

Universidad Técnica Nacional

Ingeniería Electromecánica

**Análisis energético del sistema de vapor de la empresa  
CIISA**

Proyecto para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería  
Electromecánica

Elaborado por:

**Esteban Rodríguez Murillo**

2021

Universidad Técnica Nacional  
Sede Central



Acta de Aprobación 05-2022

En la ciudad de Alajuela, a los 05 días del mes de mayo del año 2022 y participando de forma remota, el Tribunal evaluador conformado por las personas: Ing. Marvin Segura Trejos, Ing. Olger Calvo Sánchez, Ing. Ronald Porras Alvarado, Ing. Willy Romero Padilla, procedieron a evaluar la presentación del proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciado en Ingeniería Electromecánica del estudiante **Esteban Rodríguez Murillo**, identificación **401800668**, titulado: “**Análisis energético del sistema de vapor de la empresa CIISA**”, modalidad proyecto de graduación.

El Tribunal Evaluador apegado a las regulaciones y requisitos establecidos en el Reglamento de Trabajos Finales de Graduación de la Universidad Técnica Nacional, realizó la revisión del proyecto del estudiante otorgando una calificación de **9.2**, dando como resultado **APROBADO**.

MARVIN  
GERARDO  
SEGURA TREJOS  
(FIRMA)

Firmado digitalmente  
por MARVIN GERARDO  
SEGURA TREJOS  
(FIRMA)  
Fecha: 2022.05.05  
20:22:38 -06'00'

---

Ing. Marvin Segura Trejos  
Director Licenciatura Electromecánica

**Observaciones:**

Artículo 27.- Asignación de defensa. - Corresponde a la Dirección de Carrera la asignación de la fecha, lugar y hora donde se llevará a cabo la defensa o la exposición oral y pública de la tesis, del seminario o proyecto de graduación, y para ello dispone de quince (15) días hábiles a partir de la solicitud de los estudiantes. La Dirección de Carrera deberá notificar por escrito a todas las personas actoras en esta etapa del proceso.

Léase transitoriamente: Asignación de defensa. - Corresponde a la Dirección de Carrera coordinar la fecha y hora en que se llevará a cabo la defensa o la exposición oral y pública de la tesis, del seminario o proyecto de graduación, y para ello dispone de quince (15) días hábiles a partir de la solicitud de las personas estudiantes. La Dirección de Carrera deberá notificar por escrito a todas las personas actoras en esta etapa del proceso.

**Finalizada la deliberación, quien preside el Tribunal Evaluador, registrará en el acta el resultado (Aprobado o Reprobado), la calificación, la mención de honor (si corresponde) y las observaciones si las hubiere. Posteriormente, se procede a dar lectura del acta haciendo la declaratoria del grado académico obtenido por los estudiantes y el campo de su especialidad. El acta será formalizada y remitida únicamente con la firma digital de la dirección de carrera. Los demás miembros del tribunal y las personas estudiantes remiten, desde sus correos electrónicos, la constancia de la aceptación del contenido y los términos del acta.**

**UNIVERSIDAD TECNICA NACIONAL  
LICENCIATURA EN INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL TUTOR  
DEL DOCUMENTO DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

Fecha:  
Ing. Marvin Segura Trejos  
Director Carrera Licenciatura en Ingeniería Electromecánica

**Estimado señor:**

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado:  
“Análisis energético del sistema de vapor de la empresa CIISA” elaborado por el  
estudiante: Esteban Rodríguez Murillo, como requisito para que el citado estudiante  
pueda optar por el grado académico de Licenciado en Ingeniería Electromecánica.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido  
exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo que realice la exposición oral  
del mismo ante el Tribunal Evaluador.

**Suscribe cordialmente,**

RONALD  
PORRAS  
ALVARADO  
(FIRMA)



Digitally signed by  
RONALD PORRAS  
ALVARADO (FIRMA)  
Date: 2022.02.21  
10:17:20 -06'00'

**Nombre del tutor**

**UNIVERSIDAD TECNICA NACIONAL LICENCIATURA  
EN INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL LECTOR  
DEL DOCUMENTO DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

Fecha: 21/02/2022

CTTFG-IEM

Comisión Técnica de Trabajos Finales de Graduación Ingeniería Electromecánica

**Estimados señores:**

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado:  
“Análisis energético del sistema de vapor de la empresa CIISA” elaborado por el  
estudiante: Esteban Rodríguez Murillo, como requisito para que el citado estudiante  
pueda optar por el grado académico de Licenciado en Ingeniería Electromecánica.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido  
exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo que realice la exposición oral  
del mismo ante el Tribunal Evaluador.

MARVIN  
GERARDO  
SEGURA  
TREJOS  
(FIRMA)

Firmado  
digitalmente por  
MARVIN GERARDO  
SEGURA TREJOS  
(FIRMA)  
Fecha: 2022.02.21  
18:13:02 -06'00'

---

**Nombre del Lector**

**UNIVERSIDAD TECNICA NACIONAL  
LICENCIATURA EN INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL LECTOR  
DEL DOCUMENTO DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

Fecha: 09/02/2022

Ing. Marvin Segura Trejos

Director Carrera Licenciatura en Ingeniería Electromecánica

**Estimado señor:**

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado:

“Análisis energético del sistema de vapor de la empresa CIISA” elaborado por el estudiante: Esteban Rodríguez Murillo, como requisito para que el citado estudiante pueda optar por el grado académico de Licenciado en Ingeniería Electromecánica.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo que realice la exposición oral del mismo ante el Tribunal Evaluador.

**Suscribe cordialmente,**

  
Nombre del lector



**UNIVERSIDAD TECNICA NACIONAL  
LICENCIATURA EN INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL FILÓLOGO  
DEL DOCUMENTO DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

Fecha: 11 de mayo de 2022

Ing. Marvin Segura Trejos

Director Carrera Licenciatura en Ingeniería Electromecánica

**Estimado señor:**

Leí y corregí el Trabajo Final de Graduación, denominado: **“Análisis energético del sistema de vapor de la empresa CIISA”**, elaborado por el estudiante **Esteban Rodríguez Murillo**, para optar por el grado académico de Licenciado en Ingeniería Electromecánica.

Corregí el trabajo en aspectos, tales como: construcción de párrafos, vicios del lenguaje que se trasladan a lo escrito, ortografía, puntuación y otros relacionados con el campo filológico, y desde ese punto de vista considero que está listo para ser presentado como Trabajo Final de Graduación, por cuanto cumple con los requisitos establecidos por la Universidad.

Se suscribe de usted cordialmente,



---

Zayda Ureña Araya  
Cédula 104230946

## DECLARACIÓN JURADA

El suscrito, Esteban Rodríguez Murillo con cédula de identidad número 401800668, declaro bajo fe de juramento, conociendo las consecuencias penales que conlleva el delito de perjurio: Que soy el autor (a) del presente trabajo final de graduación, modalidad memoria; para optar por el grado académico de Licenciado en Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica Nacional y que el contenido de dicho trabajo es obra original del suscrito.

Fecha: 21/02/2022

Esteban Rodríguez Murillo

Nombre del estudiante

ESTEBAN  
RODRIGUEZ  
MURILLO (FIRMA)

Firmado digitalmente por ESTEBAN  
RODRIGUEZ MURILLO (FIRMA)  
Nombre de reconocimiento (DN):  
serialNumber=CPF-04-0180-0668,  
sn=RODRIGUEZ MURILLO,  
givenName=ESTEBAN, c=CR, o=PERSONA  
FISICA, ou=CIUDADANO, cn=ESTEBAN  
RODRIGUEZ MURILLO (FIRMA)  
Fecha: 2022.02.21 18:14:52 -06'00'

## Índice de contenido

Capítulo I.....	12
1.1 Introducción.....	12
1.2 Área de estudio.....	12
1.3 Situación actual del conocimiento del tema.....	13
1.4 Objeto de estudio.....	15
1.5 Objetivo general.....	15
1.6 Objetivos específicos.....	16
1.7 Estrategia metodológica.....	16
1.7.1 Planteamiento.....	16
1.7.2 Hipótesis.....	16
1.7.3 Tabla de variables.....	17
1.7.4 Muestra.....	18
1.7.5 Distribución de la muestra.....	19
1.7.6 Planteamiento metodológico.....	19
Capítulo II.....	22
2.1 Marco teórico.....	22
2.1.1 Sistemas de vapor.....	22
2.1.2 Generadores de vapor.....	22
2.1.3 Componentes de un sistema de generación y distribución de vapor.....	23
2.1.4 Vapor Saturado.....	24
2.1.5 Recuperación de condensados.....	24
2.1.6 Aislamiento de tuberías y accesorios.....	25
2.1.7 Disipación de calor en tuberías sin aislamiento.....	25
2.1.8 Disipación de calor en tuberías con aislamiento.....	27
2.1.9 Pérdida energética por fugas en la tubería de trasiego de vapor.....	30
2.1.10 Pérdida energética por trampas de vapor en mal de estado.....	30
Capítulo III.....	31
3.1 Análisis de datos recolectados.....	31
3.1.1 Variables correspondientes a la generación de vapor.....	31
3.1.2 Generación de vapor.....	36
3.1.3 Distribución de vapor.....	37
3.1.4 Recomendaciones de tuberías de alimentación de vapor.....	40

3.1.5 Trampeo de vapor .....	41
3.1.6 Análisis de resultados del informe del estado de las trampas por parte de la empresa Termo Eléctrica .....	52
3.1.7 Recomendaciones de trampas de vapor del sistema de distribución de vapor .....	53
3.1.8 Tuberías de condensado.....	55
3.1.9 Recomendaciones de tuberías de retorno de condensado.....	57
Capítulo IV .....	59
4.1 Oportunidades de aprovechamiento de la energía.....	59
4.2 Desarrollo de propuestas de mejora.....	59
4.2.1 Aislamiento de tuberías de trasiego de vapor .....	60
4.2.2 Trampas de vapor .....	61
4.2.3 Sistema de retorno de condensados presurizado .....	63
4.3 Análisis económico.....	71
Capítulo V.....	77
5.1 Conclusiones.....	77
Bibliografía.....	78
Anexos .....	79

## Indice de tablas

Tabla 1. Datos caldera Cleaver Brooks .....	36
Tabla 2. Datos caldera Burnham .....	36
Tabla 3. Datos tanque diario.....	37
Tabla 4. Datos preliminares de las tuberías de alimentación de vapor.....	37
Tabla 5. Resumen de cálculo de tuberías mediante cálculo ingenieril y software. ....	39
Tabla 6. Datos preliminares de las trampas de vapor. ....	41
Tabla 7. Determinación de la capacidad de la trampa de vapor del cocedor #1 .....	42
Tabla 8. Factor para la determinación del área del serpentín. ....	43
Tabla 9. Factor global de transferencia de calor.....	44
Tabla 10. Propiedades físicas de líquidos y sólidos .....	46
Tabla 11. Propiedades físicas del vapor saturado.....	47
Tabla 12. Factor de carga de condensado en tuberías .....	48
Tabla 13. Resumen de cálculo de capacidad de trampas mediante cálculo ingenieril y software .....	50
Tabla 14. Tipo y cantidad de trampas inspeccionadas .....	51
Tabla 15. Estado de operación de las trampas.....	51
Tabla 16. Pérdida económica por trampas en mal estado.....	51
Tabla 17. Comparación de recomendaciones del sistema de trampeo de vapor de la empresa	53
Tabla 18. Datos preliminares de las tuberías de retorno de condensado.....	55
Tabla 19. Determinación de diámetro de tubería de condensados .....	55
Tabla 20. Resumen del cálculo de las tuberías de condensado mediante cálculo ingenieril y software. ....	56
Tabla 21. Porcentaje de ahorro energético. ....	59
Tabla 22. Resumen de costos por sustitución de trampas de vapor en mal estado .....	61
Tabla 23. Determinación del tamaño del tanque receptor de condensado .....	64
Tabla 24. Resumen de productos químicos utilizados en la caldera diariamente .....	69
Tabla 25. Resumen de costos por implementación del sistema de retorno de condensado presurizado.....	70
Tabla 26. Resumen de indicadores financieros .....	75
Tabla 27. Resumen del cálculo de pérdida de energía por falta de aislamiento en tuberías	86
Tabla 28. Resumen del cálculo de pérdida de energía por trampas en mal estado .....	88
Tabla 29. Cálculo de flujo de efectivo aislamiento de tuberías de trasiego de vapor .....	98
Tabla 30. Cálculo de flujo de efectivo sistema de retorno de condensados presurizado .....	98
Tabla 31. Cálculo de flujo de efectivo trampas de vapor .....	98

## Indice de imágenes

Imagen 1. Balance energético de la empresa correspondiente al año 2020 .....	31
Imagen 2. Consumo de combustibles para la generación de vapor correspondiente al año 2020 .....	32
Imagen 3. Consumo de combustibles para la generación de vapor correspondiente al año 2020 .....	33
Imagen 4. Costo de combustible por tonelada pie procesada, correspondiente al año 2020....	33
Imagen 5. Consumo de químico por tonelada pie correspondiente a la semana del 12 al 17 de abril del año 2021 .....	34
Imagen 6. Perfil de consumo de vapor de la planta. ....	35
Imagen 7. Consumo de energía correspondiente a la semana del 12 al 17 de abril del año 2021. ....	35
Imagen 8. Cálculo de tubería del cocedor #1 mediante el software TLV .....	39
Imagen 9. Cálculo de capacidad de trampa de tubería de cerdos mediante el software TLV. .	49
Imagen 10. Cálculo de la tubería de condensados del cocedor #1 mediante el software TLV	56
Imagen 11. Cronograma de trabajo para instalación y sustitución de aislamiento térmico .....	60
Imagen 12. Cronograma de trabajo para propuesta de trampas de vapor.....	63
Imagen 13. Cálculo de la tubería de condensados hacia el desaireador, mediante el software TLV .....	66
Imagen 14. Cronograma de trabajo para propuesta de sistema de retorno de condensado .....	71
Imagen 15. Flujo de efectivo de la propuesta de instalación de aislamiento térmico .....	73
Imagen 16. Flujo de efectivo de la propuesta del sistema de retorno de condensado presurizado.....	74
Imagen 17. Flujo de efectivo de la propuesta de trampas de vapor.....	74
Imagen 18. Conductividad térmica para materiales más comunes.....	99
Imagen 19. Factor de transferencia de calor.....	100
Imagen 20. Propiedades físicas del aire a presión atmosférica .....	100
Imagen 21. Conductividad térmica del aire.....	101
Imagen 22. Propiedades de tubería comercial. ....	102
Imagen 23. Emisividad de materiales más comunes .....	102
Imagen 24. Conductividad del aislamiento según temperatura .....	103
Imagen 25. Cotización trampas para vapor .....	104
Imagen 26. Cotización equipos y mano de obra para sistema retorno de condensado.....	105
Imagen 27. Cotización válvulas de tres vías para vapor.....	106
Imagen 28. Cotización aislamiento .....	107
Imagen 29. Cotización aislamiento .....	108
Imagen 30. Precio combustibles.....	109
Imagen 31. Poder calorífico combustibles .....	110

## **Capítulo I**

### **1.1 Introducción**

El proyecto se desarrollará en la empresa CIISA; esta empresa se ubica geográficamente en La Ribera de Belén, Heredia, la cual se dedica al comercio de productos cárnicos. La empresa consta de un área total de 50,000 metros cuadrados, y laboran en ella aproximadamente 1,000 empleados. El desarrollo del estudio y su planteamiento se llevarán a cabo durante el segundo cuatrimestre del 2021.

La empresa “Centro Internacional de Inversiones S.A.”, abreviadamente se identifica por las siglas C.I.I.S.A. (originalmente se llamó C.A.M.S.A., y luego EL ARREO S.A.). Inició operaciones en el año 1969.

En la actualidad, CIISA, establecimiento aprobado número doce, según registro del Ministerio de Agricultura y Ganadería, es una empresa dedicada al sacrificio y deshuese de res y cerdo, tanto para la exportación como para el consumo local. Parte de la producción se empaca al vacío y se distribuye como carne fresca; otra parte, denominada carne industrial, se distribuye como producto congelado y finalmente, una pequeña cantidad, en canal.

El estudio consiste en analizar el sistema de vapor, para hacer un diagnóstico del mismo, además de la realización de estudios de ingeniería en el área de sistemas de potencia fluida, con la idea de analizar la eficiencia de los equipos actuales y el sistema en general. El estudio generará una propuesta de mejora, con las recomendaciones técnicas necesarias para garantizar el correcto funcionamiento del sistema de generación y trasiego de vapor de la empresa.

El objetivo principal del estudio, es recolectar la información necesaria para generar una serie de indicadores energéticos que ayuden a determinar las principales fuentes de mejora con respecto al sistema de generación y trasiego de vapor de la empresa.

### **1.2 Área de estudio**

Con la realización del estudio, se busca reducir el consumo de combustibles de las calderas, ya que, debido a la obsolescencia de los equipos y a un diseño ineficiente del sistema de vapor, se desperdicia una gran cantidad de energía durante las doce

horas de producción de la compañía. Actualmente, la empresa CIISA tiene una demanda promedio total de energía de 9 022 057 MJ mensuales, de los cuales 4 190 055 MJ corresponden a energía eléctrica y 4 832 002 MJ corresponden al consumo de combustibles, que representan 125 655 litros de búnker mensuales. Se pretende reducir el consumo de combustible en un 10%, lo que representa  $\text{€}2\,918\,084$  de la facturación mensual de combustibles.

Además, también se busca reducir el impacto ambiental que genera la empresa, reduciendo su huella de carbono, ya que se reducirían las emisiones de dióxido de carbono en un 10%, que representan 37.7 toneladas de CO<sub>2</sub> al mes. La reducción de huella de carbono es muy importante para la empresa CIISA, porque actualmente cuenta con la certificación de bandera azul, y este tipo de proyectos ratifica el compromiso de la empresa con el medio ambiente.

El estudio se enfoca en el consumo energético de las dos calderas de la empresa, una de 500 HP y otra de 600 HP, y sus equipos consumidores de vapor. Además, se analizará el sistema de retorno de condensados, así como también la pérdida de energía en la tubería utilizada para llevar el vapor a los equipos consumidores, ya que las pérdidas de energía por falta de aislamiento y las fugas en la tubería podrían llegar a ser elevadas, teniendo estas pérdidas fácil solución y un bajo costo económico de reparación.

El estudio se realizará en la empresa CIISA, ubicada en La Ribera de Belén de Heredia, durante el segundo semestre del año 2021.

### **1.3 Situación actual del conocimiento del tema**

Según el artículo de Restrepo, Burbano y Salgado (2005), el diagnóstico energético en sistemas de generación y distribución de vapor comprende tres objetivos fundamentales:

- Evaluar cuantitativamente la energía que se transforma en el proceso de generación de vapor.
- Establecer la eficiencia de los generadores de vapor.

- Indicar potenciales de ahorro y uso eficiente de energía a partir de herramientas simples de gestión, y definir las medidas por aplicar.

Según el artículo de Villacrés y Andrade (2008), cuyo título es Ahorro energético en el sistema de recuperación de condensados de una planta industrial en Guayaquil utilizando un surge tank, en un sistema de condensados totalmente cerrado, se pueden alcanzar eficiencias de hasta un 95%.

Según la tesis presentada por Álvarez González (2016), bajo el título de Eficiencia energética en la red de distribución de vapor a través de la recuperación del condensado en una industria de alimentos, existen dos tipos de sistemas de recuperación de condensados: sistemas venteados y sistemas presurizados. En un sistema venteado de recuperación de condensados, se usa la presión a la entrada de la trampa de vapor, o una bomba, para llevar el condensado a un tanque colector abierto a la atmósfera, donde puede utilizarse como agua de alimentación a la caldera, precalentamiento u otras aplicaciones de agua caliente. En un sistema presurizado de recuperación de condensado, este se mantiene a una presión mayor a la atmosférica durante todo el proceso de recuperación. Generalmente, el condensado presurizado sirve como agua de alimentación a la caldera. Como tanto el vapor flash como el vapor vivo en el retorno vienen presurizados, pueden ser reusados en aplicaciones como calderas de recuperación y sistemas en cascada.

Según Armstrong International, Inc. (1998), en la Guía para la conservación de vapor en el drenado de condensados, el vapor flash se forma cuando se tiene condensado caliente o agua hirviendo, presurizados, y se libera a una presión más baja; parte de esos líquidos se vuelven a evaporar, y a esto es a lo que se le llama vapor flash o vapor secundario. Es de suma importancia recuperar este vapor flash, ya que contiene grandes cantidades de energía que pueden ser utilizadas nuevamente en la generación de vapor o en otros procesos.

Según el libro de Incropera (1999), Fundamentos de transferencia de calor, la conducción se considera como la transferencia de energía de las partículas más

energéticas a las menos energéticas de una sustancia, debido a las interacciones entre ellas y al gradiente de temperatura.

Según el manual de la Junta de Castilla y León (2010), llamado Manual técnico, diseño y cálculo de redes de vapor, el vapor de agua en la industria es un producto muy utilizado por sus características energéticas, dado que en una unidad pequeña hay gran contenido energético. Ahora bien, los costes de producción y distribución en las naves de producción son elevados. Por ello, los responsables técnicos o gerenciales han de poner mucha atención en su producción, en su transporte hasta los puntos de consumo y en su uso, con objeto de que su utilización sea lo más eficaz y eficiente posible.

Palacios, Peña e Hidalgo (2015), en el artículo Técnicas de gestión energética en sistemas de vapor, manifiestan que las trampas de vapor establecen el límite entre el vapor y el condensado; por lo tanto, si existen fallas en su operación, se tendrá como resultado escape de vapor, existiendo por consiguiente pérdidas de energía y, por lo tanto, pérdidas económicas.

#### **1.4 Objeto de estudio**

El efecto de recuperación de la energía del sistema de vapor sobre el consumo de combustible de las calderas, de la empresa CIISA, ubicada en La Ribera de Belén de Heredia, durante el segundo semestre del 2021.

#### **1.5 Objetivo general**

Clasificar las posibles fuentes de desperdicio de energía del sistema de generación y trasiego de vapor, por medio de mediciones y cálculos, para la cuantificación y determinación de formas de aprovechamiento enfocado hacia una reducción de al menos un diez por ciento en el consumo de combustible de las calderas de la empresa CIISA, durante el segundo semestre del 2021.

## **1.6 Objetivos específicos**

- Obtener la cantidad de combustible que se ahorraría la empresa si se aprovecha la energía desperdiciada en el sistema de generación y trasiego de vapor, para la determinación del ahorro en la factura del pago de combustibles de la empresa.
- Comparar el consumo de producto químico actual con el consumo de producto químico si se aprovecha adecuadamente el agua del retorno de condensados, para la determinación del ahorro que obtendría la empresa.
- Analizar la situación actual del sistema mediante la utilización de un software, para la comparación de estos resultados con los resultados obtenidos mediante la investigación, con el fin de analizar el sistema mediante dos métodos y obtener resultados más fiables.
- Realizar un análisis económico sobre la viabilidad de las propuestas de solución para el desperdicio de energía, mediante el cálculo de indicadores financieros para la justificación de la implementación de las mismas.

## **1.7 Estrategia metodológica**

### **1.7.1 Planteamiento**

Para desarrollar el proyecto, se va a utilizar una investigación tipo descriptiva y cuantitativa, ya que se pretende realizar una recopilación de datos físicos, con el fin de generar una serie de indicadores, que posteriormente serán analizados para determinar si el planteamiento del proyecto es correcto.

### **1.7.2 Hipótesis**

Las pérdidas en el sistema de vapor, serán lo suficientemente representativas como para ejecutar las propuestas de mejora y con esto reducir el consumo de energía de las calderas.

### 1.7.3 Tabla de variables

Objetivos	Variable	Dimensión	Indicadores
Determinar las posibles fuentes de desperdicio de energía del sistema de generación y trasiego de vapor, por medio de mediciones y cálculos, para la determinación de su aprovechamiento enfocado hacia una reducción de al menos un diez por ciento en el consumo de combustible de las calderas de la empresa CIISA, durante el segundo semestre del 2021.	Energía	Consumo de combustible	Megajulios/ Toneladas de animales procesados
Obtener la cantidad de combustible que se ahorraría la empresa si se aprovecha la energía desperdiciada en el sistema de generación y trasiego de vapor, para la determinación del ahorro en la factura del pago de combustibles de la empresa.	Energía	Costo	Factura de combustible / Toneladas de animales procesados
Comparar el consumo de producto químico actual con el consumo de producto químico si se aprovecha adecuadamente el agua del retorno de condensados, para la determinación del ahorro que obtendría la empresa.	Eficiencia	Consumo de químico	Litro de químico / Toneladas de animales procesados
Realizar un análisis económico sobre la viabilidad de las propuestas de solución para el desperdicio de energía, mediante el cálculo de indicadores financieros para la justificación de la implementación de las mismas.	Impacto económico	Finanzas	(VAN, TIR y PR)

### 1.7.4 Muestra

El análisis se realizará sobre el sistema de distribución de vapor y retorno de condensados de la empresa CIISA. A continuación, se presentan los consumidores de vapor de la planta.

