



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

VIABILIDAD ECONÓMICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CONDENSADOS

Sindy Fabiola Rossi Caballeros

Asesorado por la Inga. Claudia Carolina Ronquillo Blau
e Inga. Leslie María Rossi Caballeros

Guatemala, junio de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**VIABILIDAD ECONÓMICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN
SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CONDENSADOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

SINDY FABIOLA ROSSI CABALLEROS

ASESORADO POR LA INGA. CLAUDIA CAROLINA RONQUILLO BLAU
E INGA. LESLIE MARÍA ROSSI CABALLEROS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, JUNIO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL I	
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
EXAMINADOR	Ing. Mario José Mérida Mere
EXAMINADOR	Ing. Erwin Manuel Ortiz Castillo
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:

VIABILIDAD ECONÓMICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CONDENSADOS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 22 de noviembre de 2013.

Sindy Fabiola Rossi Caballeros



Guatemala, marzo de 2015

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón
Director Escuela de Ingeniería Química
USAC

Estimado Ing. Monzón:

Atentamente hago de su conocimiento que he asesorado personalmente el informe final de trabajo de graduación titulado "Viabilidad económica para la implementación de un sistema de recuperación de condensados", realizado por la estudiante Sindy Fabiola Rossi Caballeros con carné 200819362.

En base a lo anterior le manifiesto que el trabajo reúne las condiciones requeridas para su aprobación.

Sin otro particular me suscribo de usted.

Respetuosamente,

Inga. Claudia Carolina Ronquillo Blau

Colegiado No. 986

CLAUDIA RONQUILLO
Ingeniera Química
Col.986



Guatemala, abril de 2015

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón
Director Escuela de Ingeniería Química
USAC

Estimado Ing. Monzón:

Atentamente hago de su conocimiento que la estudiante Sindy Fabiola Rossi Caballeros, con carné 200819362 realizó el informe final de trabajo de graduación titulado "Viabilidad económica para la implementación de un sistema de recuperación de condensados", el cual personalmente he co-asesorado.

En base a lo anterior le manifiesto que el trabajo reúne las condiciones requeridas para su aprobación.

Sin otro particular me suscribo de usted.

Respetuosamente,

Inga. Leslie María Rossi Caballeros
Colegiado No. 1603



Guatemala, 11 de mayo de 2015.
Ref. EIQ.TG-IF.023.2015.

Ingeniero
Victor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **178-2013** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por la estudiante universitaria: **Sindy Fabiola Rossi Caballeros**.
Identificada con número de carné: **2008-19362**.
Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA**.

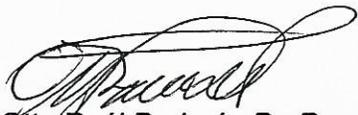
Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

VIABILIDAD ECONÓMICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CONDENSADOS

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por la Ingeniera Química: **Claudia Carolina Ronquillo Blau**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


ing. Otto Raúl De León De Paz
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo

Ref.EIQ.TG.069.2015

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación de la estudiante, **SINDY FABIOLA ROSSI CABALLEROS** titulado: **"VIABILIDAD ECONÓMICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CONDENSADOS"**.
Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

"Id y Enseñad a Todos"



Ing. Víctor Manuel Manzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, junio 2015

Cc: Archivo
VMMV/ale



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **VIABILIDAD ECONÓMICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CONDENSADOS**, presentado por la estudiante universitaria: **Sindy Fabiola Rossi Caballeros**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Angel Roberto Sic García
Decano

Guatemala, 8 de junio de 2015

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

El Creador	Por darme la vida y llenarme de bendiciones.
Mis padres	Oscar Anibal Rossi Luther y Miriam Aracely Caballeros García, por ser mis guías y proveerme de educación y amor.
Mis hermanos	Leslie María y Oscar Josué Rossi Caballeros, por su apoyo incondicional y amor.
Mis abuelos	Roberto Rossi (q. e. p. d.) y Carmen Luther; por haber sido mis segundos padres.
Ing. Santiago Méndez	Mi fiel amigo (q. e. p. d.).

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi segunda casa educadora.
Facultad de Ingeniería	Por proveerme de las herramientas que me forjarán como profesional.
Mis educadores	Catedráticos de Ingeniería Química, por transmitirme sus conocimientos.
Mi asesora	Inga. Claudia Ronquillo, por guiarme en el proceso del presente informe y proveerme de las herramientas necesarias para poder concluirlo con éxito.
Mi novio y amigos	Estuardo García, Paola Méndez, Lervi Monzón, Santiago Méndez, José Carlos de León, Flor Valdez, Amadeo García, Andrea Lacán, Hugo Chenal, José Palacios, entre otros; por los momentos compartidos y su amistad.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
Hipótesis	XIV
INTRODUCCIÓN	XV
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Vapor de agua en la industria.....	3
2.1.1. Generación de vapor de agua en la industria	3
2.1.2. Razones para el uso de vapor de agua en la industria	4
2.2. Formación de condensado	4
2.2.1. Importancia de la remoción de condensado	5
2.3. Trampas de vapor.....	5
2.3.1. Características de las trampas de vapor	6
2.3.2. Tipos de trampas de vapor	6
2.3.2.1. Trampas de vapor mecánicas.....	6
2.3.2.2. Trampas de vapor termostáticas	7
2.3.2.3. Trampas de vapor termodinámicas	8
3. DISEÑO METODOLÓGICO	9

3.1.	Variables	9
3.1.1.	Independientes	10
3.1.2.	Dependientes	11
3.2.	Delimitación del campo de estudio	12
3.2.1.	Tipo de estudio	12
3.2.2.	Diseño general	12
3.2.3.	Población de estudio	13
3.2.4.	Selección y tamaño de la muestra	13
3.2.5.	Unidades de análisis de observación	13
3.3.	Recursos humanos disponibles.....	14
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	14
3.4.1.	Equipo de medición y protección.....	14
3.5.	Técnica cuantitativa y cualitativa	14
3.5.1.	Monitoreo y muestreo.....	15
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	15
3.7.	Tabulación y procesamiento de la información	21
3.8.	Análisis estadístico.....	21
4.	RESULTADOS.....	23
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	33
	CONCLUSIONES.....	35
	RECOMENDACIONES	37
	BIBLIOGRAFÍA.....	39
	APÉNDICES.....	41
	ANEXOS.....	43

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Flujo volumétrico en función del tiempo de duración de dos cocimientos, para la trampa 1 y 2.....	23
2.	Flujo volumétrico en función del tiempo de duración de dos cocimientos, para la trampa 3.....	24
3.	Flujo volumétrico en función del tiempo de duración de dos cocimientos, para la trampa 4.....	24
4.	Flujo volumétrico en función del tiempo de duración de dos cocimientos, para la trampa 5.....	25
5.	Flujo volumétrico en función del tiempo de duración de dos cocimientos, para la trampa 6.....	25
6.	Flujo volumétrico en función del tiempo de duración de dos cocimientos, para la trampa 7.....	26
7.	Flujo volumétrico en función del tiempo de duración de dos cocimientos, para la trampa 8.....	26
8.	Flujo volumétrico en función del tiempo de duración de dos cocimientos, para la trampa 11.....	27
9.	Flujo volumétrico en función del tiempo de duración de dos cocimientos, para la trampa 12.....	27
10.	Flujo volumétrico en función del tiempo de duración de dos cocimientos, para la trampa 16.....	28
11.	Flujo volumétrico en función del tiempo de duración de dos cocimientos, para la trampa 17.....	28

12.	Flujo volumétrico en función del tiempo de duración de dos cocimientos, para la trampa 18.	29
13.	Flujo volumétrico en función del tiempo de duración de dos cocimientos, para la trampa 19.	29
14.	Flujo volumétrico en función del tiempo de duración de dos cocimientos, para la trampa 25.	30
15.	Flujo volumétrico en función del tiempo de duración de dos cocimientos, para la trampa 26.	30
16.	Flujo volumétrico en función del tiempo de duración de dos cocimientos, para la trampa 33.	31
17.	Flujo volumétrico en función del tiempo de duración de dos cocimientos, para la trampa 34.	31
18.	Flujo volumétrico en función del tiempo de duración de dos cocimientos, para la trampa 36.	32

TABLAS

I.	Variables del sistema	9
II.	Variables independientes.	10
III.	Variables dependientes.	11
IV.	Flujo volumétrico de condensado para las trampas de vapor termostáticas relacionadas al equipo cocedor de adjuntos.	16
V.	Flujo volumétrico de condensado para las trampas de vapor termostáticas relacionadas al equipo olla de cocción.....	17
VI.	Flujo volumétrico de condensado para las trampas de vapor termostáticas relacionadas al equipo macerador.	18
VII.	Flujo volumétrico de condensado para las trampas de vapor termostáticas al inicio de la tubería de vapor.	19

VIII.	Flujo volumétrico de condensado para las trampas de vapor termostáticas relacionadas al equipo calentador de agua.....	20
IX.	Flujo volumétrico de condensado para las trampas de vapor termostáticas con un flujo estable.	20
X.	Temperaturas.	20
XI.	Datos recolectados.....	21
XII.	Condensado drenado durante un año.	32
XIII.	Análisis económico de la implementación de un sistema de recuperación de condensado.	32

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Bhp	<i>Boiler horsepower</i> , caballo de fuerza de caldera
BTU	<i>British thermal unit</i> , unidad térmica británica
Cp	Capacidad calorífica
U	Coefficiente de transferencia de calor
ϵ	Eficiencia
\dot{v}	Flujo volumétrico
T	Temperatura
t	Tiempo
V	Voltios

GLOSARIO

Búnker	Combustible líquido grado 6, mezcla residual proveniente de la destilación fraccionada del petróleo crudo.
Calor latente	Energía requerida por una cantidad de sustancia para cambiar de fase, sin que exista un cambio de temperatura durante este cambio.
Calor sensible	Energía que recibe un cuerpo que eleva su temperatura sin que cambie su estructura molecular o su fase.
Capacidad calorífica	Representa la capacidad de almacenamiento de calor de un material.
CIP	Sistema utilizado para la limpieza de todas las áreas que entran en contacto con los elementos del proceso, sin desmontar el equipo.
Cocimiento	Resultado de la etapa del proceso de elaboración de cerveza, en donde se convierten los almidones en azúcares fermentables y se solubiliza parte de proteína presente.
Condensado	Vapor condensado en agua líquida.

Energía de activación	Representa la barrera de energía que deben superar las moléculas para que tenga lugar la reacción.
Entalpía	Energía total que un sistema intercambia con sus alrededores.
Golpe de ariete	Pulsación (golpe) en la tubería debida a una onda de presión que se propaga en toda la línea; onda provocada por la desaceleración repentina hasta una velocidad cero del líquido, mediante una válvula de cierre rápido.
Ósmosis inversa	Paso selectivo de moléculas de agua de una disolución más concentrada a una menos concentrada a través de una membrana semipermeable, utilizando presiones mayores a la presión osmótica.
Poder calorífico	Cantidad de energía que desprende un combustible en una unidad de masa o volumen, al oxidarse completamente en una reacción de combustión.
Presión de vapor	Presión que ejercen las moléculas de un fluido al cambiar de estado líquido a vapor, siendo una propiedad de la fase líquida del fluido.
Vapor instantáneo	Vapor formado a partir del condensado de vapor caliente cuando existe una reducción en la presión.

RESUMEN

Se evaluó la viabilidad en la implementación de un sistema de recuperación de condensados; para lo cual se realizó una serie de gráficas que representan el comportamiento del flujo volumétrico del condensado drenado en el área de cocimientos de una fábrica de cerveza. Asimismo, se determinó la cantidad total drenada, se estableció el ahorro económico total que se obtendría con un sistema de recuperación de condensados y se determinó la tasa interna de retorno de la inversión.

Se utilizó el método de cubeteo para determinar los flujos volumétricos del condensado en cada trampa de vapor y se realizó la toma de temperaturas y recolección de los datos necesarios para los cálculos en el sistema de generación de vapor. La inversión del sistema se determinó tomando en cuenta: costos de tubería, bombas, accesorios e instalación, así como los gastos operacionales anuales.

