vapor ya que existen pérdidas de condensados, lo cual produce mayor consumo de bunker y por ende mayor emisión de gases de combustión al ambiente.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

A continuación se describirá el diseño metodológico utilizado, describiendo las variables que intervinieron en él, la delimitación del campo de estudio, los recursos humanos y materiales empleados, así como las técnicas cualitativas y cuantitativas aplicadas.

3.1. Variables

Las variables presentes en la investigación corresponden a las condiciones a las cuales trabaja el sistema de generación de vapor, los distintos flujos y sus propiedades físico químicas.

3.1.1. Variables de control

En las siguientes tablas se presentan las variables estudiadas en el tiempo de recopilación de información.

Tabla III. **Variables de control involucradas en la investigación**

No.	Variables	Unidades de medida	Factor potencial de diseño		Factores perturbadores	
			Constantes	Variables	Controlables	Ruido
Análisis del Proceso						
1	Agua Cruda	m ³ / día		X		
2	Agua tratada	m ³ / día		X		
3	Agua para torres de enfriamiento	m ³ / día		X		
4	Agua de reposición	m ³ / día		X		

Continuación de la tabla III.

5	Condensados retornados	m ³ / día		X		
6	Condensados no retornados	m ³ / día		X		
7	Alimentación de caldera de 800 BHP	m ³ / día		X		
8	Alimentación de caldera de 1000 BHP	m ³ / día		X		
9	Alimentación de caldera de 600 BHP	m ³ / día		X		
10	Purga de caldera de 800 BHP	m ³ / día		X		
11	Purga de caldera de 1000 BHP	m ³ / día		X		
12	Purga de caldera de 600 BHP	m ³ / día		X		
13	Presión de retorno de condensados	kPa		X		
14	Nivel del agua en tanque de retorno de condensados	m		X		
15	Nivel del agua en tanque deareador	m		X		
16	Acumulación en tanque de retorno de condensados	m ³ / día		X		
17	Acumulación en tanque deareador	m ³ / día		X		
18	Porcentaje de condensados evaporados instantáneamente	%		X		
19	Porcentaje de condensados recuperados	%		X		
20	TDS en agua de reposición*	ppm		X		
21	TDS en condensados*	ppm		X		
22	TDS en tanque de condensados*	ppm		X		
23	TDS en agua de alimentación*	ppm		X		
24	Hierro en agua de alimentación	ppm		X		
25	Sílice en agua de alimentación	ppm		X		
26	Alcalinidad total en agua de alimentación	ppm		X		
Análisis de Ambiente Externo						
27	Presión Atmosférica	kPa	X			

Fuente: elaboración propia.

3.1.2. Variables de control independientes

A continuación se presentan las variables independientes del estudio, es decir, las variables que se midieron directamente en el sistema y no se intervino en su variación.

Tabla IV. Variables independientes y su descripción

No.	Variable	Unidades de medida	Descripción
1	Agua Cruda	m ³ / día	Cantidad de agua extraída del pozo que ingresa al tanque suavizador
2	Agua tratada	m ³ / día	Cantidad de agua tratada que sale del tanque suavizador
3	Alimentación de caldera de 800 BHP	m ³ / día	Cantidad de agua que ingresa a la caldera de 800 BHP
4	Alimentación de caldera de 1000 BHP	m ³ / día	Cantidad de agua que ingresa a la caldera de 1000 BHP
5	Alimentación de caldera de 600 BHP	m ³ / día	Cantidad de agua que ingresa a la caldera de 600 BHP
6	Purga de caldera de 800 BHP	m ³ / día	Cantidad de agua que es purgada en la caldera de 800 BHP
7	Purga de caldera de 1000 BHP	m ³ / día	Cantidad de agua que es purgada en la caldera de 1000 BHP
8	Purga de caldera de 600 BHP	m ³ / día	Cantidad de agua que es purgada en la caldera de 600 BHP
9	Presión de retorno de condensados	kPa	Presión de descarga de los condensados
10	Nivel del agua en tanque de retorno de condensados	m	Altura del nivel del agua en el tanque de retorno de condensados
11	Nivel del agua en tanque deaerador	m	Altura del nivel del agua en el deaerador
12	TDS en agua de reposición*	ppm	Sólidos totales disueltos en el agua de reposición
13	TDS en condensados*	ppm	Sólidos totales disueltos en los condensados
14	TDS en tanque de condensados*	ppm	Sólidos totales disueltos en el agua dentro del tanque de condensados

Continuación de la tabla IV.

15	TDS en alimentación	ppm	Sólidos totales disueltos en el agua de alimentación
16	Hierro en agua de alimentación	ppm	Concentración de hierro en la alimentación de las calderas
17	Sílice en agua de alimentación	ppm	Concentración de sílice en la alimentación de las calderas
18	Alcalinidad total en agua de alimentación	ppm	Concentración alcalinidad total en la alimentación de las calderas
19	Presión Atmosférica	psi	Presión atmosférica local

Fuente: elaboración propia.

3.1.3. Variables de control dependientes

En la siguiente tabla se presenta las variables dependientes que intervinieron en el presente estudio, estas se obtuvieron por medio de cálculos matemáticos a partir de las variables independientes.

Tabla V. **Variables dependientes y su descripción**

No.	Variable	Unidades de medida	Descripción
1	Agua para torres de enfriamiento	m ³ / día	Cantidad de agua que sale del proceso y se utiliza en el proceso de enfriamiento
2	Agua de reposición	m ³ / día	Cantidad de agua suave que es alimentada al tanque de condensados
3	Condensados retornados	m ³ / día	Cantidad de condensados que ingresan al tanque de condensados
4	Acumulación en tanque de retorno de condensados	m ³ / día	Acumulación de agua dentro del tanque de retorno de condensados en un día
5	Acumulación en tanque deareador	m ³ / día	Acumulación de agua dentro del tanque deareador en un día

Continuación de la tabla V.

6	Porcentaje de condensados evaporados instantáneamente	%	Proporción de condensados que se pierden al ambiente debido a la evaporación flash
7	Porcentaje de condensados aprovechados	%	Porcentaje de condensados recuperados en el sistema de vapor de calderas
8	Condensados no retornados	m ³ / día	Estimación de la cantidad de condensados que no retornan al tanque de condensados

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación del campo de estudio

- Área: producción más limpia
- Proceso: eficiencia energética
- Etapa del proceso: purga de calderas, recuperación de condensados y análisis fisicoquímico del agua.
- Ubicación: la investigación se realizará en una industria de bebidas ubicada en el occidente del país.
- Clima: en ésta región se tiene una presión atmosférica, aproximada de, de 580 milímetros de mercurio, y una temperatura media de 17 °C.

3.2.1. Tipo de estudio

El presente trabajo corresponde a una investigación descriptiva, en la cual se llevó a cabo el registro del fenómeno a estudiar por medio de una auditoría energética en el sistema de vapor. Se analizaron e interpretaron los datos obtenidos determinando los puntos en donde se pueden disminuir las pérdidas de condensados de vapor y se proporcionaron posibles soluciones para disminuir dichas pérdidas. Las soluciones fueron evaluadas mediante un análisis de tasa interna de retorno para determinar su viabilidad monetaria.

3.2.2. Diseño general

El presente estudio es descriptivo y transversal ya que se monitorearon las variables sin intervención del investigador, con el fin de evaluar el estado actual del sistema de vapor. Estableciendo, así, la cantidad de condensado que es recuperado en un intervalo de tiempo dado y las oportunidades que se tienen para disminuir las pérdidas de condensados.

3.2.3. Población de estudio

El objeto de estudio de la presente investigación es el sistema de generación de vapor de una industria de alimentos. El cual posee tres calderas pirotubulares, dos torres de intercambio iónico, un deareador y un sistema de retorno de condensados. Se midieron o estimaron los distintos flujos de agua tratada, agua purgada, condensados recuperados y no recuperados, así como las propiedades fisicoquímicas de los distintos flujos.

3.2.4. Selección y tamaño de la muestra

Se seleccionará una muestra no probabilística, o dirigida, en la cual se considerarán únicamente los días en donde existe mayor demanda de vapor.

La muestra tomada, por su naturaleza no probabilística, no tendrá una representación sobre la totalidad de los días de operación del sistema de vapor, sin embargo los días de mayor demanda de vapor son los días que interesan a la industria ya que en estos días están en funcionamiento todos los equipos que utilizan vapor. Estos días son, generalmente, lunes, martes y miércoles de cada semana.

Se realizaron los muestreos y mediciones durante 40 días, cantidad acordada por la industria de bebidas y se realizaron tres repeticiones de cada toma de datos con el fin de disminuir el error.

3.2.5. Unidades de análisis de observación

Se utilizó metros cúbicos al día como unidad de análisis de los distintos flujos medidos con el fin de realizar los balances de masa y energía necesarios. Los sólidos totales disueltos y los cloruros presentes en el agua de reposición, alimentación de calderas y de condensados retornados se medirán en partes por millón.

3.3. Recursos humanos disponibles

Investigador: Francisco José Ronquillo Marroquín

Asesor: Ing. Qco. José Manuel Tay Oroxom

Co-asesor: Ing. Qco. Jorge Luis Domínguez

3.4. Recursos materiales disponibles

Se contó con el equipo necesario para realizar las mediciones planeadas, tanto de los flujos de interés como de las propiedades físico químicas del agua. Dichos equipos se describen a continuación:

3.4.1. Equipo de medición

- Hidrómetro de agua ARAD, modelo WT 3". Precisión del caudal $\pm 5\%$
- Hidrómetro de agua electromagnético SIEMENS. Precisión $\pm 0.0005 \text{ m}^3$
- Termómetro certificado
- Cinta métrica

3.4.2. Instrumentos de laboratorio

- Beaker 100 mL
- Pipeta 5 mL
- Pipeta 1 mL
- Conductímetro
- Espectrofotómetro
- Celda de cuarzo
- Bomba llenadora de pipetas
- Tubos de ensayo

3.4.3. Reactivos de laboratorio

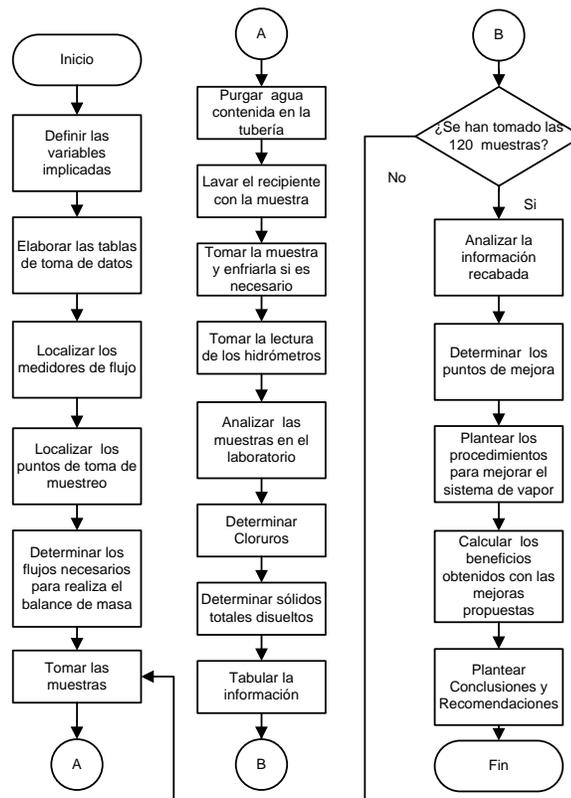
- Kit para determinación de hierro en agua

- Kit para determinación de sílice en agua
- Kit para determinación de alcalinidad total en agua

3.5. Técnica cualitativa y cuantitativa

Con la técnica cuantitativa se determinó la cantidad de condensados recuperados en el sistema de vapor, por medio de balances de masa y energía. Así mismo se realizó análisis fisicoquímico para determinar los sólidos totales disueltos, sílice, hierro y alcalinidad total presente en determinados flujos de agua para analizar los ciclos de concentración óptimos.

Figura 5. Diagrama de flujo de la técnica cuantitativa



Fuente: elaboración propia.

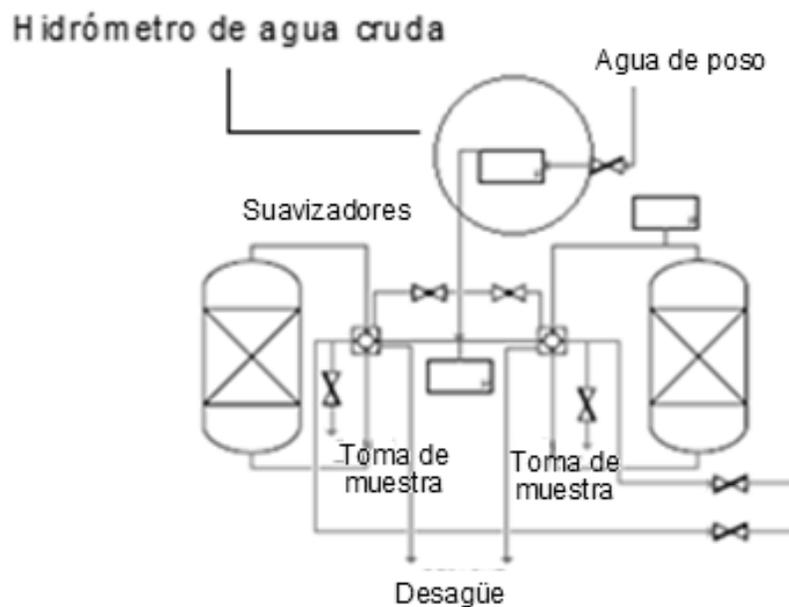
3.5.1. Monitoreo y muestreo

Para la obtención de los datos necesarios para cumplir con los objetivos, se determinaron los puntos de muestreo y monitoreo necesario, los cuales se describen a continuación localizándolos en la sección de interés del diagrama de equipo.

3.5.1.1. Monitoreo de agua cruda

La fuente de abastecimiento de agua para el sistema de vapor de calderas proviene de 4 pozos, el punto de muestreo es el hidrómetro de agua cruda (ver figura 6).