Departamento	Equipo	Tubería $\varnothing$ (Pulgadas)	Presión (Bar)
Rendering	Cocedor #1	3	6
	Cocedor #2	3	6
	Cocedor #3	3	6
	Cocedor #4	3	6
	Tanques de sebo	3	6
Sacrificio de res	Calentador de agua en línea	2	3
Sacrificio de res	Tanque de agua caliente	2	3
Subproductos de res	Máquina de patas 95 °C	3/4	3
Subproductos de res	Máquina mondongo 95 °C	3/4	6
Tripería de res	Centrífuga de rayos	1	6
Tripería de res	Centrífuga de piedra	1	6
Tripería de res	Cocina 95 °C	1	6
Deshuese de res	Túnel de calor	3/4	3
Sacrificio de cerdos	Tanque de agua caliente	2 1/2	6
Sacrificio de cerdos	Paila 60 °C	2	6
Subproductos de cerdos	Cocina 95 °C	1	3
Paquetería	Tanque de agua caliente	1	3



métodos diferentes -por ultrasonido, por termografía y por inspección visual-, generando así un reporte muy confiable del estado actual de las trampas de vapor. Finalmente, se analizará la capacidad actual del tanque de condensados, para compararlo con la cantidad de condensado generada, y posteriormente se hará el cálculo matemático para determinar la cantidad de energía desperdiciada.

3- Se realizarán mediciones de campo en cada uno de los equipos consumidores de vapor, midiendo la temperatura externa del aislamiento de cada equipo, para determinar la cantidad de energía que se está aprovechando en cada uno de los equipos.

4- Se procederá con la tabulación de datos, para la determinación de la cantidad de energía que se está desperdiciando, actualmente, en el sistema de generación y trasiego de vapor; después se procederá a comparar este dato con la energía desperdiciada en un sistema en óptimas condiciones. La comparación se realizará mediante el uso de una hoja de cálculo de Excel, en la cual se calcularán las pérdidas actuales del sistema y las pérdidas con la implementación de la propuesta de diseño.

5- Se procederá con el análisis de la situación actual del sistema mediante la utilización de un software, para después comparar estos resultados con los resultados obtenidos a través de la tabulación de datos.

6- Se realizarán mediciones de campo para la determinación de la cantidad de kg de producto químico utilizado actualmente, para tratar el agua que ingresa a las calderas, para después compararlo con la cantidad de producto químico que se utilizaría si se aprovecha al máximo el agua del sistema de retorno de condensados; esto se logra determinando la cantidad de producto químico necesario para tratar un metro cúbico de agua de reposición de la caldera, lo cual se precisa midiendo el caudal de agua y el gasto de producto químico en un determinado espacio de tiempo.

7- Una vez obtenida la cantidad de energía que se está desperdiciando en el sistema de trasiego y consumo de vapor, se dividirá entre el poder calorífico de los

combustibles utilizados para la generación de vapor, obteniendo así la cantidad de combustible que la empresa se ahorraría si aprovecha esta energía. Esto se logrará utilizando la siguiente fórmula:

$$\frac{MJ}{MJ/L} = L$$

8- Una vez determinado si hay una oportunidad de mejora en el aprovechamiento de la energía en el sistema de generación y consumo de vapor, se presentará una lista de propuestas de mejora sobre el sistema, enfocadas en reducir el consumo de combustible de las calderas. Dicha lista tendrá un orden de prioridad, siendo las más relevantes las que tengan un mayor impacto en el consumo de combustible.

9- Mediante la utilización de herramientas financieras, se obtendrán indicadores financieros, que indicarán cuán viable es económicamente realizar las propuestas de ingeniería presentadas.

## Capítulo II

### 2.1 Marco teórico

A continuación, se presentan los principales conceptos utilizados para el desarrollo del análisis energético del sistema de vapor, con el fin de facilitar la comprensión de ese desarrollo del mismo y dar una guía sobre temas de rediseño y verificación de sistemas de vapor.

#### 2.1.1 Sistemas de vapor

Durante muchos años, el vapor de agua, como pocas de las otras tecnologías, ha contribuido al desarrollo humano, por lo que sus mayores aportes se dieron a partir de la Revolución Industrial, hasta convertirse en el fluido térmico más ampliamente utilizado. Lo que hace su empleo tan generalizado es un conjunto de características que lo hacen insustituible, y entre las que cabe mencionar las siguientes:

- Materia prima de bajo costo y generalmente de fácil obtención.
- Temperaturas y presiones de empleo amplias y de fácil regulación.
- De fácil transporte y recuperación de desechos por tuberías.
- Elevados calor específico y calor de condensación.

Es por estas y otras ventajas que la humanidad ha desarrollado ampliamente la generación de vapor para su propio beneficio.

#### 2.1.2 Generadores de vapor

Un generador de vapor consiste básicamente en un recipiente cerrado, con el objetivo de producir vapor a partir de agua de alimentación; para lograr esto utiliza la energía proveniente de una fuente de calor, generalmente la de combustibles fósiles, los cuales, al ceder su energía, logran evaporar el agua a la presión de operación requerida por el sistema en el que se dará uso de ese vapor.

Estos generadores existen de varios tipos y formas, y son clasificados de distintas formas; entre ellas quizá las más importantes son las listadas enseguida:

- El tamaño o capacidad de generación de vapor.

- El tipo de combustible utilizado como medio de generación.
- El contenido de los tubos dentro de la caldera.

Al seleccionar un generador de vapor, se debe revisar que este cumpla algunos requerimientos, tales como:

- Satisfacer demanda de vapor: flujo, presión, temperatura, calidad (producción de potencia, calor, requerimientos de proceso).
- Eficiencia térmica: mantenerla en el rango de carga.
- Confiabilidad: alta disponibilidad.
- Costo: inicial, operación, mantenimiento y reparación.
- Impacto ambiental: límites de emisiones.

El generador de vapor es el elemento principal en los sistemas de distribución de vapor, pero además de este, el sistema depende de otros muchos elementos, para distribuir eficientemente el vapor a cada uno de los consumidores.

### **2.1.3 Componentes de un sistema de generación y distribución de vapor**

Entre los principales componentes de un sistema de generación y distribución de vapor pueden mencionarse:

- Generador de vapor (caldera) y sus auxiliares.
- Tuberías de vapor.
- Válvulas de regulación.
- Equipos consumidores.
- Motores primarios: máquinas de vapor, turbinas.
- Equipos de proceso: intercambiadores de calor, evaporadores, secadores, reactores, entre otros.
- Trampas de vapor, sellos barométricos.
- Sistema de condensado: tuberías, tanques, bombas.
- Sistema de agua de alimentación: tanques, bombas, calentadores.
- Sistema de tratamiento de agua.
- Instrumentación y sistemas de control.

Todos estos componentes funcionan en conjunto para generar y distribuir el vapor saturado, el cual realiza una eficiente transferencia de energía mediante el calor latente del fluido.

#### **2.1.4 Vapor Saturado**

Es el vapor a la temperatura de ebullición del líquido. A esta temperatura se puede dar la mezcla de vapor con líquido, proporción a la que se le llama calidad, denotándose así al porcentaje en masa de vapor presente en la mezcla. Al tener solamente líquido a la presión de saturación se le conoce como líquido saturado, mientras que al existir solamente vapor a una temperatura mayor que la de ebullición se le conocerá como vapor sobrecalentado. Este tiene múltiples aplicaciones, pero su producción requiere de un mayor costo de producción, además de equipos adicionales, como sobrecalentadores, para conseguir esas altas temperaturas.

Cuando el vapor saturado entrega la energía requerida por el equipo, a una presión de trabajo determinada, pierde temperatura y sufre un cambio de estado, pasando de vapor a líquido, el cual es evacuado del equipo por las trampas de vapor, ya que si no es evacuado se reduce considerablemente la eficiencia del equipo. Este condensado aún posee una cantidad de energía considerable, por lo que es de suma importancia aprovechar esta energía mediante un sistema adecuado de recuperación de condensados.

#### **2.1.5 Recuperación de condensados**

La no recuperación de condensados implica pérdidas bastante representativas, dejando de lado la pérdida debido a la constante reposición de agua de alimentación y a las pérdidas por tratamientos del agua de alimentación, tomando en cuenta solamente la pérdida anual de calor en el condensado desechado mediante la siguiente expresión:

$$Q_t = 3600 * Q_{cond} * (h_{f\ cond} - h_{f\ bfm}) * t * n$$

Ecuación 1, Cálculo pérdida por no recuperación de condensado. (Armstrong International, Inc., 1998).  
Donde:

$Qt$  = Calor perdido, kJ/año.

$Q_{\text{cond}}$  = Flujo de condensados no retornados, kg/s.

$hf_{\text{cond}}$  = Entalpía de líquido saturado a la temperatura de los condensados, kJ/kg.

$hf_{\text{cond}}$  = Entalpía de líquido saturado a temperatura ambiente, kJ/kg.

$t$  = tiempo de operación, h/año.

$n$  = Eficiencia térmica de la caldera.

Estas pérdidas se deben al calor requerido para elevar la temperatura del agua de alimentación, dejando de lado otras pérdidas y la contaminación ambiental, debido al mayor consumo de combustible y al desecho térmico de condensados a alta temperatura.

Además de pérdidas por el desperdicio de la energía en el condensado no recuperado, también hay otras pérdidas considerables en los sistemas de generación y distribución de vapor; una de ellas es la falta de aislamiento térmico en las tuberías de distribución, donde se encuentra una gran oportunidad de aprovechamiento de la energía.

### 2.1.6 Aislamiento de tuberías y accesorios

La importancia del aislamiento en las tuberías y accesorios yace en que este propicia la disminución de la pérdida de energía, además de evitar accidentes por quemaduras del personal, y disminuye la temperatura del sitio de trabajo.

### 2.1.7 Disipación de calor en tuberías sin aislamiento

Aunque se pudiese pensar que carece de importancia al ser algo poco tangible, la pérdida de calor a través de los ductos que transportan el vapor es cuantificable mediante múltiples métodos. Las siguientes ecuaciones permiten determinar la energía perdida en tuberías sin aislamiento.

$$q = \frac{\pi(T_f - T_a)}{\frac{1}{\alpha_i * D_{int}} + \frac{1}{2 * \lambda_p} * \ln\left(\frac{D_{ext}}{D_{int}}\right) + \frac{1}{\alpha_e * D_{ext}}}$$

Ecuación 2, Cálculo de flujo de calor, tuberías sin aislamiento. (Junta de Castilla y León, 2010).

Donde:

$q$  = Densidad de flujo de calor, W/m.

$\lambda_p$  = Conductividad térmica de la pared del tubo, W/m K.

$\alpha_i$  = Coeficiente de transferencia de calor en el interior de la tubería, W/m<sup>2</sup> K.

$\alpha_e$  = Coeficiente de transferencia de calor en el exterior de la tubería, W/m<sup>2</sup> K.

$D_{ext}$  = Diámetro exterior del tubo, m.

$D_{int}$  = Diámetro interior del tubo, m.

$T_f$  = Temperatura del fluido de trabajo, °C.

$T_a$  = Temperatura ambiente, °C.

Se calcula el coeficiente de transferencia de calor en el exterior de la tubería ( $\alpha_e$ ), por medio de la siguiente ecuación:

$$\alpha_e = \alpha_{conv} + \alpha_{rad}$$

Ecuación 3, Coeficiente de transferencia de calor en el exterior de la tubería.

Donde:

$\alpha_{conv}$  = Coeficiente de transferencia de calor por convección, W/m<sup>2</sup> K.

$\alpha_{rad}$  = Coeficiente de transferencia de calor por radiación, W/m<sup>2</sup> K.

Se calcula el Coeficiente de transferencia de calor por convección ( $\alpha_{conv}$ ), por medio de la siguiente ecuación:

$$\alpha_{conv} = \frac{Nuf * \lambda_f}{D_{ext}}$$

Ecuación 4, Coeficiente de transferencia de calor por convección.

Donde:

$\lambda_f$  = Conductividad térmica del aire a temperatura ambiente, W/m K.

$Nuf$  = Número de Nusselt.

Si  $10 \leq Ref \leq 1 \times 10^3$  entonces  $Nuf = 0.44 * Ref$

Si  $1 \times 10^3 \leq Ref \leq 2 \times 10^5$  entonces  $Nuf = 0.22 * Ref$

Se calcula el número de Reynolds:

$$Re_f = \frac{V_f * D_{ext}}{V}$$

Ecuación 5, Número de Reynolds.

Donde:

$V_f$  = Velocidad del aire exterior, m/s.

$V$  = Viscosidad cinemática del aire a temperatura ambiente, m<sup>2</sup>/s.

Se procede a calcular el Coeficiente de transferencia de calor por radiación, utilizando la siguiente ecuación:

$$\alpha_{rad} = Q * \epsilon_{sup} * ((T_{sup})^4 - (T_a)^4)$$

Ecuación 6, Coeficiente de transferencia de calor por radiación.

Donde:

$Q$  = Constante de Stefan-Boltzmann =  $5.67 \times 10^{-8}$  W/m<sup>2</sup> \* K<sup>4</sup>.

$\epsilon_{sup}$  = Emisividad de la pared del tubo.

$T_{sup}$  = Temperatura superficial (K).

$T_a$  = Temperatura ambiente (K).

Como se puede observar, hay métodos para determinar la cantidad de energía desperdiciada en tuberías de trasiego de vapor sin aislamiento, los cuales son de gran utilidad para demostrar la importancia de tener una red de distribución debidamente aislada térmicamente. Sin embargo, para obtener un dato más confiable de cuánta energía se pierde en las tuberías sin aislamiento, también hay que saber cuánta es la energía que se pierde con tuberías adecuadamente aisladas, ya que el dato real de cuánta energía se pierde es la diferencia entre ambas.

### **2.1.8 Disipación de calor en tuberías con aislamiento**

Las siguientes ecuaciones permiten determinar la energía perdida en tuberías con aislamiento.

$$q = \frac{\pi(T_f - T_a)}{\frac{1}{\alpha_i * D_{int}} + \frac{1}{2 * \lambda_p} * \ln\left(\frac{D_{ext}}{D_{int}}\right) + \frac{1}{2 * \lambda_{ais}} * \ln\left(\frac{D_{ais}}{D_{ext}}\right) + \frac{1}{\alpha_e * D_{ais}}}$$

Ecuación 7, Cálculo de flujo de calor, tuberías aisladas. (Junta de Castilla y León, 2010).

Donde:

$q$  = Densidad de flujo de calor, W/m.

$\lambda_p$  = Conductividad térmica de la pared del tubo, W/m K.

$\lambda_{ais}$  = Conductividad térmica del aislante, W/m K.

$\alpha_i$  = Coeficiente de transferencia de calor en el interior de la tubería, W/m<sup>2</sup> K.

$\alpha_e$  = Coeficiente de transferencia de calor en el exterior de la tubería, W/m<sup>2</sup> K.

$D_{ext}$  = Diámetro exterior del tubo, m.

$D_{int}$  = Diámetro interior del tubo, m.

$D_{ais}$  = Diámetro exterior del aislamiento, m.

$D_{ais} = D_{ext} + E_{ais}$ .

$E_{ais}$  = Espesor del aislamiento, m.

$T_f$  = Temperatura del fluido de trabajo, °C.

$T_a$  = Temperatura ambiente, °C.

Se calcula el coeficiente de transferencia de calor en el exterior de la tubería ( $\alpha_e$ ), por medio de la siguiente ecuación:

$$\alpha_e = \alpha_{conv} + \alpha_{rad}$$

Ecuación 3, Coeficiente de transferencia de calor en el exterior de la tubería.

Donde:

$\alpha_{conv}$  = Coeficiente de transferencia de calor por convección, W/m<sup>2</sup> K.

$\alpha_{rad}$  = Coeficiente de transferencia de calor por radiación, W/m<sup>2</sup> K.

Se calcula el Coeficiente de transferencia de calor por convección ( $\alpha_{conv}$ ), por medio de la siguiente ecuación:

$$\alpha_{conv} = \frac{Nu_f * \lambda_f}{D_{ais}}$$

Ecuación 4, Coeficiente de transferencia de calor por convección.

Donde:

$\lambda_f$  = Conductividad térmica del aire a temperatura ambiente, W/m K.

Nuf = Número de Nusselt.

Si  $10 \leq Ref \leq 1 \times 10^3$  entonces  $Nuf = 0.44 * Ref$

Si  $1 \times 10^3 \leq Ref \leq 2 \times 10^5$  entonces  $Nuf = 0.22 * Ref$

Se calcula el número de Reynolds

$$Ref = \frac{V_f * D_{ais}}{V}$$

Ecuación 5, Número de Reynolds.

Donde:

$V_f$  = Velocidad del aire exterior, m/s.

$V$  = Viscosidad cinemática del aire a temperatura ambiente, m<sup>2</sup>/s.

Se procede a calcular el Coeficiente de transferencia de calor por radiación, utilizando la siguiente ecuación:

$$\alpha_{rad} = Q * \epsilon_{sup} * ((T_{sup})^4 - (T_a)^4)$$

Ecuación 6, Coeficiente de transferencia de calor por radiación.

Donde:

$Q$  = Constante de Stefan-Boltzmann =  $5.67 \times 10^{-8}$  W/m<sup>2</sup> \* K<sup>4</sup>.

$\epsilon_{sup}$  = Emisidad de la pared del tubo.

$T_{sup}$  = Temperatura superficial (K).

$T_a$  = Temperatura ambiente (K).

Además de las pérdidas de energía por falta de aislamiento en las tuberías utilizadas para el trasiego de vapor, también hay otras pérdidas de energía considerables en los sistemas de generación y trasiego de vapor, como lo son las fugas en las tuberías.

### 2.1.9 Pérdida energética por fugas en la tubería de trasiego de vapor

Para poder determinar la pérdida de calor debido a las fugas de vapor, se utilizará la ecuación de Napier, donde la pérdida se expresa en lb/hr.

$$V = A_{ori} * P * \left(\frac{3600}{70}\right)$$

Ecuación 8, Pérdida de energía por orificios.

Nota: Ecuación de Napier.

Donde:

V = Pérdida de vapor (Lb/hr).

A<sub>ori</sub> = Área del orificio (pulg<sup>2</sup>).

P = Presión (psi).

Como se puede observar, este método es muy útil para obtener la cantidad de energía desperdiciada cuando hay fugas de vapor en las tuberías de trasiego de vapor, pero además también es útil para obtener la cantidad de energía desaprovechada cuando se tienen trampas de vapor en mal estado, ya que se utiliza el mismo método, tomando como diámetro del agujero el calibre del orificio de la trampa.

### 2.1.10 Pérdida energética por trampas de vapor en mal de estado

Para determinar la pérdida de vapor en una trampa en mal estado, se utiliza el mismo método que se ha aplicado para calcular la pérdida por orificios, tomando el diámetro del agujero de la trampa como el agujero a calcular.

$$V = A_{ori} * P * \left(\frac{3600}{70}\right)$$

Ecuación 9, Pérdida de energía por orificios.

Nota: Ecuación de Napier.

Todos estos métodos son de suma importancia, para determinar la cantidad de energía que se desperdicia en los sistemas de generación y trasiego de vapor obsoletos o en malas condiciones, y la necesidad de invertir los recursos necesarios para corregirlos o actualizarlos con tecnologías más eficientes.

## Capítulo III

### 3.1 Análisis de datos recolectados

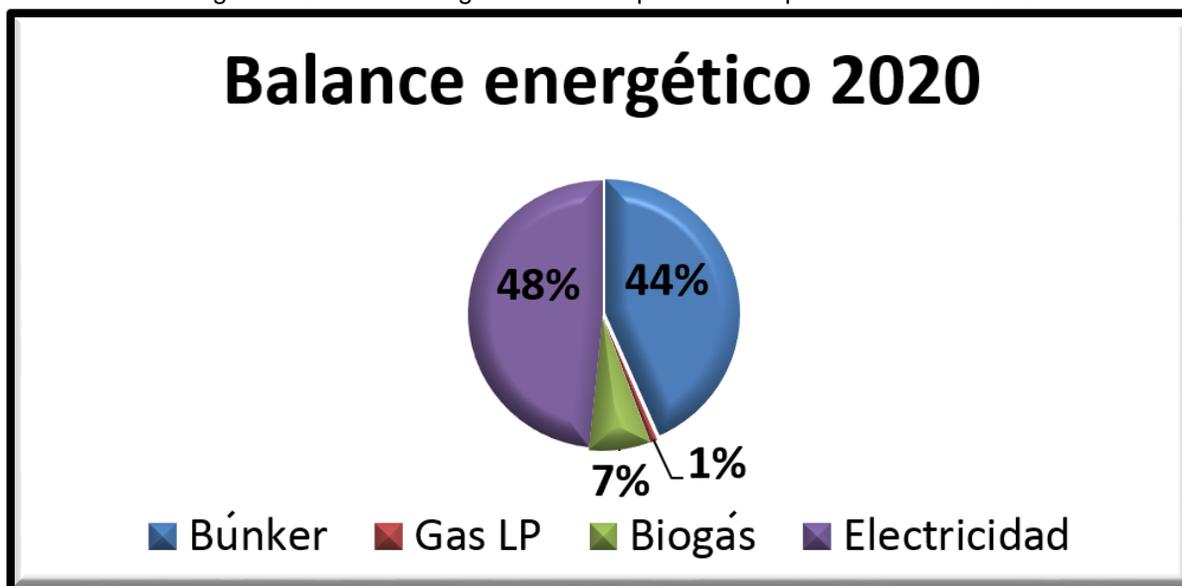
#### 3.1.1 Variables correspondientes a la generación de vapor

Se realiza la toma de datos del registro histórico de la empresa, y se obtienen los siguientes indicadores correspondientes a la generación de vapor:

#### Balance energético

En el siguiente gráfico se presenta el balance energético de la empresa CIISA, en el cual se puede observar que la cantidad de energía utilizada para la generación de vapor es elevada, representando una gran oportunidad para encontrar opciones de aprovechamiento de la energía.

Imagen 1. Balance energético de la empresa correspondiente al año 2020

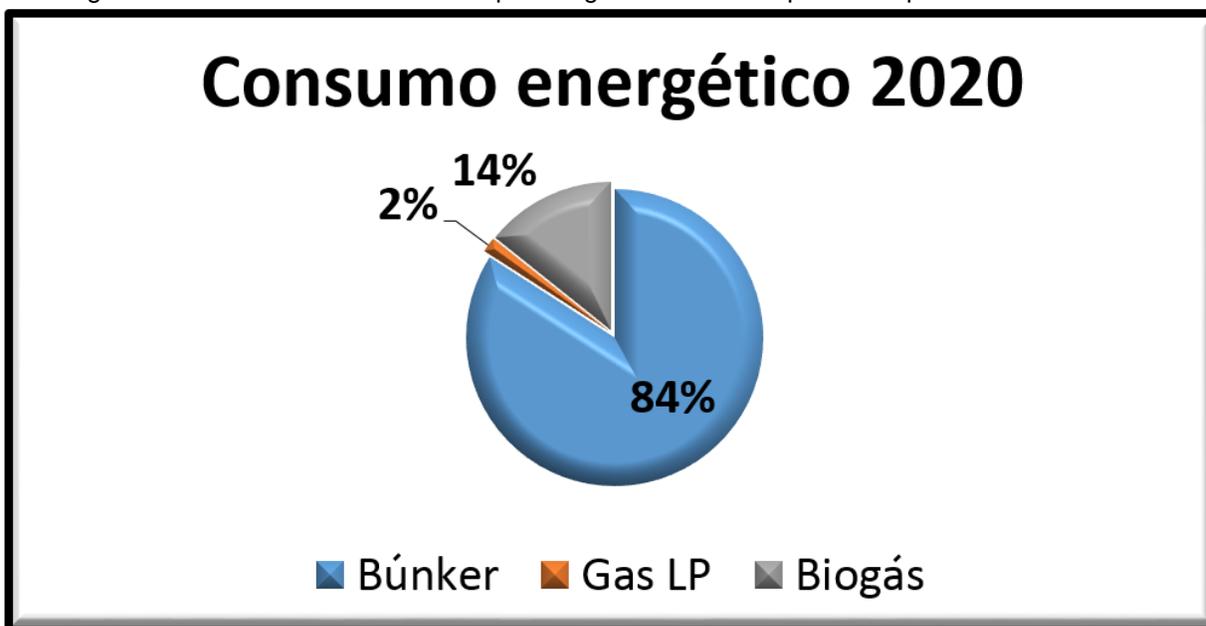


Fecha: 15 de junio de 2021.  
Fuente: Elaboración propia.