La cantidad de condensado drenado por año es de 458,65 m³. El ahorro energético en el sistema de vapor es de $2,02 \times 10^{10}$ J por año y el ahorro económico es de Q.5 904,57 por año, ahorro obtenido al implementar un sistema de recuperación de condensados. Se calculó la tasa interna de retorno para 5 años, donde se obtuvo un -53 %, concluyendo que no existe porcentaje de beneficio con la inversión, por lo que no es viable.

OBJETIVOS

General

Comprobar la factibilidad de la implementación de un sistema de recuperación de condensado, determinando la cantidad de condensado drenado en trampas de vapor termostáticas, realizando un análisis económico si se recuperara dicho condensado y calculando la tasa interna de retorno de la inversión.

Específicos

1. Determinar el comportamiento del flujo volumétrico de condensado drenado en función de las etapas de producción, por cada trampa de vapor termostática, por medio de gráficas.
2. Determinar la cantidad de condensado drenado durante un año, en las trampas de vapor termostáticas.
3. Establecer el ahorro económico total que se obtendría al implementar el sistema de recuperación de condensado.
4. Establecer la tasa interna de retorno del proyecto.

Hipótesis

La implementación de un sistema de recuperación de condensado en las 19 trampas de vapor termostáticas analizadas, conlleva costos de instalación y mantenimiento mayores al ahorro económico obtenido a partir de dicho sistema.

Hipótesis nula:

La cantidad de condensado drenado en las trampas de vapor termostáticas no es significativa, por lo que económicamente no es viable la implementación de un sistema de recuperación de condensados.

Hipótesis alternativa:

La cantidad de condensado drenado en las trampas de vapor termostáticas es significativa económicamente, lo que conlleva a la implementación de un sistema de recuperación de condensados.

INTRODUCCIÓN

Con un sistema de recuperación de condensados de vapor de agua se recupera la masa de agua tratada, debido a que el condensado que se forma en los equipos del proceso y líneas de vapor se reutiliza como agua de alimento para la caldera; asimismo se recupera la energía térmica contenida en el condensado, debido a que la cantidad de calor que se necesita para llevar a ebullición el agua de alimentación de la caldera es menor.

Los beneficios obtenidos a partir de la implementación de dicho sistema son la reducción del combustible necesario para generar vapor y la reducción en los químicos utilizados para tratar el agua y el combustible. El vapor que se condensa tiene la característica de contener calor sensible, sin impurezas disueltas.

Como parte del proceso dentro de casa de cocimientos los siguientes equipos utilizan vapor: cocedor de adjuntos, macerador, olla de cocción, calentador de agua, calentador de azúcar y calentador de soda; asimismo se encuentran instaladas diecisiete trampas de vapor tipo flotador; estas trampas de vapor forman parte de un sistema de recuperación de condensado. El condensado recuperado se transporta a un tanque, para ser bombeado seguidamente al área de calderas.

También se encuentran instaladas diecinueve trampas de vapor termostáticas, en toda la línea de vapor de dicha área; estas conducen el condensado al drenaje y serán parte de este estudio.

1. ANTECEDENTES

En el 2007, Carlos Aníbal Ríos Rivas realizó el trabajo de graduación titulado *Consideraciones para el drenado y recuperación del condensado en sistemas de vapor*, el cual se enfoca en la importancia de recuperar el condensado a la caldera, sustentándose en costos ahorrados al realizarlo, con fundamentos teóricos en los sistemas de vapor para calentamiento, utilizado en las industrias en general.

Se demuestra que las razones por las que se recupera condensado de los equipos son la reducción de cargas de agua y en cargas de afluencia, reducción de costos de enfriamiento y combustible, mayor vapor producido en caldera y reducción en costos de tratamiento químico del agua de reposición.

En el 2008, Ronald Gustavo Hernández Basarreyes realizó el trabajo de graduación titulado *Propuesta de ahorro de energía, mediante el uso adecuado del sistema de distribución de vapor y retorno de condensados en una empresa textil*, en el cual se recomienda que para reducir costos de operación del sistema de vapor se deben mejorar las trampas de vapor instaladas, capacitar al personal encargado del sistema de vapor, reducir el número de purgas en la caldera y elaborar un programa de mantenimiento preventivo.

En el 2009, Miriam Martínez Herranz realizó el trabajo de graduación de máster titulado *Sistema de recuperación de condensados en una línea de decapado de bobinas laminadas en caliente*, en el cual se analiza el sistema de vapor en la línea de decapado de bobinas laminadas en una empresa del sector siderúrgico.

Se demuestra que a partir de la instalación del sistema de recuperación de condensados se ahorra agua desmineralizada en los baños de lavado, se reduce el consumo de vapor de la línea y la generación de aguas residuales generadas, permitiendo desarrollar el proceso de decapado de una forma más eficiente desde el punto de vista energético.

En el 2013, Francisco José Ronquillo Marroquín realizó el trabajo de graduación titulado *Evaluación del sistema de vapor de una industria de bebidas para la reducción de las pérdidas de condensados de vapor*, en el cual se analizó el sistema de generación de vapor de una industria de bebidas para cuantificar las pérdidas de condensados de vapor, y proponer soluciones para minimizar dichas pérdidas. Asimismo, se determinó su viabilidad, realizando el cálculo de los costos de fabricación e instalación.

Se demuestra que la mayor pérdida de condensados se da en la evaporación instantánea, y la recuperación de este vapor genera un beneficio monetario anual de Q. 115 963,00.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Vapor de agua en la industria

Las industrias alimenticias, petroquímicas, farmacéuticas, textiles, entre otras, demandan grandes cantidades de energía para la producción de vapor de agua. Este se utiliza en la industria para calentar sustancias, materia prima y/o productos sin que exista contacto entre el vapor y la sustancia, y se realiza en equipos como intercambiadores de calor y marmitas. El vapor de agua también se utiliza para sanitización, esterilización o lavados, con contacto directo entre el vapor y la sustancia.

2.1.1. Generación de vapor de agua en la industria

La generación del vapor de agua en la industria se realiza por medio de equipos llamados calderas, los cuales evaporan el agua a partir de un calentamiento producido por la quema de un combustible, es decir, un proceso de combustión. La energía química del combustible se convierte en energía térmica.

Existen dos tipos de calderas, pirotubular y acuatubular. El tipo de caldera comúnmente utilizado en el calentamiento de sustancias en las industrias es la pirotubular, debido a que produce vapor saturado. En este tipo de calderas los gases de combustión circulan por el interior de los tubos, mientras que el vapor y el agua, por afuera de los tubos. Las calderas pirotubulares tienen en el centro un tubo de fuego donde circulan los gases de combustión y retornan por el interior de los tubos.

El combustible es el material utilizado para producir calor; este reacciona con oxígeno (O₂) a través de una energía de activación. Las calderas que utilizan búnker como combustible tienen una energía de activación de 1200 V; las calderas que queman dicho combustible tienen capacidad de hasta 1200 Bhp.

2.1.2. Razones para el uso de vapor de agua en la industria

- Poder calorífico relativamente alto
- Excelente coeficiente de transferencia de calor (2,3-2,9kW/m²°C)
- No presenta riesgo de incendio
- Sistema de control de presión y temperatura simple

2.2. Formación de condensado

Luego de generar vapor de agua en la caldera, se transporta por medio de una tubería hasta los equipos de proceso. Las tuberías se aíslan y se recubren para minimizar la pérdida de calor; sin embargo, en el momento en el que el vapor sale de la caldera empieza a ceder su entalpía a la tubería, ya que esta se encuentra a una temperatura menor.

Parte del vapor se condensa, convirtiéndose en agua a la misma temperatura debido a su calor latente. De manera semejante, en el momento en el que el vapor transfiere su calor a las paredes del fluido con menor temperatura, el vapor se condensa.

2.2.1. Importancia de la remoción de condensado

El condensado formado en la línea de vapor y en los equipos de proceso debe ser retirado debido a lo siguiente: a pesar de que la temperatura del vapor y del condensado recién formado es la misma, la temperatura del condensado empieza a disminuir conforme este transfiere su energía a la tubería, provocando que finalmente se transfiera menor calor al producto que se va a calentar. La máxima transferencia de calor al producto se obtiene eliminando lo más rápido posible el condensado, ya que la presencia de este disminuye el calor sensible del vapor, así como también el área de transferencia de calor.

Otra razón por la que es importante la remoción de condensado, es que la presencia de este crea bloqueo en la línea de vapor, por lo que puede producir daños al equipo (tubería y accesorios), como la erosión. El condensado, al golpear repetidamente la tubería, puede causar desgaste gradual en su superficie, y ocasionar fugas de vapor. El condensado de vapor a alta velocidad causa daño físico a la tubería y acelera la corrosión, ya que remueve el tratamiento superficial interno de la tubería.

2.3. Trampas de vapor

Válvulas automáticas que filtran el condensado y los gases no condensables como el aire, sin dejar escapar el vapor. Las trampas de vapor deben cumplir con tres funciones principales:

- Descargar el condensado
- No dejar escapar el vapor
- Descargar aire y otros gases no condensables

Al cumplir con estas tres funciones principales se aprovecha al máximo la capacidad calorífica del vapor de agua durante el proceso. Al eliminar aire se evitan bloqueos y al eliminar gases como por ejemplo el CO₂, se evita la formación de ácido carbónico.

2.3.1. Características de las trampas de vapor

Adicionalmente a las principales funciones como la descarga de condensado y gases no condensables, así como la pérdida mínima de vapor, las trampas de vapor poseen otras características:

- Larga vida y servicio seguro
- Resistencia a la corrosión
- Funcionamiento con contrapresión

2.3.2. Tipos de trampas de vapor

Las trampas de vapor se pueden clasificar en tres categorías:

- Trampas de vapor mecánicas
- Trampas de vapor termostáticas
- Trampas de vapor termodinámicas

2.3.2.1. Trampas de vapor mecánicas

Se accionan por el nivel del condensado. Detectan la diferencia de fase entre el vapor y el condensado, mediante la diferencia de densidad entre ambas fases. Emplea un flotador mecánico abierto o cerrado, el cual asciende a

medida que el nivel del condensado incrementa, abriendo una válvula, y cuando se encuentra en presencia del vapor se mantiene cerrada.

Este tipo de trampas de vapor no permite el venteo de aire o de gases no condensables, ya que únicamente son detectoras de fase, por ello se incorporan elementos térmicos en algunas versiones.

Los tipos de trampas de vapor mecánicas más comunes son: flotador libre, flotador y palanca, flotador y termostato, balde abierto, balde invertido, entre otras.

2.3.2.2. Trampas de vapor termostáticas

Son accionadas por la temperatura del condensado y responden a cambios de temperatura, así de esta manera la trampa distingue entre el vapor y los gases no condensables más fríos. Requieren de un tubo que recolecta el condensado, donde se enfría y se obtiene la diferencia de temperatura, mediante la cual funciona un elemento termostático.

El elemento de fuelle termostático se encuentra contraído al momento del paso de aire y gases no condensables, permaneciendo abierta la válvula.

Cuando el vapor llega a la trampa, la temperatura dentro de esta se incrementa, el elemento de fuelle se calienta de manera rápida y la presión del vapor dentro de él también aumenta. En el momento en el que la presión dentro del fuelle se iguala con la presión en el cuerpo de la trampa, el elemento de fuelle termostático se expande y la válvula se cierra.

2.3.2.3. Trampas de vapor termodinámicas

Son accionadas por dinámica del fluido. Operan debido a la diferencia de velocidad entre el vapor y el condensado. Estas trampas de vapor detectan la fase, por lo que no detectan el aire y los gases no condensables.

Este tipo de trampas de vapor pierden algo de vapor en condiciones de baja carga. El condensado, a una temperatura cercana a la del vapor produce vapor instantáneo que al salir por el orificio causa que la trampa cierre.

La presión del condensado levanta el disco de su asiento para iniciar la descarga, la cual termina hasta que la temperatura del condensado se acerca a la temperatura del vapor. La alta velocidad del vapor instantáneo que pasa bajo el disco reduce la presión en esa área, por lo que presuriza la cámara de control y empuja el disco contra su asiento, cerrando completamente la descarga. La presión del vapor en la cámara de control mantiene cerrada la trampa.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Se describen las variables del sistema en la siguiente tabla.