Figura 6. Ubicación de hidrómetro de agua cruda

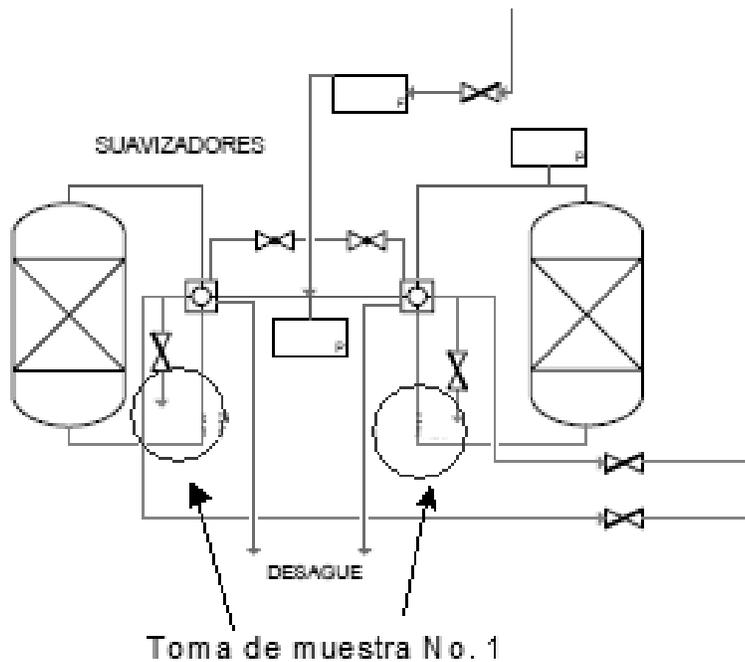


Fuente: diagrama de equipo del sistema de vapor. Apéndice 3.

3.5.1.2. Muestreo de agua tratada

Se posee un sistema de dos torres de intercambio iónico que funcionan alternadamente. Se tomaron las muestras de agua suave para el análisis de sólidos totales disueltos en toma de muestra No. 1 (ver figura 7).

Figura 7. **Ubicación del contador de agua tratada y de la toma de muestra No.1**

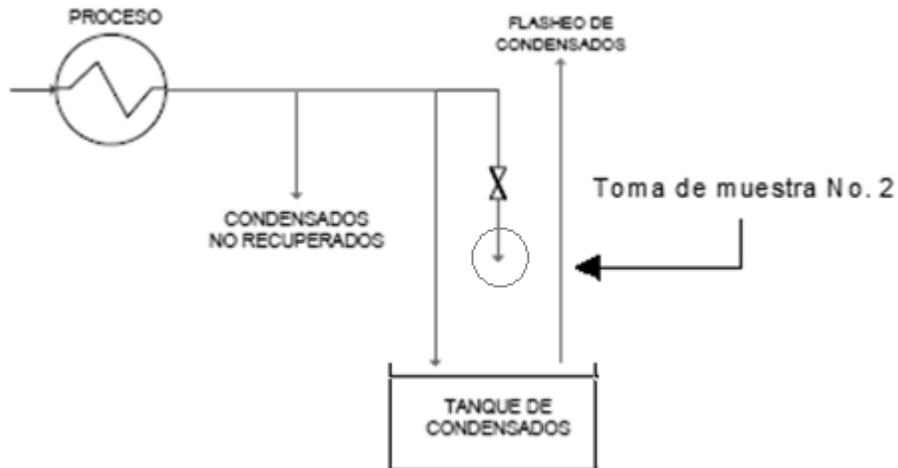


Fuente: diagrama de equipo del sistema de vapor. Apéndice 3.

3.5.1.3. Muestreo de retorno de condensados

Se consta con un punto de muestreo en la línea de condensados, se tomaron las muestras de estos para el análisis de sólidos totales disueltos en toma de muestra No. 2 (ver figura 8).

Figura 8. **Ubicación de la toma de muestra No.2**

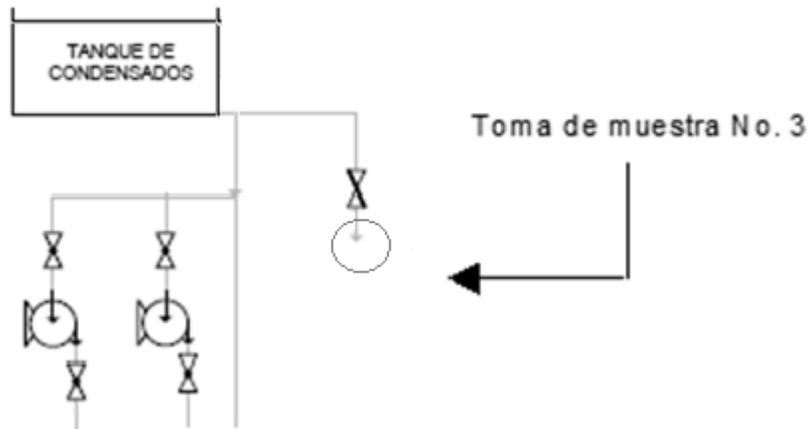


Fuente: diagrama de equipo del sistema de vapor. Apéndice 3.

3.5.1.4. Muestreo del agua en el tanque de retorno condensados

En el tanque de condensados se mezclan los condensados recuperados y el agua de reposición, que es agua ablandada. Se tomaron las muestras en el tanque de condensados para el análisis de sólidos totales disueltos en toma de muestra No. 3 (ver figura 9).

Figura 9. **Ubicación de la toma de muestra No.3**



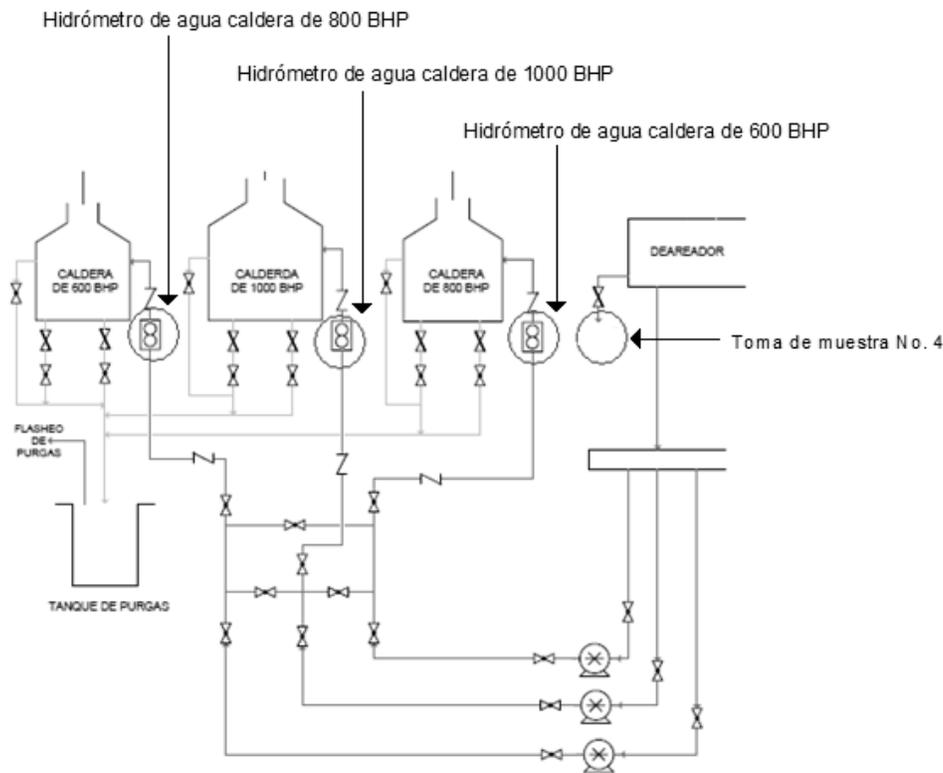
Fuente: diagrama de equipo del sistema de vapor. Apéndice 3.

3.5.1.5. Muestreo y monitoreo de agua de alimentación de las calderas

Se tomaron las muestras en el tanque de dearación para el análisis de sólidos totales disueltos, concentración de sílice y hierro, así como la alcalinidad total en toma de muestra No. 4 (ver figura 10). Esto representa la alimentación de las calderas. Además se midió el flujo de agua que se alimentó a cada una de las calderas en:

- Hidrómetro de agua caldera de 800 BHP
- Hidrómetro de agua caldera de 1000 BHP
- Hidrómetro de agua caldera de 600 BHP

Figura 10. **Ubicación de la toma de muestra No.4 e hidrómetros de agua en alimentación de calderas**



Fuente: diagrama de equipo del sistema de vapor. Apéndice 3.

3.6. **Recolección y ordenamiento de la información**

Para determinar los puntos de monitoreo y control de las variables de interés, se elaboró el diagrama de proceso de equipo del sistema de generación de vapor de calderas.

Se tomaron registro de los hidrómetros instalados, los cuales fueron descritos en la sección anterior, para realizar un balance general de agua y un balance general de energía. Con este balance de agua se determinó el

porcentaje de aprovechamiento de condensado de vapor actual, y se establecieron los lugares donde existen pérdidas de agua.

Se determinaron los sólidos totales disueltos, el hierro, sílice y alcalinidad total presentes en el agua de alimentación de las calderas y en el agua dentro de las calderas, con el fin de determinar los ciclos de concentración óptimos para definir la purga óptima de las calderas.

3.7. Análisis estadístico

Para la determinación diaria del porcentaje de aprovechamiento de los condensados de vapor, se realizaron tres corridas cada día. Esto con el fin de evitar algún sesgo en la información, provocado por la hora del levantamiento de la información. Se calcularon los promedios estadísticos y ese es el valor que se utilizará para realizar los balances de masa y energía necesarios. A continuación se presenta el análisis estadístico que se realizó.

3.7.1. Promedio estadístico

El promedio estadístico permitirá obtener un dato representativo para cada variable en cada una de las mediciones, así se evitará cualquier sesgo que se puede producir en el levantamiento de la información:

$$\bar{a} = \frac{\sum_i^n a_i}{n} = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n}$$

Donde: \bar{a} = Valor promedio estadístico
 a_i = Valor de la muestra i
 n = Número total de muestras

3.7.2. Desviación estándar

La dispersión de los valores de una medición respecto al valor promedio será medida por medio de la desviación estándar, la cual se calcula de la siguiente manera:

$$S_a = \sqrt{\frac{\sum_i^n |\bar{a} - a_i|}{n-1}}$$

Donde:

- S_a = Desviación estándar
- a = Valor promedio estadístico
- a_i = Valor de la muestra i
- n = Número total de muestras

4. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos al tabular los datos recolectados a lo largo de los 40 días de medición:

4.1. Medición de flujos y acumulaciones

En las tablas siguientes se presentan los flujos y acumulaciones que fueron necesarias para realizar el balance de materia en el sistema de generación de vapor:

Tabla VI. **Flujo promedio de agua cruda, alimentación y acumulación en tanques para los primero 20 días de medición**

Muestra No.	Fecha	Agua Cruda (m ³)	Alimentación Total (m ³)	Acumulación (m ³)	
				Tanque de Condensados	Tanque Deareador
1	17/10/2011	51,122	81,75	0,98	0,41
2	18/10/2011	53,183	35,52	-0,22	0,31
3	24/10/2011	25,080	89,06	0,72	0,53
4	25/10/2011	27,270	69,64	-0,59	-0,09
5	26/10/2011	23,106	47,28	0,10	0,05
6	02/11/2011	28,904	67,75	0,55	-0,29
7	03/11/2011	28,034	16,62	-0,36	-0,21
8	08/11/2011	28,107	83,92	-0,34	0,25
9	09/11/2011	37,338	80,32	-0,17	-0,38
10	10/11/2011	31,793	35,61	0,00	0,04
11	15/11/2011	66,352	80,79	0,24	0,22
12	16/11/2011	46,486	81,34	-0,60	-0,40
13	17/11/2011	16,853	28,06	0,00	-0,04
14	23/11/2011	30,935	58,55	-0,44	0,22
15	24/11/2011	22,177	33,41	-0,57	0,00

Continuación de la tabla VI.

16	28/11/2011	18,962	58,03	0,00	0,03
17	29/11/2011	32,818	95,24	-0,56	0,07
18	30/11/2011	32,929	84,61	0,77	-0,14
19	01/12/2011	24,123	34,53	-0,12	0,20
20	06/12/2011	70,581	87,58	0,49	0,14

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. Flujo promedio de agua cruda, alimentación y acumulación en tanques para los últimos 20 días de medición

Muestra No.	Fecha	Agua Cruda (m ³)	Alimentación Total (m ³)	Acumulación (m ³)	
				Tanque de Condensados	Tanque Deaerador
21	07/12/2011	30,016	52,19	-0,20	-0,58
22	08/12/2011	21,586	39,66	0,02	0,03
23	13/12/2011	38,959	93,10	-0,17	-0,05
24	14/12/2011	34,565	58,50	-0,36	0,10
25	21/12/2011	30,866	58,03	-0,04	-0,02
26	22/12/2011	27,157	53,27	0,02	-0,03
27	28/12/2011	42,932	78,69	-0,94	-0,22
28	29/12/2011	37,494	32,99	0,40	0,00
29	04/01/2012	39,058	73,32	-0,32	-0,16
30	05/01/2012	25,369	30,63	-0,88	-0,69
31	10/01/2012	43,229	87,09	-1,23	-0,24
32	11/01/2012	27,099	43,96	1,13	0,14
33	17/01/2012	39,757	91,35	-0,14	0,18
34	18/01/2012	17,673	46,67	-0,49	-0,12
35	24/01/2012	17,829	64,90	0,08	0,24
36	25/01/2012	25,483	79,90	-0,74	-0,32
37	26/01/2012	41,336	50,46	-0,07	-0,16
38	31/01/2012	53,250	46,05	-0,11	0,09
39	02/01/2012	40,251	36,40	0,44	-0,11
40	09/02/2012	40,662	39,12	0,06	0,40

Fuente: elaboración propia.