## Consumo de combustibles

En el siguiente gráfico se presenta el porcentaje de cada uno de los combustibles utilizados para la generación de vapor, en el cual se puede observar que el combustible más utilizado para la generación de vapor es el búnker.

Imagen 2. Consumo de combustibles para la generación de vapor correspondiente al año 2020

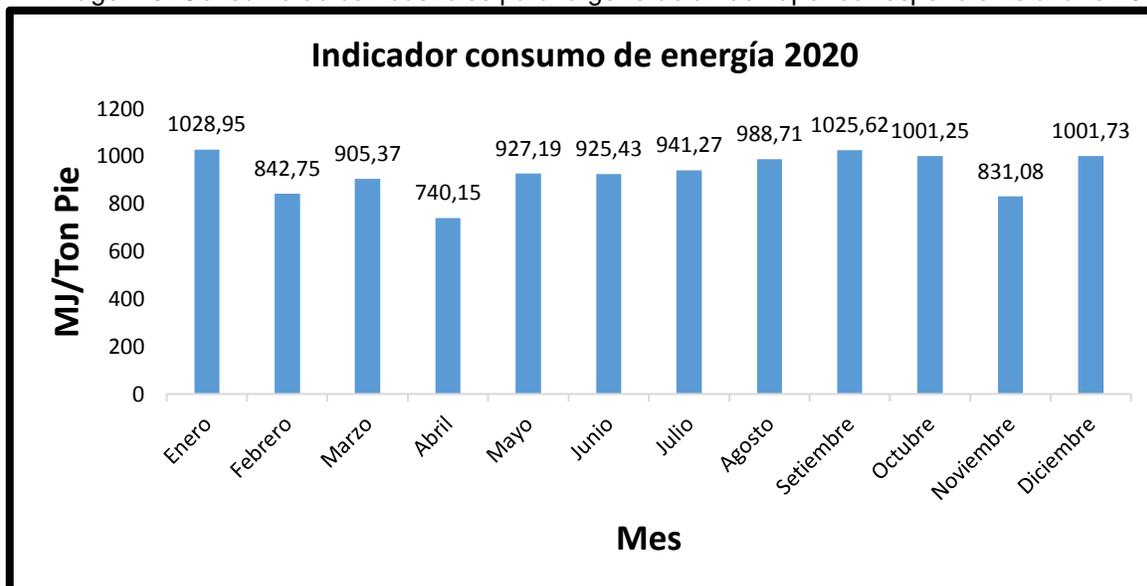


Fecha: 15 de junio de 2021.  
Fuente: Elaboración propia.

## Megajulios utilizados por toneladas de animales procesados

En el siguiente gráfico de barras se presenta la cantidad promedio de energía utilizada mensualmente para la generación de vapor, por cada tonelada de animales procesados. Al analizar estos datos, se puede observar que hay una variación no significativa en la cantidad de energía que se utiliza para la generación de vapor por tonelada de animales procesados, lo cual se debe a diferentes factores de producción que inciden sobre este indicador.

Imagen 3. Consumo de combustibles para la generación de vapor correspondiente al año 2020



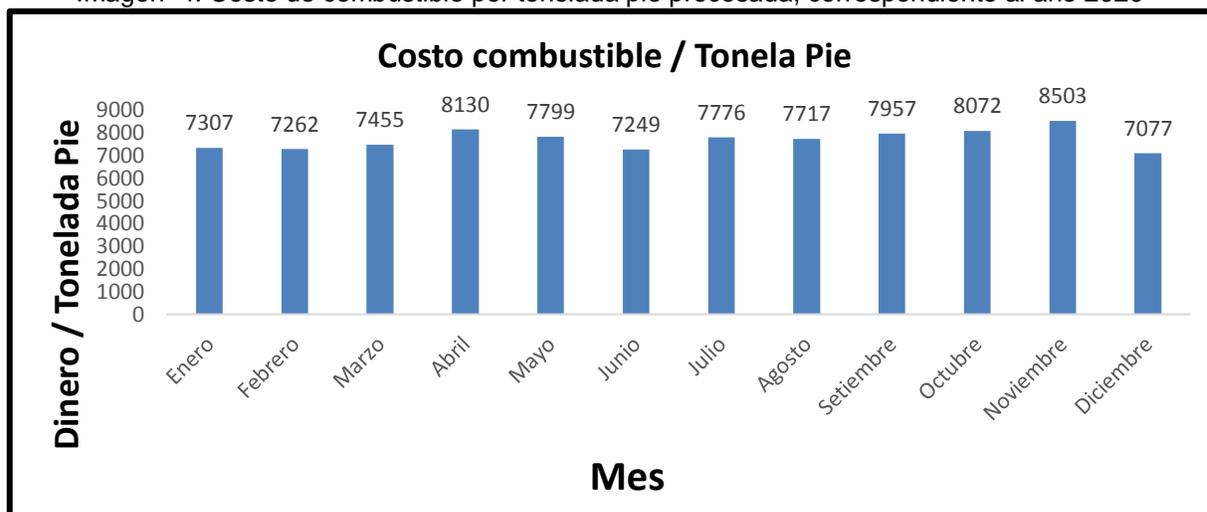
Fecha: 15 de junio de 2021.

Fuente: Elaboración propia.

### Factura de combustible mensual por tonelada de animales procesados

En el siguiente gráfico se presenta la cantidad promedio de dinero que se utiliza mensualmente para la generación de vapor, por cada tonelada de animales procesados, donde se observa que la cantidad de dinero utilizado por la empresa, para generar el vapor necesario para procesar una tonelada de animales, no varía significativamente de un mes a otro.

Imagen 4. Costo de combustible por tonelada pie procesada, correspondiente al año 2020



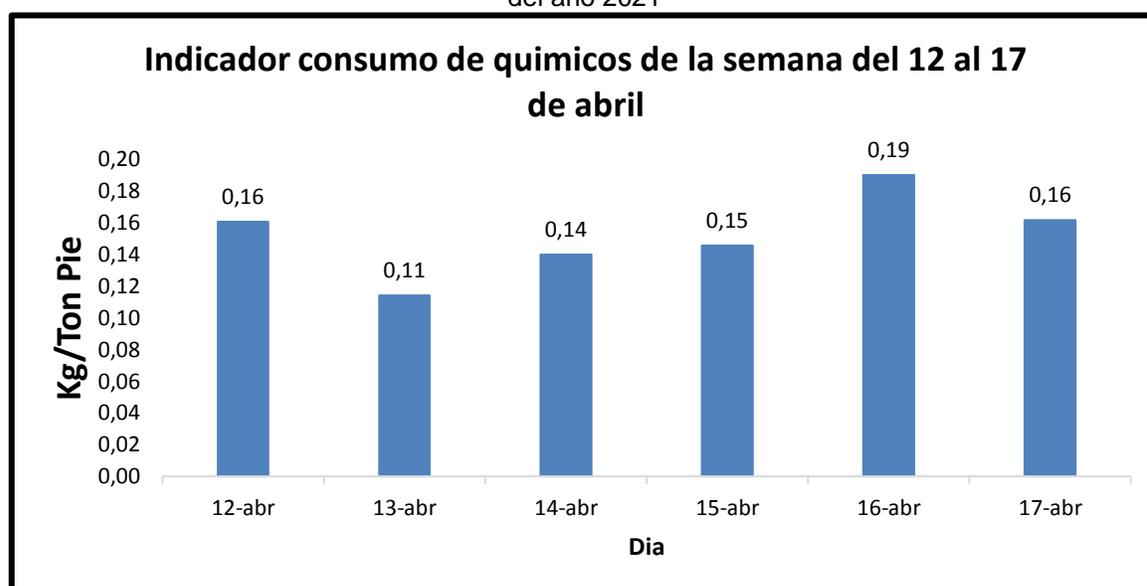
Fecha: 15 de junio de 2021.

Fuente: Elaboración propia.

## Kilogramos de químico utilizado

En el siguiente gráfico se presentan los kilogramos de químico utilizado para tratar el agua de ingreso a la caldera, por cada tonelada de animales procesados, en el cual se toma en cuenta la sal para regenerar el suavizador, el antiincrustante, el anticorrosivo, el dispersante y por último el secuestrador de oxígeno, esto correspondiente a la semana del 12 al 17 del mes de abril del 2021. Aquí se puede observar que la cantidad de químico utilizado por tonelada de animal es constante.

Imagen 5. Consumo de químico por tonelada pie correspondiente a la semana del 12 al 17 de abril del año 2021

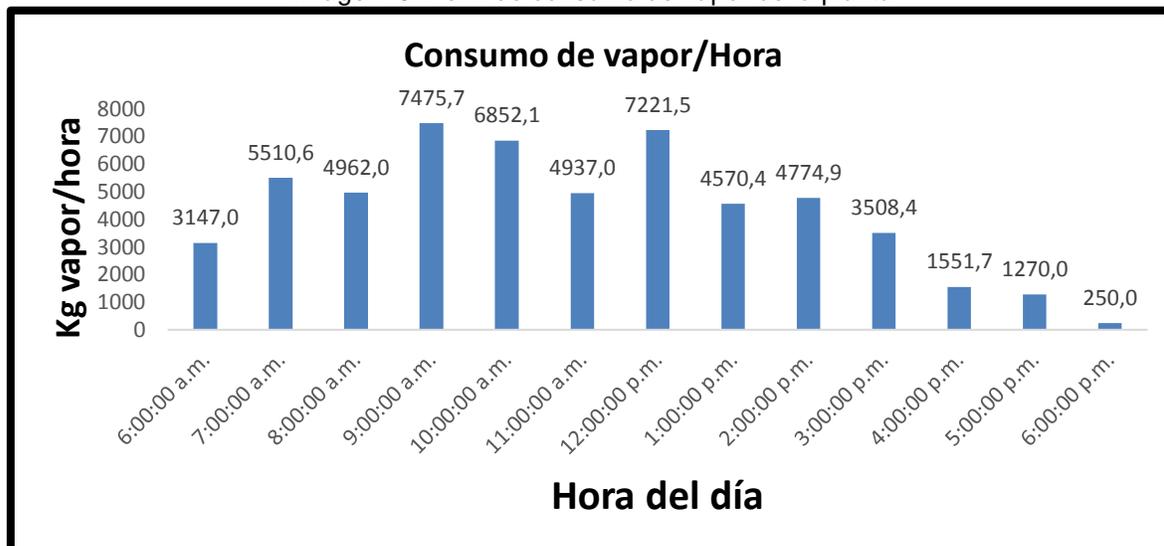


Fecha: 15 de junio de 2021.  
Fuente: Elaboración propia.

## Perfil de consumo de vapor de los equipos de la planta

Los datos presentes en el siguiente gráfico, corresponden al análisis del comportamiento de los equipos consumidores de vapor de la planta, de la semana del 12 al 17 del mes de abril del 2021, en el cual se puede observar que las horas de mayor consumo de vapor de la empresa son entre las 9 de la mañana y las 12 mediodía, presentando una disminución paulatina del consumo de vapor después de estas horas.

Imagen 6. Perfil de consumo de vapor de la planta



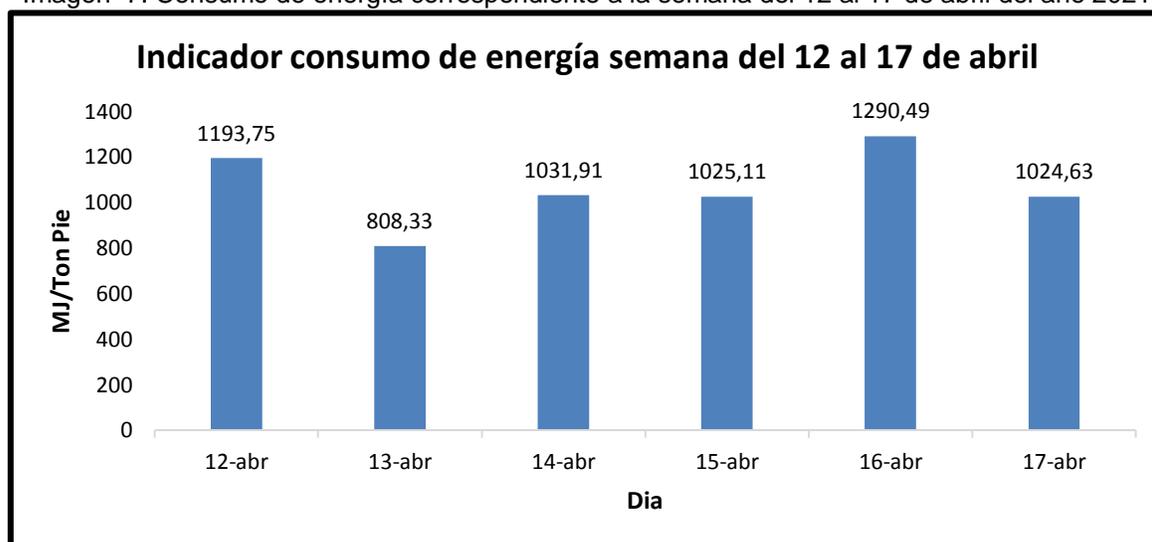
Fecha: 15 de junio de 2021.

Fuente: Elaboración propia.

### Megajulios utilizados por toneladas de animales procesados, del 12 al 17 de abril del año 2021

En el siguiente gráfico de barras se presenta la cantidad promedio de energía utilizada diariamente para la generación de vapor, por cada tonelada de animales procesados. Al analizar los datos, se puede observar que hay una variación en el consumo energético, lo cual se debe a diferentes factores de producción que inciden sobre este indicador.

Imagen 7. Consumo de energía correspondiente a la semana del 12 al 17 de abril del año 2021



Fecha: 15 de junio de 2021.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.2 Generación de vapor

Se analizan los componentes del sistema de generación de vapor de la empresa, y se obtienen los siguientes datos:

Tabla 1. Datos caldera Cleaver Brooks

Dato	Dato Valor	Unidad
Fluido	Vapor saturado	
Potencia	500	BHP
Tipo	Tipo Tubos de fuego	.....
Combustible(s)	GLP / Biogás	.....
Cantidad de pasos	4	.....
Presión de operación	95	Psi
	6,5	Bar
Presión de diseño	150	Psi
	10,3	Bar
Economizador	No	.....
Purga de superficie	Sí	.....
Recuperación de calor de purga de superficie y/o fondo.	No	.....
Pre calentador de aire	No	.....
Marca	Cleaver Brooks	.....
Modelo	CBLE – 700 – 500 - 150 ST	.....
Tiempo de operación	3	Horas
Temperatura gases de chimenea	220	°C
Generación de vapor	7824,5	Kg/Hr
Eficiencia	87	%

Fecha: 15 de junio de 2021.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Datos caldera Burnham

Dato	Dato Valor	Unidad
Fluido	Vapor saturado	
Potencia	600	BHP
Tipo	Tipo Tubos de fuego	.....
Combustible(s)	GLP / Bunker	.....
Cantidad de pasos	3	.....
Presión de operación	95	Psi
	6,5	Bar
Presión de diseño	150	Psi
	10,3	Bar
Economizador	No	.....
Purga de superficie	Sí	.....
Recuperación de calor de purga de superficie y/o fondo.	No	.....
Pre calentador de aire	No	.....
Marca	Burnham	.....
Modelo	3P – 600 – 50 – G – GP.	.....
Tiempo de operación	9	Horas
Temperatura gases de chimenea	220	°C
Generación de vapor	9389,4	Kg/Hr
Eficiencia	85	%

Fecha: 15 de junio de 2021.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Datos tanque diario

Dato	Dato Valor	Unidad
Volumen	2,61	m <sup>3</sup>
Temperatura	70	°C
Agua fresca	60481	L/día

Fecha: 15 de junio de 2021.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.3 Distribución de vapor

Se realiza el levantamiento de la tubería de distribución de vapor de la empresa, y se procede a comparar estos datos con los datos obtenidos a través del cálculo ingenieril, y los datos alcanzados mediante la utilización del software de la compañía especializada en vapor TLV. Los datos de diámetros de tubería obtenidos por medio del cálculo ingenieril y el software, fueron adquiridos utilizando el parámetro de velocidad del vapor en la tubería, el cual recomienda una velocidad de entre 25 y 40 m/s y hasta un mínimo de 15 m/s para tuberías de longitudes muy grandes.

Tabla 4. Datos preliminares de las tuberías de alimentación de vapor

Área	Equipo	Tubería vapor Ø (Pulgadas)	Tubería vapor Ø (mm)	Presión (Bar)	Longitud de tubería (Metros)	Consumo Nominal Máximo de Vapor Kg/hr
Rendering	Cocedor #1	3	77,90	6	3,00	2363,64
	Cocedor #2	3	77,90	6	6,00	2363,64
	Cocedor #3	3	77,90	6	9,00	2363,64
	Cocedor #4	3	77,90	6	12,00	2363,64
	Tanques de sebo 2	0,75	20,96	3	2,00	250
Sacrificio de res	Calentador de agua en línea	3	77,90	3	73,00	1600
Sacrificio de res	Tanque de agua caliente	2	52,48	3	61,30	400
Subproductos de res	Máquina de patas 95 °C	0,75	20,96	3	19,00	75
Subproductos de res	Máquina mondongo 95 °C	0,75	20,96	6	21,00	75
Tripería de res	Centrífuga de rayos	1,00	26,64	6	22,50	75
Tripería de res	Centrífuga de piedra	1,00	26,64	6	18,50	75
Tripería de res	Cocina 95 °C	1,00	26,64	6	12,50	100
Deshuese de res	Túnel de calor	0,75	20,96	3	35,50	30
Sacrificio de cerdos	Tanque de agua caliente	1,25	35,08	6	14,00	250
Sacrificio de cerdos	Paila 60 °C	2,00	52,48	6	10,00	600
Subproductos de cerdos	Cocina 95 °C	0,75	20,96	3	7,00	75
Paquetería	Tanque de agua caliente	1,00	26,64	3	95,50	100
Rendering	Tubería de las calderas al manifold del rendering	6,00	154,08	6,5	40,50	6832,28
Matanza de res	Tubería del rendering a matanza de res	2,00	52,48	6,5	45,90	280
Cerdos	Tubería de cerdos	4,00	102,26	6,5	190,00	925
Tripería de res	Tubería que alimenta tripería res	1,50	40,94	6,5	7,50	250

Fecha: 15 de junio de 2021.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta el procedimiento para determinar el diámetro de la tubería del cocedor #1 del rendering:

La ecuación utilizada para obtener el diámetro de la tubería es la siguiente:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times V}{\pi \times C}}$$

Ecuación 10, Cálculo diámetro de tuberías.

Donde:

D = Diámetro de la tubería, m.

V = Caudal volumétrico, m<sup>3</sup>/s = v(m<sup>3</sup>/kg) \* ṁ(kg/s).

v = Volumen específico, m<sup>3</sup>/kg.

ṁ = Caudal másico, kg/s.

C = Velocidad de flujo, m/s.

Cálculo del caudal volumétrico:

$$V = 0,272 \times \left( \frac{2363.4}{3600} \right) = 0.179$$

Ecuación 11, Cálculo caudal volumétrico.

Cálculo del diámetro de la tubería:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0.179}{\pi \times 37.5}} = 0.078$$

Ecuación 10, Cálculo diámetro de tuberías.

Este resultado se multiplica por mil y se obtiene el diámetro de la tubería, por lo cual el diámetro interior calculado de la tubería de alimentación de vapor del cocedor #1 es de 78 mm.

Ahora se calcula el diámetro de la misma tubería con el uso del software de la compañía especializada en vapor TLV.

Imagen 8. Cálculo de tubería del cocedor #1 mediante el software TLV

Introducir Datos		Unidades
Grado de Tubería	ANSI Sch40	
Presión de Vapor	6	barG
Rango de Flujo del Vapor	2363.64	kg/h
Velocidad Máxima Permissible [?]	40	m/s
Longitud de la Tubería [?]	3	m
<a href="#">Mostrar Opciones Avanzadas</a>		
<input type="button" value="Calcular"/> <input type="button" value="Limpiar"/>		
Resultados		
Tamaño de Tubería	NPS3	
Diámetro Interno Tubería	77.9272	mm
Velocidad del Vapor	37.4818	m/s
Caída de Presión	0.0182317	bar
Longitud Equivalente a una Tubería Horizontal	3	m

Fecha: 10 de junio de 2021.

Fuente: Software TLV (2021).

Se realiza el mismo procedimiento para las demás tuberías de alimentación de vapor, y se obtiene la siguiente tabla de resumen:

Tabla 5. Resumen de cálculo de tuberías mediante cálculo ingenieril y software

Equipo	Tubería vapor Ø (Pulgadas)	Tubería vapor Ø (mm)	Caída de presión software (Bar)	Velocidad del flujo m/s, (C) software	Tubería vapor calculada Ø (mm)	Tubería vapor calculada Ø software(mm)
Cocedor #1	3	77,90	0,018	37,5	78	77,9
Cocedor #2	3	77,90	0,036	37,5	78	77,9
Cocedor #3	3	77,90	0,055	37,5	78	77,9
Cocedor #4	3	77,90	0,073	37,5	78	77,9
Tanques de sebo 2	0,75	20,96	0,038	33,91	27	26,64
Calentador de agua en línea	3	77,90	0,19	23,77	78	77,92
Tanque de agua caliente	2	52,48	0,15	23,66	53	52,5
Máquina de patas 95 °C	0,75	20,96	0,2	27,93	21	20,9
Máquina mondongo 95 °C	0,75	20,96	0,13	16,5	21	20,9
Centrífuga de rayos	1,00	26,64	0,14	16,5	21	20,9
Centrífuga de piedra	1,00	26,64	0,12	16,5	21	20,9
Cocina 95 °C	1,00	26,64	0,14	22	21	21
Túnel de calor	0,75	20,96	0,27	19,6	16	15,8
Tanque de agua caliente	1,25	35,08	0,06	19,6	35	35,05
Paila 60 °C	2,00	52,48	0,032	21	52	52,5
Cocina 95 °C	0,75	20,96	0,07	27,9	21	20,9
Tanque de agua caliente	1,00	26,64	0,51	22,9	27	26,6
Tubería de calderas al manifold del rendering	6,00	154,08	0,05	26	154	154,05
Tubería del rendering a matanza res	2,00	52,48	0,11	15,1	41	40,9
Tubería de cerdos	4,00	102,26	0,53	21,2	63	62,7
Tubería tripería de res	1,50	40,94	0,03	18,35	35	35,05

Fecha: 15 de junio de 2021.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.4 Recomendaciones de tuberías de alimentación de vapor

Una vez analizadas las tuberías de alimentación de vapor de la empresa, se dan una serie de recomendaciones basadas en la variación del diámetro de las tuberías que no cumplen con las velocidades recomendadas para el trasiego de vapor, esto debido a que velocidades mayores a 40 m/s ocasionan en la tubería erosión, golpe de ariete y ruidos en ella, lo que con el tiempo ocasiona daños físicos en la tubería. Por otra parte, velocidades menores a 15 m/s ocasionan que se formen mayores cantidades de condensado, lo que afecta la transferencia de calor del vapor.

- Tubería tanques de sebo 2: se recomienda pasar a una tubería de 26.64 mm (1") de diámetro, ya que con la actual la velocidad del vapor sobrepasa los 40 m/s.
- Tubería centrífuga de rayos: se recomienda pasar a una tubería de 21 mm (3/4") de diámetro, para aumentar la velocidad del vapor, porque en 1" la velocidad del vapor sería inferior a 15m/s.
- Tubería centrífuga de piedra: se recomienda pasar a una tubería de 21 mm (3/4") de diámetro, para aumentar la velocidad del vapor, pues en 1" la velocidad del vapor sería inferior a 15m/s.
- Tubería cocina 95 °C: se recomienda pasar a una tubería de 21 mm (3/4") de diámetro, para aumentar la velocidad del vapor, ya que en 1" la velocidad del vapor sería inferior a 15m/s.
- Tubería túnel de calor: se recomienda pasar a una tubería de 15.8 mm (1/2") de diámetro, para aumentar la velocidad del vapor, porque en 3/4" la velocidad del vapor sería inferior a 15m/s.
- Tubería del rendering a matanza de res: se recomienda pasar a una tubería de 40.9 mm (1 1/2") de diámetro, para aumentar la velocidad del vapor, pues en 2" la velocidad del vapor sería inferior a 15m/s.
- Tubería de cerdos: se recomienda pasar a una tubería de 62.7 mm (2 1/2") de diámetro, para aumentar la velocidad del vapor, ya que en 4" la velocidad del vapor sería inferior a 15m/s.