Tabla I. Variables del sistema

Variable	Dimensional	Factor potencial de diseño		Factores perturbadores	
		Constante	Variable	Controlable	No controlable
Análisis del proceso					
Flujo volumétrico de condensado	m ³ /s		X		X
Tiempo de las etapas de 1 cocimiento	s	X		X	
Temperatura del condensado	K		X		X
Temperatura del agua de reposición	K		X	X	
Vapor total producido	kg/año		X	X	
Capacidad calorífica del agua	J/kgK	X		X	
Poder calorífico del búnker	J/m ³	X		X	
Eficiencia de la caldera	adimensional	X			X
Número de cocimientos	adimensional		X	X	

Continuación de la tabla I.

Variable	Dimensional	Factor potencial de diseño		Factores perturbadores	
		Constante	Variable	Controlable	No controlable
Análisis del proceso					
Cantidad de agua de alimentación de la caldera	m ³ /año		X	X	
Costo del búnker	Q/m ³		X		X
Costo de químicos	Q/año		X		X
Condensado drenado al año	m ³ /año		X		X
Fracción de condensado a recuperar	Adimensional		X		X

Fuente: elaboración propia, con base en el formato trabajado en el laboratorio de ingeniería química.

3.1.1. Independientes

Se describen las variables independientes en la siguiente tabla.

Tabla II. **Variables independientes**

No.	Variable	Unidades de medida
1	Temperatura del condensado	K
2	Temperatura del agua de reposición	K
3	Tiempo de las etapas de 1 cocimiento	adimensional

Continuación de la tabla II.

No.	Variable	Unidades de medida
4	Número de cocimientos	adimensional
5	Capacidad calorífica del agua	J/kgK
6	Poder calorífico del búnker	J/m ³
7	Eficiencia de la caldera	%
8	Tiempo trabajado con ósmosis inversa	días
9	Cantidad de agua de alimentación de la caldera	m ³
10	Costo del combustible búnker	Q/m ³
11	Costo de químicos	Q/año

Fuente: elaboración propia.

3.1.2. Dependientes

Se describen las variables dependientes en la siguiente tabla.

Tabla III. **Variables dependientes**

No.	Variable	Unidades de medida
1	Flujo volumétrico del condensado drenado	m ³ /s
2	Condensado drenado al año	m ³ /año
3	Ahorro energético	J/año
4	Ahorro total	Q/año

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación del campo de estudio

- Ubicación: fábrica de cerveza
- Área: casa de cocimientos
- Proceso: elaboración de mosto para cerveza
- Etapa del proceso: generación de vapor de agua, calentamiento a través de vapor de agua y recuperación de condensado de vapor de agua

3.2.1. Tipo de estudio

Para el presente informe, los datos obtenidos experimentalmente se analizan para determinar la viabilidad en la implementación de un sistema de recuperación de condensados en casa de cocimientos, con base en un beneficio económico.

3.2.2. Diseño general

Parte de los condensados en casa de cocimientos son drenados, por lo que se miden los flujos volumétricos de éstos y se determina la cantidad total drenada durante un año y el ahorro económico que se obtendría si se recuperara dicho condensado; asimismo se establece el retorno de la inversión para concluir si la implementación de un sistema de recuperación de condensados tendría beneficio económico directamente para la empresa. Esto con base en costos de inversión como instalación, compra de tubería, accesorios, bombas y material aislante; así como gastos operacionales anuales.

3.2.3. Población de estudio

El sistema de vapor en casa de cocimientos y el área de calderas, ubicadas en una fábrica de cerveza.

Dentro de los equipos en casa de cocimientos existen cinco que utilizan vapor de agua como parte de su funcionamiento para calentamiento. El vapor es generado a partir de una caldera pirotubular que utiliza búnker como combustible, esta se encuentra ubicada en el área de calderas.

3.2.4. Selección y tamaño de la muestra

Las muestras de condensado se seleccionaron en cada una de las etapas que constituyen el proceso de cocimiento, durante el proceso de limpieza CIP y cuando los equipos se encuentran apagados. El tamaño de la muestra varió con dependencia de la velocidad con la que el condensado es expulsado en cada trampa de vapor, variando desde un *beaker* de 50 ml hasta uno de 150 ml.

3.2.5. Unidades de análisis de observación

En el análisis experimental se trabajó con las siguientes unidades: para el flujo volumétrico en mililitros por segundo, la temperatura del condensado y del agua de reposición de la caldera en grados Celsius, la cantidad de condensado drenado total en hectolitros y la energía en MBTU; seguidamente se convirtieron al sistema internacional para el cálculo de los resultados.

3.3. Recursos humanos disponibles

Investigador: Sindy Fabiola Rossi Caballeros

Asesora: Inga. Claudia Carolina Ronquillo Blau

Co asesora: Inga. Leslie María Rossi Caballeros

3.4. Recursos materiales disponibles

El material necesario para las mediciones y cálculos fue proporcionado por la empresa.

3.4.1. Equipo de medición y protección

- Termómetro bimetálico certificado
- *Beaker* de 50 ml
- *Beaker* de 150 ml
- Probeta de 50 ml
- Probeta de 100 ml
- Probeta de 150 ml
- Cronómetro digital
- Guantes de protección térmica

3.5. Técnica cuantitativa y cualitativa

Se describe la técnica de monitoreo y muestreo utilizada en el estudio.

3.5.1. Monitoreo y muestreo

Se establecieron los puntos de muestreo a partir de un monitoreo previo, para la recolección de los datos necesarios en la investigación, siendo estos las salidas de condensado en las diecinueve trampas de vapor termostáticas y el agua de alimentación en la caldera.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

Se realizó un reconocimiento de los equipos que utilizan vapor de agua para el calentamiento de determinada sustancia, así como un conteo de las trampas de vapor de tipo flotador y termostáticas instaladas en la línea de vapor.

Se elaboró un diagrama de equipo del proceso de generación de vapor, así como de los procesos que utilizan dicho vapor.

Se recolectó la información necesaria para los cálculos, la cual fue proporcionada por los profesionales a cargo de cada área dentro de la empresa.

Para la parte experimental, los datos para cada trampa de vapor se recolectaron en tablas con el siguiente formato:

Tabla IV. **Flujo volumétrico de condensado para las trampas de vapor termostáticas relacionadas al equipo cocedor de adjuntos**

Proceso	Tiempo de proceso (s)	Volumen (ml)	Tiempo (s)
Paro del equipo			
Recepción adjuntos			
Inicio del ingreso de vapor			
Ingreso de vapor			
Reposo			
Evacuación de adjuntos			

Fuente: elaboración propia, con base en equipos de casa de cocimiento.

Tabla V. **Flujo volumétrico de condensado para las trampas de vapor termostáticas relacionadas al equipo olla de cocción**

Proceso	Tiempo de proceso (s)	Volumen (ml)	Tiempo (s)
Paro del equipo			
Recepción mosto			
Inicio del ingreso de vapor			
Ingreso de vapor			
Cocción			
Disminución de presión			
Evacuación			

Fuente: elaboración propia, con base en equipos de casa de cocimiento.

Tabla VI. **Flujo volumétrico de condensado para las trampas de vapor termostáticas relacionadas al equipo macerador**

Proceso	Tiempo de proceso (s)	Volumen (ml)	Tiempo (s)
Paro del equipo			
Recepción malta			
Recepción adjuntos			
Inicio ingreso de vapor			
Ingreso de vapor			
Reposo			
Evacuación			

Fuente: elaboración propia, con base en equipos de casa de cocimiento.

Tabla VII. **Flujo volumétrico de condensado para las trampas de vapor termostáticas al inicio de la tubería de vapor**

Proceso	Tiempo de proceso (s)	Volumen (ml)	Tiempo (s)
Ningún ingreso de vapor			
Ingreso de vapor en equipo cocedor de adjuntos			
Ingreso de vapor en equipo olla de cocción			
Ingreso de vapor simultáneamente en equipo macerador y cocedor de adjuntos			
Ingreso de vapor simultáneamente en equipo macerador y olla de cocción			
Ingreso de vapor en equipo calentador de agua			

Fuente: elaboración propia, con base en equipos de casa de cocimiento.

Tabla VIII. **Flujo volumétrico de condensado para las trampas de vapor termostáticas relacionadas al equipo calentador de agua**

Proceso	Tiempo de proceso (s)	Volumen (ml)	Tiempo (s)
Equipo en funcionamiento			
Equipo apagado			

Fuente: elaboración propia, con base en equipos de casa de cocimiento.

Tabla IX. **Flujo volumétrico de condensado para las trampas de vapor termostáticas con un flujo estable**

Volumen (ml)	Tiempo (s)

Fuente: elaboración propia, con base en equipos de casa de cocimiento.

Tabla X. **Temperaturas**

Temperatura de condensado a retornar (K)	Temperatura de agua de reposición en la caldera (K)

Fuente: elaboración propia, con base en equipos de casa de cocimiento.

Tabla XI. **Datos recolectados**

Variable	Datos
Vapor total producido (kg/año)	
Eficiencia de la caldera	
Número de cocimientos al año	
Tiempo trabajado con sistema de ósmosis inversa (días)	
Costo del búnker (Q/m ³)	
Costo de químicos (Q/m ³)	

Fuente: elaboración propia, con base en equipos de casa de cocimiento.

3.7. Tabulación y procesamiento de la información

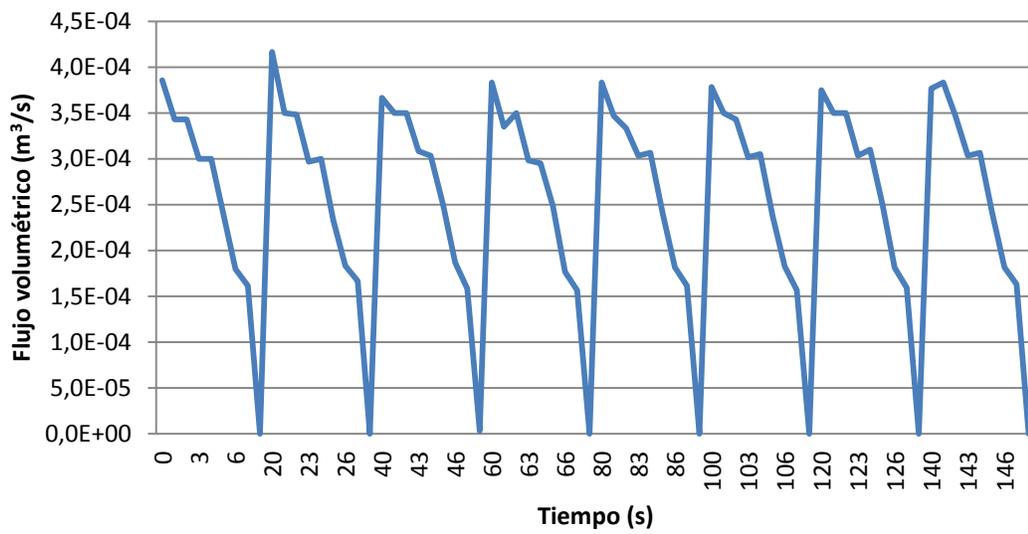
El software utilizado es Microsoft Office Excel para la tabulación de datos y el proceso de información cuantitativa, y Microsoft Office Visio 2013 para el diseño de los diagramas de flujo de proceso en el sistema de vapor.

3.8. Análisis estadístico

Se realizó un análisis de precisión para determinar la dispersión del conjunto de valores, cuanto menor es la dispersión mayor es la precisión. Para ello se calculó la media aritmética, varianza y desviación estándar para cada agrupación de datos en cada una de las trampas de vapor. La mayor desviación estándar es de $1.9 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ en la trampa de vapor 19 y la menor desviación estándar es de $1 \times 10^{-7} \text{ m}^3$ en la trampa de vapor 8.