4.2. Porcentaje de recuperación de condensados de vapor

Mediante los balances de masa realizados en el tanque de retorno de condensados se obtuvieron los siguientes porcentajes de recuperación de condensados:

Tabla VIII. **Porcentaje promedio de recuperación de vapor en los primeros 20 días de medición**

Muestra No.	Fecha	Porcentaje de Recuperación (%)	Desviación Estándar (%)
1	17/10/2011	74,69%	0,88%
2	18/10/2011	81,29%	8,82%
3	24/10/2011	90,61%	4,92%
4	25/10/2011	82,57%	10,68%
5	26/10/2011	83,69%	11,58%
6	02/11/2011	87,65%	8,27%
7	03/11/2011	52,99%	4,85%
8	08/11/2011	92,37%	1,88%
9	09/11/2011	82,83%	8,01%
10	10/11/2011	78,35%	7,46%
11	15/11/2011	90,62%	5,15%
12	16/11/2011	75,02%	1,37%
13	17/11/2011	85,78%	5,18%
14	23/11/2011	87,20%	7,07%
15	24/11/2011	79,71%	7,46%
16	28/11/2011	86,93%	6,45%
17	29/11/2011	75,24%	36,50%
18	30/11/2011	95,37%	2,57%
19	01/12/2011	82,95%	11,45%
20	06/12/2011	91,71%	1,03%

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Porcentaje promedio de recuperación de vapor en los últimos 20 días de medición**

Muestra No.	Fecha	Porcentaje de Recuperación (%)	Desviación Estándar (%)
21	07/12/2011	82,06%	11,85%
22	08/12/2011	85,45%	4,03%
23	13/12/2011	92,31%	2,78%
24	14/12/2011	88,43%	5,16%
25	21/12/2011	91,04%	4,36%
26	22/12/2011	89,63%	6,36%
27	28/12/2011	79,05%	7,38%
28	29/12/2011	80,95%	13,25%
29	04/01/2012	86,51%	3,05%
30	05/01/2012	77,27%	12,15%
31	10/01/2012	70,19%	11,16%
32	11/01/2012	80,34%	9,43%
33	17/01/2012	89,32%	4,79%
34	18/01/2012	79,94%	3,33%
35	24/01/2012	88,39%	5,27%
36	25/01/2012	82,38%	1,71%
37	26/01/2012	83,20%	3,90%
38*	31/01/2012	6,24%	5,41%
39*	01/02/2012	14,22%	5,00%
40	15/02/2012	81,86%	3,90%
Promedio Total		83,31%	6,98%

Fuente: elaboración propia.

*Nota: para el cálculo del promedio total no se tomaron en cuenta las mediciones No. 38 y 39 ya que se comportaron fuera de lo normal, como se explica en la interpretación de resultados.

4.3. Principales pérdidas de condensados de vapor en el sistema

Se presentan, en las siguientes tablas, la cantidad de condensados que se pierden en forma de vapor instantáneo y como condensados no retornados.

Tabla X. **Pérdidas de condensados como vapor instantáneo y condensados no retornados, en los primeros 20 días**

Muestra No.	Fecha	Vapor instantáneo		Condensados no retornados	
		masa (kg)	condensado (m ³)	masa (kg)	volumen (m ³)
1	17/10/2011	8439,77	8,74	10975,47	11,00
2	18/10/2011	4005,04	4,15	1075,05	1,08
3	24/10/2011	11124,22	11,52	-2264,39	-2,27
4	25/10/2011	8053,39	8,34	3567,87	3,58
5	26/10/2011	5488,41	5,69	2246,95	2,25
6	02/11/2011	8281,23	8,58	-224,50	-0,22
7	03/11/2011	1249,60	1,29	6416,21	6,43
8	08/11/2011	10747,61	11,13	-4325,80	-4,33
9	09/11/2011	9311,87	9,65	3924,80	3,93
10	10/11/2011	3876,72	4,02	3820,45	3,83
11	15/11/2011	10158,65	10,52	-2612,00	-2,62
12	16/11/2011	8556,01	8,86	11201,06	11,22
13	17/11/2011	3364,80	3,49	446,27	0,45
14	23/11/2011	7073,06	7,33	503,93	0,50
15	24/11/2011	3721,17	3,85	2893,43	2,90
16	28/11/2011	7018,11	7,27	431,11	0,43
17	29/11/2011	9932,34	10,29	13821,34	13,85
18	30/11/2011	11262,81	11,67	-7895,06	-7,91
19	01/12/2011	3991,99	4,14	1782,14	1,79
20	06/12/2011	11160,34	11,56	-4054,55	-4,06

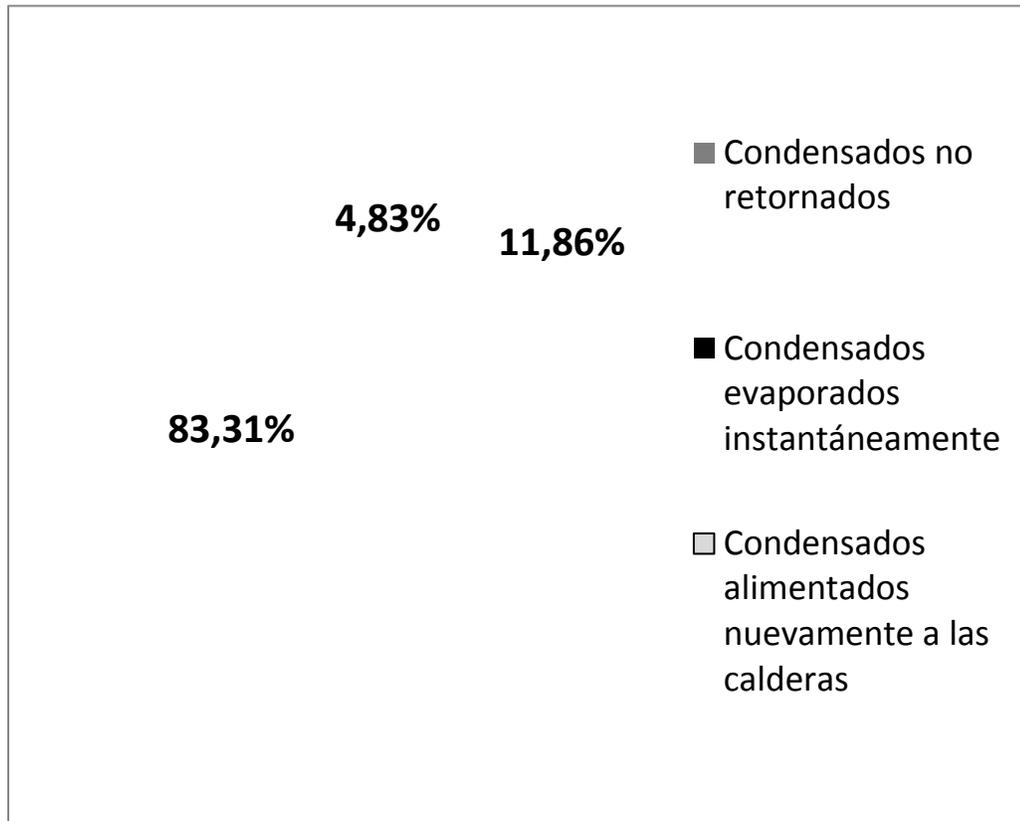
Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. Pérdidas de condensados como vapor instantáneo y condensados no retornados, en los últimos 20 días

Muestra No.	Fecha	Vapor instantáneo		Condensados no retornados	
		masa (kg)	condensado (m ³)	masa (kg)	volumen (m ³)
21	07/12/2011	6074,74	6,29	2345,26	2,35
22	08/12/2011	4717,51	4,89	950,94	0,95
23	13/12/2011	11978,67	12,41	-5260,36	-5,27
24	14/12/2011	7194,64	7,45	-558,69	-0,56
25	21/12/2011	7360,90	7,63	-2404,10	-2,41
26	22/12/2011	6686,60	6,93	-1627,08	-1,63
27	28/12/2011	8756,78	9,07	6866,66	6,88
28	29/12/2011	3773,86	3,91	2028,04	2,03
29	04/01/2012	8867,64	9,19	538,28	0,54
30	05/01/2012	3362,09	3,48	3054,16	3,06
31	10/01/2012	8580,43	8,89	16790,07	16,82
32	11/01/2012	4936,39	5,11	3467,08	3,47
33	17/01/2012	11335,72	11,74	-1699,36	-1,70
34	18/01/2012	5199,61	5,39	4024,19	4,03
35	24/01/2012	7959,56	8,25	-435,99	-0,44
36	25/01/2012	9208,95	9,54	4349,43	4,36
37	26/01/2012	5878,29	6,09	2230,12	2,23
38	31/01/2012	406,20	0,42	43042,43	43,13
39	01/02/2012	721,42	0,75	30714,12	30,78
40	15/02/2012	1901,30	1,97	23693,19	23,74
Promedio		7120,81	7,38	2633,73	2,64
Desviación estándar		2882,51	2,99	6123,27	6,14

Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Distribución porcentual de los flujos de condensados de vapor promedio**



Fuente: elaboración propia.

4.4. Propiedades físico químicas del agua

En las siguientes tablas se presentan las sustancias disueltas en el agua de alimentación de calderas, que son de interés para el cálculo de los ciclos de concentración, así como los sólidos totales disueltos en el tanque de retorno de condensados, con los que se calculó el porcentaje de retorno de condensados.

Tabla XII. **Concentración de hierro, sílice, sólidos totales disueltos y alcalinidad total en agua de alimentación de calderas**

No. Muestra	Fecha	Concentración en el agua de alimentación (ppm)			
		Si	Fe	Alcalinidad Total	Sólidos totales disueltos
1	17/04/2012	6.30	0.00	40	20
2	18/04/2012	5.30	0.02	30	25
3	23/04/2012	6.20	0.15	40	22
4	24/04/2012	9.10	0.10	40	28
5	25/04/2012	3.20	0.00	30	32
6	02/05/2012	3.90	0.02	30	24
7	03/05/2012	3.40	0.02	40	34
8*	04/05/2012	21.80	0.10	100	120
9	07/05/2012	5.00	0.04	30	20
10	08/05/2012	8.80	0.16	30	42
11	09/05/2012	6.00	0.09	30	28
12	10/05/2012	2.40	0.00	30	9
Concentración promedio		5.42	0.05	34	26

Fuente: elaboración propia.

*Nota: la muestra No. 8 no se tomó en cuenta para los cálculos debido a su comportamiento inusual.

Tabla XIII. **Concentración promedio de sólidos totales disueltos en el agua para los primeros 20 días de medición**

Muestra No.	Fecha	Sólidos totales disueltos (ppm)		
		Agua de reposición	Condensados recuperados	Agua dentro de tanque
1	17/10/2011	110	3	31
2	18/10/2011	120	2	24
3	24/10/2011	117	3	15
4	25/10/2011	117	3	22
5	26/10/2011	120	3	23
6	02/11/2011	110	3	17
7	03/11/2011	120	3	57
8	08/11/2011	120	11	20
9	09/11/2011	120	8	28
10	10/11/2011	120	4	29
11	15/11/2011	120	4	16
12	16/11/2011	120	2	31
13	17/11/2011	110	2	17
14	23/11/2011	120	2	17
15	24/11/2011	117	1	24
16	28/11/2011	120	2	18
17	29/11/2011	120	1	31
18	30/11/2011	120	1	8
19	01/12/2011	120	1	21
20	06/12/2011	117	1	11

Fuente: elaboración propia

Tabla XIV. **Concentración promedio de sólidos totales disueltos en el agua para los últimos 20 días de medición**

Muestra No.	Fecha	Sólidos totales disueltos (ppm)		
		Agua de reposición	Condensados recuperados	Agua dentro de tanque
21	07/12/2011	120	2	23
22	08/12/2011	120	3	21
23	13/12/2011	110	1	9
24	14/12/2011	113	2	15
25	21/12/2011	107	1	11
26	22/12/2011	107	1	12
27	28/12/2011	110	3	25
28	29/12/2011	107	2	23
29	04/01/2012	117	1	16
30	05/01/2012	110	1	24
31	10/01/2012	120	6	39
32	11/01/2012	120	10	35
33	17/01/2012	110	2	13
34	18/01/2012	120	1	24
35	24/01/2012	117	1	15
36	25/01/2012	117	1	21
37	26/01/2012	120	1	21
38	31/01/2012	110	2	103
39	01/02/2012	120	1	103
40	15/02/2012	110	2	22

Fuente: elaboración propia

4.5. Ciclos de concentración óptimos en calderas

En base a la concentración de sílice, hierro, alcalinidad total y sólidos totales disueltos en el agua de alimentación de calderas, se calcularon los ciclos de concentración máximos dentro de las calderas.

Tabla XV. Ciclos de concentración óptimos en calderas

No. Muestra	Fecha	Ciclos de concentración en base a:				Ciclos de concentración menor
		Si	Fe	Alcalinidad Total	Sólidos totales disueltos	
1	17/04/2012	24	∞	18	175	18
2	18/04/2012	28	150	23	140	23
3	23/04/2012	24	20	18	159	18
4	24/04/2012	16	30	18	125	16
5	25/04/2012	47	∞	23	109	23
6	02/05/2012	38	150	23	146	23
7	03/05/2012	44	150	18	103	18
8	07/05/2012	30	75	23	175	23
9	08/05/2012	17	19	23	83	17
10	09/05/2012	25	33	23	125	23
11	10/05/2012	63	∞	23	389	23
Promedio de ciclos de concentración						20
Desviación estándar en ciclos de concentración						±3
Rango de ciclos de concentración						17 a 23

Fuente: elaboración propia.

4.6. Propuesta de modificaciones al sistema de vapor

Con la información recabada a lo largo de la investigación se proponen distintas modificaciones al equipo y operación del sistema de generación de vapor. Discutiendo su viabilidad para desarrollarlas en el presente trabajo.