- Tubería tripería de res: se recomienda pasar a una tubería de 35.05 mm (1 1/4") de diámetro, para aumentar la velocidad del vapor, porque en 1,5" la velocidad del vapor sería inferior a 15m/s.

### 3.1.5 Trampeo de vapor

Se hace el levantamiento de las trampas de vapor de los equipos de la empresa, y se procede a comparar estos datos con los datos obtenidos mediante el cálculo ingenieril, y los datos obtenidos por medio de la utilización del software de la compañía especializada en vapor TLV.

Cabe señalar que, para realizar el cálculo de la capacidad de evacuación de condensado de cada una de las trampas de los equipos analizados, se utilizó el método correspondiente, dependiendo de las características y la aplicación del equipo, por lo cual en esta sección se presentan diferentes tipos de métodos y tablas para elaborar el cálculo adecuado de la capacidad de la trampa de cada equipo.

Tabla 6. Datos preliminares de las trampas de vapor

Área	Equipo	Consumo Nominal Máximo de Vapor Kg/hr	Diámetro de Trampa (pulgadas)	Cantidad de Trampas	Capacidad de evacuación de vapor cada trampa Kg/hr
Rendering	Cocedor #1	2363,64	1,5	2	1250
	Cocedor #2	2363,64	1,5	2	1250
	Cocedor #3	2363,64	1,5	2	1250
	Cocedor #4	2363,64	1,5	2	1250
	Tanques de sebo 2	250	1	2	250
Sacrificio de res	Calentador de agua en línea	1600	1	1	1500
Sacrificio de res	Estación de control calentador de agua en línea		0.75	2	100
Sacrificio de res	Tanque de agua caliente	400	0.75	1	50
Rendering	Tubería de las calderas al manifold del rendering	6832,28	....	....	....
Matanza de res	Tubería del rendering a matanza de res	280	....	....	....
Cerdos	Tubería de cerdos	925	0,75	1	100
Tripería de res	Tubería que alimenta tripería de res	250	....	....	....
Calderas	Cabezal de distribución calderas	7475,68	1	1	500
Rendering	Cabezal de distribución rendering	4727,28	0,75	1	150

Fecha: 15 de junio de 2021.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta la tabla utilizada para determinar la capacidad de la trampa del cocedor #1 del rendering. Esta tabla se obtuvo de la guía para la conservación de vapor en el drenado de condensados de Armstrong International, Inc.

Tabla 7. Determinación de la capacidad de la trampa de vapor del cocedor #1

Diámetro de la Olla		Superficie de Transferencia de Calor m <sup>2</sup>	Volumen en el Hemisferio litros	Vol. Arriba del Hemisferio litros por cm de altura	Condensación, kg/hr a la presión indicada									
in	mm				Presión del vapor en bar (g) y temperatura									
				0.3	0.7	1	1.6	2.5	4	5.5	7	9		
				107°C	115°C	120°C	129°C	139°C	152°C	162°C	171°C	180°C		
18	460	0.33	25.0	1.6	150	170	180	190	210	240	260	280	300	
19	480	0.37	29.4	1.8	170	190	200	220	240	270	290	310	330	
20	510	0.41	34.3	2.0	190	210	220	240	260	290	320	340	370	
22	560	0.49	45.7	2.5	230	250	270	290	320	360	390	420	450	
24	610	0.58	59.3	2.9	270	300	320	340	380	420	460	490	530	
26	660	0.69	75.4	3.4	320	350	370	400	440	500	540	580	620	
28	710	0.79	94.2	4.0	370	410	430	470	520	580	630	670	720	
30	760	0.91	115.8	4.6	430	470	490	540	590	660	720	770	830	
32	810	1.04	140.6	5.2	490	530	560	610	670	750	820	880	950	
34	860	1.17	168.6	5.9	550	600	630	690	760	850	930	990	1070	
36	910	1.31	200.2	6.6	620	670	710	770	850	960	1040	1110	1200	
38	970	1.46	235.4	7.3	690	750	790	860	950	1060	1160	1240	1330	
40	1020	1.62	274.6	8.1	760	830	880	960	1050	1180	1280	1370	1480	
42	1070	1.79	317.8	8.9	840	920	970	1050	1160	1300	1420	1510	1630	
44	1120	1.96	365.5	9.8	920	1010	1060	1160	1270	1430	1550	1660	1790	
46	1170	2.14	417.6	10.7	1010	1100	1160	1260	1390	1560	1700	1820	1950	
48	1220	2.33	474.5	11.7	1100	1200	1270	1380	1520	1700	1850	1980	2130	
54	1370	2.96	675.5	14.8	1390	1520	1600	1740	1920	2150	<b>2340</b>	2500	2690	
60	1520	3.65	926.7	18.2	1720	1870	1980	2150	2370	2650	2890	3090	3330	
72	1830	5.25	1601.3	26.3	2470	2700	2850	3100	3410	3820	4160	4450	4790	

Fecha: 15 de junio de 2021.

Fuente: Armstrong International, Inc. (1998).

La capacidad de la trampa del cocedor #1 del rendering es de 2340 Kg/hr.

La capacidad de todas las trampas de los otros cocedores se obtuvo mediante el mismo método.

A continuación, se presenta el método utilizado para determinar la capacidad de la trampa de vapor del serpentín estampado del tanque de sebo #2 rendering. Este método se obtuvo de la guía para la conservación de vapor en el drenado de condensados de Armstrong International, Inc. (1998):

Condiciones del serpentín:

- Temperatura de entrada del sebo: 30 °C.
- Temperatura de salida del sebo: 80 °C.
- Presión de vapor: 3 Bar.
- Temperatura de vapor: 144 °C.
- Cantidad de tubos: 21 tubos de 1" de 3 metros de longitud.

La fórmula a utilizar para determinar la carga de condensado es la siguiente:

$$Q = A \times U \times Dm$$

Ecuación 12, Cálculo de carga de condensado en serpentines estampados.

Donde:

A: Área de la superficie exterior del serpentín, en m<sup>2</sup>.

A es igual a:

$$A = \frac{\text{Metros lineales}}{\text{Factor de la tabla 29 - 3}} = \frac{3 \times 21}{9.53} = 6.61 \text{ m}^2$$

Ecuación 13, Área de la superficie exterior del serpentín.

Tabla 8. Factor para la determinación del área del serpentín

Tamaño de Tubo in	Diámetro Exterior Real, mm		Longitud/Área, m/m <sup>2</sup>	
	Tubo de Acero	Tubo de Cobre (1)	Tubo de Acero	Tubo de Cobre
1/2	21.3	15.9	14.92	20.05
3/4	26.7	22.2	11.94	14.32
<b>1</b>	<b>33.4</b>	<b>28.6</b>	<b>9.53</b>	<b>11.14</b>
1 1/4	42.2	34.9	7.55	9.11
1 1/2	48.3	41.3	6.60	7.71
<b>2</b>	<b>60.3</b>	<b>54.0</b>	<b>5.28</b>	<b>5.90</b>
2 1/2	73.0	66.7	4.36	4.77
3	88.9	79.4	3.58	4.01
<b>3 1/2</b>	<b>101.6</b>	<b>92.1</b>	<b>3.13</b>	<b>3.46</b>
4	114.3	104.8	2.78	3.04
5	141.3	130.2	2.25	2.45
<b>6</b>	<b>168.3</b>	<b>155.6</b>	<b>1.89</b>	<b>2.05</b>
8	219.1	206.4	1.45	1.54
10	273.1	257.2	1.17	1.24
<b>12</b>	<b>323.9</b>	<b>308.0</b>	<b>0.98</b>	<b>1.03</b>

Fecha: 15 de junio de 2021.

Fuente: Armstrong International, Inc. (1998).

U: Factor global de transferencia de calor, en kJ/hr•m<sup>2</sup>•°C. (Véanse tablas 29-1 y 29-2 de Armstrong International, Inc., 1998).

Tabla 9. Factor global de transferencia de calor

Tipo de Servicio	Circulación	
	Natural	Forzada
Vapor a Soluciones Acuosas	2.0 – 4.0	3.0 – 5.5
Vapor a Aceite Ligero	0.8 – 0.9	1.2 – 2.2
Vapor a Aceite Medio	0.4 – 0.8	1.0 – 2.0
Vapor a Combustible C	0.3 – 0.6	0.8 – 1.6
Vapor a Brea Asfáltica	0.3 – 0.5	0.4 – 1.2
Vapor a Sulfuro Líquido	0.5 – 0.7	0.7 – 0.9
Vapor a Parafina Líquida	0.5 – 0.7	0.8 – 1.0
Vapor a Melaza o Jarabe	0.4 – 0.8	1.4 – 1.8
Dowtherm a Brea Asfáltica	0.3 – 0.6	1.0 – 1.2

Fecha: 15 de junio de 2021.

Fuente: Armstrong International, Inc. (1998).

$D_m$ : Promedio logarítmico de diferencia de temperaturas entre el vapor y el líquido en °C.

$D_m$  es igual a:

$$D_m = \frac{D_1 - D_2}{\ln \frac{D_1}{D_2}}$$

Ecuación 14, Cálculo de  $D_m$ .

Donde:

$D_1$  = Diferencia de temperatura mayor.

$D_2$  = Diferencia de temperatura menor.

El promedio logarítmico de la diferencia de temperaturas se puede obtener, con una exactitud ligeramente menor, mediante el uso del nomograma en la gráfica 29-1 de la guía para la conservación de vapor en el drenado de condensados de Armstrong International, Inc. (1998).

$D_1$  es igual a:  $144\text{ °C} - 30\text{ °C} = 113$

$D_2$  es igual a:  $144\text{ °C} - 80\text{ °C} = 63$

$$D_m = \frac{113 - 63}{\ln \frac{113}{63}} = 85.6\text{ °C}$$

Ecuación 14, Cálculo de  $D_m$ .

Una vez obtenidos todos los valores, se procede con el cálculo de la carga de condensado del serpentín del tanque de sebo #2.

$$Q = 6.61 \text{ m}^2 \times 1 \frac{\text{kJ}}{\text{hr}} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \times 85.6 \text{ } ^\circ\text{C} = 265 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$

Ecuación 12, Cálculo de carga de condensado en serpentines estampados.

Finalmente, para obtener la capacidad de la trampa requerida, se multiplica el valor obtenido por el factor de seguridad recomendado en la guía para la conservación de vapor en el drenado de condensados de Armstrong International, Inc. (1998).

$$\text{Capacidad de la trampa requerida} = 265 \text{ Kg/hr} \times 2 = 530 \text{ Kg/hr.}$$

A continuación, se presenta el método utilizado para determinar la capacidad de la trampa de vapor del intercambiador de calor de tubos y coraza del calentador de agua en línea de matanza de res. Este método se obtuvo de la guía para la conservación de vapor en el drenado de condensados de Armstrong International, Inc. (1998):

Condiciones del intercambiador de calor de tubos y coraza:

-Temperatura de entrada del agua: 35 °C.

-Temperatura de salida del agua: 85 °C.

-Caudal: 227.1 Lt/min.

La fórmula a utilizar para determinar la carga de condensado es la siguiente:

$$Q = \frac{L \times \Delta T \times C \times 60 \times sg}{H}$$

Ecuación 15, Cálculo de carga de condensado en intercambiador de calor de tubos y coraza.

Donde:

L = Flujo del líquido, Lt/min.

$\Delta T$  = Incremento en temperatura, °C

C = Calor específico del líquido, en kJ/kg·°C. (Tabla 50-1, Armstrong International, Inc., 1998).

Tabla 10. Propiedades físicas de líquidos y sólidos

Calor Específico - Gravedad Específica							
Tabla 50-1. Propiedades Físicas de Líquidos y Sólidos							
	Líquido (L) o Sólido (S)	Gravedad Específica @15-20°C	Calor Específico @15°C kJ/kg·°C		Líquido (L) o Sólido (S)	Gravedad Específica @15-20°C	Calor Específico @15°C kJ/kg·°C
Acate de linaza	L	0.93	1.84	Ladrillera & mampostería	S	1.6 - 2.0	0.92
Acate de semilla de algodón	L	0.95	1.97	Lana	S	1.32	1.36
Acate de soja	L	0.92	1.00 - 1.39	Láche	L	10.3	3.77 - 3.89
Acero inoxidable, serie 300	S	8.04	0.50	Maderas, variedad de	S	0.35 - 0.9	3.77
Acero, medio a 21°C	S	7.90	0.46	Magnesio, 85%	L	0.208	1.13
Acetona, 100%	L	0.78	2.15	Manteca	S	0.92	2.69
Ácido acético, 10%	L	1.01	4.02	Miel	L		1.42
Ácido acético, 100%	L	1.05	2.01	Niquel	S	8.9	0.46
Ácido acético, 10% (purificado)	L	1.05	3.14	Papel	S	1.7 - 1.15	1.89
Ácido acético, 31.5% (purificado)	L	1.15	2.51	Parafina	S	0.86 - 0.91	2.60
Ácido acético, 10%	L	1.05	3.89	Parafina, derretida	L	0.90	2.89
Ácido acético, 20%	L	1.11	3.88	Pegamento, 2 partes agua y 1 parte pegamento seco	L	1.09	3.73
Ácido acético - esteárico	L	0.84	2.30	Pescado, fresco, promedio	S		3.14 - 3.43
Ácido acético - palmítico	L	0.85	2.75	Petróleo combustible No. 1 (keroseno)	L	0.81	1.97
Ácido acético, 10%	L	1.05	3.77	Petróleo combustible No. 2	L	0.86	1.94
Ácido acético, 60%	L	1.37	2.69	Petróleo combustible No. 3	L	0.89	1.90
Ácido acético, 95%	L	1.5	2.09	Petróleo combustible No. 4	L	0.90	1.76
Ácido acético, 110% (humando)	L		1.13	Petróleo combustible No. 5	L	0.93	1.72
Ácido acético, 20%	L	1.14	3.52	Petróleo combustible No. 6	L	0.95	1.67
Ácido acético, 60%	L	1.50	2.19	Petróleo crudo, continental API	L	0.85	1.84
Ácido acético, 95%	L	1.84	1.47	Petróleo, gas API	L	0.89	1.76
Agua	L	1.00	4.19	Plomo	S	11.34	0.13
Agua de mar	L	1.03	3.94	Sacrososa, 40% miel de azúcar	L	1.19	2.75
Aguarrás, concentrado	L	0.86	1.75	Sacrososa, 60% miel de azúcar	L	1.29	3.10
Alcohol, etílico 95%	L	0.81	2.51	SAE - 20 (aceite lubricante # 20)	L	0.89	
Alcohol, metílico 90%	L	0.82	2.72	SAE - 30 (aceite lubricante # 30)	L	0.89	
Algodón, textil	S	1.5	1.34	SAE - SW (aceite lubricante # 8)	L	0.89	
Alquitran de carbón (@5°C)	S	1.2	1.47	Salmuera - doruro de calcio, 25%	L	1.23	2.89
Aluminio	S	2.64	0.96	Salmuera - doruro de sodio, 25%	L	1.19	3.29
Amoniaco, 100%	L	0.61	4.61	Seda	S	1.25 - 1.35	1.38
Amoniaco, 26%	L	0.9	4.19	Tetracloruro de carbono	L	1.59	0.99
Amoniaco retinado	L	1.53	0.97	Titanio (comercial)	S	4.50	0.54
Arca, miel de	L		2.01	Tolueno	L	0.86	1.76
Arilla, seca	S	1.9 - 2.4	0.94	Tricloroetileno	L	1.62	0.90
Arena	S	1.4 - 1.75	0.80	Vegetales, frescos, promedio	S		3.06 - 3.94
Arador	L	1.44	1.17	Vidrio, lana de	S	0.072	0.66
Asbesto, placa de	S	0.89	0.80	Vidrio, pyrex	S	2.25	0.84
Asfalto	L	1	1.75	Vinos de mesa, promedio	L	1.03	3.77
Asfalto, sólido	S	1.1 - 1.5	0.9 - 1.67				
Azúcar, de caña & betabel	S	1.65	1.25				
Azúfre	S	2.00	0.85				
Benceno	L	0.84	1.72				
Carbón	S	1.2 - 1.8	1.09 - 1.55				
Carne, fresca, promedio	S		2.93				
Cinc	S	7.05	0.40				
Cobre	S	8.82	0.42				
Coque, sólido	S	1.0 - 1.4	1.11				
Cordón	S	0.25	2.01				
Cuero	S	0.85 - 1.02	1.51				
Dowtherm A	L	0.99	2.64				
Dowtherm C	L	1.1	147 - 2.72				
Etilenglicol	L	1.11	2.43				
Fenol (ácido carbólico)	L	1.07	2.34				

Tabla 50-2. Gases		
	Gravedad Específica @ 15-20°C	Gravedad Específica @ 15°C kJ/kg·°C
Aire	1.00	1.00
Amoniaco	0.60	2.25
Benceno		1.36
Bóxido de azúfre		0.68
Bóxido de carbono	1.50	0.88
Butano	2.00	1.90
Cloro	2.50	0.49
Etano	1.10	2.09
Etileno	0.97	1.88

Fecha: 15 de junio de 2021.

Fuente: Armstrong International, Inc. (1998).

60 = 60 min/hr

sg = Gravedad específica del líquido (Tabla 50-1, Armstrong International, Inc., 1998).

H = Calor latente del vapor, en kJ/kg (Tablas de vapor, Armstrong International, Inc., 1998).

Tabla 11. Propiedades físicas del vapor saturado

Propiedades del Vapor Saturado (Tomadas de "Propiedades Termodinámicas del Vapor", por Keenan y Keyes, con permiso de John Wiley & Sons, Inc.)							
Columna 1 Presión Manométrica (bar)	Columna 2 Presión Absoluta (bar)	Columna 3 Temperatura del Vapor (°C)	Columna 4 Calor del Líquido Saturado (kJ/kg)	Columna 5 Calor Latente (kJ/kg)	Columna 6 Calor Total del Vapor (kJ/kg)	Columna 7 Volumen Específico del Líquido Saturado (m³/kg)	Columna 8 Volumen Específico del Vapor Saturado (m³/kg)
-1.008	0.0061	0.01	0.01	2501.3	2501.4	0.001 000	206.14
-0.99	0.02	17.50	73.48	2460.0	2533.5	0.001 001	67.00
-0.96	0.05	32.88	137.82	2423.7	2561.5	0.001 005	28.19
-0.91	0.10	45.81	191.83	2392.8	2584.7	0.001 010	14.67
-0.76	0.25	64.97	271.99	2346.3	2618.2	0.001 020	6.204
-0.51	0.50	81.33	340.49	2305.4	2645.9	0.001 030	3.240
-0.26	0.75	91.78	384.39	2278.6	2663.0	0.001 037	2.217
-0.01	1.00	99.63	417.46	2258.0	2675.5	0.001 043	1.6940
0.24	1.25	105.99	444.32	2241.0	2685.4	0.001 048	1.3749
0.49	1.50	111.37	467.11	2226.5	2693.6	0.001 053	1.1593
0.74	1.75	116.06	486.99	2213.6	2700.6	0.001 057	1.0036
0.99	2.00	120.23	504.70	2201.9	2706.7	0.001 061	0.8857
1.24	2.25	124.00	520.72	2191.3	2712.1	0.001 064	0.7933
1.49	2.50	127.44	535.37	2181.5	2716.9	0.001 067	0.7187
1.74	2.75	130.60	548.89	2172.4	2721.3	0.001 070	0.6573
1.99	3.00	133.55	561.47	2163.8	2725.3	0.001 073	0.6058
2.24	3.25	136.30	573.25	2155.8	2729.0	0.001 076	0.5620
2.49	3.50	138.88	584.39	2148.1	2732.4	0.001 079	0.5243
2.74	3.75	141.32	594.81	2140.8	2735.6	0.001 081	0.4914
3.0	4.0	143.63	604.74	2133.8	2738.6	0.001 084	0.4625
3.5	4.5	147.93	623.25	2120.7	2743.9	0.001 088	0.4140
4.0	5.0	151.86	640.23	2108.5	2748.7	0.001 093	0.3749
4.5	5.5	155.48	655.93	2097.0	2753.0	0.001 097	0.3427
5.0	6.0	158.85	670.56	2086.3	2756.8	0.001 101	0.3157
6.0	7.0	164.97	697.22	2066.3	2763.5	0.001 108	0.2729
7.0	8.0	170.43	721.11	2048.0	2769.1	0.001 115	0.2404
8.0	9.0	175.38	742.83	2031.1	2773.9	0.001 121	0.2150
9.0	10.0	179.91	762.81	2015.3	2778.1	0.001 127	0.19444
10.0	11.0	184.09	781.34	2000.4	2781.7	0.001 133	0.17753
11.0	12.0	187.99	798.65	1986.2	2784.8	0.001 139	0.16333
12.0	13.0	191.64	814.93	1972.7	2787.6	0.001 144	0.15125
13.0	14.0	195.07	830.30	1959.7	2790.0	0.001 149	0.14084
14.0	15.0	198.32	844.89	1947.3	2792.2	0.001 154	0.13177
16.5	17.5	205.76	878.50	1917.9	2796.4	0.001 166	0.11349
19.0	20.0	212.42	908.79	1890.7	2799.5	0.001 177	0.09963
21.5	22.5	218.45	936.49	1865.2	2801.7	0.001 187	0.08875
24	25	223.99	962.11	1841.0	2803.1	0.001 197	0.07998
29	30	233.90	1008.42	1795.7	2804.2	0.001 217	0.06668
34	35	242.60	1049.75	1753.7	2803.4	0.001 236	0.057070
39	40	250.40	1087.31	1714.1	2801.4	0.001 252	0.049780
49	50	263.99	1154.23	1640.1	2794.3	0.001 286	0.039440
59	60	275.64	1213.35	1571.0	2784.3	0.001 319	0.032440
69	70	285.88	1267.00	1505.1	2772.1	0.001 351	0.027370
79	80	295.06	1316.64	1441.3	2758.0	0.001 384	0.023520
89	90	303.40	1363.26	1378.9	2742.1	0.001 418	0.020480
99	100	311.06	1407.56	1317.1	2724.7	0.001 452	0.018026
119	120	324.75	1491.3	1193.6	2684.9	0.001 527	0.01426
139	140	336.75	1571.1	1066.5	2637.6	0.001 611	0.011485
159	160	347.44	1650.1	930.6	2580.6	0.001 711	0.009306
179	180	357.06	1732.0	777.1	2509.1	0.001 840	0.007489
199	200	365.81	1826.3	583.4	2409.7	0.002 036	0.005834
219.9	220.9	374.14	2099.3	0.0	2099.3	0.003 155	0.003 155

Fecha: 15 de junio de 2021.

Fuente: Armstrong International, Inc. (1998).

Una vez obtenidos todos los valores, se procede con el cálculo de la carga de condensado del intercambiador de calor de tubos y coraza del calentador de agua en línea de matanza de res.

$$Q = \frac{227.1 \times 50 \times 4.19 \times 60 \times 1}{2134} = 1338 \text{ Kg/hr}$$

Ecuación 15, Cálculo de carga de condensado en intercambiador de calor de tubos y coraza.

A continuación, se presenta el método utilizado para determinar la capacidad de las trampas de la tubería de cerdos. Este método se obtuvo de la guía para la conservación de vapor en el drenado de condensados de Armstrong International, Inc. (1998):

$$Q = L \times F$$

Ecuación 16, Cálculo de carga de condensado en tuberías.

Donde:

L = Longitud de la tubería, m

F = Factor de carga de condensado en tuberías (Tabla 17-1, Armstrong International, Inc., 1998).