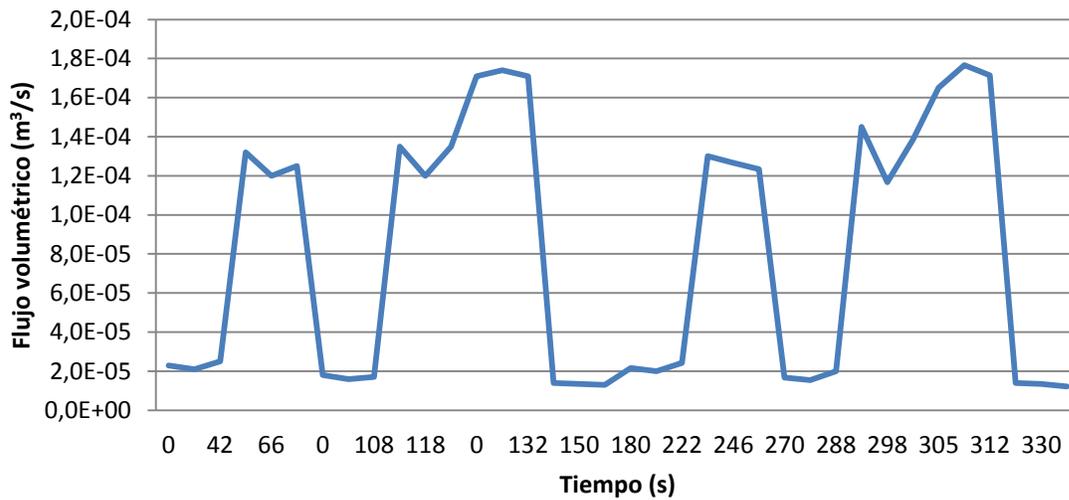
4. RESULTADOS

Figura 1. **Flujo volumétrico en función del tiempo de duración de dos cocimientos, para la trampa 1 y 2**



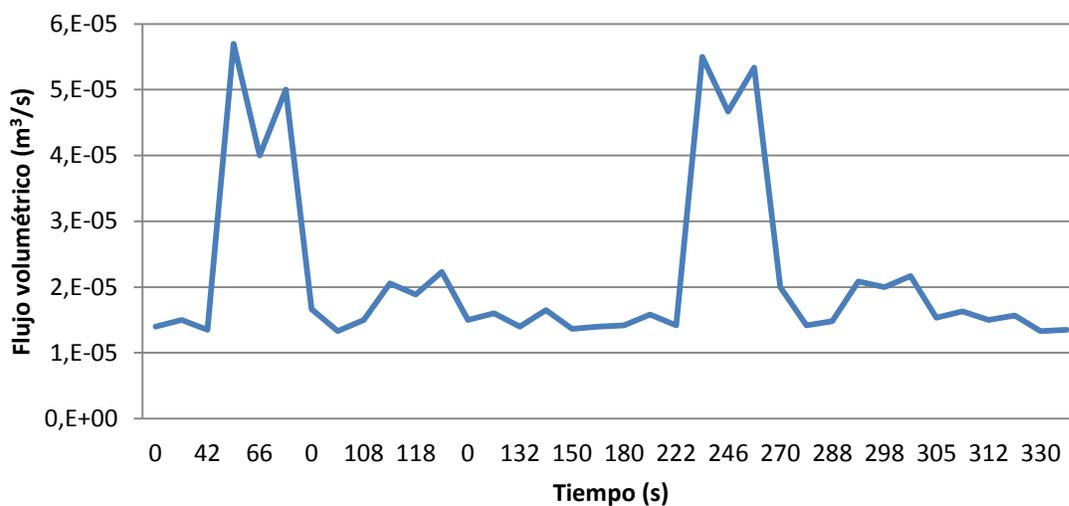
Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información.

Figura 2. **Flujo volumétrico en función del tiempo de duración de dos cocimientos, para la trampa 3**



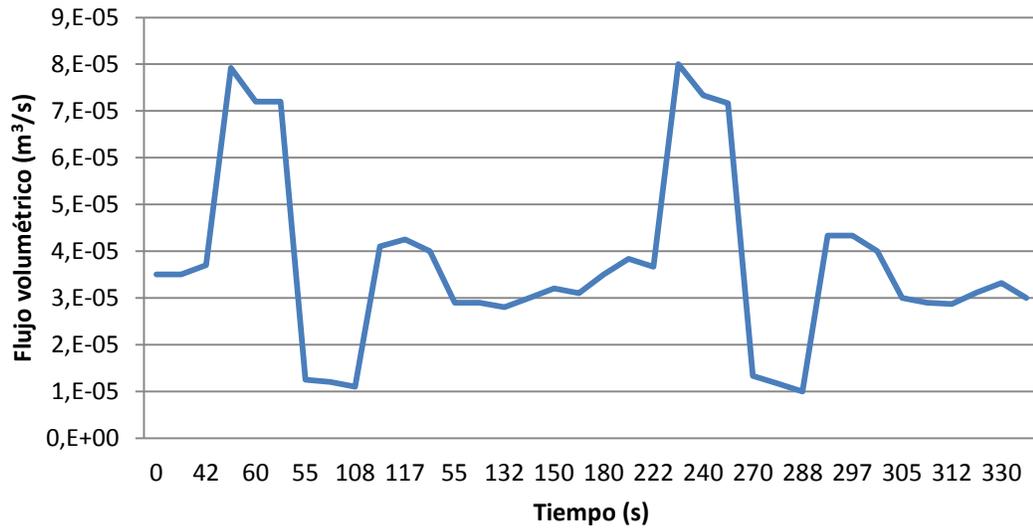
Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información.

Figura 3. **Flujo volumétrico en función del tiempo de duración de dos cocimientos, para la trampa 4**



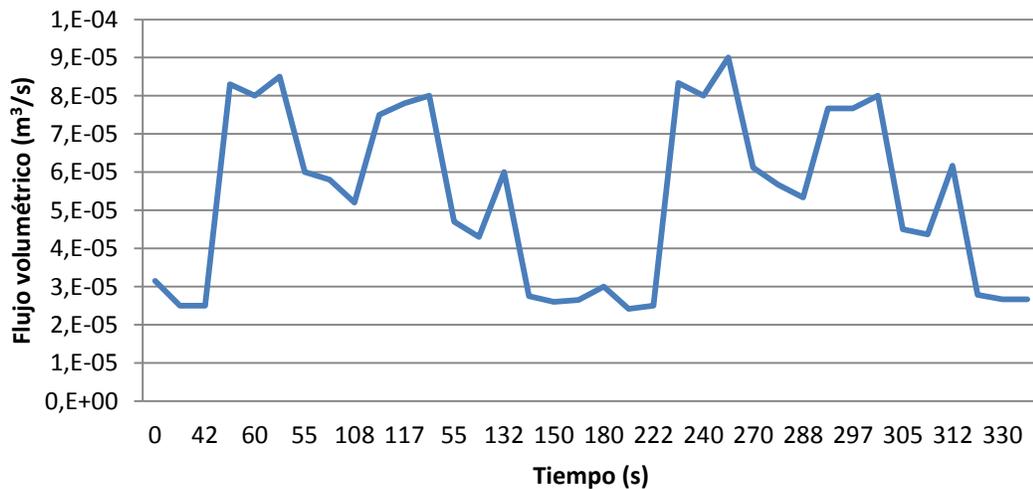
Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información.

Figura 4. **Flujo volumétrico en función del tiempo de duración de dos cocimientos, para la trampa 5**



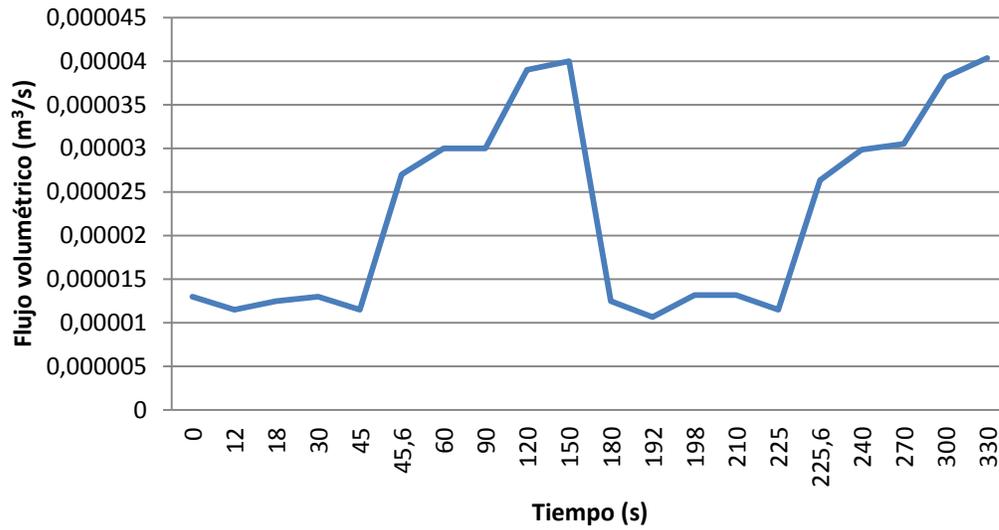
Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información.

Figura 5. **Flujo volumétrico en función del tiempo de duración de dos cocimientos, para la trampa 6**



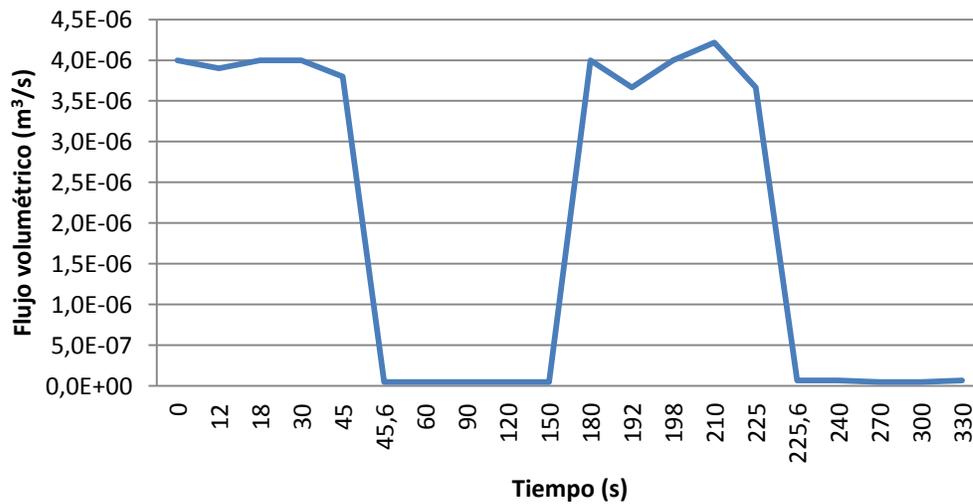
Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información.

Figura 6. **Flujo volumétrico en función del tiempo de duración de dos cocimientos, para la trampa 7**



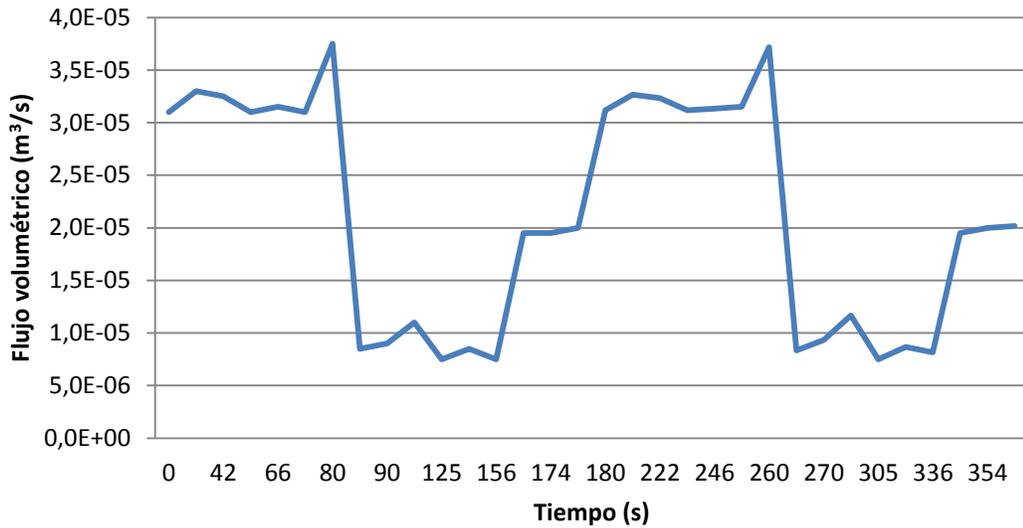
Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información.