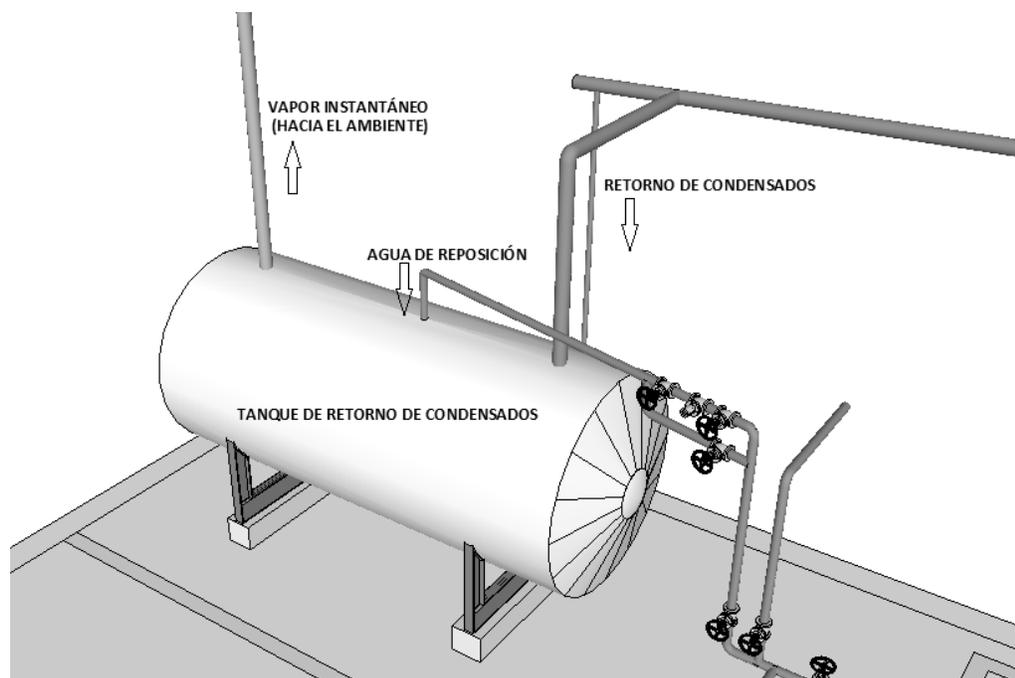
Tabla XVI. **Propuestas para la reducción de las pérdidas de condensados**

No.	Punto de pérdida de condensado	Descripción de la propuesta	Descripción de viabilidad
1	Condensados no recuperados	Sistema de captación y recuperación de los condensados no recuperados	No es viable, ya que se desconocen con exactitud las cantidades de condensados no recuperados
2	Vapor instantáneo en tanque de retorno de condensados	Aspersor de agua suavizada dentro del tanque de condensados para condensar parcialmente el vapor instantáneo	No es viable, porque cuando hay ingreso de condensados no se necesita agua de recuperación, puede rebalsar el tanque
3	Vapor instantáneo en tanque de retorno de condensados	Utilización del vapor instantáneo para calentar el agua de reposición	Viable, pero existe poco aprovechamiento de la energía del vapor ya que se necesita una gran área de transferencia de calor para poder calentar una cantidad significativa de agua de reposición y no se cuenta con el espacio físico necesario
4	Vapor instantáneo en tanque de retorno de condensados	Intercambiador de calor que condense el vapor instantáneo y lo regrese al tanque de condensados	Viable, el agua de enfriamiento, ya caliente, se puede reutilizar en otros procesos y servicios en la planta
5	Uso de vapor para calentamiento de bunker	Aislamiento de tubería de bunker	Viable, pero no se cuenta con los datos necesarios para poder determinar un espesor de aislamiento óptimo y exacto

Fuente: elaboración propia

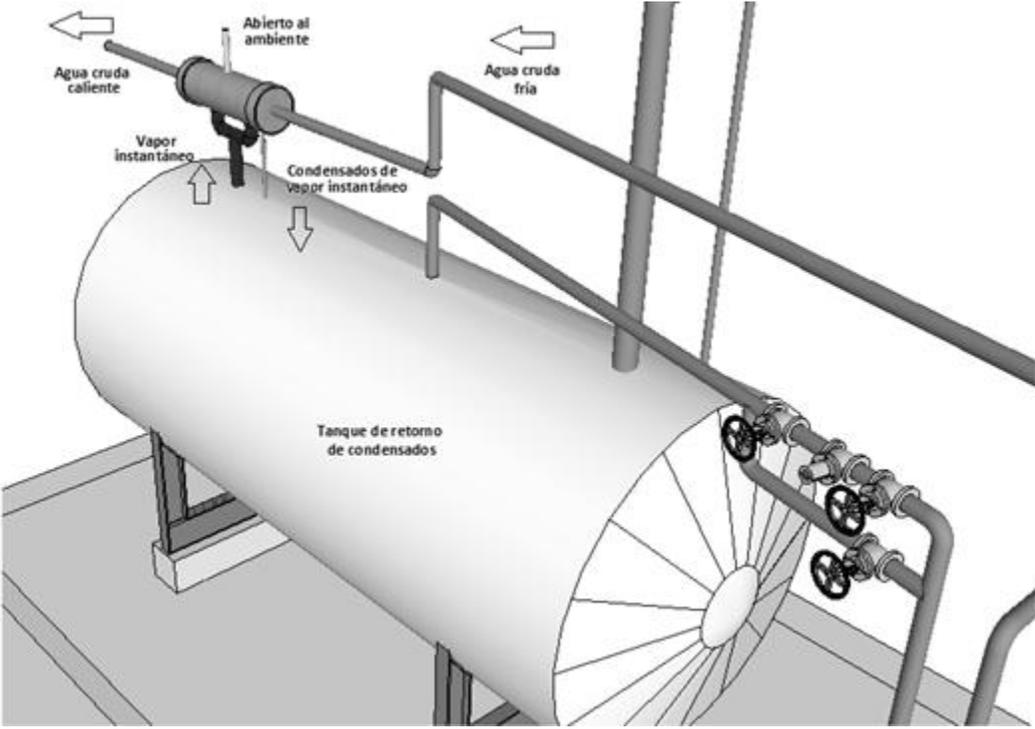
De la tabla anterior se puede apreciar que la mejor propuesta es el diseño de un condensador que se instalaría en la salida del vapor *flash*. Las razones por la que se seleccionó esta mejora, y no las demás, se ampliarán en la discusión de resultados. Dicho condensador se describe a continuación.

Figura 12. **Tanque de retorno de condensados en la actualidad**



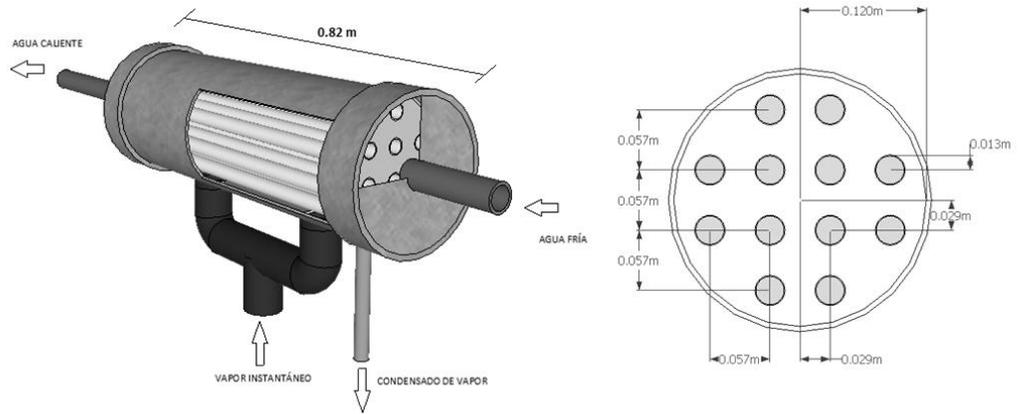
Fuente: elaboración propia, con programa Google SketchUp.

Figura 13. **Tanque de retorno de condensados con el condensador de vapor instantáneo instalado**



Fuente: elaboración propia, con programa Google SketchUp.

Figura 14. **Diseño y dimensiones del condensador**



Fuente: elaboración propia, con programa Google SketchUp.

El flujo volumétrico del agua de enfriamiento, agua sin ningún tratamiento, necesario es a de $4.34 \text{ m}^3/\text{h}$, la cual será ingresada al sistema por medio de una válvula solenoide, que se activará cuando exista retorno de condensados. El sistema trabajará bajo las siguientes condiciones:

Tabla XVII. **Condiciones de trabajo para el condensador**

Parámetro	Vapor instantáneo	Agua de enfriamiento
Flujo másico (kg/s)	0.082	1.195
Temperatura de entrada (°C)	90	20
Temperatura de salida (°C)	90	60

Fuente: elaboración propia

Tabla XVIII. **Costos y beneficio monetario al utilizar el condensador de vapor instantáneo**

Descripción de los costos	Costo
2 tubos de 6 m de largo y 1 pulgada de diámetro nominal, de acero inoxidable	Q 1.043,80
Lámina de acero inoxidable (1,20 m x 2,40 m)	Q 2.600,00
Soldadura	Q 1.500,00
Corte del material	Q 400,00
Rodada de la lámina	Q 500,00
Mano de obra	Q 4.000,00
Instalación	Q 3.000,00
Tubería y accesorios	Q 8.500,00
Costo total	Q21.543,80
Beneficio anual neto	Q 115.963,00

Fuente: elaboración propia

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Los flujos de agua cruda que se muestran en la tabla VI muestran un comportamiento variante, desde 16 metros cúbicos por día hasta 70, a pesar que todos los días que se tomaron las muestras existía una demanda de vapor máxima. Esto se debe a que este flujo incluye la cantidad de agua que se envía a las torres de enfriamiento, las cuales están fuera del sistema de generación de vapor y poseen demandas de agua de reposición distintas a las del sistema de vapor.

La cantidad de agua de alimentación de las calderas no es constante, esto se debe a que la cantidad de vapor demandado cada día, que si bien se midió en días de mayor demanda de vapor, esta no es exactamente igual debido a que están en funcionamiento distintos procesos.

Existe la evidencia de que el agua dentro de las calderas se regresa al tanque deareador, debido a la alta presión y al mal funcionamiento de las válvulas unidireccionales, como se observa en la muestra No. 8 en la tabla XII. Se aprecia que la concentración de todos los parámetros medidos son mayores a los demás, por ejemplo el sílice que es aproximadamente 7 veces mayor al del día anterior. Ésta concentración solo se puede dar por un retorno del agua dentro de la caldera ya que en ella si se concentran los compuestos disueltos debido a la evaporación del agua.

Esto puede afectar las mediciones de alimentación total a las calderas ya que el medidor reporta los flujos negativos, afectando el balance de masa

global, pero no el cálculo del porcentaje de recuperación de condensados ya que se midió la acumulación en el tanque deareador.

El porcentaje de recuperación de condensados promedio es de 83.36%, esto quiere decir que ese porcentaje del agua de alimentación de las calderas es condensado recuperado y el otro 16.64% corresponde a agua de reposición.

El porcentaje de recuperación posee una desviación estándar de 6.98%, es decir que el valor promedio a lo largo de la investigación oscila entre 76.38% y 90.34%. Este es un margen muy amplio y se dio debido a la cantidad de variables que influían en el cálculo del porcentaje de recuperación, en especial la concentración de sólidos totales disueltos, como se explicará más adelante.

Para el cálculo de estos valores se omitieron los datos correspondientes a las muestras No. 38 y 39 ya que presentaban un valor demasiado bajo, ya que esos días existieron problemas con una trampa de vapor y el condensado no retorno al tanque.

El parámetro utilizado para realizar los balances de masa, con los cuales se determinó el porcentaje de recuperación de condensados, fue los sólidos totales disueltos (TDS). Estos datos se encuentran en las tablas XIII y XIV. Los datos en estas tablas presentan un comportamiento muy marcado, los condensados presentan cantidades de TDS alrededor de 3 ppm, el agua de reposición alrededor de 110 ppm y el agua dentro del tanque posee valores desde 8 ppm a 103 ppm.

La variación de la concentración de los TDS dentro del tanque depende de la relación: condensados recuperados y agua de reposición. Esta relación afecta directamente el cálculo del porcentaje condensados recuperados ya que

el balance de masa que se realiza depende de estos parámetros. Si en el preciso instante en que se toma la muestra acaba de ingresar al tanque un flujo de condensados, la mezcla poseerá un valor bajo de concentración de TDS, dando un porcentaje de recuperación alto y viceversa. Esto se refleja en la amplia desviación estándar que poseen estos porcentajes, como se mencionó anteriormente.

Las pérdidas de condensados de vapor, obtenidas mediante el balance de masa descrito en los anexos, se muestran en las tablas X y XI. La mayor cantidad de pérdidas se da en la evaporación instantánea que se produce en el tanque de retorno de condensados, por estar abierto al ambiente. Se obtuvo un promedio de 7120,81 kg de agua perdidos, que si lo expresamos en volumen de líquido obtenemos 7,38 m³. Este valor representa la mayor cantidad de condensado perdido al ambiente.

En las tablas X y XI se tienen valores negativos de condensados no recuperados, lo cual no es lógico ya que esto representa un ingreso de condensado al sistema de vapor. El origen de estos valores anómalos radica en la asunción de que el nivel de agua dentro de las calderas se mantiene estable. Si bien no posee cambios mayores a 0.1 m, una variación de 0.05 m en el nivel de una caldera causa una acumulación, ya sea negativa o positiva, de aproximadamente 1 m³, debido a su tamaño. Esta acumulación es significativa y no fue tomada en cuenta en la investigación.

La tabla XV muestra el resultado de los ciclos de concentración óptimos en las calderas, cuyo valor medio es de 20 ciclos, con una desviación estándar de 3 ciclos. Esto quiere decir que el agua dentro de la caldera no se debe de concentrar a más de 23 ciclos, ya que se corre el riesgo de que se excedan las concentraciones recomendadas dentro de la caldera y se produzca algún daño

al equipo como la corrosión caustica, debida a la alcalinidad. Como se observa en la tabla XV la alcalinidad es el que en su mayoría limita los ciclos de concentración, debido a su alta presencia en el agua de reposición.

Debido a la variabilidad de las concentraciones de sílice, hierro, alcalinidad total y sólidos totales disueltos, se propone un rango dentro del cual se deben de mantener los ciclos de concentración para las tres calderas, siendo este de 17 a 23 ciclos de concentración.

En la tabla XVI se plantean cinco posibles soluciones para la reducción de la pérdida de los condensados, sin embargo, no todas son viables. En la primera se propone un sistema de recuperación de condensados no retornados pero debido a que no se conocen con exactitud las cantidades ni la ubicación de dichos puntos de pérdida su realización no está al alcance de esta investigación.

La segunda, tercera y cuarta propuesta se enfocan en la pérdida de condensado en la evaporación instantánea. Sin embargo se considera únicamente la cuarta como viable ya que si existe una demanda de agua cruda caliente en la industria, para satisfacer necesidades tanto de procesos como de servicios. El problema de la segunda y tercera propuesta radica en que se requiere agua de reposición en un momento en el que no se necesita realmente ya que si hay un ingreso de condensados al tanque no se necesita dicha agua. Además estas dos propuestas reducen la pérdida por evaporación parcialmente.

La quinta propuesta plantea el aislamiento de la tubería de bunker, sin embargo no se tienen datos necesarios como el flujo exacto de bunker ya que en esta tubería se le hace recircular para mantenerlo a la temperatura deseada.

Además no se cuenta con la temperatura en la línea de retorno. No se puede calcular un aislamiento óptimo sin estos datos ya que el resultado no sería real.

El condensador descrito en las figuras 12 y 13, cuyo diseño se amplía en los anexos, está diseñado para condensar la cantidad de vapor instantáneo promedio producido. Este pone en contacto indirecto el vapor con agua cruda fría, condensándolo y devolviéndolo al tanque de condensados. Ya que el agua de enfriamiento se necesita solo cuando existe ingreso de condensados al tanque, ésta se ingresaría al condensador por medio de una válvula electrónica que se abra con la presencia de condensados.