Tabla 12. Factor de carga de condensado en tuberías

Tamaño de Tubo (in)	Presión, bar(g)								
	1	2	4	8	12	16	32	40	60
	Kilos de Condensado por Hora por Metro								
0.5	0.04	0.05	0.07	0.09	0.10	0.12	0.17	0.19	0.25
0.75	0.05	0.06	0.08	0.11	0.13	0.14	0.21	0.23	0.30
1	0.06	0.08	0.10	0.13	0.15	0.18	0.25	0.29	0.37
1.25	0.08	0.09	0.12	0.16	0.19	0.22	0.31	0.35	0.45
1.5	<b>0.09</b>	<b>0.11</b>	<b>0.13</b>	<b>0.18</b>	<b>0.21</b>	<b>0.24</b>	<b>0.35</b>	<b>0.40</b>	<b>0.51</b>
2	0.11	0.13	0.16	0.22	0.26	0.30	0.43	0.48	0.63
2.5	0.13	0.15	0.19	0.26	0.31	0.35	0.50	0.57	0.75
3	<b>0.15</b>	<b>0.18</b>	<b>0.23</b>	<b>0.30</b>	<b>0.37</b>	<b>0.42</b>	<b>0.60</b>	<b>0.69</b>	<b>0.89</b>
3.5	0.17	0.20	0.26	0.34	0.41	0.47	0.68	0.78	1.01
4	0.19	0.23	0.29	<b>0.38</b>	0.46	0.52	0.76	0.86	1.12
5	<b>0.23</b>	<b>0.27</b>	<b>0.35</b>	<b>0.46</b>	<b>0.56</b>	<b>0.64</b>	<b>0.92</b>	<b>1.05</b>	<b>1.36</b>
6	0.27	0.32	0.41	0.54	0.65	0.75	1.08	1.23	1.60
8	0.34	0.41	0.52	0.69	0.83	0.95	1.38	1.57	2.05
10	<b>0.41</b>	<b>0.50</b>	<b>0.63</b>	<b>0.84</b>	<b>1.02</b>	<b>1.16</b>	<b>1.69</b>	<b>1.93</b>	<b>2.51</b>
12	0.48	0.58	0.74	0.98	1.19	1.36	1.98	2.26	2.95
14	0.52	0.63	0.81	1.07	1.30	1.48	2.16	2.46	3.22
16	<b>0.59</b>	<b>0.72</b>	<b>0.91</b>	<b>1.21</b>	<b>1.47</b>	<b>1.68</b>	<b>2.44</b>	<b>2.79</b>	<b>3.65</b>
18	0.66	0.80	1.02	1.35	1.64	1.87	2.73	3.12	4.08
20	0.72	0.88	1.12	1.49	1.80	2.07	3.01	3.44	4.50
24	<b>1.04</b>	<b>1.25</b>	<b>1.59</b>	<b>2.10</b>	<b>2.52</b>	<b>2.88</b>	<b>4.14</b>	<b>4.72</b>	<b>6.12</b>

Con base en el programa "3Eplus", versión 2.11, de la Asociación de Fabricantes de Aislamiento en Norteamérica (NAIMS), siguiendo el método descrito en ASTM C680

Fecha: 15 de junio de 2021.

Fuente: Armstrong International, Inc. (1998).

Una vez obtenidos todos los valores, se procede con el cálculo de la capacidad de las trampas de la tubería de cerdos:

$$Q = 190 \times 0.38 = 72.2 \text{ Kg/hr}$$

Ecuación 16, Cálculo de carga de condensado en tuberías.

Finalmente, para obtener la capacidad de la trampa requerida, se multiplica el valor obtenido por el factor de seguridad recomendado en la guía para la conservación de vapor en el drenado de condensados de Armstrong International, Inc. (1998).

$$\text{Capacidad de la trampa requerida} = 72.2 \text{ Kg/hr} \times 2 = 144.4 \text{ Kg/hr.}$$

Ahora se calcula la capacidad de la trampa con el uso del software de la compañía especializada en vapor TLV.

Imagen 9. Cálculo de capacidad de trampa de tubería de cerdos mediante el software TLV

Introducir Datos		Unidades
Grado de Tubería	ANSI Sch40	SI(bar)
Tamaño de Tubería	NPS4	
Aislamiento [?]	Fibra de Vidrio	
Presión de Vapor	6.5	barG
Espesor de Aislamiento	25.4	mm
Longitud de la Tubería [?]	190	m
Tiempo de Arranque	10	min

[Mostrar Opciones Avanzadas](#)

Resultados		
Carga de Condensado de la Tubería de Calentamiento	126.123	kg
Carga de Condensado por Perdida de Calor por Radiación	4.73776	kg
Carga de Condensado	130.861	kg
Tiempo de Arranque	10	min

Fecha: 10 de junio de 2021.

Fuente: Software TLV (2021).

Se utiliza el mismo procedimiento para el cálculo de la capacidad de las trampas de las demás tuberías del sistema de distribución de vapor.

A continuación, se presenta el método utilizado para determinar la capacidad de la trampa del cabezal de distribución del cuarto de calderas. Este método se obtuvo

de la guía para la conservación de vapor en el drenado de condensados de Armstrong International, Inc. (1998):

$$Q = F \times C \times R$$

Ecuación 17, Cálculo de capacidad requerida de trampa para cabezales de distribución.

Donde:

F = Factor de seguridad, recomendado para cabezales de distribución 1.5.

C = Carga conectada, Kg/hr.

R = Acarreo anticipado, típicamente 10%.

Se procede con el cálculo de la capacidad de la trampa del cabezal de distribución del cuarto de calderas:

$$Q = 1.5 \times 7\,475.7 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}} \times 0.10 = 1\,121 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}$$

Ecuación 17, Cálculo de capacidad requerida de trampa para cabezales de distribución.

Se utiliza el mismo procedimiento para el cálculo de la capacidad de las trampas de los demás cabezales y tuberías de distribución del sistema de distribución de vapor de la empresa, y se obtiene la siguiente tabla de resumen:

Tabla 13. Resumen de cálculo de capacidad de trampas mediante cálculo ingenieril y software

Equipo	Consumo Nominal Máximo de Vapor Kg/hr	Capacidad de evacuación de vapor total Kg/hr	Capacidad de evacuación de vapor total calculado Kg/hr	Capacidad de evacuación de vapor total calculado software Kg/hr
Cocedor #1	2363,64	2500	2340	....
Cocedor #2	2363,64	2500	2340	....
Cocedor #3	2363,64	2500	2340	....
Cocedor #4	2363,64	2500	2340	....
Tanques de sebo 2	250	500	530	....
Calentador de agua en línea	1600	1500	1338	....
Tubería de las calderas al manifold del rendering	6832,28	0	43,74	48,7
Tubería del rendering a matanza de res	280	....	20	11
Tubería de cerdos	925	100	144,4	130
Tubería que alimenta tripería de res	250	....	2,7	1,35
Cabezal de distribución calderas	7475,68	500	1121	....
Cabezal de distribución rendering	4727,28	150	709	....

Fecha: 15 de junio de 2021.

Fuente: Elaboración propia.

Cabe resaltar que, para el caso de los equipos donde no se colocó el cálculo por software, no se encontró un software con el cual calcular la capacidad de las trampas, por lo que se toma el dato del cálculo ingenieril para realizar las recomendaciones.

En el caso de trampas de vapor de los equipos de la empresa, además de hacer el cálculo de la capacidad de cada una de ellas, también se realizó el diagnóstico del estado actual de las trampas, el cual fue hecho por una empresa externa que brinda este servicio. A continuación, se presenta la tabulación de los datos más relevantes de dicho diagnóstico:

Tabla 14. Tipo y cantidad de trampas inspeccionadas

Tipo	Cantidad	Porcentaje
BI	20	74,1%
FT	5	18,5%
Termostática	2	7,4%

Fecha: 15 de junio de 2021.

Fuente: Empresa Termo Eléctrica (2021).

Tabla 15. Estado de operación de las trampas

Estado de operación	Cantidad	Porcentaje
Buena	19	70.4%
Fuga	8	29.6%

Fecha: 15 de junio de 2021.

Fuente: Empresa Termo Eléctrica (2021).

Tabla 16. Pérdida económica por trampas en mal estado

Orificio (Inch)	Presión Operación (Psi)	Aplicación	Fuga (lb/hr)	Fuga (kg/hr)	Operación (Hrs / Año)	Fuga (Ton/año)	Pérdida (Colones/año)
1/4	90	Pierna Colectora	174	79	3600	284.73	¢5,694,545.45
5/32	90	Pierna Colectora	68	31	3600	111.27	¢2,225,455
5/16	90	Proceso	175	80	2400	190.91	¢3,818,182
11/32	90	Proceso	212	96	2400	231.27	¢4,625,455
11/32	90	Proceso	212	96	2400	231.27	¢4,625,455
11/32	90	Proceso	212	96	2400	231.27	¢4,625,455
11/32	90	Proceso	212	96	2400	231.27	¢4,625,455
11/32	90	Proceso	212	96	2400	231.27	¢4,625,455

Fecha: 15 de junio de 2021.

Fuente: Empresa Termo Eléctrica (2021).

Al analizar los datos obtenidos por la empresa Termo Eléctrica, se puede observar que un tercio de las trampas de la empresa presentan fugas, lo cual

representa una gran oportunidad de aprovechamiento de la energía, debido a que cada fuga representa una gran cantidad de vapor desperdiciado; esta cantidad de vapor va a depender del tamaño del agujero de la trampa y de sus horas de trabajo. Es muy probable que esta sea una de las oportunidades de aprovechamiento de energía más viable y atractiva, ya que el costo de la reparación de las trampas, o su sustitución por nuevas, es bajo, en comparación con el ahorro generado si se interviene el sistema de trampeo.

Los datos de pérdidas anuales fueron calculados por la empresa Termo Eléctrica tomando un costo de la producción de vapor de \$20,000 por tonelada producida.

### **3.1.6 Análisis de resultados del informe del estado de las trampas por parte de la empresa Termo Eléctrica**

Al considerar que es la primera ocasión que se desarrolla una auditoría de trampas para vapor en el sistema de vapor de planta, el estado general de estas es bastante aceptable, sin duda con oportunidades de mejora, que se deberán aplicar para aumentar más el rendimiento del sistema de trampeo general, con los beneficios que esto implica a nivel de la confiabilidad del proceso, la seguridad y la administración de la energía.

La falla que se presenta en las trampas se debe principalmente al tiempo de operación que tienen algunas de estas en las aplicaciones donde están sirviendo; a manera de ejemplo: las trampas de los cocedores tienen varios años de operación.

La tasa de falla sí es elevada, pero, como se ha indicado, no es difícil poder corregirla y llevarla a valores inferiores adecuados para la operación del sistema de planta. Como referencia, un valor “best in class” para estado de operación en trampas de vapor es menor al 5% de tasa de falla por fuga.

Las trampas que se encontraron con fuga por desgaste son de simple reparación, ya que estas son accesibles para ello, y la operación de planta que todos los días para, permitirá reparar las trampas sin interferir la producción.

Se ha encontrado, en general, que el arreglo de tuberías es bastante adecuado en cada aplicación, aunque sí existe margen de mejora en algunos aspectos como la

instalación de válvulas en configuración de tres vías, para poder probar las trampas por el método visual.

Es importante destacar un punto positivo en el sistema, que es la ausencia de trampas del tipo termodinámica o disco, las cuales no son las que rinden mejor y, siempre que se tienen instaladas en sistemas de vapor, los niveles de tasa de falla son elevados, con todos los aspectos que eso implica a nivel de pérdidas de energía, agua y dinero, además de mayor impacto en temas ambientales.

### 3.1.7 Recomendaciones de trampas de vapor del sistema de distribución de vapor

Una vez analizado el sistema de distribución de vapor, con respecto a su trampeo, se generan una serie de recomendaciones, como la instalación de trampas de vapor en tramos de tubería que, por su longitud o cantidad de vapor que trasiegan, deberían detenerlas, o el aumento de la capacidad de drenaje de condensado, ya que si el drenado de condensados en las tuberías o cabezales de distribución no es suficiente, empiezan a acumularse condensados en las tuberías, lo cual genera problemas como golpe de ariete, corrosión, aumento de la velocidad del vapor y pérdida de la capacidad del vapor para transferir energía.

Dado que la empresa que realizó el diagnóstico del estado de las trampas de vapor de la empresa, también género una serie de recomendaciones, enseguida se presentará una tabla comparativa entre las recomendaciones dadas por dicha empresa y las recomendaciones propias generadas por el análisis del sistema.

Tabla 17. Comparación de recomendaciones del sistema de trampeo de vapor de la empresa

Componente del sistema de trampeo	Recomendaciones obtenidas del análisis del sistema de trampeo	Recomendaciones de la empresa Termo Eléctrica
Sistema en general	Realizar un plan distribuido en el tiempo, para sustituir todas las trampas de vapor que se encuentran en mal estado. Se podrían sustituir dos trampas por mes, por lo cual en término de cuatro meses se remplazarían todas las trampas en mal estado. Este plan podría ser ejecutado por el personal de mantenimiento de la empresa los fines de semana, ya que es cuando la planta está fuera de operación.	Es necesario corregir los fallos detectados en trampas, y que el valor de tasa de falla que se encuentra en 29.6% baje a cero en el corto plazo, y sea el objetivo mantenerlo bajo del 5% en el transcurso del tiempo de operación del sistema.

Continuación de tabla 17, Comparación de recomendaciones del sistema de trampeo de vapor de la empresa

Componente del sistema de trampeo	Recomendaciones obtenidas del análisis del sistema de trampeo	Recomendaciones de la empresa Termo Eléctrica
Sistema en general	Añadir, a las rutinas mensuales de inspección de mantenimiento de los equipos, la inspección de las trampas de vapor, esto por parte del personal de mantenimiento de la empresa, con el fin de corregir cualquier irregularidad lo antes posible, y mantener el sistema de trampeo de condensados en óptimas condiciones.	Establecer y ejecutar un plan de inspecciones periódicas para las trampas de vapor de toda la planta con frecuencia de dos veces al año o cada seis meses
Sistema en general	Realizar paulatinamente la instalación de una válvula de tres vías en todas las trampas de la empresa, para facilitar la inspección mensual que se hace por parte del personal de mantenimiento. Se podrían instalar cuatro válvulas por mes, por lo cual en término de siete meses se instalarían todas las válvulas.	Instalarle la válvula para la prueba visual en configuración de tres vías a todas las trampas que no tienen esta válvula, para que puedan ser probadas las trampas de manera simple y muy fiable. La inspección visual es la más acertada de todas.
Tubería de las calderas al manifold del rendering	Esta tubería no cuenta con trampa para vapor, por lo que se recomienda la instalación de una trampa con capacidad de 75 Kg/hr.	.....
Tubería del rendering a matanza de res	Esta tubería no cuenta con trampa para vapor, por lo cual se recomienda la instalación de una trampa con capacidad de 25 Kg/hr.	.....
Tubería de cerdos	Se calcula según la carga de condensado con precalentamiento de la tubería, la que está en el rango de la trampa instalada actualmente, pero según el cálculo por software, se debe instalar una trampa de capacidad de 150 Kg/hr. Además, según Armstrong International, Inc. (1998), se debe ubicar una trampa cada 50 metros, por lo cual se recomienda instalar tres trampas más.	.....
Tubería que alimenta tripería de res	Esta tubería no cuenta con trampa, pero como la generación de condensado es mínima y los equipos que alimenta este ramal son de inyección directa, no se recomienda la instalación de trampa para vapor.	.....
Cabezal de distribución calderas	Se recomienda aumentar la capacidad de la trampa a 1 250 Kg/hr.	.....
Cabezal de distribución rendering	Se recomienda aumentar la capacidad de la trampa a 1 000 Kg/hr.	.....

Fecha: 25 de setiembre de 2021.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.8 Tuberías de condensado

Se realiza el levantamiento de las tuberías de retorno de condensado de los equipos de la empresa, y se procede a comparar estos datos con los datos obtenidos mediante el cálculo ingenieril, y los datos obtenidos a través de la utilización del software de la compañía especializada en vapor TLV.

Tabla 18. Datos preliminares de las tuberías de retorno de condensado

Área	Equipo	Tubería Ø condensado (Pulgadas)	Tubería Ø condensado (mm)	Consumo Nominal Máximo de Vapor Kg/hr	Longitud de tubería condensados (Metros)	Porcentaje de tubería condensado con aislamiento
Rendering	Cocedor #1	1,50	40,94	2363,64	46,00	0%
	Cocedor #2	1,50	40,94	2363,64	49,00	0%
	Cocedor #3	1,50	40,94	2363,64	52,00	0%
	Cocedor #4	1,50	40,94	2363,64	55,00	0%
	Tanques de sebo 2	1,00	26,64	250	34,50	100%
Sacrificio de res	Calentador de agua en línea	1,50	40,94	1600	73,00	95%

Fecha: 15 de junio de 2021.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta la tabla utilizada para determinar el diámetro de la tubería de condensado del cocedor #1 del rendering. Esta tabla se obtuvo de la guía para la conservación de vapor en el drenado de condensados de Armstrong International, Inc. (1998):

Tabla 19. Determinación de diámetro de tubería de condensados

Tamaño de Tubería		Presión de Alimentación = 690 kPa			Presión de Alimentación = 1030 kPa			Presión de Alimentación = 690 kPa			Presión de Alimentación = 1030 kPa		
		Presión de Retorno = 0 kPa			Presión de Retorno = 0 kPa			Presión de Retorno = 100 kPa			Presión de Retorno = 100 kPa		
mm	in	15	60	240	15	60	240	15	60	240	15	60	240
$\Delta p/L, Pa/m$													
Flujo, kg/h													
15	1/2	14	29	61	11	22	50	25	54	119	18	43	90
20	3/4	29	61	133	22	50	104	54	119	256	43	90	191
25	1	54	119	248	47	94	205	108	227	482	83	176	364
32	1 1/4	115	245	511	90	198	421	227	482	997	173	364	763
40	1 1/2	173	367	770	140	299	634	342	727	1 505	259	547	1 134
50	2	342	720	a	277	590	a	666	1 408	2 927	508	1 066	2 221
65	2 1/2	544	1 156	a	443	954	a	1 076	2 268	4 680	817	1 714	3 539
80	3	979	2 063	a	799	1 681	a	1 919	4 032	a	1 451	3 042	a
100	4	2 023	4 248	a	1 652	3 460	a	3 960	8 244	a	3 002	6 264	a
150	6	5 976	a	a	4 896	a	a	11 736	24 300	a	8 892	18 432	a
200	8	12 420	a	a	10 152	a	a	24 228	50 040	a	18 360	37 800	a

<sup>a</sup>La velocidad es mayor que 35 m/s para estos tamaños y caídas de presión. Seleccione otra combinación de tamaño y caída de presión.  
Copiada del ASHRAE Handbook - 1997 Fundamentals, con permiso especial.

Fecha: 15 de junio de 2021.

Fuente: Armstrong International, Inc. (1998).

Dado que la generación de condensado del cocedor es de aproximadamente 2363 kg/hr, a una presión de entrada de 6 bar y una presión de retorno de 0 bar, y con una caída de presión en la tubería de condensado de 0.017 bares por metro de tubería, la tubería seleccionada sería de 80 mm.

Ahora se calcula el diámetro de la tubería de retorno de condensado del cocedor #1 con el uso del software de la compañía especializada en vapor TLV.

Imagen 10. Cálculo de la tubería de condensados del cocedor #1 mediante el software TLV

**Introducir Datos** Unidades SI(bar) ▼

Grado de Tubería: ANSI Sch40 ▼

Presión del Condensado [?]: 6 barG ▼

Carga de Condensado [?]: 2363.6 kg/h ▼

Presión de la Línea de Recuperación: 1 barG ▼

Longitud de la Tubería [?]: 46 m ▼

Velocidad Máxima Permisible [?]: 35 m/s ▼

[Mostrar Opciones Avanzadas](#)

Calcular Limpiar

---

**Resultados**

Tamaño de Tubería: NPS2

Diámetro Interno Tubería: 52.5018 mm ▼

Vlocidad del Condensado: 23.5704 m/s ▼

Caída de Presión: 0.716048 bar ▼

Longitud Equivalente a una Tubería Horizontal: 46 m ▼

Fecha: 10 de junio de 2021.  
Fuente: Software TLV (2021).

Se realiza el mismo procedimiento para las demás tuberías de retorno de condensado, y se obtiene la siguiente tabla de resumen:

Tabla 20. Resumen del cálculo de las tuberías de condensado mediante cálculo ingenieril y software

Equipo	Tubería Ø condensado (Pulgadas)	Tubería Ø condensado (mm)	Consumo Nominal Máximo de Vapor Kg/hr	Longitud de tubería condensados (Metros)	Tubería Ø condensado calculada (mm)	Tubería Ø condensado calculado software (mm)
Cocedor #1	1,50	40,94	2363,64	46,00	77,9	52,5
Cocedor #2	1,50	40,94	2363,64	49,00	77,9	52,5
Cocedor #3	1,50	40,94	2363,64	52,00	77,9	52,5
Cocedor #4	1,50	40,94	2363,64	55,00	77,9	52,5
Tanques de sebo 2	1,00	26,64	250	34,50	26,64	26,64
Calentador de agua en línea	1,50	40,94	1600	73,00	.....	52,5

Fecha: 15 de junio de 2021.  
Fuente: Elaboración propia.

Cabe resaltar que para el caso de los equipos donde no se colocó el resultado del cálculo ingenieril, no se encontró un método para calcular el diámetro de la tubería de condensado, por lo cual se tomó el dato del cálculo por medio del software, para realizar las recomendaciones.

### **3.1.9 Recomendaciones de tuberías de retorno de condensado**

Al observar los datos obtenidos del análisis de las tuberías de retorno de condensados del sistema, se logra determinar que varias de las tuberías no cumplen con las dimensiones correctas para trasegar el condensado, ya que muchas de estas tienen un diámetro inferior al obtenido, tanto con el método ingenieril como mediante la utilización del software, lo cual ocasiona velocidades muy altas para trasegar el condensado generado en los equipos consumidores de vapor, lo que produce erosión, golpes de ariete y ruidos en la tubería, que con el tiempo ocasiona daños físicos en la tubería. Hay que recordar que el condensado en un sistema de retorno de condensados venteados como el que tiene la empresa, pasa de una presión de 6 bares a 0 bares, por lo que una parte de este condensado se convierte en vapor, lo que significa que en la tubería de retorno de condensado hay tanto agua como vapor; por lo tanto, cuando se dimensionan las tuberías de condensado, se toma como límite de velocidad 35 m/s.

- Tubería de condensado del Cocedor #1: según el cálculo obtenido mediante la utilización del software, se recomienda ampliar el diámetro de la tubería a 52.5 mm (2") pulgadas, para evitar velocidades mayores de 35 m/s en la tubería.
- Tubería de condensado del Cocedor #2: según el cálculo obtenido a través de la utilización del software, se recomienda ampliar el diámetro de la tubería a 52.5 mm (2") pulgadas, para evitar velocidades mayores de 35 m/s en la tubería.
- Tubería de condensado del Cocedor #3: según el cálculo obtenido por medio de la utilización del software, se recomienda ampliar el diámetro de la tubería a 52.5 mm (2") pulgadas, para evitar velocidades mayores de 35 m/s en la tubería.

- Tubería de condensado del Cocedor #4: según el cálculo obtenido mediante la utilización del software, se recomienda ampliar el diámetro de la tubería a 52.5 mm (2") pulgadas, para evitar velocidades mayores de 35 m/s en la tubería.
- Tubería de condensado del calentador de agua en línea: según el cálculo obtenido por medio de la utilización del software, se recomienda ampliar el diámetro de la tubería a 52.5 mm (2") pulgadas, para evitar velocidades mayores de 35 m/s en la tubería.

## Capítulo IV

### 4.1 Oportunidades de aprovechamiento de la energía

Por medio del análisis del sistema de generación y distribución de vapor de la empresa, se pudo delimitar que hay varias oportunidades para el aprovechamiento de la energía; se determinaron las cantidades de energía que se pierde en cada una de estas oportunidades de mejora, y se procedió a calcular el porcentaje de energía que podría ahorrar la empresa si decidiera ejecutarlas. Este porcentaje se obtuvo con respecto al consumo total de energía que presenta la empresa, debido a la generación de vapor. A continuación, se presenta la tabla de resumen del porcentaje de energía desperdiciado en cada una de las oportunidades de aprovechamiento de la energía:

Tabla 21. Porcentaje de ahorro energético

Oportunidades de aprovechamiento de la energía	Pérdida de energía Anual (MJ)	Porcentaje de energía que se podría aprovechar (%)
Sistema de condensados	5437595,09	9,38%
Tuberías sin aislamiento	4602832,39	7,94%
Trampas	3297119,32	5,69%
Tanque de condensado	255069,00	0,44%
Purgas de fondo	121627,76	0,21%

Fecha: 10 de octubre de 2021.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, hay tres de las oportunidades de aprovechamiento de la energía en las cuales el porcentaje de ahorro energético es alto, por lo que se toma la decisión de desarrollar estas tres propuestas, a saber: implementar un sistema de retorno de condensados presurizado, instalación y sustitución de aislamiento térmico en tuberías, y por último la sustitución de las trampas de vapor dañadas. (El cálculo de cómo se obtuvo la cantidad de energía desperdiciada en cada una de las propuestas de mejora, se puede observar en la sección de anexos).

### 4.2 Desarrollo de propuestas de mejora

A continuación, se desarrollará cada una de las propuestas de mejora, lo cual se realizará seleccionando los equipos y materiales más idóneos para cada aplicación.

Una vez seleccionados los equipos y materiales adecuados, se determinará el costo económico de estos, con el fin de determinar cuánto dinero costaría desarrollar cada una de las propuestas.