Figura 7. **Flujo volumétrico en función del tiempo de duración de dos cocimientos, para la trampa 8**



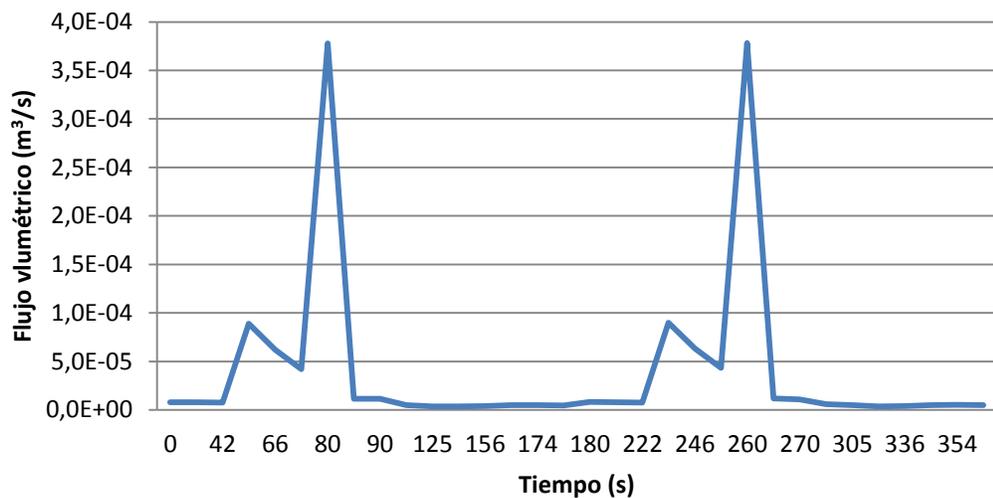
Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información.

Figura 8. **Flujo volumétrico en función del tiempo de duración de dos cocimientos, para la trampa 11**



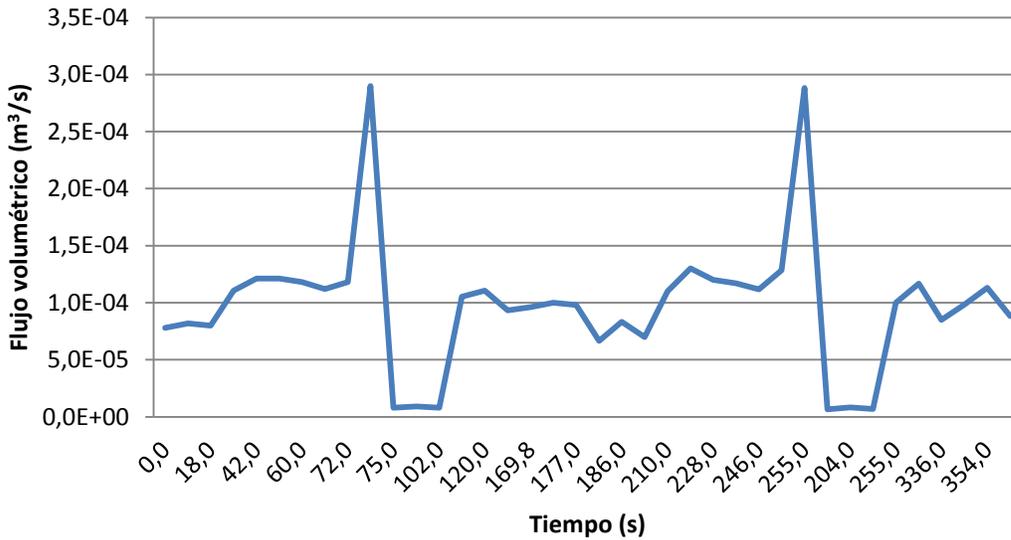
Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información.

Figura 9. **Flujo volumétrico en función del tiempo de duración de dos cocimientos, para la trampa 12**



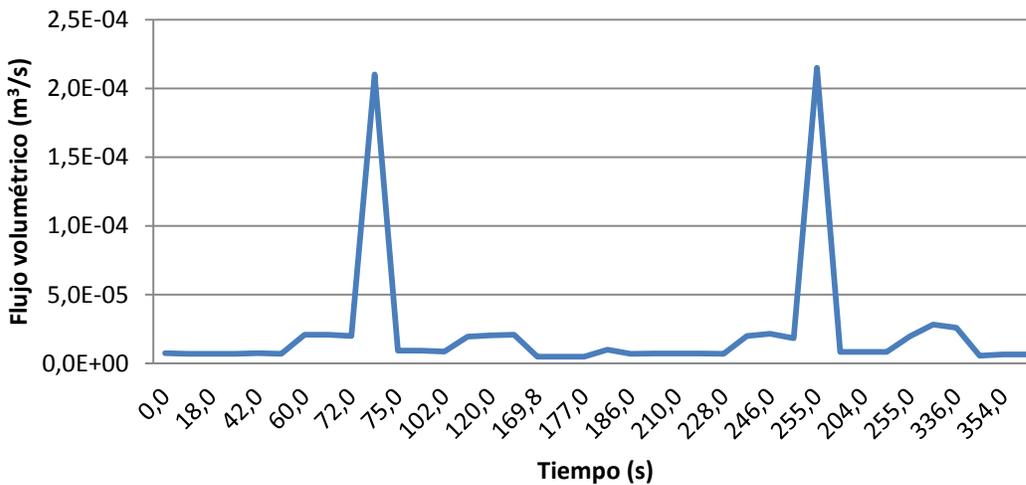
Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información.

Figura 10. **Flujo volumétrico en función del tiempo de duración de dos cocimientos, para la trampa 16**



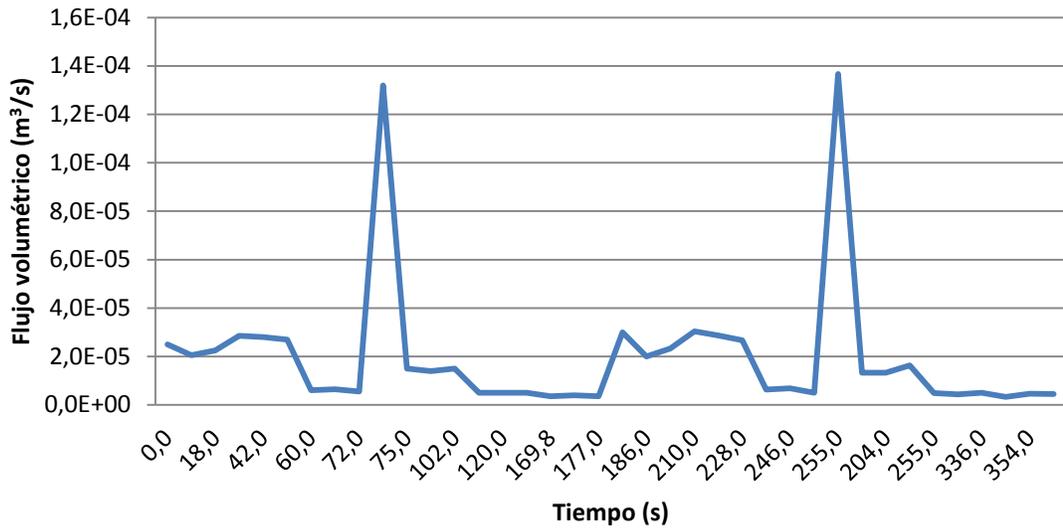
Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información.

Figura 11. **Flujo volumétrico en función del tiempo de duración de dos cocimientos, para la trampa 17**



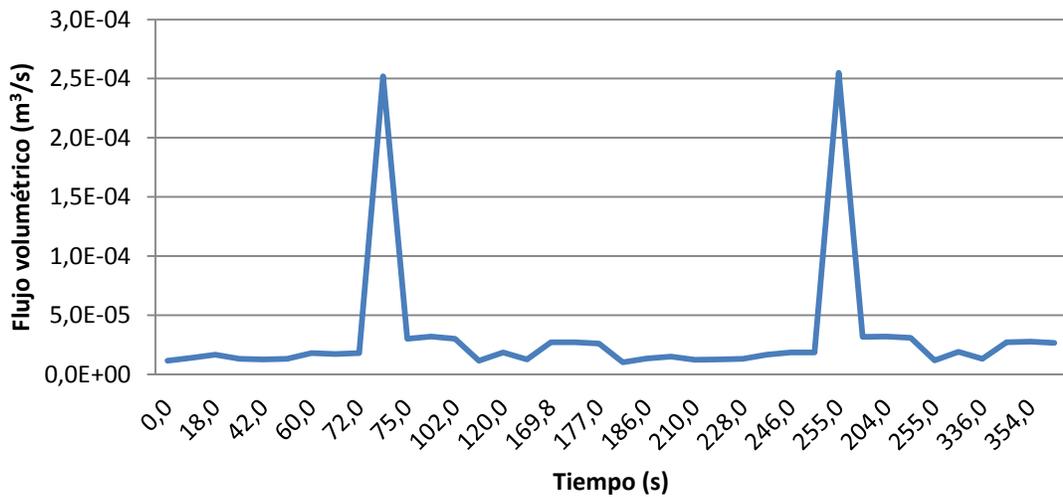
Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información.

Figura 12. **Flujo volumétrico en función del tiempo de duración de dos cocimientos, para la trampa 18**



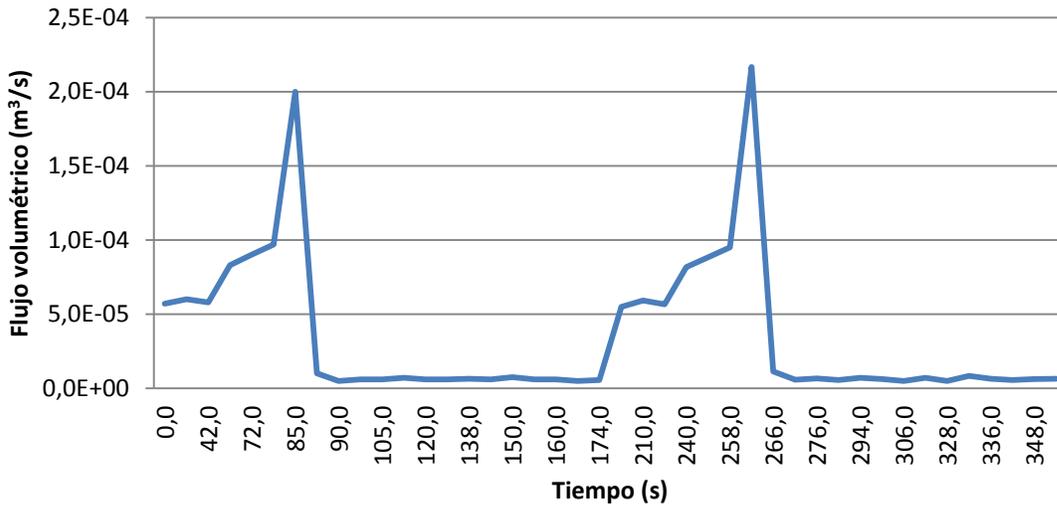
Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información.