El condensador ocupa un espacio pequeño, de aproximadamente 1 metro de largo, lo cual hace posible su instalación. Debe de estar abierto a la atmósfera para que se siga produciendo el vapor instantáneo y debe de tener una inclinación de 1% para que los condensados se acumulen en el extremo más bajo y, por gravedad, regresen al tanque de condensados.

CONCLUSIONES

1. Los flujos de agua cruda que ingresan al sistema de generación de vapor, así como los de agua de alimentación a las calderas, no presentan un comportamiento definido, debido a que no se demanda la misma cantidad de vapor todos los días.
2. El porcentaje promedio de recuperación de condensados en los 40 días de muestreo es de 83,31% con una desviación estándar de 6,98%, dicha variación se debe a que este porcentaje fue medido en un momento determinado del día y no a lo largo de éste.
3. La mayor pérdida de condensados se da en la evaporación instantánea, que tiene lugar en el tanque de retorno de condensados, con un valor de 7120,81 kg por día, con una desviación estándar de $\pm 2882,51$ kg por día.
4. El componente del agua que limita los ciclos de concentración es la alcalinidad total que posee un valor promedio de 34 ppm en el agua de alimentación de las calderas.
5. Los ciclos de concentración óptimos que se deben de utilizar en las calderas deben de estar dentro del rango de 17 a 23 ciclos de concentración, obteniendo así la menor cantidad de purga sin poner en riesgo el equipo.

6. La instalación del condensador de vapor instantáneo es la propuesta más viable, para reducir la pérdida de condensados, ya que se cuenta con la información necesaria para su diseño y existe el espacio físico para su instalación.

7. La recuperación del vapor instantáneo genera un beneficio monetario anual de Q 115.963,00, el cual puede aumentar ya que al recuperar mayor cantidad de condensado disminuyen la cantidad de purgas.

RECOMENDACIONES

1. Instalar un medidor de flujo para llevar el control de la cantidad de condensado que ingresa al tanque de retorno de condensados, para poder realizar balances de masa que no dependan de datos puntuales.
2. Determinar la cantidad de condensados no retornados en cada equipo que posea este problema, para poseer datos reales y poder plantear el diseño de una línea de retorno de estos condensados.
3. Realizar un estudio de la viabilidad y factibilidad para implementar un sistema de retorno de condensados presurizado, el cual posea un tanque de retorno de condensados cerrado y así se elimina la evaporación instantánea.
4. Trabajar lo más cercano posible al valor promedio de los ciclos de concentración, 20 ciclos, para evitar daños al equipo y purgas innecesarias.
5. Realizar un estudio de aprovechamiento de la energía en el agua de la purga de las calderas, ya que esta es una fuente de energía reutilizable que no se aprovecha.
6. Realizar los análisis físico químicos del agua de alimentación de las calderas periódicamente para volver a determinar los ciclos de concentración, ya que estos serán mayores en el momento en que se aumente el porcentaje de recuperación de condensados.

BIBLIOGRAFÍAS

1. CARL, HANS, GETRANKE-FACHVERLAG. *Brewery Utilities (manual of good practice)* Alemania: European Brewery Convention. 1997. 745 p.
2. HIMMELBLAU, David. *Principios básicos y cálculos en Ingeniería Química*. 6a ed. Texas: Prentice Hall Latinoamérica. 1997. 749 p.
3. FELDER, Richard. *Principios elementales de los procesos químicos*. 3a. ed. México: Limusa Wiley. 2003. 683 p.
4. HERNÁNDEZ BOSARREYES, Ronald Gustavo. *Propuesta de ahorro de energía, mediante el uso adecuado del sistema de distribución de vapor y retorno de condensados en una empresa textil*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. 2008. 145 p.
5. IRA N. Levine. *Fisicoquímica, Vol I*. 5a ed. Madrid: McGraw-Hill. 2004. 518 p.
6. PALACIOS MARTINEZ, Henry Marot. *Estudio para el rediseño de la red de vapor y retorno del condensado para el Hospital General San Juan de Dios, Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. 2007. 158 p.

7. PAZ MARROQUÍN, Priscilla María. *Implementación de un sistema de recuperación de calor en un compresor de tornillo rotatorio de 75 HP para el precalentamiento del agua de una caldera*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. 2010. 174 p.

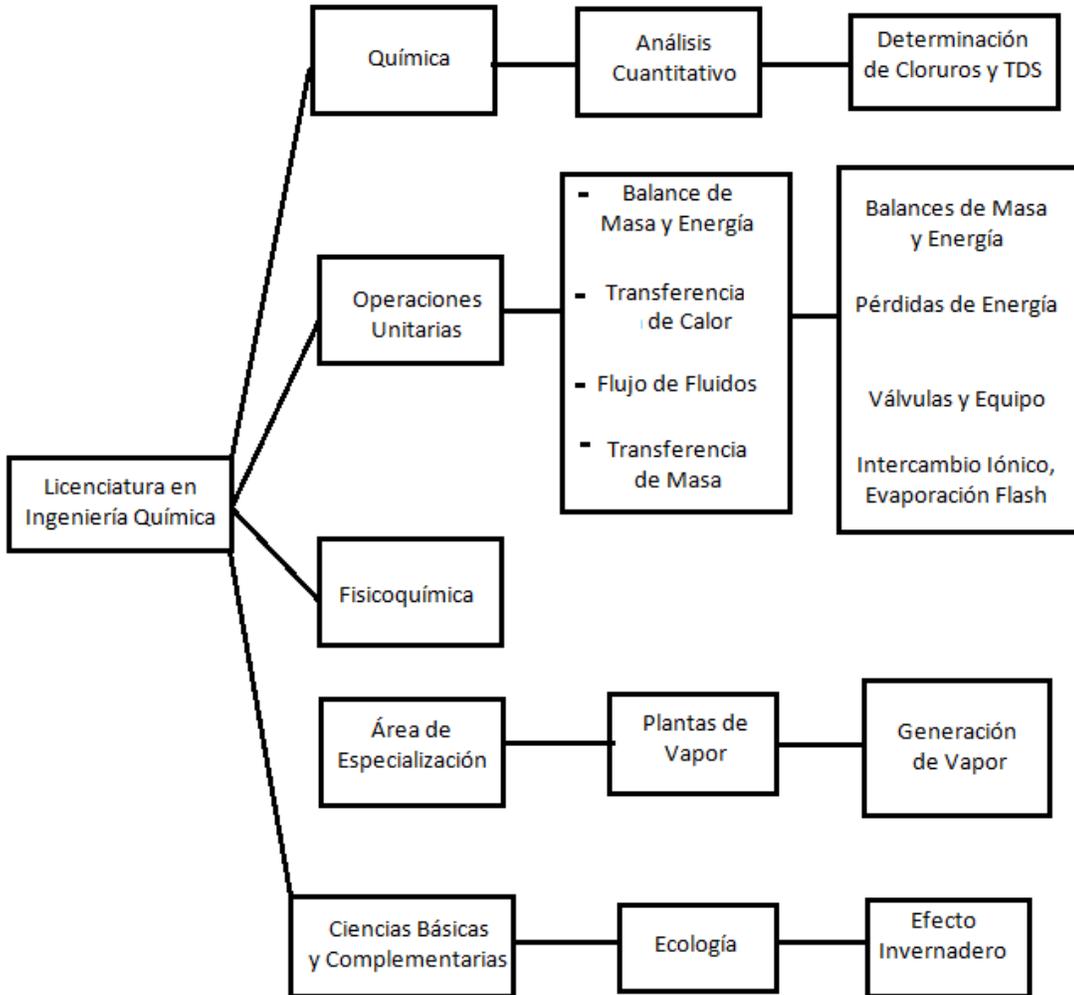
8. SAMPIERY, Roberto. *Metodología de la Investigación*. 4a. ed. McGraw-Hill. 2010. 265 p.

9. VILLACRÉS, Jorge. *Ahorro energético en el sistema de recuperador de condensados de una planta industrial en Guayaquil utilizando un surge Tank*. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de Producción. Guayaquil, Ecuador. 2009. 29 p.

APÉNDICE

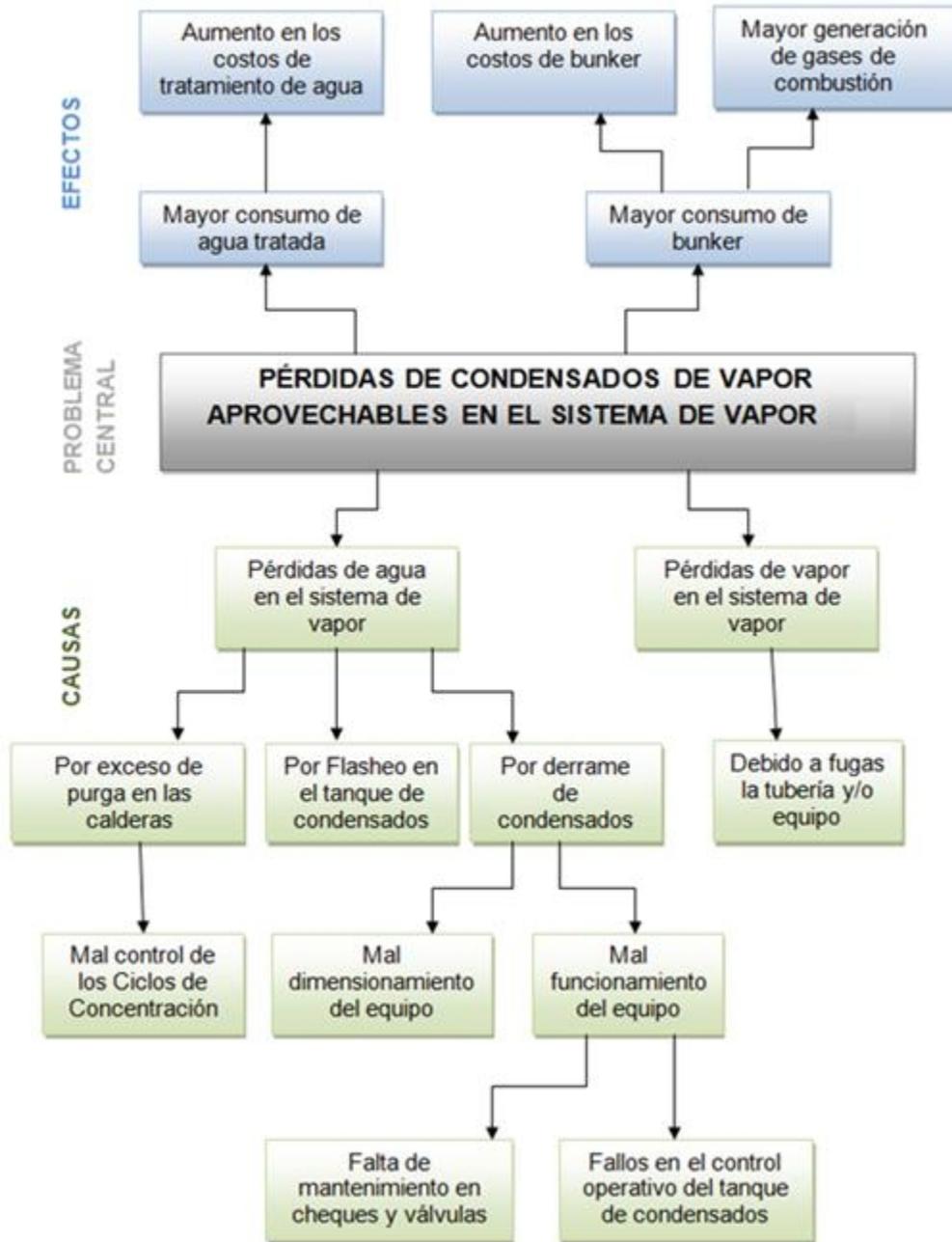
Apéndice 1	Tabla de requisitos académicos
Apéndice 2	Árbol de problemas
Apéndice 3	Diagrama de equipo del sistema de generación de vapor
Apéndice 4	Balances de masa
Apéndice 5	Diseño de condensador
Apéndice 6	Datos originales

APÉNDICE 1. **Tabla de requisitos académicos**



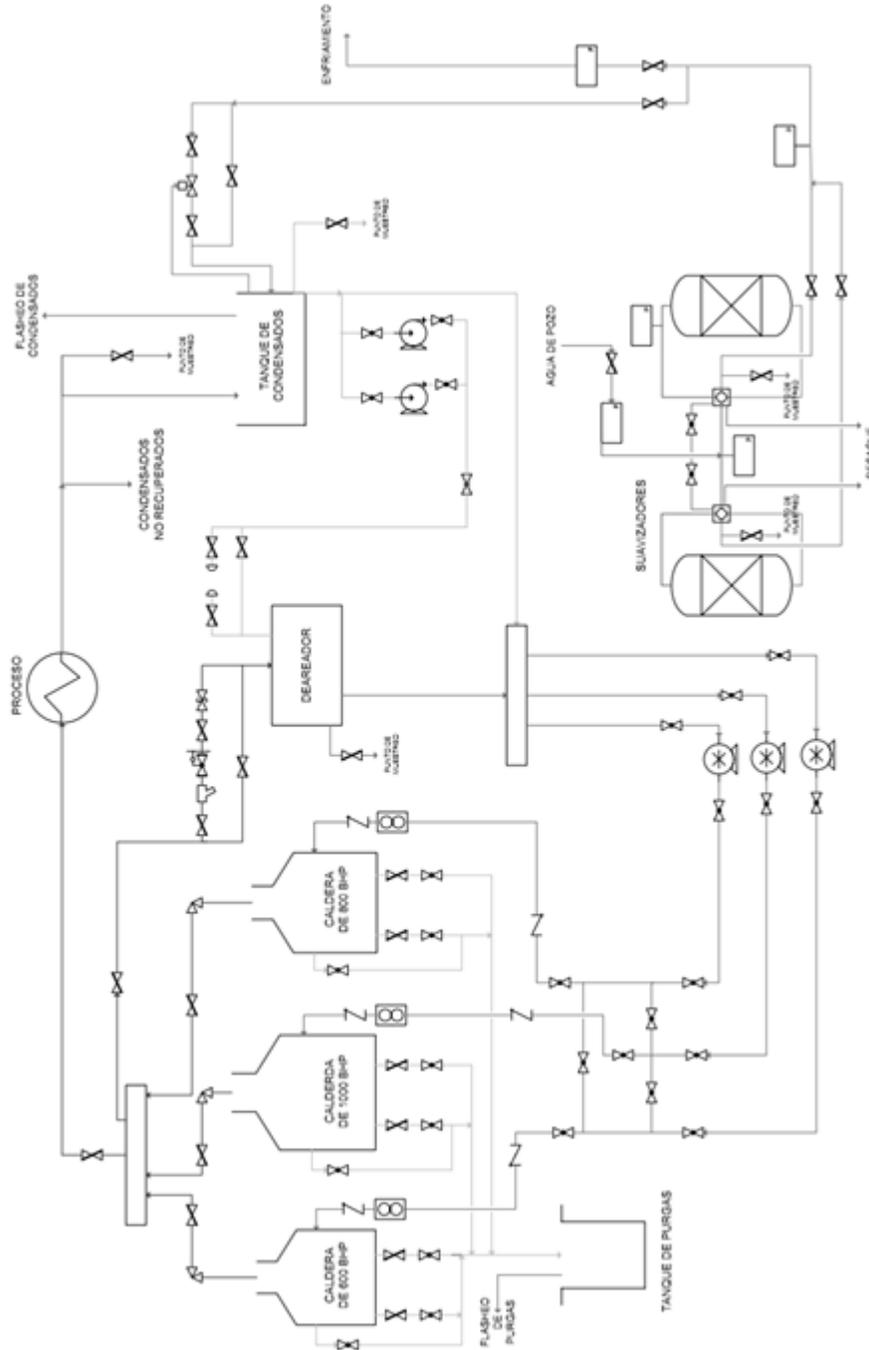
Fuente: pensum de estudios de licenciatura en ingeniería química.