#### 4.2.1 Aislamiento de tuberías de trasiego de vapor

El aislamiento propuesto para forrar las tuberías de trasiego de vapor, es cañuela de fibra mineral de 2" de espesor y forro de acero inoxidable, ya que según el cálculo realizado para determinar la cantidad de energía desperdiciada por tuberías sin aislamiento, el aislante de 2" de espesor es con el cual se genera un rendimiento óptimo entre inversión y ahorro energético. Además, forrar tubería con este tipo de cañuelas es relativamente fácil, por lo que baja el costo de mano de obra por la instalación. Por otra parte, el tipo de material de esta cañuela es menos contaminante que otros tipos de aislamiento. Para ejecutar esta propuesta, se optó por desarrollar el trabajo completo con un contratista externo, por lo cual los materiales y la mano de obra por la instalación del aislamiento fueron cotizados por un proveedor especializado en el tema de aislamiento de tuberías. La propuesta tiene un costo total de ¢ 18 057 400 (en la sección de anexos se adjuntó la cotización por el trabajo).

Enseguida, se presenta el cronograma de trabajo propuesto para la instalación y sustitución del aislamiento térmico en mal estado.

Imagen 11. Cronograma de trabajo para instalación y sustitución de aislamiento térmico

Año 2022

Actividades	Julio				Agosto				Setiembre			
Instalacion de 142 metros lineales de aislamiento												
Instalacion de 142 metros lineales de aislamiento												
Instalacion de 142 metros lineales de aislamiento												

Fecha: 08 de noviembre de 2021.

Fuente: Elaboración propia.

Ya que la instalación y sustitución del aislamiento térmico serán realizadas por un proveedor de servicios externo, le fue solicitado finalizar el trabajo en término de

tres meses, por lo cual se dividió la cantidad total de metros lineales en estos tres meses para poder finalizar el trabajo en la fecha establecida.

#### **4.2.2 Trampas de vapor**

Parte de las recomendaciones realizadas, derivadas del análisis del sistema de trampeo de vapor, es sustituir las trampas de vapor que se encuentran en malas condiciones, aunque también se puede optar por sustituir solamente el orificio de la trampa y así alargar un poco más la vida útil de esta, se optó por sustituir por completo las trampas dañadas, ya que son muy antiguas y son de tipo balde invertido. Aunque este tipo de trampa es muy robusta y confiable, para aplicaciones de alto consumo donde se generan grandes cantidades de condensado en un corto tiempo, como lo son las cocinas del rendering, lo recomendable es instalar trampas tipo flotador, porque, por su configuración, este tipo de trampa permite evacuar grandes cantidades de condensado en un periodo corto de tiempo.

Además de la recomendación de sustituir las trampas de vapor que se encuentran en malas condiciones, también se recomendó aumentar la capacidad de las trampas de algunos equipos, y también instalar trampas de vapor que hacen falta en ciertos tramos de tubería; esto aumentará la eficiencia de los equipos y evitará que haya más condensado de lo recomendado en las tuberías de trasiego de vapor, lo que incide directamente en la eficiencia con la que se trasiega el vapor, además de prevenir una serie de situaciones, como lo son el golpe de ariete y el desgaste prematuro de las tuberías. También se recomendó la instalación de válvulas de tres vías en cada una de las trampas de la empresa, con la finalidad de facilitar la revisión de ellas, por lo cual esta recomendación será tomada en cuenta en el desarrollo de la propuesta.

A continuación, se presenta una tabla con el resumen de los costos totales por sustituir las trampas de vapor en malas condiciones, e instalar las trampas que hacen falta en el sistema.

Tabla 22. Resumen de costos por sustitución de trampas de vapor en mal estado

Equipo	Orificio (Pulgadas)	Conexión (Pulgadas)	Capacidad (Kg/h)	Cantidad	Costo unitario (₡)	Costo instalación (₡)	Costo total (₡)
Cocina 1	11/32	1,5	1250	1	₡547.258,51	₡120.000,00	₡667.258,51
Cocina 2	11/32	1,5	1250	2	₡547.258,51	₡120.000,00	₡1.334.517,02
Cocina 3	11/32	1,5	1250	1	₡547.258,51	₡120.000,00	₡667.258,51
Cocina 4	11/32	1,5	1250	2	₡547.258,51	₡120.000,00	₡1.334.517,02
Cabezal de caldera	11/32	1,5	1250	1	₡547.258,51	₡120.000,00	₡667.258,51
Calentador de búnker de caldera	5/32	1/2	75	1	₡130.688,41	₡120.000,00	₡250.688,41
Tubería de las calderas al manifold del rendering	5/32	1/2	75	1	₡130.688,41	₡120.000,00	₡250.688,41
Tubería del rendering a matanza de res	5/32	1/2	75	1	₡130.688,41	₡120.000,00	₡250.688,41
Tubería de cerdos	1/4	1	150	3	₡224.688,67	₡120.000,00	₡1.034.066,01
Cabezal del rendering	11/32	1,5	1250	1	₡547.258,51	₡120.000,00	₡667.258,51
Instalación válvulas de tres vías	.....	.....	.....	27	₡56.447,63	₡30.000,00	₡2.334.086,01

Total = ₡9.458.285,33

Fecha: 10 de noviembre de 2021.

Fuente: Elaboración propia.

Cabe resaltar que, para obtener el costo de las trampas de vapor y las válvulas de tres vías, se cotizaron dichos equipos con un proveedor nacional (en la sección de anexos se adjunta la cotización por los equipos). También cabe aclarar que el costo por instalación de cada una de las trampas se planeó tomando en cuenta la mano de obra de dos técnicos calificados, con una duración de ocho horas por cada trampa, y el costo de instalación de las válvulas de tres vías se determinó tomando en cuenta la mano de obra de dos técnicos calificados, con una duración de dos horas por cada uno. La sustitución de los equipos se realizará los fines de semana, cuando la planta se encuentra fuera de servicio, lo cual no implica un costo adicional para la empresa en pago de horas extras, ya que esta cuenta con técnicos con jornadas laborales de fin de semana.

A continuación, se presenta el cronograma de trabajo propuesto para la sustitución de las trampas de vapor en mal estado, en los equipos y las trampas de vapor que hacen falta en las tuberías de trasiego de vapor.

Imagen 12. Cronograma de trabajo para propuesta de trampas de vapor  
Año 2022

Actividades	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Sustitucion de trampas de vapor de los equipos cocina 1 y cocina 3	■	■	■					
Sustitucion de trampas de vapor de la cocina 2		■	■					
Sustitucion de trampas de vapor de la cocina 4			■	■	■			
Sustitucion de trampas del cabezal y calentador de búnker de calderas				■	■	■		
Instalacion de trampas en tuberias al manifold del rendering y a matanza de res					■	■	■	
Instalacion de 2 trampas en tuberia hacia matanza de cerdos						■	■	■
Instalacion de trampas en tuberia hacia matanza de cerdos y cabezal del rendering							■	■

Fecha: 08 de noviembre de 2021.

Fuente: Elaboración propia.

Según el cronograma propuesto, se sustituirían todas las trampas de vapor en mal estado y se instalarían las trampas que hacen falta, en siete meses, esto instalando dos trampas por mes.

#### 4.2.3 Sistema de retorno de condensados presurizado

Según los datos obtenidos del análisis hecho al sistema de retorno de condensado, en el sistema actual se desperdicia una gran cantidad de energía, por lo cual se recomienda pasar de un sistema de retorno de condensados venteados o abierto a la atmosfera, por un sistema de retorno de condensados presurizado, en el que se trasiegan los condensados generados por los equipos a una presión mayor que la atmosférica, lo que implica poder recuperar la energía tanto del condensado como del vapor flash. Además, otra ventaja que presenta un sistema de retorno de condensado presurizado sobre un sistema venteado es que, por trabajar a una presión mayor a la atmosférica, se puede recuperar el condensado a una temperatura mayor a 100 °C, lo que implica un mayor aprovechamiento de la energía contenida en el condensado. Para construir el sistema de retorno de condensado presurizado, se va a necesitar adquirir varios elementos que lo conforman. A continuación, se analizará la función de cada uno de ellos y sus capacidades.

## Tanque receptor de condensado

En este tanque se va a descargar el condensado de las trampas de cada uno de los equipos, el cual va a estar presurizado a 1.5 bares y recibiendo el condensado a 110 °C. Debido a la caída de presión entre la entrada de las trampas, que es 6.2 bares, y la presión del tanque de descarga, se va generar vapor flash, que será enviado a un calentador de agua, donde la energía de este vapor flash sea aprovechada y utilizada en otro proceso. Este tanque tendrá un diámetro de 200 mm y una longitud de un metro, y será capaz de almacenar el condensado generado por los equipos durante su operación. Además, este tanque receptor es de donde tomará el condensado presurizado la estación de bombas mecánica para vapor. A continuación, se presenta la tabla utilizada para determinar el tamaño del tanque receptor de condensado:

Tabla 23. Determinación del tamaño del tanque receptor de condensado

<b>Tamaño del colector (vapor flash no esta involucrado)</b>							
Cantidad de Condensado (kg/h)	Tamaño (mm) y longitud (m) del colector						
	40	50	80	100	150	200	250
300 o menos	1,2 m	0,7					
400	1,5	1,0					
500	2,0	1,2	0,5				
600		1,5	0,6				
800		2,0	0,8	0,5			
1000			1,0	0,7			
1500			1,5	1,0			
2000			2,0	1,3	0,6		
3000				2,0	0,9	0,5	
4000					1,2	0,7	
5000					1,4	0,8	0,5
6000					1,7	1,0	0,6
7000					2,0	1,2	0,7
8000						1,3	0,8
9000						1,5	0,9
10000						1,7	1,0

Fecha: 10 de noviembre de 2021.

Fuente: Manual de diseño Power Trap TLV (2012).

## Estación de bombas mecánicas para vapor

Esta estación de bombeo tomará el condensado del tanque receptor de condensado y lo bombeará hacia el tanque desaireador que alimenta las calderas. La estación estará compuesta por dos bombas mecánicas que funcionan con una fuerza

motriz otorgada por una línea de vapor a 3 bares; la capacidad de ambas bombas en conjunto es de 6 000 kg/h de condensado, lo cual equivale a la generación de condensado de tres cocinas, esto a causa de que las cuatro cocinas no trabajan al mismo tiempo; de hecho por la logística de llenado y vaciado de las cocinas, es muy difícil que trabajen tres a la vez, pero se toma la decisión de instalar la estación de bombeo con una capacidad equivalente al retorno de condensado que generan tres cocinas, por si acaso esto llegara a suceder.

Se toma la decisión de utilizar bombas mecánicas en lugar de una bomba centrífuga eléctrica, debido a varias ventajas que presenta una sobre la otra, A continuación, se detallan algunas de estas ventajas:

- La fuerza motriz de la bomba mecánica proviene del vapor, el cual se puede retornar al sistema, por lo que el consumo energético, para trasegar el condensado, es inferior al de una bomba centrífuga eléctrica.
- Para instalar una bomba centrífuga eléctrica, se debe incurrir en gastos adicionales por el costo de la instalación y el tiraje de la acometida eléctrica, lo cual no pasa en el caso de la bomba mecánica, debido a que la fuerza motriz que utiliza se obtiene del mismo sistema.
- A causa de que se instalará la bomba en un sistema de retorno de condensado presurizado, el condensado se puede trasegar a temperaturas mayores a 100 °C, lo que podría causar problemas en una bomba centrífuga eléctrica.
- Debido a que una bomba centrífuga aspira el condensado hacia la entrada de la bomba, genera una caída de presión, por lo cual se genera revaporización en el impulsor, y eso causa cavitación en el mismo y reduce su vida útil.

Además de la estación de bombeo, se debe construir la tubería que trasiega el condensado desde la estación hasta el tanque desaireador; esta tendrá un diámetro de 3. Aunque el cálculo de la tubería mediante el software TLV arrojó que la tubería debería ser de 2.5", se tomó la decisión de ampliar la tubería a 3", esto tomando en cuenta que en algún momento se podría agregar carga de condensado de otros

equipos. Enseguida se presenta el resultado del cálculo del diámetro de la tubería de retorno de condensado utilizando el software TLV:

Imagen 13. Cálculo de la tubería de condensados hacia el desaireador, mediante el software TLV

Introducir Datos		Unidades
Grado de Tubería	ANSI Sch40	
Presión del Condensado [?]	6	barG
Carga de Condensado [?]	6000	kg/h
Presión de la Línea de Recuperación	1.5	barG
Longitud de la Tubería [?]	46	m
Velocidad Máxima Permisible [?]	35	m/s
<a href="#">Mostrar Opciones Avanzadas</a>		
<input type="button" value="Calcular"/> <input type="button" value="Limpiar"/>		
Resultados		
Tamaño de Tubería	NPS2 1/2	
Diámetro Interno Tubería	62.7126	mm
Vlocidad del Condensado	29.0905	m/s
Caída de Presión	1.18785	bar
Longitud Equivalente a una Tubería Horizontal	46	m

Fecha: 10 de octubre de 2021.  
Fuente: Software TLV (2021).

## Tanque desaireador

Este tanque desaireador se deberá instalar en el cuarto de calderas, y es donde ingresan los condensados presurizados que envía la estación de bombeo, los cuales ingresan a una temperatura de 110 °C; este tanque tiene una capacidad de 5 000 litros, y esta capacidad se debe a que al concluir los procesos, se genera un desbalance de masa entre la demanda de vapor de la planta y la generación de condensado de los equipos, el cual es de aproximadamente 4 500 litros de condensado. Este desbalance se debe a que, al finalizar el proceso, los equipos dejan de consumir vapor y, por ende, la caldera deja de demandar agua; por eso hay un sobrante de condensado. Otro aspecto importante de este tanque desaireador, es que la alimentación de agua fresca proveniente del suavizador, se realiza por medio de boquillas de aspersion, lo cual facilita que las gotas de agua fresca alcancen la temperatura del condensado que se

encuentra en el interior del tanque desaireador, el que se encuentra a 110 °C; además, al alcanzar estas temperaturas, se elimina la mayoría del oxígeno del agua fresca, lo cual reduce el consumo del secuestrador de oxígeno utilizado en la caldera.

### **Bombas de alimentación de las calderas**

Debido a que se va a aprovechar una mayor cantidad de energía con la instalación del sistema de retorno de condensados presurizado, ya no se va a alimentar agua a la caldera entre 60 °C y 85 °C, sino a 110 °C, por lo que se deben sustituir las bombas de alimentación de las calderas, las cuales tienen la capacidad de trasegar agua a estas temperaturas. Estas bombas serán de 25 HP y tendrán una capacidad de 72 galones por minuto cada una.

### **Calentador de agua**

Este calentador de agua es un intercambiador de calor de carcasa y tubo, donde se aprovechará la energía del vapor flash generado en el tanque receptor de condensados. El agua caliente generada en este intercambiador será aprovechada en procesos donde se consume agua caliente, por lo cual la generación de vapor para calentar el agua de estos procesos disminuirá considerablemente. Este intercambiador deberá ser capaz de operar bajo las siguientes condiciones:

- Presión de trabajo: 1.5 Bar.
- Energía requerida: 1340.63 MJ/h.
- Temperatura de entrada del agua: 25 °C.
- Temperatura de salida del agua: 70 °C.
- Caudal a calentar: 25 GPM.

Cabe aclarar que la energía requerida por el intercambiador, es la energía correspondiente al cálculo de la energía desperdiciada en vapor flash en un sistema presurizado a 1.5 Bar, ya que esta es la energía disponible para que el intercambiador

realice la transferencia de calor entre el vapor flash y el agua de entrada del intercambiador (el cálculo de esta energía se puede observar en la sección de anexos). El caudal de agua a calentar, corresponde al volumen de agua al cual el intercambiador de calor puede elevar la temperatura desde los 25 °C hasta los 75 °C, en un intervalo de tiempo, tomando en cuenta la eficiencia del intercambiador, la cual suele rondar el 80% (el cálculo de este caudal se puede observar en la sección de anexos).

### **Estación de reducción de presión**

Esta estación es un conjunto de componentes que deberá instalarse entre el tanque receptor de condensado y el calentador de agua, la cual tendrá válvulas check, válvulas de paso, válvulas reductoras de presión y válvulas de seguridad. La estación se encargará de realizar dos funciones en el sistema; una de ellas es que será la encargada de mantener la presión en aproximadamente un bar en el calentador de agua, porque este calentador por trabajar con vapor flash, deberá trabajar en un sistema de baja presión. La estación también tendrá la tarea de monitorear el funcionamiento de las trampas de vapor de las cocinas, ya que, si una de ellas falla y deja pasar vapor al tanque receptor de condensados, esto activará una válvula de seguridad con una presión de seteo de 1.2 bares, lo cual alertará sobre una trampa de vapor dañada. Para lograr mantener la presión de un bar en el sistema, se inyectará vapor de la red de vapor utilizando una válvula reductora de presión, la que reducirá la presión de 6.2 bares a un bar.

Debido al aprovechamiento de agua que se dará con la instalación del tanque desaireador, se obtendrá un ahorro con respecto al producto químico que se utiliza para tratar el agua de alimentación de la caldera. Enseguida, se analizará este ahorro.

Actualmente, se utilizan mensualmente aproximadamente 664 kilogramos de producto químico para tratar el agua de alimentación de la caldera; este químico tiene un costo mensual de ¢ 510 000, lo que corresponde a ¢ 6 120 000 anuales. A continuación, se presenta una tabla con el resumen de los productos químicos utilizados en la caldera y su respectivo costo:

Tabla 24. Resumen de productos químicos utilizados en la caldera diariamente

Producto	Código	Kg	Costo/kilo (₡)
Sal	Sal	25	₡4.687,5
Antiincrustante	WT-BI-14	0,33	₡9.132,0
Dispersante	WT-HI-40	0,66	₡3.593,8
Secuestrador de oxígeno	WT-BS-10	1,67	₡4.822,5

Total = 27,66      ₡22.235,8

Fecha: 10 de octubre de 2021.

Fuente: Elaboración propia.

Si la propuesta de instalar un sistema de retorno de condensado presurizado se desarrolla, esto tendría un impacto directo en el consumo de producto químico, ya que se aprovecharía una mayor cantidad del condensado generado en el sistema, el cual ya ha sido tratado anteriormente, y no hace falta volver a tratarlo químicamente para introducirlo en la caldera. A continuación, se calculará la cantidad de producto químico que podría ahorrar la empresa.

- Promedio de litros diarios: 60 000 L
- Litros diarios recuperados: 2 340 L

$$\text{Porcentaje de agua recuperada: } \frac{2\,340\text{ L}}{60\,000\text{ L}} = 3.9\%$$

Una vez obtenido el porcentaje de agua recuperada con la instalación del tanque desaireador del sistema de retorno de condensados presurizado, se procede a calcular los kilogramos de producto químico anuales que ahorraría la empresa.

- Kilogramos de producto químico utilizado anualmente: 664 Kg x 12 = 7 968 Kg

$$\text{Producto químico ahorrado anualmente: } 7\,968\text{ Kg} * 3.9\% = 310.75\text{ Kg}$$

La empresa dejaría de utilizar anualmente 310.75 kg de producto químico para tratar el agua de alimentación de la caldera, lo cual corresponde a un ahorro de ₡ 238 678.5 al año.

Aunque este ahorro no es tan significativo, comparado a la inversión de instalar el nuevo tanque desaireador, también hay que tomar en cuenta que se está dejando consumir una cantidad de agua considerable, y se está utilizando menos producto

químico para mantener el correcto funcionamiento de las calderas, lo cual es un beneficio medioambiental, e importante para una empresa que cuenta con la certificación de bandera azul, como lo es la empresa CIISA.

Este análisis, además de determinar cuánto es el ahorro económico que generaría la disminución del consumo de producto químico, también deja ver que la viabilidad de instalar el tanque desaireador está en la cantidad de energía que contiene el agua que se desperdicia, y no en la cantidad de producto químico que se utiliza para tratar el agua que reemplaza al agua que se desperdicia; esto debido a que la cantidad de energía que se desperdicia en esta agua, corresponde al 0.44% de la energía utilizada para la generación de vapor, lo cual corresponde a ¢ 1 931 949.83 anuales.

El ahorro económico, correspondiente al producto químico que dejará de consumir la empresa, será tomado en cuenta en el ahorro obtenido en la propuesta de instalación de un sistema de retorno de condensados presurizado, ya que este ahorro está implícito en esta propuesta.

A continuación, se presenta una tabla con el resumen de los costos totales por la implementación del sistema de retorno de condensados presurizado.

Tabla 25. Resumen de costos por implementación del sistema de retorno de condensado presurizado

Equipo	Costo total (¢)
Tanque receptor de condensado	¢12.808.267,00
Estación de bombas mecánicas para vapor	¢23.679.150,00
Tanque desaireador y estación de bombeo	¢46.640.750,00
Calentador de agua	¢24.019.986,00
Estación de reducción de presión	¢18.620.422,00
Materiales y consumibles	¢26.352.023,00
Mano de obra	¢13.650.000,00

Total = ¢165.770.598,00

Fecha: 10 de octubre de 2021.

Fuente: Elaboración propia.

Los equipos, para la implementación del proyecto, fueron cotizados con un proveedor nacional que se especializa en este tipo de equipos; además se decidió cotizar la mano de obra con este mismo proveedor, debido a que la empresa no cuenta con la mano de obra necesaria para ejecutar el proyecto.

A continuación, se presenta el cronograma de trabajo propuesto para la ejecución del proyecto.

Imagen 14. Cronograma de trabajo para propuesta de sistema de retorno de condensado  
Año 2022

Actividades	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Instalación de tanque receptor de condensado	█			
Instalación de estación de bombas mecánicas para vapor	█			
Instalación de tanque desaireador y bombas de alimentación del cuarto de calderas		█		
Instalación de tubería de condensado desde la estación de bombeo al tanque desaireador		█		
Instalación de estación de reducción de presión y calentador de agua			█	
Conexión del sistema nuevo y puesta en marcha			█	
Seguimiento del sistema y medición de resultados				█

Fecha: 8 de noviembre de 2021.

Fuente: Elaboración propia.

La instalación de los equipos de esta propuesta, se realizará en paralelo al sistema de condensados actual, por lo cual no se verá afectada la operación normal de los equipos de planta. Una vez instalados los nuevos equipos del sistema de condensados presurizado, se coordinará para hacer el traslado del sistema antiguo al sistema nuevo, el fin de semana inmediato después de haber terminado de instalar los equipos, en específico el día sábado, una vez se hayan terminado todos los procesos de la planta, evitando así paros de producción programados.

### 4.3 Análisis económico

Uno de los principales aspectos que toma en cuenta la gerencia de cualquier empresa a la hora de aprobar un proyecto, es el de los indicadores financieros que el proyecto presenta, ya que estos indican la factibilidad de desarrollar el proyecto o no, por lo cual se van a determinar los tres principales indicadores financieros (VAN, TIR y PR) de cada una de las propuestas de mejora, con el fin de determinar si es viable su desarrollo. A continuación, se presenta el significado de cada uno de estos indicadores:

- Periodo de Recuperación (PR): el tiempo en que se recupera el dinero invertido en el proyecto, para poder calcularlo, se debe tener el ahorro generado con la implementación del proyecto en un tiempo determinado, y la inversión que se asume a la hora de realizar el proyecto.
- Valor Actual Neto (VAN): corresponde al valor presente de los flujos de caja netos originados por una inversión.
- Tasa Interna de Retorno (TIR): es el porcentaje de beneficio o pérdida que conllevará cualquier inversión.