Figura 13. **Flujo volumétrico en función del tiempo de duración de dos cocimientos, para la trampa 19**



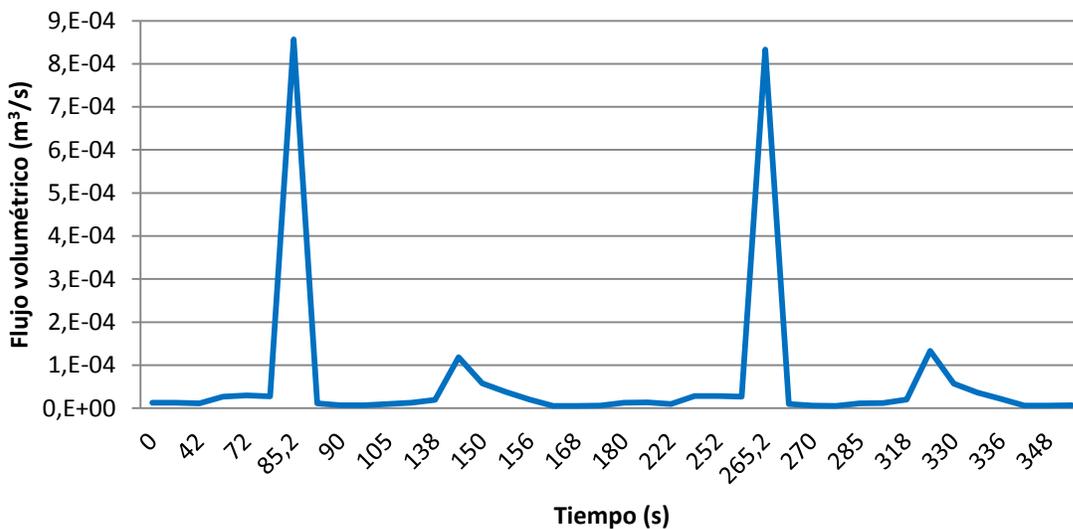
Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información.

Figura 14. **Flujo volumétrico en función del tiempo de duración de dos cocimientos, para la trampa 25**



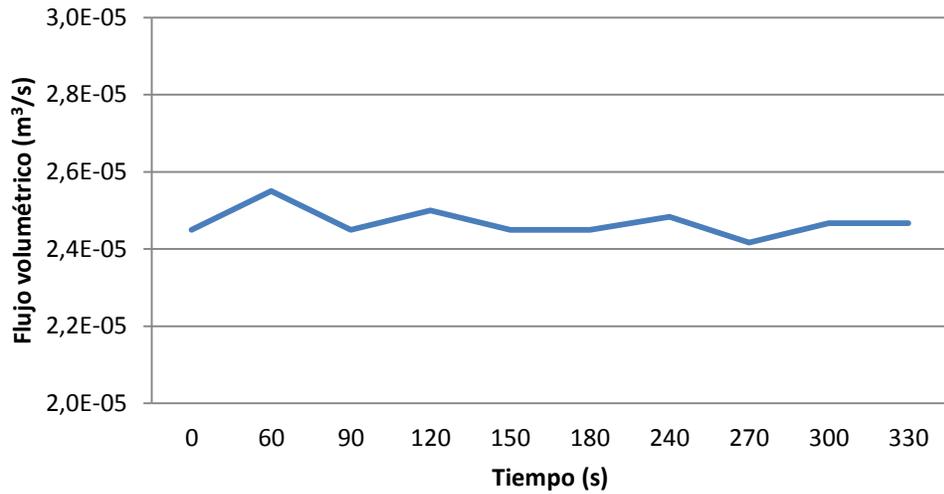
Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información.

Figura 15. **Flujo volumétrico en función del tiempo de duración de dos cocimientos, para la trampa 26**



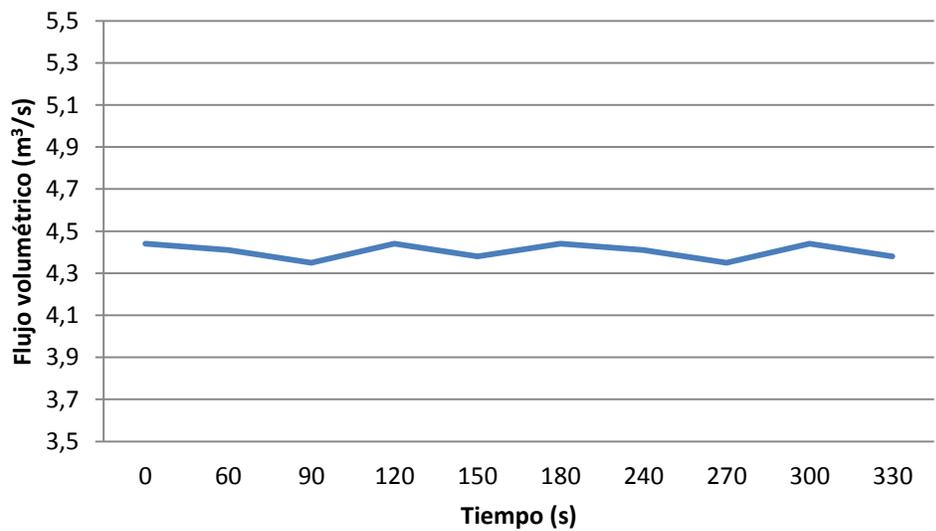
Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información.

Figura 16. **Flujo volumétrico en función del tiempo de duración de dos cocimientos, para la trampa 33**



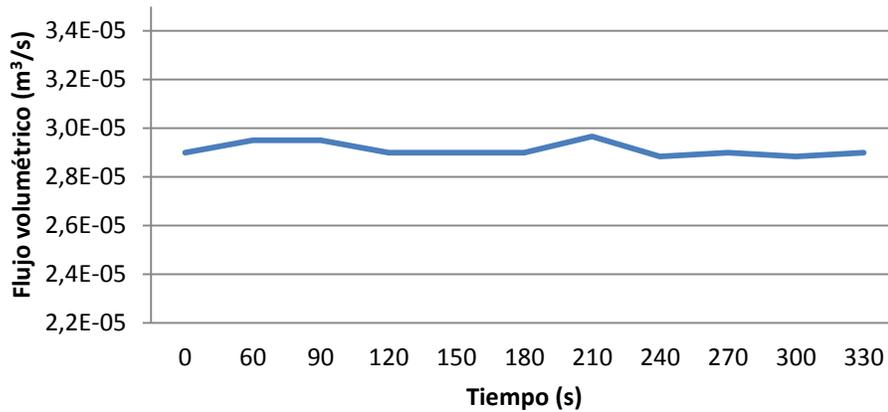
Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información.

Figura 17. **Flujo volumétrico en función del tiempo de duración de dos cocimientos, para la trampa 34**



Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información.

Figura 18. **Flujo volumétrico en función del tiempo de duración de dos cocimientos, para la trampa 36**



Fuente: elaboración propia, con base en la recolección y ordenamiento de la información.

Tabla XII. **Condensado drenado durante un año**

Condensado no recuperado (m³)	458,65
---	--------

Fuente: muestra de cálculo, ecuaciones 1, 2 y 3.

Tabla XIII. **Análisis económico de la implementación de un sistema de recuperación de condensado**

Energía aprovechada (J/año)	Ahorro monetario (Q/año)	Ahorro en químicos (Q/año)	Ahorro total (Q/año)	TIR (%)
2,02x10 ¹⁰	3 702,49	2 202,08	5 904,57	-53

Fuente: muestra de cálculo, ecuaciones 5, 6, 7, 8 y 9.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

De la figura 1 a la 18 se muestra el flujo volumétrico en función del tiempo de duración de dos cocimientos, para cada trampa de vapor termostática; dichas gráficas muestran que el flujo de condensado drenado tiene un comportamiento cíclico por cada cocimiento, es decir, cada vez que un cocimiento comienza, el flujo de condensado tiene la misma tendencia.

Con base en ello, se determinó la cantidad de condensado drenado por cada trampa de vapor, y finalmente el condensado no recuperado por año, el cual según la tabla XII “Condensado drenado durante un año”, es de 458,65 m³. El mismo se determinó a partir de una serie de datos recolectados experimentalmente y datos correspondientes al 2012, proporcionados por la empresa. La relación entre la cantidad de condensado a recuperar y el agua que ingresa a la caldera durante un año, es de $8,65 \times 10^{-3}$.

En la tabla XIII “Análisis económico de la implementación de un sistema de recuperación de condensado”, se muestra el análisis de ahorro económico para un sistema de recuperación de condensados. La energía que se aprovecharía del sistema de recuperación de condensados sería de $2,02 \times 10^{10}$ J/año; el ahorro monetario total obtenido es de 5 904,57 quetzales anuales, incluyendo el ahorro en combustible búnker y el ahorro en químicos; la tasa interna de retorno es de -53 %, lo que indica que la inversión en el sistema de recuperación de condensados no es viable.

CONCLUSIONES

1. La tendencia del flujo volumétrico de condensado es cíclica en todas las trampas de vapor.
2. La cantidad aproximada de condensado no recuperado durante un año es de 458,65 m³/año.
3. El ahorro económico estimado para un año en un sistema de recuperación de condensados de vapor de agua es de Q.5 904,57.
4. La inversión no es viable debido a que la tasa interna de retorno para 5 años es de -53 %.

RECOMENDACIONES

1. Realizar una reunión informativa sobre la investigación realizada y los resultados obtenidos a partir de esta, al personal de trabajo involucrado.
2. Utilizar el presente informe como evidencia del estudio realizado durante auditorías.
3. Realizar un estudio analítico-económico sobre la viabilidad de utilizar los condensados producidos en otra etapa del proceso.

BIBLIOGRAFÍA

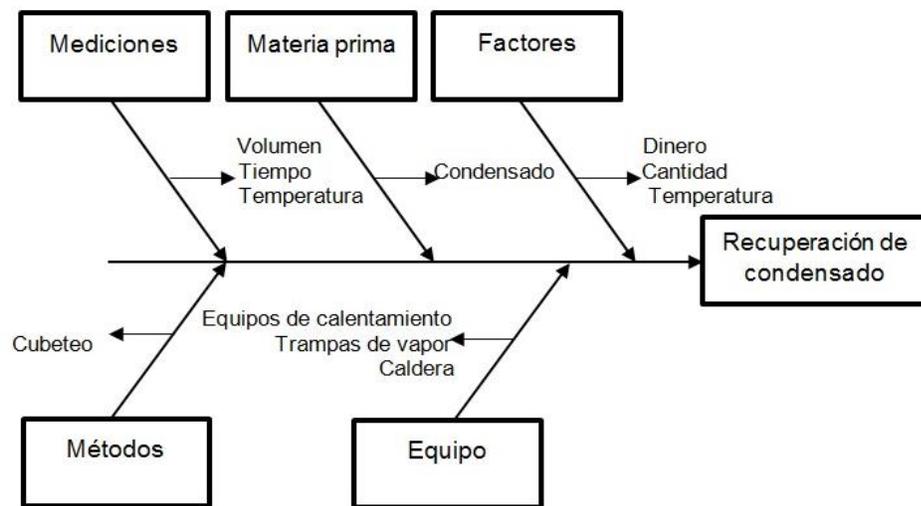
1. HERNÁNDEZ BOSARREYES, Ronald Gustavo. *Propuesta de energía, mediante el uso adecuado del sistema de distribución de vapor y retorno de condensados en una empresa textil*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2008. 95 p.
2. MARTÍNEZ HERRANZ, Miriam. *Sistema de recuperación de condensados en una línea de decapado de bobinas laminadas en caliente*. Tesis de Máster en Seguridad Industrial y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia, 2009. 28 p.
3. PERRY, Roberto H. *Manual del Ingeniero Químico*. 7a ed. México. Mc Graw-Hill, 1997. 20 p.
4. RÍOS RIVAS, Carlos Aníbal. *Consideraciones para el drenado y recuperación del condensado en sistemas de vapor*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2007. 156 p.
5. RONQUILLO MARROQUÍN, Francisco José. *Evaluación del sistema de vapor de una industria de bebidas para la reducción de las pérdidas de condensados de vapor*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2013. 50 p.

6. SEVERNS, W.H. *La producción de energía mediante el vapor de agua, el aire y los gases*. 5a ed. México: Reverté, 1992. 190 p.