APÉNDICE 2. Árbol de problemas



Fuente: elaboración propia.

APÉNDICE 3. Diagrama de equipo del sistema de generación de vapor y listado de símbolos



Fuente: sistema de generación de vapor de la industria de bebidas, con programa Visio.

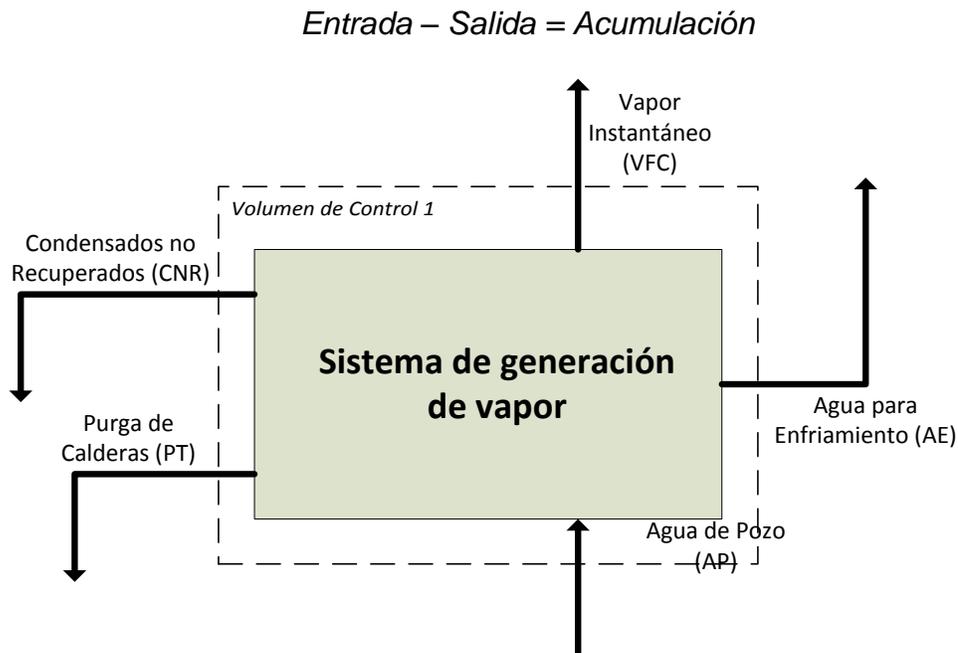
Simbología del diagrama de equipo

No.	Símbolo	Descripción	No.	Símbolo	Descripción
1		Caldera pirotubular	17		Vapor vivo
2		Torre de intercambio iónico	18		Purga de Calderas
3		Bomba centrífuga	19		Manómetro
4		Bomba de desplazamiento positivo	20		Medidor de flujo análogo
5		Deaerador	21		Medidor de flujo digital
6		Tanque de condensados	22		Válvula reductora de presión
7		Tanque de purga de calderas	23		Válvula solenoide
8		Distribuidor de agua o vapor	24		Válvula de seguridad
9		Usuarios de vapor dentro del proceso	25		Válvula de ángulo
10		Agua cruda	26		Válvula unidireccional
11		Agua suave	27		Válvula de bypass
12		Retrolavado de suavizadores	28		Válvula de compuerta
13		Condensados de vapor	29		Válvula de globo
14		Agua de tanque de condensados	30		Steamer
15		Vapores flash	31		Tapón
16		Alimentación de calderas			

Fuente: sistema de generación de vapor de la industria de bebidas.

APÉNDICE 4. Balances de masa

Dentro del sistema de generación de vapor no se genera ni se consume agua, por lo tanto la ecuación del balance de masa, descrita en el marco teórico se puede simplificar:



El agua se acumula en los distintos recipientes ya que el nivel de esta es distinto en el punto de medición final y el inicial. Se obtienen las siguientes acumulaciones de agua en el sistema:

Agua acumulada en el tanque de retorno de condensados (A_{TRC})

Agua acumulada en el tanque deareador (A_{TD})

Agua acumulada en la caldera 1 (A_{C1})

Agua acumulada en la caldera 2 (A_{C2})

Agua acumulada en la caldera 3 (A_{C3})

La ecuación del balance de masa de agua en el sistema de retorno de condensados es la siguiente:

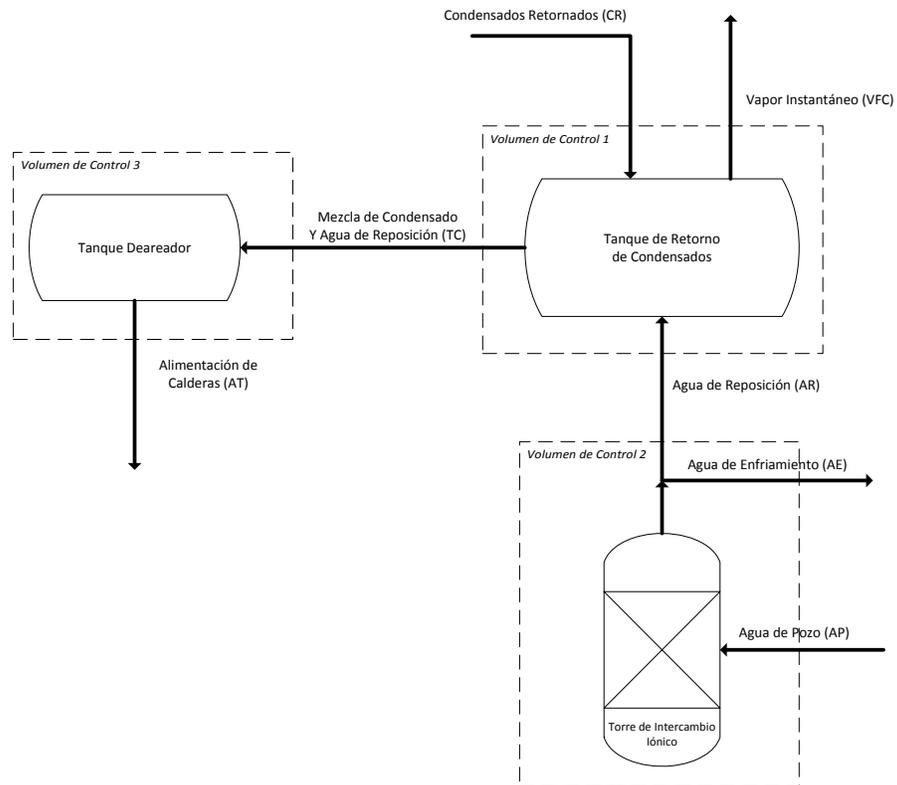
$$AP-(AE+VFC+CNR+PT)=A_{TRC}+A_{TD}+A_{C1}+A_{C2}+A_{C3} \quad \text{Ecuación No. 3}$$

Se consideró que el nivel de agua dentro de las calderas permanecía constante, por lo tanto no existía acumulación de agua dentro de ellas. De tal forma que:

$$AP-(AE+VFC+CNR+PT)=A_{TCR}+A_{TD}$$

$$CNR = AP-(AE+VFC + A_{TCR}+A_{TD} +PT) \quad \text{Ecuación No. 4}$$

Simplificando el sistema de generación de vapor, podemos obtener el siguiente diagrama de flujo:



Volumen de control 1:

- Balance de masa general de agua:

$$AR+CR-VFC-TC = A_{TRC} \quad \text{Ecuación No. 4}$$

El vapor instantáneo se puede calcular como:

$$VFR = 0.125 CR \quad \text{Ecuación No. 5}$$

Sustituyendo VFC, en la ecuación No. 4, se obtiene:

$$AR+CR-0.125CR-TC = A_{TRC}$$

$$AR = A_{TRC} + TC - 0.872CR \quad \text{Ecuación No. 6}$$

- Balance de sólidos totales disueltos (TDS):

$$AR(TDS_{AR}) + CR(TDS_{CR}) - VFC(TDS_{VFC}) - TC(TDS_{TC}) = A_{TRC}(TDS_{TRC}) \quad \text{Ecuación No. 7}$$

Ya que el vapor instantáneo no posee sólidos totales disueltos y, suponiendo una mezcla perfecta de las corrientes que ingresan al tanque de retorno de condensados, los sólidos totales disueltos poseen el mismo valor para el flujo que sale del tanque como para el agua que está almacenada en él. Por lo tanto la ecuación No. 7 se simplifica:

$$AR(TDS_{AR}) + CR(TDS_{CR}) - TC(TDS_{TC}) = A_{TRC}(TDS_{TRC})$$

$$CR(TDS_{CR}) = (TC + A_{TRC})TDS_{TC} - AR(TDS_{AR}) \quad \text{Ecuación No. 8}$$

Volumen de control 2:

- Balance de masa general de agua:

$$AP = AR + AE$$

$$AE = AP - AR \quad \text{Ecuación No. 9}$$

Volumen de control 3:

- Balance de masa general de agua:

$$TC - AT = A_{TD}$$

$$TC = A_{TD} + AT \quad \text{Ecuación No. 10}$$

De la ecuación No. 10 y la No. 8, se obtiene:

$$(TC + A_{TRC})TDS_{AR} + CR(TDS_{CR} - 0.875 \cdot TDS_{AR}) = (A_{TRC} + TC)TDS_{TC}$$

$$CR = \frac{(TC + A_{TRC})(TDS_{TC} - TDS_{AR})}{TDS_{CR} - 0.875 \cdot TDS_{AR}} \quad \text{Ecuación No. 11}$$

Y sustituyendo TC de la ecuación anterior, se obtiene:

$$CR = \frac{(A_{TD} + AT + A_{TRC})(TDS_{TC} - TDS_{AR})}{TDS_{CR} - 0.875 \cdot TDS_{AR}} \quad \text{Ecuación No. 12}$$

De las ecuaciones No. 10 y No. 6, se obtiene:

$$AR = A_{TRC} + AT + A_{TD} - 0.872CR \quad \text{Ecuación No. 13}$$

APÉNDICE 5. Diseño de condensador

El vapor generado por la evaporación instantánea en el retorno de los condensados se encuentra a una temperatura aproximada de 90 °C. A dicha temperatura el vapor posee las siguientes propiedades:

- Presión de saturación: 70.14 kPa
- Entalpía de vaporización: 2283 kJ/kg
- Densidad del vapor: 0.4235 kg/m³
- Volumen específico: 2.3613 m³/ kg

Se utilizará un condensador para evitar la pérdida del vapor instantáneo al ambiente. Dicho condensador poseerá cuatro columnas de tubos de acero inoxidable de una pulgada de diámetro nominal, dentro de los cuales circulará agua no tratada a 20 °C y fuera de ellos, pero dentro de una carcasa, circulará el vapor.

El agua de enfriamiento posee las siguientes propiedades, a una temperatura media de 65°C:

- Densidad: 980.4 kg/m³
- Viscosidad dinámica: 0.433*10⁻³ kg/m.s
- Conductividad: 0.659 kW/m.k
- Calor Específico: 4.187 kW/kg.K

Si se contempla trabajar con un condensador de cuatro columnas de tubos horizontales y en arreglo rectangular, ver figura No. 13, la transferencia de calor está definida por la siguiente ecuación:

$$Q = h_{horiz} * A_s * (T_{Sat} - T_s) \quad \text{Ecuación No. 14}$$

- Donde: Q = Flujo de energía que se transfiere (W/s)
 h_{horiz} = Coeficiente de transferencia de calor para los tubos horizontales (W/(m²*°C)).
 A_s = Área de la superficie de transferencia de calor (m²)
 T_{Sat} = Temperatura de saturación del vapor (°C)
 T_s = Temperatura de la superficie exterior de los tubos (°C)

De esta ecuación se puede determinar el área necesaria para condensar el vapor instantáneo:

$$A = \frac{Q}{h_{horiz} * (T_{Sat} - T_s)} \quad \text{Ecuación No. 15}$$

El coeficiente de transferencia de calor se calcula de la siguiente manera:

$$h_{horiz} = 0.729 * \left[\frac{g * \rho_l^2 * h_{fg}^* * k_l^3}{\mu_l * N * D * (T_{Sat} - T_s)} \right]^{1/4} \quad \text{Ecuación No.16}$$

- Donde: g = Constante de gravedad (m/s²)
 ρ_l = Densidad del agua líquida (kg/m³)
 h_{fg}^* = Entalpía de condensación arreglada (W/kg)
 k_l = Coeficiente de conductividad térmica del agua líquida (W/m*kg)
 μ_l = Viscosidad dinámica del agua líquida (kg/(m*s))
D = Diámetro externo del tubo (m)
N = Número de tubos que se encuentran en una columna

La entalpía de condensación arreglada se calcula de la siguiente manera:

$$h_{fg}^* = h_{fg} + 0.68 * C_{pl} * (T_{Sat} - T_s) \quad \text{Ecuación No.17}$$