Como se puede observar, los principales datos para obtener estos indicadores financieros son la inversión inicial, la cual ya se determinó para cada una de las propuestas, y el ahorro obtenido tras el desarrollo de ellas. Enseguida, se calculará el ahorro anual para cada una de las propuestas mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{Ahorro de energia (MJ)}}{\text{Poder calorifico } \left(\frac{\text{MJ}}{\text{L}}\right)} \times \text{Costo litro de combustible } \left(\frac{\text{¢}}{\text{L}}\right) = \text{Dinero ahorrado(¢)}$$

- Sistema de retorno de condensados presurizado

$$\frac{5\,437\,595.09 \text{ MJ}}{41.9 \text{ MJ/L}} \times 317.36 \frac{\text{¢}}{\text{L}} = \text{¢ } 41\,185\,565.1$$

- Aislamiento de tuberías de trasiego de vapor

$$\frac{4\,602\,832.39 \text{ MJ}}{41.9 \text{ MJ/L}} \times 317.36 \frac{\text{¢}}{\text{L}} = \text{¢ } 34\,862\,885.14$$

- Trampas de vapor

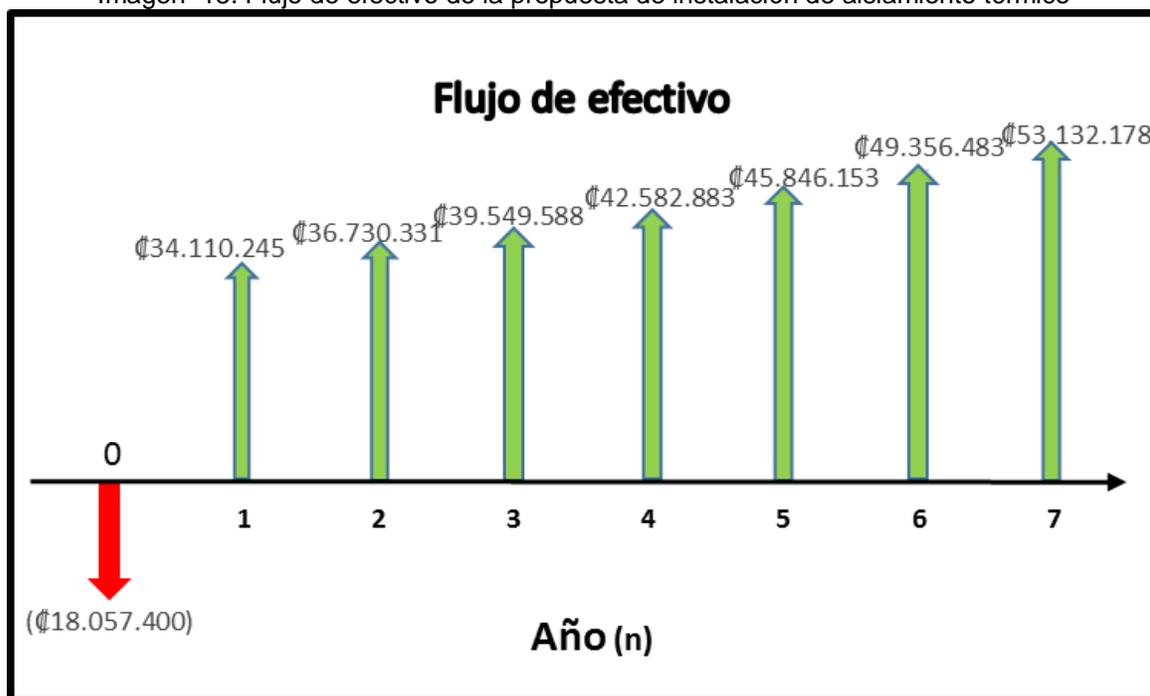
$$\frac{3\,297\,119.32 \text{ MJ}}{41.9 \text{ MJ/L}} \times 317.36 \frac{\text{¢}}{\text{L}} = \text{¢ } 24\,973\,121.42$$

Cabe aclarar que, para realizar este cálculo, se utilizó el poder calorífico y el costo del búnker, ya que es el que más se usa para la generación de vapor; este presenta un poder calorífico de 41.9 MJ/L y un costo de 317.36 colones.

A continuación, se presenta el flujo de efectivo de cada una de las propuestas de mejora:

### Aislamiento de tuberías de trasiego de vapor

Imagen 15. Flujo de efectivo de la propuesta de instalación de aislamiento térmico

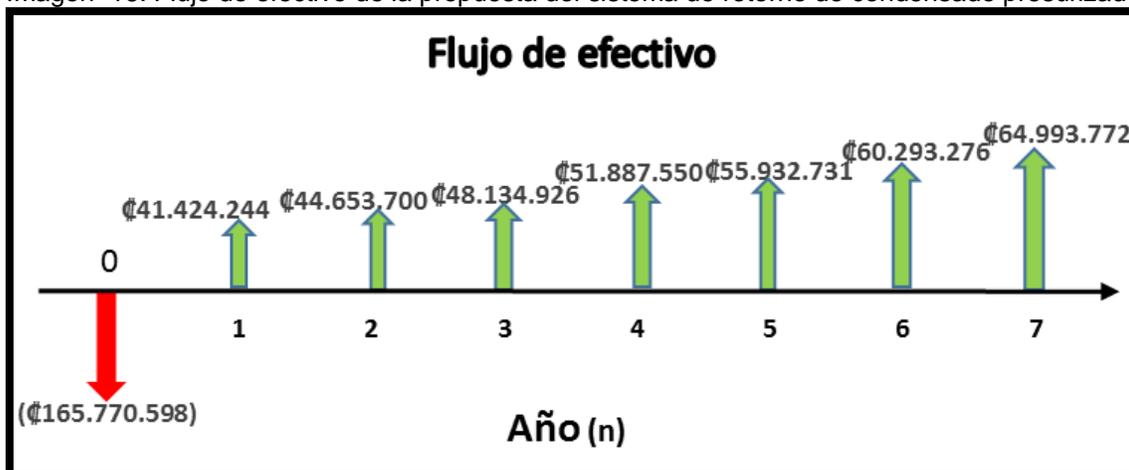


Fecha: 10 de noviembre de 2021.

Fuente: Elaboración propia.

## Sistema de retorno de condensados presurizado

Imagen 16. Flujo de efectivo de la propuesta del sistema de retorno de condensado presurizado

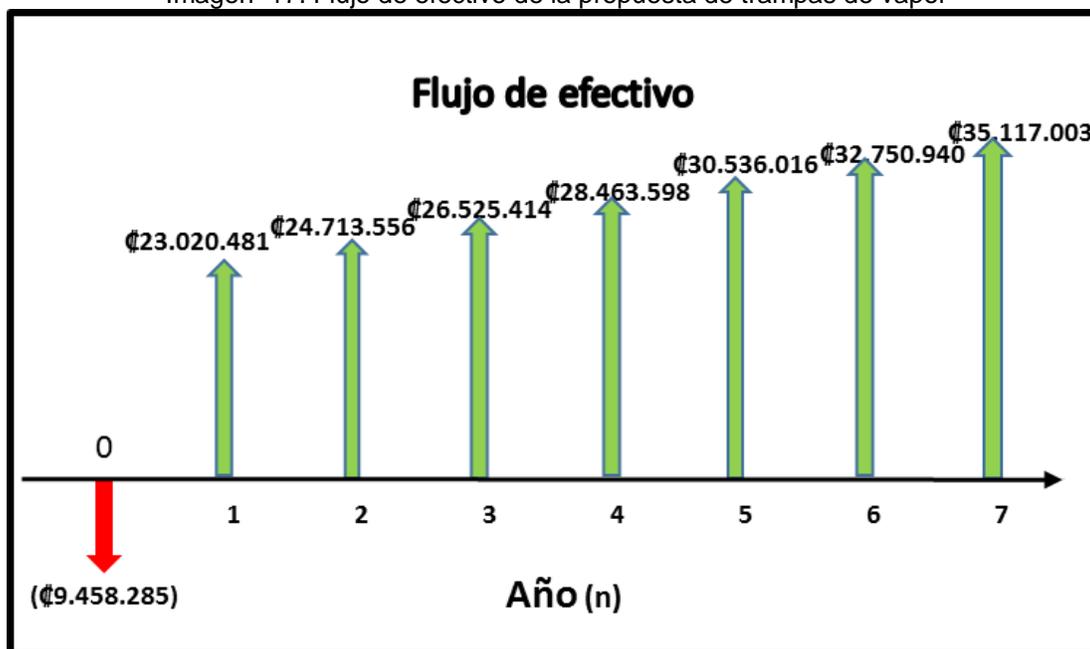


Fecha: 10 de noviembre de 2021.

Fuente: Elaboración propia.

## Trampas de vapor

Imagen 17. Flujo de efectivo de la propuesta de trampas de vapor



Fecha: 10 de noviembre de 2021.

Fuente: Elaboración propia.

El detalle de los flujos de efectivo de cada una de las propuestas, se puede observar en la sección de anexos.

A continuación, se presenta una tabla de resumen de los indicadores financieros de cada una de las propuestas de mejora:

Tabla 26. Resumen de indicadores financieros

Propuesta	Periodo de recuperación (Años)	Valor actual neto (₡)	Tasa interna de retorno (%)
Trampas de vapor	0,41	₡105.504.282	251%
Aislamiento de tuberías de trasiego de vapor	0,53	₡153.834.652	196%
Sistema de retorno de condensados presurizado	4,00	₡43.639.932	23%

Fecha: 10 de octubre de 2021.

Fuente: Elaboración propia.

Cabe resaltar que los indicadores de VAN y TIR se calcularon con una tasa de retorno del 15%. Además, se tomó en cuenta, para calcular el ahorro anual, un aumento en el costo del combustible de un 7.8%; esta tasa de aumento anual del combustible se obtuvo del historial del costo del búnker en los últimos cinco años. También cabe aclarar que no se toma en cuenta, para el cálculo de los indicadores financieros, el aumento o disminución de la producción, debido a dos factores, el primero es que, según el historial de los últimos cinco años, la cantidad de animales procesados es muy estable, variando en promedio de un año a otro un 6.38%, y el segundo factor es que la cantidad de animales procesados no incide significativamente en el consumo de energía correspondiente a la generación de vapor, ya que en los últimos cinco años el promedio de variación del consumo energético entre un año y otro es de un 3.29%.

Al analizar los indicadores financieros de las tres propuestas, y tomando en cuenta que la empresa tiene como política aprobar proyectos con periodos de recuperación menores a los tres años, se puede determinar que dos de las propuestas son viables para la empresa, y una de ellas deberá ser analizada más a fondo para determinar su viabilidad. Enseguida, se analizará cada una de ellas:

### **Trampas de vapor**

Esta propuesta es la más atractiva de todas, porque tiene un periodo de recuperación muy corto y una tasa interna de retorno muy alta; esto se debe a que, para desarrollar la propuesta, hay que invertir muy poco dinero, y la cantidad de ahorro económico que tendría la empresa es muy alta. Además, esta propuesta presenta la ventaja de ser muy fácil de ejecutar, ya que sustituir las trampas dañadas no presenta un alto grado de dificultad.

### **Aislamiento de tuberías de trasiego de vapor**

Esta propuesta presenta un periodo de recuperación bajo y una tasa interna de retorno alta, por lo que la ejecución de la propuesta es muy viable; además, es la propuesta con el valor actual neto más alto de las tres propuestas, por lo cual la empresa podría decidir que esta es la primera propuesta en desarrollarse.

### **Sistema de retorno de condensados presurizado**

Esta propuesta es la que presenta el mayor periodo de recuperación, por lo que es la que tiene menos posibilidades de ser desarrollada por la empresa, debido a que el periodo de recuperación es un año más elevado que el periodo de recuperación preestablecido por la empresa para aprobar proyectos a desarrollar. Sin embargo, a la hora de analizar esta propuesta, la empresa debería tomar en cuenta también otros factores, como por ejemplo el ambiental, el cual no es cuantificable en la parte económica, pero sí tiene un impacto importante tanto en el consumo de combustible, como el consumo de agua y consumo de productos químicos. El largo periodo de recuperación de esta propuesta se debe al alto costo de los equipos necesarios para poder desarrollar la propuesta. Además, la propuesta presenta un alto grado de dificultad de ejecución, ya que se necesita mano de obra especializada para poderla ejecutar. A pesar de esto, la propuesta de implementar un sistema de retorno de condensado presurizado sigue siendo muy atractiva para la empresa.

## Capítulo V

### 5.1 Conclusiones

Por medio de mediciones y cálculos ingenieriles, se logró identificar varias fuentes de desperdicio de energía en el sistema de generación y trasiego de vapor, las cuales fueron cuantificadas y se delimitó que, si esta energía fuera aprovechada, se podría disminuir el consumo de combustibles en un 23%.

Se pudo determinar que, si se logra aprovechar la energía desperdiciada en el sistema de generación y trasiego de vapor, la empresa dejaría de consumir anualmente 318 318.54 litros de bunker, lo que equivale a un ahorro económico anual de ¢101 021 571.66.

Mediante la medición de la cantidad de productos químicos, utilizados actualmente por la empresa para tratar el agua que ingresa a la caldera, se pudo determinar que el consumo de estos químicos disminuiría en un 3.9%, si se desarrolla la propuesta del sistema de retorno de condensado presurizado, y esto equivale a un ahorro anual de ¢ 238 678.5.

Se analizó la situación actual del sistema de generación y trasiego de vapor, a través de la utilización de dos métodos, uno fue el software de la empresa TVL, y el otro mediante la utilización de cálculos ingenieriles; los datos de ambos métodos fueron comparados entre sí, y se resolvió que estos datos son confiables.

Se logró determinar el costo de implementación y la ganancia que obtendría la empresa, si se desarrollan las propuestas. Con estos datos se desarrolló un análisis económico de cada una de las propuestas, obteniendo así los indicadores financieros que permitirán a la empresa evaluar si las propuestas son viables o no.

## Bibliografía

- Álvarez González, N.R. (2016). *Eficiencia energética en la red de distribución de vapor a través de la recuperación del condensado en una industria de alimentos*. [Tesis]. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.  
Recuperado de: <http://www.spiraxsarco.com/cl/pdfs/training/gcm-03.pdf>
- Armstrong International, Inc. (1998). *Guía para la conservación de vapor en el drenado de condensados*. Manual N-101S 5M 7/98.
- Cengel, Y.A., y Boles, M.A. (2006). *Termodinámica* (5a. ed.). México: McGraw-Hill.  
Recuperado de:  
[http://www.fisicanet.com.ar/fisica/termodinamica/tb03\\_conductividad.php](http://www.fisicanet.com.ar/fisica/termodinamica/tb03_conductividad.php)
- Empresa Termoeléctrica. (2021). Informe de evaluación y diagnóstico de las trampas de vapor.
- Incropera, F.P. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor* (4a. ed.). México: Prentice Hall.
- Junta de Castilla y León. (2010). Manual técnico, Diseño y cálculo de redes de vapor. Castilla: Junta de Castilla y León.
- Paffer, K. (2019). Pressurized condensate return system. Technical Manager Plant Support and Evaluations, Inc.
- Palacios, J.L., Peña, A., e Hidalgo, V. (febrero de 2015). Técnicas de gestión energética en sistemas de vapor. *Revista Politécnica*, Vol. 35, 1-8.
- Restrepo. Á. H., Burbano, J.C., y Salgado, Á.A. (2005). Caracterización y posibilidades de ahorro energético en generación de vapor - estudio de caso. *Scientia et Technica*, Vol. 2, Núm. 28, UTP. ISSN 0122-1701.
- Sapag Chain, N. (2007). *Proyectos de inversión formulación y evaluación*. México: Pearson Education de México S.A.
- Villacres Y., J., y Andrade S., F. (2009). Ahorro energético en el sistema de recuperación de condensados de una planta industrial en Guayaquil utilizando un surge tank.

## Anexos

### Anexo 1

#### Determinación de energía desperdiciada

A continuación, se analizará cada una de las oportunidades de aprovechamiento de la energía, para demostrar cómo se obtuvo la cantidad de energía que se desperdicia en cada una de ellas.

#### Tuberías de trasego de vapor sin aislamiento

Durante el análisis de las tuberías de distribución de vapor, se observó que hay una gran cantidad de tubería que tiene aislamiento en malas condiciones, o del todo no cuenta con aislamiento. Enseguida, se calculará la cantidad de energía desperdiciada por falta de aislamiento. en el tramo de tubería que va desde las calderas al área del rendering. Para poder obtener el valor real de energía perdida, primero se realizará el cálculo de la pérdida de energía en la tubería sin aislamiento. y luego el cálculo de la pérdida de energía en la misma tubería, pero con aislamiento, para poder restar este último dato al primero, y así obtener el dato real de cuánta energía se está desperdiciando.

Para poder determinar la pérdida energética por falta de aislamiento en tuberías utilizadas para trasegar vapor, se utilizará la siguiente ecuación:

$$q = \frac{\pi(T_f - T_a)}{\frac{1}{\alpha_i * D_{int}} + \frac{1}{2 * \lambda_p} * \ln\left(\frac{D_{ext}}{D_{int}}\right) + \frac{1}{\alpha_e * D_{ext}}}$$

Ecuación 2, Cálculo de flujo de calor, tuberías sin aislamiento.

Donde:

q = Densidad de flujo de calor, W/m.

$\lambda_p$  = Conductividad térmica de la pared del tubo, W/m K.

$\alpha_i$  = Coeficiente de transferencia de calor en el interior de la tubería, W/m<sup>2</sup> K.

$\alpha_e$  = Coeficiente de transferencia de calor en el exterior de la tubería, W/m<sup>2</sup> K.

Dext = Diámetro exterior del tubo, m.

Dint = Diámetro interior del tubo, m.

Tf = Temperatura del fluido de trabajo, °C.

Ta = Temperatura ambiente, °C.

Se calcula el coeficiente de transferencia de calor en el exterior de la tubería ( $\alpha_e$ ), por medio de la siguiente ecuación:

$$\alpha_e = \alpha_{conv} + \alpha_{rad}$$

Ecuación 3, Coeficiente de transferencia de calor en el exterior de la tubería.

Donde:

$\alpha_{conv}$  = Coeficiente de transferencia de calor por convección, W/m<sup>2</sup> K.

$\alpha_{rad}$  = Coeficiente de transferencia de calor por radiación, W/m<sup>2</sup> K.

Se calcula el Coeficiente de transferencia de calor por convección ( $\alpha_{conv}$ ), por medio de la siguiente ecuación:

$$\alpha_{conv} = \frac{Nuf * \lambda_f}{D_{ext}}$$

Ecuación 4, Coeficiente de transferencia de calor por convección.

Donde:

$\lambda_f$  = Conductividad térmica del aire a temperatura ambiente, W/m K.

Nuf = Número de Nusselt.

Si  $10 \leq Ref \leq 1 \times 10^3$  entonces  $Nuf = 0.44 * Ref$

Si  $1 \times 10^3 \leq Ref \leq 2 \times 10^5$  entonces  $Nuf = 0.22 * Ref$

Se calcula el número de Reynolds

$$Ref = \frac{V_f * D_{ext}}{\nu}$$

Ecuación 5, Número de Reynolds.

Donde:

Vf = Velocidad del aire exterior, m/s.

$V$  = Viscosidad cinemática del aire a temperatura ambiente,  $m^2/s$ .

Se sustituyen los valores en la ecuación 5 para obtener el Número de Reynolds.

$$Re_f = \frac{0.88 * 0.1683}{1.51 \times 10^{-5}} = 9\ 873.6$$

Ecuación 5, Número de Reynolds.

Una vez obtenido el Número de Reynolds, se sustituyen los valores en la ecuación 4 y se obtiene el Coeficiente de transferencia de calor por convección.

$$\alpha_{conv} = \frac{(9\ 873.6 * 0.22) * 0.02551}{0.1683} = 327.07\ W/m^2k$$

Ecuación 4, Coeficiente de transferencia de calor por convección.

Se procede a calcular el Coeficiente de transferencia de calor por radiación, utilizando la siguiente ecuación:

$$\alpha_{rad} = Q * \epsilon_{sup} * ((T_{sup})^4 - (T_a)^4)$$

Ecuación 6, Coeficiente de transferencia de calor por radiación.

Donde:

$Q$  = Constante de Stefan-Boltzmann =  $5.67 \times 10^{-8}\ W/m^2 * K^4$ .

$\epsilon_{sup}$  = Emisidad de la pared del tubo.

$T_{sup}$  = Temperatura superficial (K).

$T_a$  = Temperatura ambiente (K).

Se sustituyen los valores en la ecuación 6 y se obtiene el Coeficiente de transferencia de calor por radiación.

$$\alpha_{rad} = 5.67 \times 10^{-8} * 0.52 * (438.14^4 - 298.15^4) = 843\ W/m^2k$$

Ecuación 6, Coeficiente de transferencia de calor por radiación.

Se procede a sustituir los valores en la ecuación 3 para obtener el Coeficiente de transferencia de calor en el exterior de la tubería.

$$\alpha_e = 327.07 + 843 = 1\ 170.07\ W/m^2k$$

Ecuación 3, Coeficiente de transferencia de calor en el exterior de la tubería.

Una vez obtenidos todos los valores, se sustituyen en la ecuación 2, para obtener la densidad del flujo de calor:

$$q = \frac{\pi(165 - 25)}{\frac{1}{50 * 0.154} + \frac{1}{2 * 58} * \ln\left(\frac{0.1683}{0.154}\right) + \frac{1}{1180.6 * 0.1683}} = 3\,243.62 \text{ W/m}$$

Ecuación 2, Cálculo de flujo de calor, tuberías sin aislamiento.

Se procede a obtener los KJ perdidos por hora, multiplicando la densidad de flujo por la distancia de la tubería sin aislamiento y por 3.6, dado que  $W = 3.6 \text{ KJ/h}$ .

$$3\,243.62 \frac{\text{W}}{\text{m}} \times 18.23 \text{ m} \times 3.6 = 212\,813.6 \text{ KJ/h}$$

Una vez obtenidos los KJ perdidos por hora, se multiplica por la cantidad de horas que trabaja la tubería al año, y se obtiene la cantidad de energía perdida al año:

$$\frac{212\,813.6 \frac{\text{KJ}}{\text{h}} \times 3\,753 \text{ h}}{1000} = 798\,689.5 \text{ MJ}$$

Ahora se determinará la pérdida energética en el mismo tramo de tubería, pero con aislamiento, y para poder determinarlo se utilizará la siguiente ecuación:

$$q = \frac{\pi(T_f - T_a)}{\frac{1}{\alpha_i * D_{int}} + \frac{1}{2 * \lambda_p} * \ln\left(\frac{D_{ext}}{D_{int}}\right) + \frac{1}{2 * \lambda_{ais}} * \ln\left(\frac{D_{ais}}{D_{ext}}\right) + \frac{1}{ae * D_{ais}}}$$

Ecuación 7, Cálculo de flujo de calor, tuberías con aislamiento.

Donde:

$q$  = Densidad de flujo de calor, W/m.

$\lambda_p$  = Conductividad térmica de la pared del tubo, W/m K.

$\lambda_{ais}$  = Conductividad térmica del aislante, W/m K.

Se calcula el coeficiente de transferencia de calor en el exterior de la tubería ( $\alpha_e$ ), por medio de la siguiente ecuación:

$$\alpha_e = \alpha_{conv} + \alpha_{rad}$$

Ecuación 3, Coeficiente de transferencia de calor en el exterior de la tubería.

Donde:

$\alpha_{conv}$  = Coeficiente de transferencia de calor por convección, W/m<sup>2</sup> K.

$\alpha_{rad}$  = Coeficiente de transferencia de calor por radiación, W/m<sup>2</sup> K.

Se calcula el Coeficiente de transferencia de calor por convección ( $\alpha_{conv}$ ), por medio de la siguiente ecuación:

$$\alpha_{conv} = \frac{Nuf * \lambda_f}{D_{ais}}$$

Ecuación 4, Coeficiente de transferencia de calor por convección.

Donde:

$\lambda_f$  = Conductividad térmica del aire a temperatura ambiente, W/m K.

$Nuf$  = Número de Nusselt.

Si  $10 \leq Ref \leq 1 \times 10^3$  entonces  $Nuf = 0.44 * Ref$

Si  $1 \times 10^3 \leq Ref \leq 2 \times 10^5$  entonces  $Nuf = 0.22 * Ref$

Se calcula el número de Reynolds

$$Ref = \frac{V_f * D_{ais}}{\nu}$$

Ecuación 5, Número de Reynolds.

Donde:

$V_f$  = Velocidad del aire exterior, m/s.

$\nu$  = Viscosidad cinemática del aire a temperatura ambiente, m<sup>2</sup>/s.

Se sustituyen los valores en la ecuación 5 para obtener el Número de Reynolds.

$$Ref = \frac{0.88 * 0.2183}{1.51 \times 10^{-5}} = 12\,722.12$$

Ecuación 5, Número de Reynolds.

Una vez obtenido el Número de Reynolds, se sustituyen los valores en la ecuación 4, y se obtiene el Coeficiente de transferencia de calor por convección.

$$\alpha_{conv} = \frac{(12\,722.12 * 0.22) * 0.02551}{0.2183} = 327.07 \text{ W/m}^2\text{k}$$

Ecuación 4, Coeficiente de transferencia de calor por convección.

Se procede a calcular el coeficiente de transferencia de calor por radiación, utilizando la siguiente ecuación:

$$\alpha_{rad} = Q * \epsilon_{sup} * ((T_{sup})^4 - (T_a)^4)$$

Ecuación 6, Coeficiente de transferencia de calor por radiación.

Donde:

Q = Constante de Stefan-Boltzmann =  $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 * \text{K}^4$ .

$\epsilon_{sup}$  = Emisidad de la pared del tubo.

T sup = Temperatura superficial (K).

T a = Temperatura ambiente (K).