7. SOTO CRUZ, Juan José. *Fundamentos sobre ahorro de energía*. México: Ediciones de la Universidad Autónoma de Yucatán, 1996. 85 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. **Diagrama Ishikawa de la implementación de un sistema de recuperación de condensados**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Tabla de requisitos académicos

1er. Paso Carrera	Licenciatura en Ingeniería Química					
2do. Paso Área	Química	Especialización	Fisicoquímica	Complementaria		
3er. Paso Tema genérico	Laboratorio de análisis cuantitativo	Balace de masa y energía Flujo de fluidos Transferencia de calor Laboratorio de Ingeniería química 1 y 2 Ingeniería económica 3	Fisicoquímica 1 Termodinámica 3	Matemática básica 1 Estadística 1 Estadística 2		
4to. Paso Tema específico	Manejo de datos estadísticos en el laboratorio	Cálculos de I.Q. Balance de masa en un sistema sin reacción Intercambio de calor Sistema de vapor y equipos en un sistema de vapor Cálculos en procesos químicos industriales	Equilibrio de fases 1era. Ley de la termodinámica Energía y calor Termodinámica de procesos de flujo	Modelos matemáticos Estadística descriptiva e introducción a la probabilidad. Teoría del muestreo y ensayo de hipótesis		
5to. Paso Especificaciones	Utilización de datos experimentales para la predicción de los resultados	Análisis y cálculos en trampas de vapor, calderas, intercambiadores de calor y de un ahorro monetario en el proceso industrial	Determinación de ahorro energético en el proceso, uso de capacidades caloríficas y de las tablas de vapor	Realización de modelos matemáticos, planteamiento de las hipótesis y la determinación de la confiabilidad de los resultados		
6to. Paso Problemas a resolver	Análisis en el sistema de vapor del proceso donde se drena condensado, para la implementación de un sistema de recuperación en base a un beneficio económico					
7mo. Paso Temario tentativo	Resumen Introducción Marco conceptual Marco teórico Objetivos Metodología Cronograma Presupuesto Bibliografía Anexos Apéndice					

Fuente: elaboración propia, con base en las clases cursadas durante la carrera de ingeniería química.

ANEXOS

Anexo 1. Metodología de cálculo

- Cálculo de la cantidad que gasta la caldera al año para producir vapor con ósmosis inversa:

$$Cc1 = dco * 100\% * \frac{\bar{V}}{70\%} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

\dot{V} = flujo de agua fresca que ingresa a la caldera ($m^3/día$)

Cc1 = cantidad de agua que ingresa a la caldera al año (m^3)

dco = días que no trabajó la ósmosis inversa (274 días)

Ejemplo:

$$Cc1 = 274 \text{ días} * 100\% * \frac{97.667 \frac{m^3}{\text{día}}}{70\%} = 38,229.65 \frac{m^3}{\text{año}}$$

Nota: con ósmosis inversa el 70 % de agua que ingresa a la caldera es agua fresca.

- Cálculo de la cantidad que gasta la caldera al año para producir vapor sin ósmosis inversa:

$$Cc2 = dco * 100\% * \frac{\bar{V}}{60\%} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

\dot{V} = flujo de agua fresca que ingresa a la caldera ($m^3/día$)

$Cc2$ = cantidad de agua que ingresa a la caldera al año (m^3)

dco = días que trabajó la ósmosis inversa (91 días)

Ejemplo:

$$Cc1 = 91 \text{ días} * 100\% * \frac{97.667 \frac{m^3}{año}}{60\%} = 14,812.828 \frac{m^3}{año}$$

Nota: sin ósmosis inversa el 60% de agua que ingresa a la caldera es agua fresca.

- Cálculo de la cantidad que gasta la caldera al año para producir vapor:

$$Cct = Cc1 + Cc2 \quad (\text{Ecuación 3})$$

Ejemplo:

$$Cct = 38,229.65 + 14,812.828 = 53,042.478 \frac{m^3}{año}$$

- Cálculo de la relación entre el condensado drenado en Casa de Cocimientos al año y la cantidad de agua que utiliza la caldera para generar vapor al año (fracción de condensado a recuperar).

$$FRC = \frac{CD}{Cct} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

CD = condensado drenado ($m^3/año$)

Cct = cantidad de agua que ingresa a la caldera ($m^3/año$)

Ejemplo:

$$FRC = \frac{458.652 \frac{m^3}{año}}{53,042.478 \frac{m^3}{año}} = 8.647 \times 10^{-3}$$

- Cálculo del ahorro energético (aprovechamiento de la energía) al recuperar dicho condensado:

$$AE = FRC * V_{tp} * (T_c - T_{ar}) * C_p \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

AE = ahorro energético (J/año)

FRC = fracción de condensado a recuperar (%)

V_{tp} = vapor total producido (kg/año)

T_c = temperatura del condensado (K)

T_{ar} = temperatura del agua de reposición (K)

C_p = capacidad calorífica del agua (J/kgK)

Ejemplo:

$$\begin{aligned} AE &= 8.647 \times 10^{-3} * 59,850,606.04 \frac{kg}{año} * (366.48 - 357.15)K * 4,188.2242 \frac{J}{kg K} \\ &= 2.0223 \times 10^{10} \frac{J}{año} \end{aligned}$$

- Cálculo del costo de la energía aprovechada:

$$CEA = \frac{CEC}{EC * C_b} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde:

CEA = costo del ahorro energético (Q/J)

CEC = costo de la energía comprada (Q/m³)

Cb = poder calorífico del búnker (J/m³)

EC = eficiencia de la caldera (adimensional)

Ejemplo:

$$CEA = \frac{5,970.2880 \frac{Q}{m^3}}{4.1807 \times 10^{10} \frac{J}{m^3} * 0.78} = 1.8308 \times 10^{-7} \frac{Q}{J}$$

- Cálculo del ahorro monetario en energía:

$$AM = AE * CEA \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde:

AM = ahorro monetario (Q/año)

AE = ahorro energético (J/año)

CEA = costo de la energía aprovechada (Q/J)

Ejemplo:

$$AM = 2.0223 \times 10^{10} \frac{J}{\text{año}} * 1.8308 \times 10^{-7} \frac{Q}{J} = 3,702.49 \frac{Q}{\text{año}}$$

- Cálculo del ahorro en químicos para el agua tratada:

$$AQ = (FRC * CQa) + CQb \quad (\text{Ecuación 8})$$

Donde:

AQ = ahorro en químicos (Q/año)

FRC = fracción de condensado a retornar (adimensional)

CQa = costo en químicos para tratar el agua (Q/año)

CQb = costo en químicos para el búnker (Q/año)

Ejemplo:

$$AQ = \left(8.647 \times 10^{-3} * \frac{Q25,233.13}{\text{año}} \right) + \frac{Q20.17}{\text{año}} = 2,202.078 \frac{Q}{\text{año}}$$

- Cálculo del ahorro total:

$$AT = AM + AQ \quad (\text{Ecuación 9})$$

Donde:

AT = ahorro total (Q/año)

AM = ahorro monetario (Q/año)

AQ = ahorro en químicos (Q/año)

Ejemplo:

$$AT = 3,702.49 \frac{Q}{\text{año}} + 2,202.078 \frac{Q}{\text{año}} = 5,904.57 \frac{Q}{\text{año}}$$

- Cálculo de la media aritmética:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (\text{Ecuación 10})$$

Donde:

\bar{x} = media aritmética

N = número de corridas

- Cálculo de la varianza:

$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^n (xi - \bar{x})^2}{n} \quad (\text{Ecuación 11})$$

Donde:

σ = varianza

x_i = dato de la muestra

\bar{x} = media aritmética

n = número de corridas

- Cálculo de la desviación estándar:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (xi - \bar{x})^2}{n}} \quad (\text{Ecuación 12})$$

Donde:

S = desviación estándar

X_i = dato de la muestra

\bar{x} = media aritmética

n = número de corridas

- Conversión de unidades:

$$Unidad\ convertida = unidad\ a\ convertir * \frac{Unidad\ convertida}{Unidad\ a\ convertir} \quad (\text{Ecuación 13})$$

- Cálculo de la tasa interna de retorno:

Apéndice 1a. Cálculo de TIR en Microsoft Excel

	A	B	C	D
1				
2		Ingresos	Flujo de caja	
3		Inversión	-X	
4		Ingreso neto primer año	a	
5		Ingreso neto segundo año	b	
6		Ingreso neto tercer año	c	
7		Ingreso neto cuarto año	d	
8		Ingreso neto quinto año	e	
9		TIR (5 años)	=TIR(C3:C8)	
10				

Fuente: Microsoft Excel.

Anexo 2. **Fotografías de trampas de vapor a analizar**

Anexo 2a. **Trampa de vapor de flotador**



Fuente: casa de cocimientos en Cervecería Centro Americana, S. A.

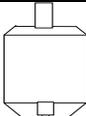
Anexo 2b. **Trampa de vapor termostática**



Fuente: casa de cocimientos en Cervecería Centro Americana, S. A.

Anexo 3. Simbología para los diagramas de equipo

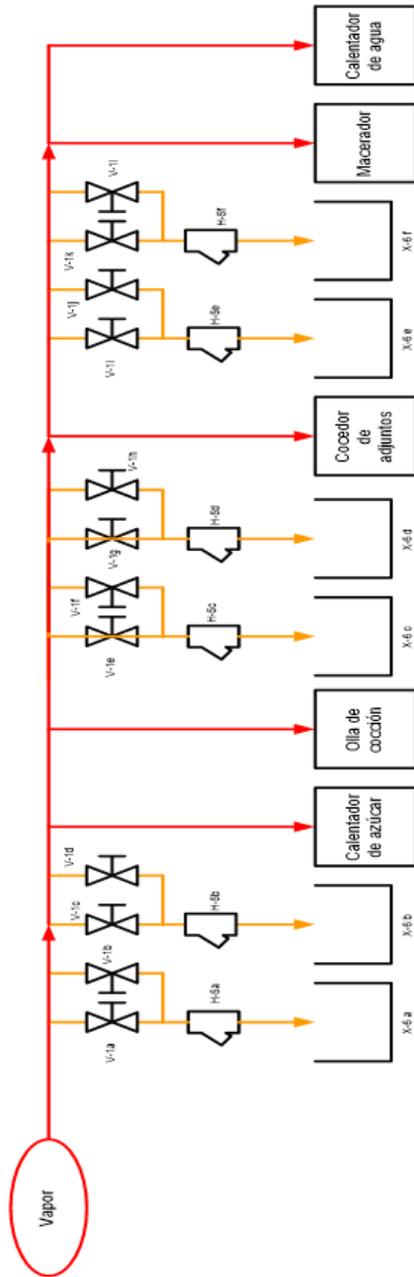
Anexo 3a. Simbología

Simbología	Descripción	Codificación
	Tanque de condensados	F-10
	Calentador de azúcar o calentador de agua	Q-100 y Q-200
	Olla de cocción	Q-300
	Macerador	Q-400
	Cocedor de adjuntos	Q-500
	Válvula de bola	V-1 (a-al)
	Válvula reguladora de diafragma	V-2 (a-g)
	Válvula de globo	V-3 (a-d)
	Trampa de vapor termostática	H-5 (a-s)
	Desagüe	X-6 (a-v)
	Manómetro	K-7 (a-f)
	Trampa de vapor tipo flotador	H-8 (a-p)
	Suministro de vapor	
	Línea de vapor	
	Línea de condensado	

Fuente: elaboración propia, con base en los equipos en el área de cocimientos.