Donde: h_{fg} = Entalpía de condensación (W/kg)

C_{pl} = Capacidad calorífica del agua líquida a temperatura promedio (kJ/(kg*K))

Si la temperatura de superficie de los tubos permanece a 40°C en promedio, se obtiene:

$$h_{fg}^* = 2283 \text{ kJ/kg} + 0.68(4.183 \text{ kJ/(m}^* \text{K)}) * (363.15 \text{ K} - 313.15 \text{ K})$$

$$h_{fg}^* = 2425.22 \text{ kJ/kg}$$

Por lo tanto:

$$h_{horiz} = 5228.07 \text{ W/(m}^2 * \text{ }^\circ \text{C)}$$

Si se tiene un flujo de vapor $m_{vap} = 3.125 * 10^{-5} \text{ kg/s}$, el flujo de energía a través de los tubos corresponde a la entalpía de vaporización, de manera que:

$$Q = h_{fg}^* * m_{vap} = h_{horiz} * (T_{Sat} - T_s) \quad \text{Ecuación No.18}$$

De manera que la superficie necesaria para que se dé la condensación es:

$$A_s = 0.7647 \text{ m}^2$$

Utilizando un factor de seguridad de diseño de 10%, se obtiene un área de transferencia de calor de:

$$A_{SFS} = 0.8794 \text{ m}^2$$

Si se utiliza tubo de cobre tipo K de un diámetro nominal de 1 pulgada, se obtiene una longitud de tubos de:

$$A_{SFS} = \pi * D_{EXT} * L_{tubo} * N_{tubo} \quad \text{Ecuación No. 19}$$

Donde: A_{SFS} = Área de intercambio de calor con factor de seguridad (m^2)

D_{EXT} = Diámetro exterior de los tubos (m)

L_{tubo} = Longitud de los tubos (m)

N_{tubos} = Número de tubos

Entonces:

$$L_{tubo} = 0.8164 \text{ m} = 82 \text{ cm}$$

- Caudal de agua de enfriamiento:

La cantidad de energía transferida del vapor hacia el agua de enfriamientos se puede definir como:

$$Q = h_{fg}^* m_{vap} = m_{vap} * C_{pl}^* (T_{SL} - T_{EL}) \quad \text{Ecuación No. 21}$$

Donde T_{SL} es la temperatura de salida del líquido y T_{EL} es la de entrada. Si deseamos que el agua de enfriamiento salga a una temperatura de 60°C , el flujo másico del agua debería ser el siguiente:

$$m_l = 43048 \text{ kg / h}$$

El flujo volumétrico sería de $4.34 \text{ m}^3/\text{h}$, lo cual es más del doble de la cantidad de agua de reposición que se necesita, por lo tanto no es factible utilizar este sistema.

APÉNDICE 6. Datos originales

Cantidad de agua cruda consumida por el sistema de vapor y el sistema de enfriamiento

No.	Fecha	Hora	Agua Pozo (m3)	
			Inicial	Final
1	17/10/2011	08:00:00	14884,248	14936,891
		10:00:00	14891,401	14941,134
		12:00:00	14893,272	14944,261
2	18/10/2011	08:00:00	14936,891	14989,184
		10:00:00	14941,134	14994,371
		12:00:00	14944,261	14998,279
3	24/10/2011	08:05:00	15180,957	15206,299
		10:20:00	15184,749	15209,156
		12:10:00	15188,368	15213,858
4	25/10/2011	08:05:00	15206,299	15234,611
		10:20:00	15209,156	15237,356
		12:10:00	15213,858	15239,156
5	26/10/2011	08:05:00	15234,611	15257,246
		10:20:00	15237,356	15260,210
		12:10:00	15239,156	15262,986
6	02/11/2011	07:30:00	15357,607	15386,081
		09:10:00	15359,158	15387,509
		11:10:00	15361,032	15390,919
7	03/11/2011	07:30:00	15386,081	15414,311
		09:10:00	15387,509	15415,976
		11:10:00	15390,919	15418,324
8	08/11/2011	07:15:00	15481,152	15506,538
		09:00:00	15482,724	15510,107
		11:00:00	15483,863	15515,415
9	09/11/2011	07:15:00	15506,538	15544,055
		09:00:00	15510,107	15548,092
		11:00:00	15515,415	15551,926

Continuación del apéndice 6

10	10/11/2011	07:15:00	15544,055	15578,118
		09:00:00	15548,092	15579,824
		11:00:00	15551,926	15581,510
11	15/11/2011	07:15:00	15653,717	15716,429
		09:00:00	15656,150	15721,829
		11:00:00	15657,326	15727,991
12	16/11/2011	07:15:00	15716,429	15766,801
		09:00:00	15721,829	15768,674
		11:00:00	15727,991	15770,232
13	17/11/2011	07:15:00	15766,801	15784,283
		09:00:00	15768,674	15784,652
		11:00:00	15770,232	15787,330
14	23/11/2011	07:15:00	15897,116	15929,981
		09:00:00	15899,235	15931,203
		11:00:00	15904,778	15932,749
15	24/11/2011	07:15:00	15929,981	15952,019
		09:00:00	15931,203	15953,822
		11:00:00	15932,749	15954,623
16	28/11/2011	07:15:00	16003,871	16022,637
		09:00:00	16003,922	16023,334
		11:00:00	16005,922	16024,631
17	29/11/2011	07:15:00	16022,637	16055,010
		09:00:00	16023,334	16056,275
		11:00:00	16024,631	16057,771
18	30/11/2011	07:15:00	16055,010	16087,107
		09:00:00	16056,275	16088,365
		11:00:00	16057,771	16092,370
19	01/12/2011	07:15:00	16087,107	16111,846
		09:00:00	16088,365	16113,061
		11:00:00	16092,370	16115,305
20	06/12/2011	07:15:00	16185,173	16255,910
		09:00:00	16187,804	16258,121
		11:00:00	16192,326	16263,014

Continuación del apéndice 6

21	07/12/2011	07:15:00	16255,910	16286,638
		09:00:00	16258,121	16288,349
		11:00:00	16263,014	16292,105
22	08/12/2011	07:15:00	16286,638	16308,481
		09:00:00	16288,349	16310,242
		11:00:00	16292,105	16313,127
23	13/12/2011	07:15:00	16405,167	16444,095
		09:00:00	16407,347	16446,762
		11:00:00	16412,021	16450,555
24	14/12/2011	07:15:00	16444,095	16479,332
		09:00:00	16446,762	16481,254
		11:00:00	16450,555	16484,521
25	21/12/2011	07:15:00	16601,851	16632,902
		09:00:00	16603,553	16635,038
		11:00:00	16607,408	16637,471
26	22/12/2011	07:15:00	16632,902	16660,340
		09:00:00	16635,038	16661,550
		11:00:00	16637,471	16664,991
27	28/12/2011	07:15:00	16773,619	16816,003
		09:00:00	16778,603	16821,460
		11:00:00	16782,581	16826,137
28	29/12/2011	07:15:00	16816,003	16856,075
		09:00:00	16821,460	16858,525
		11:00:00	16826,137	16861,482
29	04/01/2012	07:15:00	16930,942	16970,536
		09:00:00	16934,181	16973,507
		11:00:00	16937,393	16975,647
30	05/01/2012	07:15:00	16970,536	16995,025
		09:00:00	16973,507	16998,628
		11:00:00	16975,647	17002,144
31	10/01/2012	07:15:00	17093,485	17135,234
		09:00:00	17095,830	17139,553
		11:00:00	17099,488	17143,702

Continuación del apéndice 6

32	11/01/2012	07:15:00	17135,234	17165,347
		09:00:00	17139,553	17166,548
		11:00:00	17143,702	17167,890
33	17/01/2012	07:15:00	17246,972	17286,651
		09:00:00	17250,064	17290,289
		11:00:00	17253,432	17292,799
34	18/01/2012	07:15:00	17286,651	17306,000
		09:00:00	17290,289	17307,671
		11:00:00	17292,799	17309,086
35	24/01/2012	08:30:00	17376,093	17394,450
		10:30:00	17378,676	17395,904
		11:45:00	17379,975	17397,876
36	25/01/2012	08:30:00	17394,450	17418,842
		10:30:00	17395,904	17421,930
		11:45:00	17397,876	17423,906
37	26/01/2012	08:30:00	17418,842	17460,228
		10:30:00	17421,930	17462,696
		11:45:00	17423,906	17465,761
38	31/01/2012	07:30:00	17538,941	17594,149
		09:00:00	17541,825	17594,784
		11:30:00	17545,399	17596,981
39	02/01/2012	07:30:00	17621,664	17666,259
		09:00:00	17625,925	17667,406
		11:20:00	17635,100	17669,778
40	09/02/2012	07:15:00	17914,493	17955,041
		09:00:00	17916,977	17958,930
		11:00:00	17919,446	17958,930

Fuente: sistema de generación de vapor de la industria de bebidas.

Cantidad de agua utilizada en la alimentación de las calderas

No.	Fecha	Alimentación de Calderas (m3)					
		600		1000		800	
1	17/10/2011	6588,33	6638,09	1971,00	1971,00	9997,18	10026,26
		6589,69	6643,00	1971,00	1971,00	9998,16	10028,45
		6591,21	6646,20	1971,00	1971,00	10000,64	10028,45
2	18/10/2011	6638,09	6675,21	1971,00	1971,00	10026,26	10028,45
		6643,00	6677,58	1971,00	1971,00	10028,45	10028,63
		6646,20	6678,38	1971,00	1971,00	10028,45	10028,77
3	24/10/2011	6694,48	6725,26	1971,00	1971,00	10043,44	10098,67
		6696,53	6729,83	1971,00	1971,00	10050,02	10105,96
		6698,38	6733,47	1971,00	1971,00	10055,78	10112,61
4	25/10/2011	6725,26	6754,00	1971,00	1971,00	10098,67	10143,01
		6729,83	6762,84	1971,00	1971,00	10105,96	10143,01
		6733,47	6768,85	1971,00	1971,00	10112,61	10143,01
5	26/10/2011	6754,00	6790,65	1971,00	1971,00	10143,01	10155,00
		6762,84	6790,65	1971,00	1971,00	10143,01	10162,21
		6768,85	6790,65	1971,00	1971,00	10143,01	10167,39
6	02/11/2011	6854,10	6889,02	1971,00	1971,00	10249,51	10287,57
		6854,10	6889,85	1971,00	1971,11	10255,13	10287,57
		6856,81	6891,78	1971,00	1971,11	10260,69	10287,57
7	03/11/2011	6889,02	6904,58	1971,00	1971,11	10287,57	10289,03
		6889,85	6905,15	1971,11	1971,11	10287,57	10289,03
		6891,78	6906,30	1971,11	1971,11	10287,57	10289,03
8	08/11/2011	6939,43	6947,54	1983,89	1993,25	10306,46	10373,16
		6939,92	6947,82	1984,62	1993,25	10310,62	10378,65
		6940,15	6949,31	1988,85	1994,53	10316,37	10384,56
9	09/11/2011	6947,54	6971,68	1993,25	1998,02	10373,16	10426,55
		6947,82	6971,68	1993,25	1998,02	10378,65	10430,71
		6949,31	6971,68	1994,53	198,02	10384,56	10436,68
10	10/11/2011	6971,68	6972,58	1998,02	1998,27	10426,55	10461,77
		6971,68	6974,31	1998,02	1998,27	10430,71	10463,29
		6971,68	6979,88	1998,02	1998,21	10436,68	10463,29
11	15/11/2011	7015,62	7039,98	1998,75	2042,00	10497,33	10507,15
		7017,48	7041,29	1998,75	2048,93	10501,14	10507,15
		7017,83	7041,48	2003,11	2058,75	10501,62	10507,26

Continuación del apéndice 6

12	16/11/2011	7039,98	7053,47	2042,00	2103,79	10507,15	10515,61
		7041,29	7053,47	2048,93	2110,25	10507,15	10515,61
		7041,48	7053,47	2058,75	2116,73	10507,26	10515,61
13	17/11/2011	7053,47	7055,14	2103,79	2137,00	10515,61	10516,25
		7053,47	7056,02	2110,25	2137,00	10515,61	10510,25
		7053,47	7057,28	2116,73	2137,00	10515,61	10516,25
14	23/11/2011	7089,74	7098,34	2233,55	2282,64	10526,75	10531,66
		7090,04	7098,34	2241,48	2288,48	10526,76	10531,66
		7095,07	7098,34	2251,44	2296,25	10526,88	10531,66
15	24/11/2011	7098,34	7099,20	2282,64	2318,51	10531,66	10533,40
		7098,34	7100,22	2288,48	2318,51	10531,66	10533,41
		7098,34	7102,44	2296,25	2318,51	10531,66	10533,41
16	28/11/2011	7110,04	7113,81	2341,89	2397,22	10534,22	10534,56
		7110,04	7114,01	2348,80	2402,57	10534,23	10534,57
		7110,04	7114,01	2358,99	2411,25	10534,23	10534,57
17	29/11/2011	7113,81	7122,08	2397,22	2472,90	10534,56	10543,80
		7114,01	7122,08	2402,57	2481,71	10534,57	10543,80
		7114,01	7122,08	2411,25	2490,03	10534,57	10543,80
18	30/11/2011	7122,08	7133,24	2472,90	2546,09	10543,80	10545,32
		7122,08	7133,24	2481,71	2553,31	10543,80	10545,33
		7122,08	7133,24	2490,03	2560,99	10543,80	10545,34
19	01/12/2011	7133,24	7133,57	2546,09	2585,89	10545,32	10545,35
		7133,24	7135,39	2553,31	2585,89	10545,33	10545,35
		7133,24	7137,02	2560,99	2585,89	10545,34	10545,35
20	06/12/2011	7154,02	7166,22	2669,02	2712,61	10548,96	10583,44
		7154,23	7167,03	2679,98	2716,62	10548,96	10587,14
		7154,23	7167,03	2692,47	2725,13	10548,96	10588,34
21	07/12/2011	7166,22	7167,94	2712,61	2743,68	10583,44	10604,60
		7167,03	7167,94	2716,62	2743,68	10587,14	10611,11
		7167,03	7167,94	2725,13	2743,68	10588,34	10619,55
22	08/12/2011	7167,94	7168,12	2743,68	2743,68	10604,60	10650,33
		7167,94	7168,12	2743,68	2743,68	10611,11	10651,17
		7167,94	7168,12	2743,68	2743,68	10619,55	10652,21
23	13/12/2011	7169,42	7169,51	2770,89	2821,78	10719,22	10763,26
		7169,42	7169,52	2779,47	2831,11	10720,88	10763,26
		7169,42	7169,52	2788,54	2839,42	10724,09	10763,26