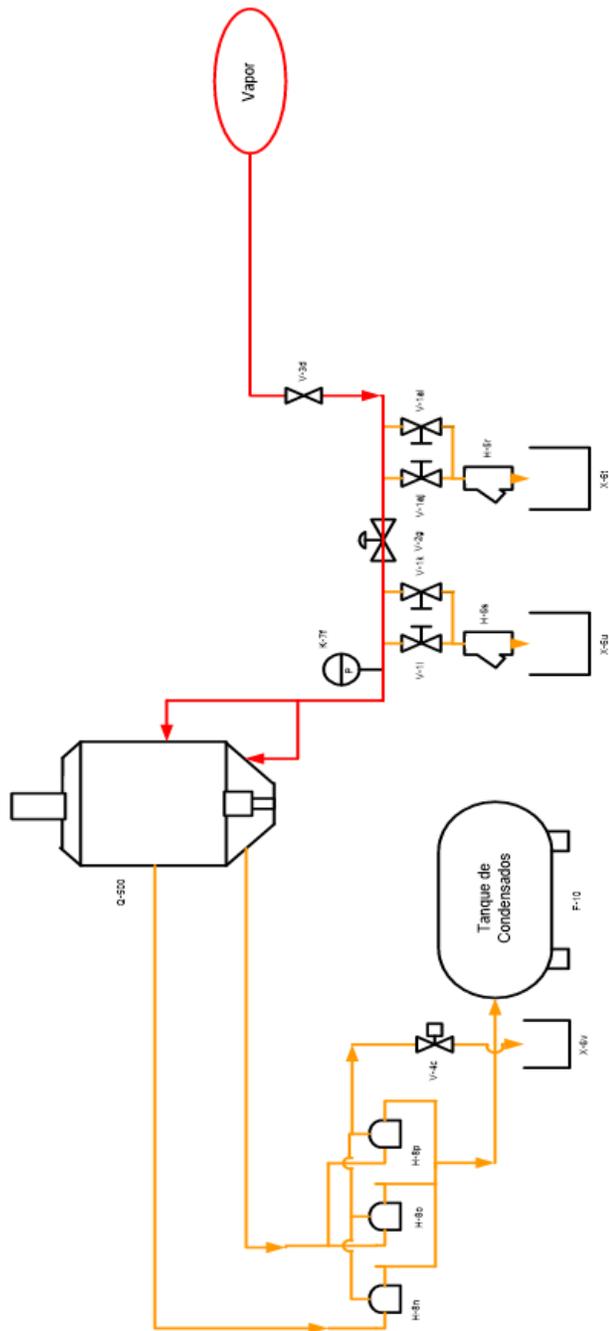
Anexo 4. Diagrama de equipos en el sistema de vapor

Anexo 4a. Línea de vapor



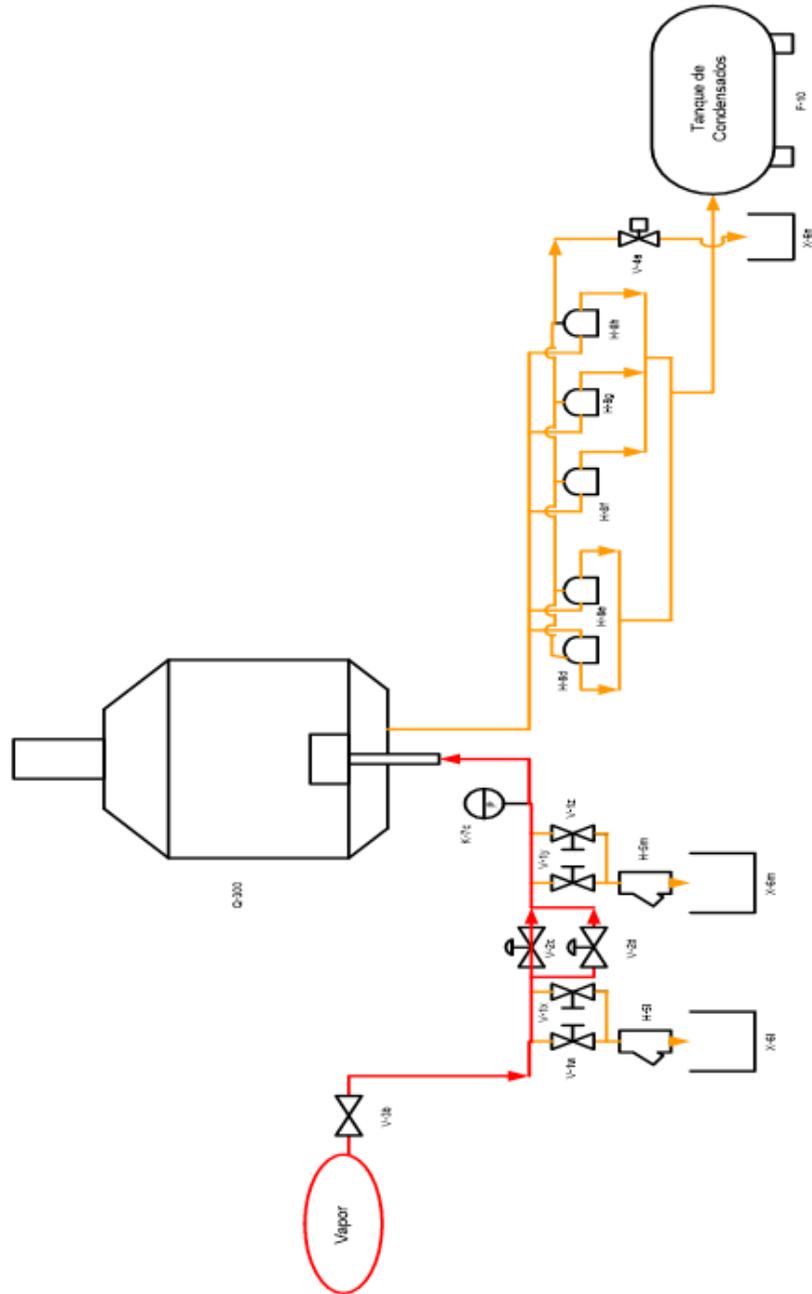
Fuente: elaboración propia, con base en los equipos de casa de cocimientos.

Anexo 4b. Cocedor de adjuntos



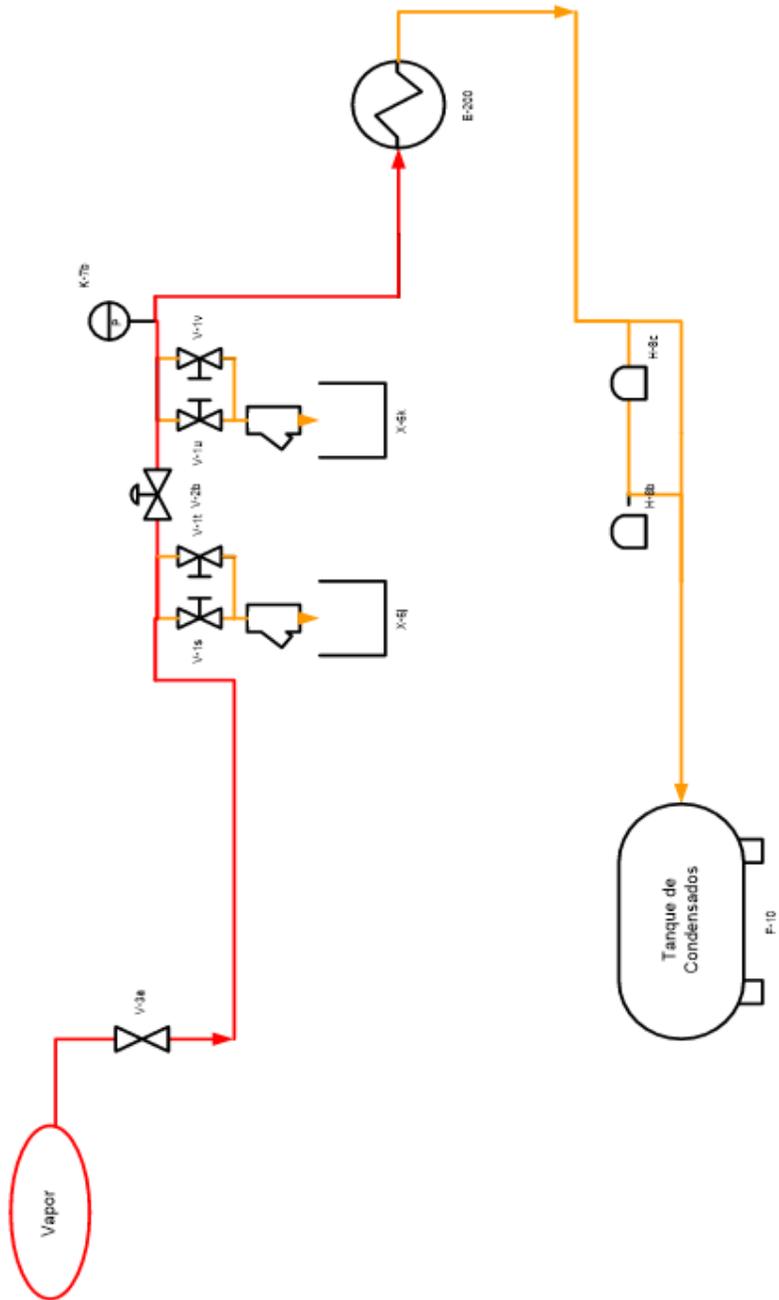
Fuente: elaboración propia, con base en los equipos de casa de cocimientos.

Anexo 4d. Olla de cocción



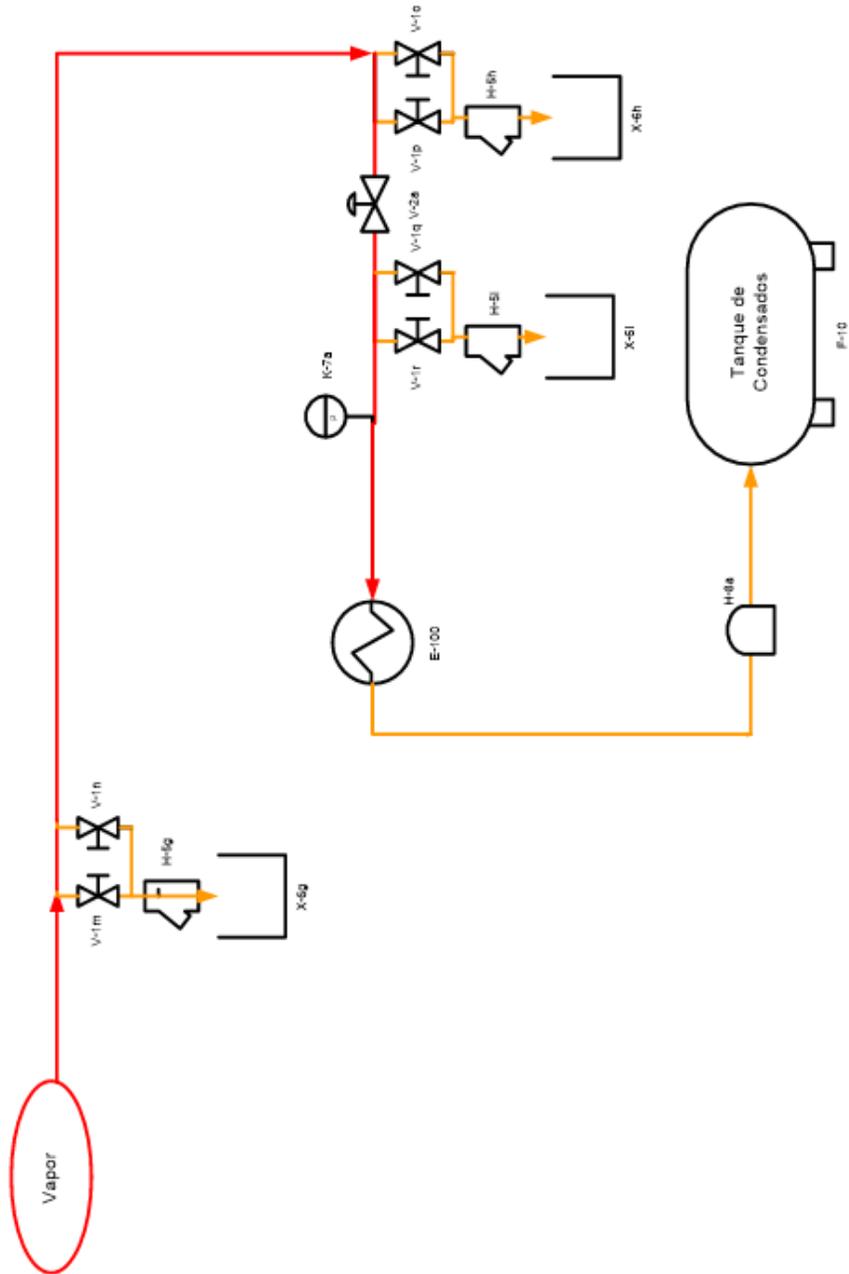
Fuente: elaboración propia, con base en los equipos de casa de cocimientos.

Anexo 4e. Calentador de agua



Fuente: elaboración propia, con base en los equipos de casa de cocimientos.

Anexo 4f. Calentador de azúcar



Fuente: elaboración propia, con base en los equipos de casa de cocimiento.