Continuación del apéndice 6

24	14/12/2011	7169,51	7169,52	2821,78	2870,21	10763,26	10775,20
		7169,52	7169,53	2831,11	2877,10	10763,26	10775,20
		7169,52	7169,53	2839,42	2884,64	10763,26	10775,20
25	21/12/2011	7169,66	7160,67	2987,15	3043,67	10843,10	10853,01
		7169,67	7164,87	2995,00	3049,71	10844,91	10853,02
		7169,67	7169,67	3003,58	3056,62	10847,43	10853,02
26	22/12/2011	7160,67	7169,67	3043,67	3082,28	10853,01	10863,66
		7164,87	7169,67	3049,71	3082,28	10853,02	10868,88
		7169,67	7169,67	3056,62	3082,28	10853,02	10875,67
27	28/12/2011	7198,26	7212,61	3109,64	3160,25	10883,76	10908,96
		7207,01	7212,61	3119,62	3160,25	10883,76	10915,12
		7211,66	7212,61	3132,22	3160,25	10883,77	10923,10
28	29/12/2011	7212,61	7214,02	3160,25	3160,89	10908,96	10944,16
		7212,61	7216,12	3160,25	3160,89	10915,12	10944,45
		7212,61	7218,52	3160,25	3160,89	10923,10	10944,78
29	04/01/2012	7224,15	7224,150	3188,910	3244,980	10950,350	10972,770
		7224,15	7224,150	3197,060	3249,180	10951,800	10972,770
		7224,15	7224,150	3208,030	3256,500	10952,870	10972,770
30	05/01/2012	724,150	7224,150	3244,980	3276,580	10972,770	10975,910
		7224,15	7224,150	3249,180	3276,580	10972,770	10977,150
		7224,15	7224,150	3256,500	3276,580	10972,770	10978,047
31	10/01/2012	7224,15	7229,550	3308,220	3358,210	11030,590	11065,170
		7224,15	7229,550	3317,360	3366,630	11031,010	11065,170
		7224,15	7229,550	3330,390	3373,900	11031,620	11065,170
32	11/01/2012	7229,55	7229,550	3358,210	3402,430	11065,170	11071,550
		7229,55	7229,880	3366,630	3402,790	11065,170	11071,890
		7229,55	7230,090	3373,900	3403,470	11065,170	11073,120
33	17/01/2012	7249,13	7273,960	3414,43	3413,430	11138,30	11209,760
		7253,95	7276,910	3414,43	3414,430	11146,36	11214,900
		7257,93	7278,490	3414,43	3414,430	11154,02	11220,730
34	18/01/2012	7273,96	7286,68	3413,43	3415,21	11209,76	11243,67
		7276,91	7290,04	3414,43	3415,21	11214,90	11247,02
		7278,49	7294,44	3414,43	3415,21	11220,73	11249,57
35	24/01/2012	7334,59	7363,59	3416,40	3435,970	11335,19	11351,440
		7336,87	7366,06	3416,40	3441,210	11339,48	11351,450
		7339,55	7366,31	3416,40	3445,670	11343,59	11351,46

Continuación del apéndice 6

36	25/01/2012	7363,59	7389,050	3435,97	3486,290	11351,44	11352,05
		7366,06	7392,380	3441,21	3494,750	11351,45	11352,07
		7366,31	7394,160	3445,67	3500,030	11351,46	11352,08
37	26/01/2012	7389,05	7397,22	3486,29	3521,90	11352,05	11366,96
		7392,38	7397,22	3494,75	3521,90	11352,07	11368,91
		7394,16	7397,22	3500,03	3521,90	11352,08	11371,01
38	31/01/2012	7407,17	7407,260	3565,74	3574,240	11385,76	11424,60
		7407,17	7407,260	3567,35	3574,240	11385,76	11425,06
		7407,17	7407,170	3570,96	3574,240	11385,76	11426,91
39	02/01/2012	7407,17	7407,260	3590,73	3591,540	11436,39	11473,73
		7407,26	7407,260	3590,73	3591,540	11440,78	11474,69
		7407,26	7407,260	3590,73	3591,540	11441,12	11476,55
40	09/02/2012	7542,02	7542,02	3673,98	3673,98	11664,77	11679,85
		7548,81	7548,81	3673,98	3673,98	11666,08	11682,19
		7552,87	7552,87	3673,98	3673,98	11669,99	11690,16

Fuente: sistema de generación de vapor de la industria de bebidas.

Medición de nivel de agua en el tanque de retorno de condensados y deareador

No.	Fecha	Tanque de condensados		Tanque deareador	
		Altura 1 (cm)	Altura 2 (cm)	Altura 1 (cm)	Altura 2 (cm)
1	17/10/2011	81,00	92,00	66,00	57,00
		89,00	92,50	69,00	61,00
		64,00	99,50	65,00	61,00
2	18/10/2011	92,00	90,00	57,00	51,00
		92,50	88,00	61,00	57,00
		99,50	95,00	61,00	57,00
3	24/10/2011	85,00	102,00	68,00	57,00
		99,00	96,00	67,00	51,00
		87,00	109,00	67,00	68,00
4	25/10/2011	102,00	87,00	57,00	58,00
		96,00	98,00	51,00	59,00
		109,00	92,50	68,00	62,00
5	26/10/2011	87,00	87,00	58,00	58,50
		98,00	102,00	59,00	60,00
		92,50	93,50	62,00	58,00
6	02/11/2011	87,50	92,00	57,00	61,00
		85,00	102,00	57,00	71,00
		85,00	91,00	61,50	58,50
7	03/11/2011	92,00	87,00	61,00	67,00
		102,00	90,00	71,00	68,00
		91,00	90,00	58,50	66,00
8	08/11/2011	90,00	90,00	63,50	61,00
		91,00	89,00	66,00	56,00
		95,00	80,00	58,00	58,00
9	09/11/2011	90,00	64,00	61,00	64,00
		89,00	98,00	56,00	64,00
		80,00	87,50	58,00	66,00
10	10/11/2011	64,00	89,00	64,00	64,00
		98,00	83,00	64,00	61,00
		87,50	78,00	66,00	67,00

Continuación del apéndice 6

11	15/11/2011	85,00	92,00	61,00	61,00
		98,00	109,00	61,50	57,00
		96,00	90,00	63,00	57,00
12	16/11/2011	92,00	93,00	61,00	66,00
		109,00	76,00	57,00	67,00
		90,00	92,00	57,00	62,00
13	17/11/2011	93,00	88,00	66,00	66,00
		76,00	83,00	67,00	66,00
		92,00	90,00	62,00	65,00
14	23/11/2011	96,00	101,50	63,00	58,00
		103,00	76,00	64,00	59,00
		92,50	92,00	63,00	62,00
15	24/11/2011	101,50	79,00	58,00	61,00
		76,00	74,00	59,00	58,00
		92,00	88,00	62,00	60,00
16	28/11/2011	96,00	93,00	61,50	64,00
		90,00	89,00	71,00	66,50
		87,00	91,00	61,00	61,00
17	29/11/2011	93,00	90,00	64,00	57,00
		89,00	90,00	66,50	67,00
		91,00	64,00	61,00	64,00
18	30/11/2011	90,00	98,00	57,00	63,00
		90,00	109,00	67,00	66,00
		64,00	76,00	64,00	66,00
19	01/12/2011	98,00	92,00	63,00	60,50
		109,00	89,00	66,00	62,00
		76,00	96,00	66,00	62,00
20	06/12/2011	101,50	110,00	61,00	60,00
		87,00	94,00	61,00	61,50
		89,00	98,00	58,50	52,50
21	07/12/2011	110,00	103,00	60,00	72,00
		94,00	87,50	61,50	71,00
		98,00	101,50	52,50	61,00

Continuación del apéndice 6

22	08/12/2011	103,00	99,00	72,00	70,00
		87,50	98,00	71,00	66,00
		101,50	96,00	61,00	66,00
23	13/12/2011	96,00	93,00	63,50	63,50
		92,00	90,00	62,00	63,50
		101,50	98,00	65,00	66,00
24	14/12/2011	93,00	87,00	63,50	63,50
		90,00	88,00	63,50	62,00
		98,00	88,00	66,00	62,50
25	21/12/2011	87,00	89,00	58,00	56,00
		81,00	80,00	61,00	61,00
		90,00	87,00	59,00	62,00
26	22/12/2011	89,00	89,00	56,00	63,50
		80,00	83,00	61,00	57,00
		87,00	85,00	62,00	60,00
27	28/12/2011	100,00	64,00	62,00	57,00
		94,00	76,00	45,00	60,00
		86,00	92,00	65,00	63,00
28	29/12/2011	64,00	91,00	57,00	57,00
		76,00	78,00	60,00	64,00
		92,00	84,00	63,00	59,00
29	04/01/2012	96,00	92,50	61,50	61,50
		98,00	101,00	57,00	56,00
		103,00	87,50	56,00	65,00
30	05/01/2012	92,50	56,00	61,50	93,00
		101,00	91,00	56,00	66,00
		87,50	88,00	65,00	65,00
31	10/01/2012	99,50	82,00	52,50	71,50
		101,50	65,50	61,00	60,00
		85,00	76,00	62,50	57,00
32	11/01/2012	82,00	93,00	75,00	64,00
		65,50	91,00	60,00	65,00
		76,00	97,00	57,00	55,00
33	17/01/2012	85,00	96,00	71,00	58,50
		99,00	92,00	62,00	61,00
		98,00	87,00	58,50	62,00

Continuación del apéndice 6

34	18/01/2012	96,00	83,50	58,50	65,00
		92,00	85,00	61,00	63,50
		87,00	82,00	62,00	59,00
35	24/01/2012	99,00	109,00	60,50	58,00
		102,00	101,00	61,00	53,50
		96,00	91,00	63,50	62,00
36	25/01/2012	109,00	90,00	58,00	65,00
		101,00	87,00	53,50	66,00
		91,00	87,00	62,00	58,00
37	26/01/2012	90,00	88,00	65,00	66,00
		87,00	83,00	66,00	67,00
		87,00	89,50	58,00	64,00
38	31/01/2012	93,00	89,00	59,00	65,00
		89,00	90,00	68,00	58,50
		90,50	88,00	58,00	57,00
39	02/01/2012	88,00	95,00	67,00	62,00
		82,00	95,00	61,00	62,00
		88,00	90,00	56,00	65,00
40	09/02/2012	87,00	85,00	71,00	50,00
		91,00	90,00	58,50	61,00
		91,00	97,00	63,00	62,00

Fuente: sistema de generación de vapor de la industria de bebidas.

Cantidad de agua purgada en las calderas

No.	Fecha	Caldera (BHP)	Purga (m3)	Total de purga (m3)
1	17/10/2011	600	0,80	1,60
		1000	0,00	
		800	0,80	
2	18/10/2011	600	0,80	1,60
		1000	0,00	
		800	0,80	
3	24/10/2011	600	0,80	1,60
		1000	0,00	
		800	0,80	
4	25/10/2011	600	0,80	1,60
		1000	0,00	
		800	0,80	
5	26/10/2011	600	0,80	1,60
		1000	0,00	
		800	0,80	
6	02/11/2011	600	0,80	1,60
		1000	0,00	
		800	0,80	
7	03/11/2011	600	0,80	0,80
		1000	0,00	
		800	0,00	
8	08/11/2011	600	0,80	2,40
		1000	0,80	
		800	0,80	
9	09/11/2011	600	0,80	2,00
		1000	0,40	
		800	0,80	
10	10/11/2011	600	0,80	1,60
		1000	0,00	
		800	0,80	

Continuación del apéndice 6

11	15/11/2011	600	0,80	2,00
		1000	0,80	
		800	0,40	
12	16/11/2011	600	0,80	2,00
		1000	0,80	
		800	0,40	
13	17/11/2011	600	0,40	1,20
		1000	0,80	
		800	0,00	
14	23/11/2011	600	0,40	1,60
		1000	0,80	
		800	0,40	
15	24/11/2011	600	0,00	0,80
		1000	0,80	
		800	0,00	
16	28/11/2011	600	0,40	1,20
		1000	0,80	
		800	0,00	
17	29/11/2011	600	0,40	2,00
		1000	0,80	
		800	0,80	
18	30/11/2011	600	0,80	1,60
		1000	0,80	
		800	0,00	
19	01/12/2011	600	0,00	0,80
		1000	0,80	
		800	0,00	
20	06/12/2011	600	0,40	2,00
		1000	0,80	
		800	0,80	
21	07/12/2011	600	0,00	1,60
		1000	0,80	
		800	0,80	
22	08/12/2011	600	0,00	0,80
		1000	0,00	
		800	0,80	

Continuación del apéndice 6

23	13/12/2011	600	0,00	1,60
		1000	0,80	
		800	0,80	
24	14/12/2011	600	0,00	1,60
		1000	0,80	
		800	0,80	
25	21/12/2011	600	0,40	1,60
		1000	0,80	
		800	0,40	
26	22/12/2011	600	0,40	2,00
		1000	0,80	
		800	0,80	
27	28/12/2011	600	0,40	2,00
		1000	0,80	
		800	0,80	
28	29/12/2011	600	0,00	0,80
		1000	0,00	
		800	0,80	
29	04/01/2012	600	0,00	1,60
		1000	0,80	
		800	0,80	
30	05/01/2012	600	0,00	1,20
		1000	0,80	
		800	0,40	
31	10/01/2012	600	0,40	2,00
		1000	0,80	
		800	0,80	
32	11/01/2012	600	0,00	1,20
		1000	0,80	
		800	0,40	
33	17/01/2012	600	0,80	1,60
		1000	0,00	
		800	0,80	
34	18/01/2012	600	0,80	1,60
		1000	0,00	
		800	0,80	

Continuación del apéndice 6

35	24/01/2012	600	0,80	2,00
		1000	0,80	
		800	0,40	
36	25/01/2012	600	0,80	1,60
		1000	0,80	
		800	0,00	
37	26/01/2012	600	0,40	2,00
		1000	0,80	
		800	0,80	
38	31/01/2012	600	0,00	1,20
		1000	0,40	
		800	0,80	
39	02/01/2012	600	0,00	0,80
		1000	0,00	
		800	0,80	
40	09/02/2012	600	0,00	0,80
		1000	0,00	
		800	0,80	

Fuente: sistema de generación de vapor de la industria de bebidas.