Se sustituyen los valores en la ecuación 6 y se obtiene el coeficiente de transferencia de calor por radiación.

$$\alpha_{rad} = 5.67 \times 10^{-8} * 0.52 * (438.14^4 - 298.15^4) = 853.54 \text{ W/m}^2\text{k}$$

Ecuación 6, Coeficiente de transferencia de calor por radiación.

Se procede a sustituir los valores en la ecuación 3, para obtener el coeficiente de transferencia de calor en el exterior de la tubería.

$$\alpha_e = 327.03 + 853.54 = 1\,180.6 \text{ W/m}^2\text{k}$$

Ecuación 3, Coeficiente de transferencia de calor en el exterior de la tubería.

Una vez obtenidos todos los valores, se sustituyen en la ecuación 7, para obtener la densidad del flujo de calor:

$$q = \frac{\pi(165 - 25)}{\frac{1}{50 * 0.154} + \frac{1}{2 * 58 * \ln\left(\frac{0.1683}{0.154}\right)} + \frac{1}{2 * 0.033 * \ln\left(\frac{0.2183}{0.1683}\right)} + \frac{1}{1180.6 * 0.2183}}$$

$$= 107.91 \text{ W/m}$$

Ecuación 7, Cálculo de flujo de calor, tuberías con aislamiento.

Se procede a obtener los KJ perdidos por hora, multiplicando la densidad de flujo por la distancia de la tubería con aislamiento y por 3.6, dado que  $W = 3.6 \text{ KJ/h}$ .

$$107.91 \frac{W}{m} \times 18.23 \text{ m} \times 3.6 = 7081.92 \text{ KJ/h}$$

Una vez obtenidos los KJ perdidos por hora, se multiplica por la cantidad de horas que trabaja la tubería al año y se obtiene la cantidad de energía perdida al año:

$$(7081.92 \frac{KJ}{h} \times 3753 \text{ h}) / 1000 = 26572.08 \text{ MJ}$$

Una vez obtenidos los valores de energía perdida por año, tanto para tuberías sin aislamiento como para tuberías con aislamiento, se le resta el valor de tubería con aislamiento al valor de tuberías sin aislamiento, y se obtiene el valor real de la energía que se está desperdiciando en la tubería por año:

$$798689.5 \text{ MJ} - 26572.08 \text{ MJ} = 772117.4 \text{ MJ}$$

Se realiza el mismo procedimiento para las demás tuberías, y se obtiene la siguiente tabla de resumen:

Tabla 27. Resumen del cálculo de pérdida de energía por falta de aislamiento en tuberías.

Tubería	Megajulios perdidos por año sin aislamiento (MJ)	Megajulios perdidos por año con aislamiento (MJ)	Megajulios perdidos por año reales (MJ)
Cocedor #1	17621,48	670,74	16950,74
Cocedor #2	35242,96	1341,48	33901,48
Cocedor #3	52864,43	2012,22	50852,22
Cocedor #4	70485,91	2682,95	67802,96
Calentador de agua en línea	108061,82	4113,23	103948,59
Tanque de agua caliente	367628,83	15273,96	352354,87
Máquina de patas 95 °C	32093,26	1870,07	30223,19
Máquina mondongo 95 °C	67308,34	3922,04	63386,30
Centrífuga de rayos	97299,06	5175,35	92123,70
Centrífuga de piedra	75295,48	4004,98	71290,50
Cocina 95 °C	54055,03	2875,20	51179,84
Túnel de calor	138784,15	8086,91	130697,23
Tanque de agua caliente	46822,09	2230,55	44591,54
Paila 60 °C	18576,48	771,80	17804,68
Cocina 95 °C	15649,19	911,87	14737,32
Tanque de agua caliente	121464,84	6460,74	115004,10
Tubería de las calderas al manifold del rendering	798689,48	26572,08	772117,40
Tubería del rendering a matanza de res	412907,75	17155,17	395752,57
Tubería de cerdos	2212593,39	79172,49	2133420,90
Tubería que alimenta tripería de res	46800,58	2108,32	44692,27
		Total =	4602832,39

Fecha: 10 de julio de 2021.

Fuente: Elaboración propia.

Al realizar un análisis de los datos obtenidos, se puede observar que hay tramos de tubería donde hay mayor oportunidad de aprovechamiento de la energía, por lo cual, si se decide desarrollar esta propuesta, estos tramos son a los que se les debe dar prioridad para ser reparados.

### Trampas de vapor

Durante la inspección de las trampas del sistema de trasiego de vapor de la planta, que realizó la empresa Termo Eléctrica, se detectaron varias trampas de vapor

en malas condiciones, por lo cual se procederá a determinar la cantidad de energía que se desperdicia en estas trampas.

Para determinar la pérdida de vapor en una trampa en mal estado, se utiliza el mismo método que se aplicada para calcular la pérdida por orificios, tomando el diámetro del agujero de la trampa, como el agujero a calcular. A continuación, se calculará la pérdida energética de una de las trampas en mal estado.

$$V = A_{orificio} * P * \left(\frac{3600}{70}\right)$$

Ecuación 9, Pérdida de energía por orificios.

Nota: Ecuación de Napier

Donde:

V = Pérdida de vapor (Lb/hr).

$A_{orificio}$  = Área del orificio (pulg<sup>2</sup>).

P = Presión (psi).

La trampa, de la cual se obtendrá la pérdida de vapor, tiene un orificio de 0.25", y trabaja a 90 psi; por lo tanto, se procederá a sustituir los valores en la ecuación:

$$V = \left(\frac{0.25}{2}\right)^2 * \pi * 90 * \left(\frac{3600}{70}\right) = 227.2 \text{ Lb/hr}$$

Ecuación 9, Pérdida de energía por orificios.

Nota: Ecuación de Napier

La trampa presenta una pérdida de 227.2 libras de vapor por hora, lo que equivale a 103.068 Kilogramos de vapor por hora. Enseguida, se multiplican estos kilogramos de vapor por hora (Kg/h) por la entalpia específica del vapor (KJ/Kg) a 90 psi y por las horas de trabajo anual, para obtener los megajulios perdidos por año.

$$\frac{MJ}{año} = \frac{103.058 \frac{Kg}{h} * 3\,753 \text{ h} * 2\,764.625 \frac{KJ}{Kg}}{1000} = 1\,069\,294.645 \text{ MJ}$$

Se realiza el mismo procedimiento para las demás trampas dañadas, y se obtiene la siguiente tabla de resumen:

Tabla 28. Resumen del cálculo de pérdida de energía por trampas en mal estado.

Trampa	Diámetro del orificio (pulg)	Presión de trabajo (psi)	Horas de operación	Pérdida de vapor (Kg/h)	Megajulios perdidos por año (MJ)
1	0,25	90	3753	103,06	1069294,645
2	0,16	90	3753	32,50	337208,2228
3	0,31	90	1240	79,00	270822,665
4	0,34	90	1240	94,50	323958,7575
5	0,34	90	1240	94,50	323958,7575
6	0,34	90	1240	94,50	323958,7575
7	0,34	90	1240	94,50	323958,7575
8	0,34	90	1240	94,50	323958,7575
Total =					3297119,32

Fecha: 10 de julio de 2021.

Fuente: Elaboración propia.

Al analizar los resultados obtenidos de la oportunidad de aprovechamiento de energía de las trampas de vapor, se puede determinar que la cantidad de energía desperdiciada es considerable, y tomando en cuenta que reparar o sustituir estas trampas es relativamente fácil, esta oportunidad de aprovechamiento de la energía es muy atractiva para poder desarrollarla.

### Sistema de retorno de condensados

Durante el análisis del sistema de retorno de condensados, se determinó que al ser un sistema tipo abierto o venteado, hay una gran oportunidad de aprovechamiento de la energía, ya que en este tipo de sistemas se desaprovecha gran cantidad de la energía que contiene el condensado generado en los equipos, por lo cual se procederá a determinar la cantidad de energía que se desperdicia en el sistema actual, comparado con un sistema de retorno de condensados presurizado.

El tanque recolector de condensado actual ventea a la atmósfera vapor flash, lo que representa pérdidas energéticas. A continuación, se calculará el porcentaje de pérdida de vapor flash en el sistema con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Vapor Flash} = \frac{\text{Calor sensible a alta presión} - \text{Calor sensible a baja presión}}{\text{Calor latente baja presión}}$$

Ecuación 18, Cálculo de porcentaje de pérdida de vapor flash en sistemas de condensados.

Donde:

Calor sensible a alta presión = Entalpia del líquido saturado a 6.5 Bar, la cual es 709.94 KJ/Kg.

Calor sensible a baja presión = Entalpia del agua a 0 Bar, la que es 418.84 KJ/Kg.

Calor latente a baja presión = Entalpia de evaporización a 0 Bar, la cual es 2 256.9 KJ/Kg.

Se rempazan los valores en la ecuación 18 y se obtiene el porcentaje de pérdida de vapor flash en un sistema venteado:

$$\% Vapor Flash = \frac{709.94 - 418.84}{2\ 256.9} = 12.9 \%$$

Ecuación 18, Cálculo de porcentaje de pérdida de vapor flash en sistemas de condensados.

Al utilizar este porcentaje, se procede a calcular la cantidad de condensado perdido en el venteo como vapor flash con la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_{flash} = Cantidad\ de\ retorno\ de\ condensado\ x\ \% vapor\ flash$$

Ecuación 19, Cálculo de cantidad de condensado perdido en sistema.

Donde:

Cantidad de retorno de condensado = 6 326 Kg/h (obtenido de los equipos que retornan condensado).

% vapor flash = 12.9 %

Se rempazan los valores en la ecuación 19 y se obtiene la cantidad de condensado perdido como vapor flash en el sistema:

$$\dot{m}_{flash} = 6\ 326 \frac{Kg}{h} x 12.9 \% = 816.054 \frac{Kg}{h}$$

Ecuación 19, Cálculo de cantidad de condensado perdido.

Una vez obtenida la cantidad de condensado perdido como vapor flash, se procede a calcular la cantidad de calor perdido en el sistema con la siguiente ecuación:

$$q_{perdido} = h_g \times \dot{m}_{flash}$$

Ecuación 20, Cálculo de calor perdido en sistema de condensados.

Donde:

$h_g$  = Entalpia del vapor saturado a 0 Bar, la cual corresponde a 2 676.76 KJ/Kg.

$\dot{m}_{flash}$  = 816.054 Kg/h.

Se remplazan los valores en la ecuación 20 y se obtiene la cantidad de calor perdido en el sistema:

$$q_{perdido} = 2\,676.76 \frac{KJ}{Kg} \times 816.054 \frac{Kg}{h} = 2\,184\,250.136 \frac{KJ}{h}$$

Ecuación 20, Cálculo de calor perdido en sistema de condensados.

Una vez obtenida la cantidad de calor por hora desperdiciado en el sistema debido al vapor flash, se multiplica por las horas de trabajo del sistema al año, y se obtiene la cantidad de energía desperdiciada:

$$Energia\ desperdiciada\ por\ año = \frac{2\,184\,250.136 \frac{KJ}{h} \times 3\,753\ h}{1000} = 8\,197\,490.76\ MJ$$

Ahora se procederá a calcular la pérdida energética anual en un sistema de retorno de condensados presurizado a 1.5 bares, y con una temperatura del condensado de 110 °C, por lo cual se calculará el porcentaje de pérdida de vapor flash en el sistema presurizado con la siguiente ecuación:

$$\% Vapor\ Flash = \frac{Calor\ sensible\ a\ alta\ presion - Calor\ sensible\ a\ baja\ presion}{Calor\ latente\ baja\ presion}$$

Ecuación 18, Cálculo de porcentaje de pérdida de vapor flash en sistemas de condensados.

Donde:

Calor sensible a alta presión = Entalpia del líquido saturado a 6.5 Bar, la cual es 709.94 KJ/Kg.

Calor sensible a baja presión = Entalpia del agua a 1.5 Bar, la que es 538.29 KJ/Kg.

Calor latente a baja presión = Entalpia de evaporización a 1.5 Bar, la cual es 2 180.86 KJ/Kg.

Se remplazan los valores en la ecuación 18 y se obtiene el porcentaje de pérdida de vapor flash en un sistema venteado:

$$\% Vapor Flash = \frac{709.94 - 538.29}{2\ 180.86} = 7.8 \%$$

Ecuación 18, Cálculo de porcentaje de pérdida de vapor flash en sistemas de condensados.

Al utilizar este porcentaje, se procede a calcular la cantidad de condensado perdido como vapor flash con la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_{flash} = Cantidad\ de\ retorno\ de\ condensado\ x\ \% vapor\ flash$$

Ecuación 19, Cálculo de cantidad de condensado perdido.

Donde:

Cantidad de retorno de condensado = 6 326 Kg/h (obtenido de los equipos que retornan condensado).

% vapor flash = 7.8 %

Se remplazan los valores en la ecuación 19, y se obtiene la cantidad de condensado perdido como vapor flash en el sistema:

$$\dot{m}_{flash} = 6\ 326 \frac{Kg}{h} x 7.8 \% = 493.4 \frac{Kg}{h}$$

Ecuación 19, Cálculo de cantidad de condensado perdido.

Una vez obtenida la cantidad de condensado perdido como vapor flash, se procede a calcular la cantidad de calor perdido en el sistema con la siguiente ecuación:

$$q_{perdido} = h_g x \dot{m}_{flash}$$

Ecuación 20, Cálculo de calor perdido en sistema de condensados.

Donde:

$h_g$  = Entalpia del vapor saturado a 1.5 Bar, la cual corresponde a 2 717.13 KJ/Kg.

$\dot{m}_{flash}$  = 493.4 Kg/h.

Se remplazan los valores en la ecuación 20, y se obtiene la cantidad de calor desperdiciado en el sistema:

$$q_{perdido} = 2\,717.13 \frac{KJ}{Kg} \times 493.4 \frac{Kg}{h} = 1\,340\,631.9 \text{ KJ/h}$$

Ecuación 20, Cálculo de calor perdido en sistema de condensados.

Una vez obtenida la cantidad de calor por hora desperdiciado en el sistema debido al vapor flash, se multiplica por las horas de trabajo del sistema al año, y se obtiene la cantidad de energía desperdiciada:

$$\text{Energía desperdiciada por año} = \frac{1\,340\,631.9 \frac{KJ}{h} \times 3\,753 \text{ h}}{1000} = 5\,031\,323.97 \text{ MJ}$$

Una vez obtenidos los valores de energía desperdiciada por año correspondiente al vapor flash, tanto para el sistema de condensados venteado, como para el sistema de condensados presurizado, se le resta el valor de las pérdidas del sistema presurizado al sistema venteado y se obtiene el valor real de la energía que se está desperdiciando en el sistema de condensados actual, correspondiente al vapor flash:

$$8\,197\,490.76 \text{ MJ} - 5\,031\,323.97 \text{ MJ} = 3\,166\,166.9 \text{ MJ}$$

Ahora se procede a calcular la energía necesaria para calentar agua desde 75 °C, que es la temperatura promedio del tanque actual de alimentación diaria a la caldera, a 110 °C, que es la temperatura a la que se mantendría el agua en el tanque desaireador del sistema de retorno de condensado presurizado, ya que esta energía

es parte de la energía que se ahorraría la empresa si se desarrolla la propuesta del sistema de retorno de condensados presurizado.

$$q_{requerido} = ((m * C_e * \Delta t) * 4.187) / 1\,000\,000$$

Ecuación 21, Cálculo de calor requerido para calentar un volumen de agua.

Donde:

$q_{requerido}$  = Energía necesaria para calentar el agua (MJ).

$m$  = Masa de agua a calentar (g) = ( $V * d$ ).

$d$  = Densidad del agua (1 g/cm<sup>3</sup>).

$V$  = Volumen de agua a calentar por hora, promedio de consumo de las calderas = 4 310 L = 43.1x10<sup>5</sup> cm<sup>3</sup>.

$\Delta t$  = Diferencia de temperatura (°C).

$C_e$  = Calor específico del agua (Cal/g °C).

4.187 = Equivalencia entre calorías y julios (J).

Se reemplazan los valores en la ecuación 21, y se obtiene la cantidad de calor requerido para calentar el agua, desde 75 °C hasta 110 °C:

$$q_{requerido} = ((41.3 \times 10^5 \text{ cm}^3 * 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}) * 1 \frac{\text{Cal}}{\text{g}^\circ\text{C}} * 35^\circ\text{C}) * 4.187 / 1\,000\,000 = 605.23 \text{ MJ}$$

Ecuación 21, Cálculo de calor requerido para calentar un volumen de agua

La energía necesaria para calentar el agua. desde 75 °C a 110 °C, es 605.23 MJ por hora. Ahora se calculará la energía necesaria por año:

$$q_{requerido/año} = 605.23 \text{ MJ} * 3\,753 \text{ h} = 2\,271\,428.19 \text{ MJ}$$

Una vez obtenida la energía necesaria para calentar el agua de alimentación de la caldera desde 75 °C a 110 °C por año, se le suma la energía correspondiente al desperdicio de vapor flash, y se obtendrá la energía total que la empresa podría ahorrar si desarrolla la propuesta del sistema de retorno de condensado presurizado:

$$3\,166\,166.9\text{ MJ} + 2\,271\,428.19\text{ MJ} = 5\,437\,595.09\text{ MJ}$$

Se puede observar que la cantidad de energía desperdiciada, en el sistema de retorno de condensados actual, es muy alta, por lo cual esta propuesta de aprovechamiento de la energía es muy atractiva para ser desarrollada.

### **Purgas de fondo de las calderas**

Durante el análisis de los generadores de vapor, se observó que en ambas calderas se realizan purgas de fondo para poder eliminar sólidos e incrustaciones dentro de las calderas; durante estas purgas se desecha agua con una gran cantidad de energía, la que podría ser utilizada para procesos secundarios o para calentar el agua fresca que ingresa a la caldera. Se observó que en la caldera de 600 HP se realizan 12 purgas de fondo semanales y en la caldera de 500 hp se hacen 4 purgas de fondo semanales, por lo cual se determinó que se desechan 1 200 litros de agua semanales a una temperatura de 95 °C. Entonces se va a proceder a calcular cuánta cantidad de energía se desperdicia en el proceso de purga.

$$\text{Energía desperdiciada} = m_{\text{purgas}} \times (h_{\text{vapor salida}} - h_{\text{agua alimentacion}})$$

Ecuación 22, Cálculo de energía perdida en las purgas de fondo.

Donde:

$m_{\text{purgas}}$  = Cantidad de agua correspondiente a las purgas (Kg/hr)

$h_{\text{vapor salida}}$  = Entalpía del vapor saturado a 6.5 Bar, la cual corresponde a 2 766.33 KJ/Kg.

$h_{\text{agua alimentacion}}$  = Entalpía del agua de alimentación 80 °C, la que corresponde a 340.57 KJ/Kg.

Se remplazan los valores en la ecuación 22, y se obtiene la cantidad de energía perdido en el sistema:

$$\text{Energía desperdiciada} = 16.7 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}} \times \left( 2\,766.33 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} - 340.57 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right) = 40\,510.19\text{ KJ/hr}$$

Ecuación 22, Cálculo de energía perdida en las purgas de fondo.

Una vez obtenida la cantidad de energía por hora desperdiciada en el proceso de purgas, se multiplica por las horas de trabajo del sistema al año, y se obtiene la cantidad de energía desperdiciada:

$$\text{Energía desperdiciada por año} = \frac{40\,510.19 \frac{KJ}{h} \times 3\,753\,h}{1000} = 152\,034.7\,MJ$$

Para poder utilizar la energía desperdiciada en las purgas de fondo de ambas calderas, se tendría que instalar un intercambiador de calor, que transfiera la energía del agua de las purgas a el agua fresca que ingresa a las calderas. Por lo general estos intercambiadores tienen una eficiencia del 80 %; por lo tanto, solo se podrá aprovechar el 80% de la energía calculada.

$$\text{Energía real desperdiciada por año} = 152\,034.7 \times 80\% = 121\,627.76\,MJ$$

Se puede observar que la cantidad de energía desperdiciada en las purgas de fondo de ambas calderas es muy baja, por lo cual habría que analizar el costo-beneficio de esta oportunidad de aprovechamiento de la energía para determinar si vale la pena desarrollarla.

### **Tanque de condensados**

Durante el análisis del sistema de retorno de condensados, se observó que, durante ciertas horas del proceso, se derrama gran cantidad de agua del tanque de retorno de condensados, la que contiene una gran cantidad de energía. Esto se debe a que al finalizar los procesos donde se genera la mayor cantidad de condensado, se presenta un desbalance de masa entre la demanda de vapor y la generación de condensado, por lo cual el tanque de retorno de condensados no tiene la capacidad para almacenar la cantidad de condensado que retorna en este momento.

La capacidad actual del tanque de condensados es de 2 610 litros, y se estima que al finalizar los procesos que generan la mayor cantidad de condensados, retornan al tanque de condensados 4 500 litros, por lo cual se derrama al alcantarillado 2 340

litros de condensados diarios. A continuación, se realizará el cálculo de la cantidad de energía que se desperdicia en el tanque de condensados.

Para obtener la energía desperdiciada se utilizarán los siguientes datos:

Litros de condensados diarios = 2 340 L.

Días de trabajo al año = 310.

Entalpia del agua a 85 °C = 355.84 KJ/Kg.

Entalpia del agua a 25 °C = 4.21 KJ/Kg.

Enseguida, se procederá a calcular la cantidad de energía desperdiciada por año:

$$Energia\ desperdiciad = \frac{(310 \times 2\,340\ Kg) * (355.84 \frac{KJ}{Kg} - 4.21 \frac{KJ}{Kg})}{1000} = 255\,069\ MJ$$

Ecuación 23, Cálculo de energía perdida en el tanque de condensados.

Se puede observar que la cantidad de energía desperdiciada en el tanque de condensados es muy baja, por lo cual habría que analizar el costo-beneficio de esta oportunidad de aprovechamiento de la energía, para determinar si vale la pena desarrollarla. Sin embargo, si se determinar desarrollar la propuesta de sustituir el sistema de retorno de condensados actual por uno presurizado, se debe sustituir el tanque de retorno de condensados actual por uno nuevo, por lo que esta propuesta se desarrollaría paralela a la propuesta de la sustitución del sistema de retorno de condensados.

## Anexo 2

### Cálculo de caudal del intercambiador de calor del sistema de retorno de condensados presurizado

A continuación, se procederá a calcular el caudal de agua que podrá calentar el intercambiador de calor del sistema de retorno de condensados presurizado, desde los 25 °C hasta los 70 °C:

$$m = (q / (C_e \times \Delta t)) / 1\,000$$

Ecuación 24, Cálculo de caudal del intercambiador de calor.

Donde:

$q$  = Energía (Cal) = 1 340 631.9 KJ/h = 320 204 428.2 Cal/h.

$m$  = Masa de agua a calentar (Kg).

$\Delta t$  = Diferencia de temperatura (°C).

$C_e$  = Calor específico del agua (Cal/g °C).

Se reemplazan los valores en la ecuación 24. y se obtiene el caudal de agua que el intercambiador de calor podría calentar:

$$m = (320\,204\,428.2 \frac{\text{Cal}}{\text{h}} / (1 \frac{\text{Cal}}{\text{g}^\circ\text{C}} * 45^\circ\text{C})) / 1\,000 = 7\,115 \text{ Kg/h}$$

Ecuación 24, Cálculo de caudal del intercambiador de calor.

Una vez obtenidos los kilogramos de agua a los cuales se puede aumentar la temperatura con la energía disponible, y teniendo en cuenta que 7 115 Kg/h de agua corresponden a 7 115 L/h de agua, se procede a calcular los galones por minuto, a los que el intercambiador podría aumentar la temperatura:

$$GPM = 7\,115 \frac{\text{L}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ Galon}}{3.785 \text{ L}} * \frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ min}} * 0.8 = 25 \text{ GPM}$$

Con la energía disponible del vapor flash recuperado en el tanque receptor de condensado, se podría aumentar la temperatura desde los 25 °C a los 70 °C a 25 GPM. Cabe aclarar que, para realizar este cálculo, se tomó en cuenta la eficiencia de los intercambiadores de carcasa y tubo, la cual es aproximadamente el 80%.

### Anexo 3

#### Cálculo de flujo de efectivo de cada propuesta

Tabla 29. Cálculo de flujo de efectivo aislamiento de tuberías de trasiego de vapor

	AÑOS							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Inversión inicial	¢18.057.400							
Costos de mantenimiento		¢752.640	¢850.483	¢961.046	¢1.085.982	¢1.227.160	¢1.386.690	¢1.566.960
Ganancias		¢34.862.885	¢37.580.814	¢40.510.634	¢43.668.865	¢47.073.313	¢50.743.173	¢54.699.138
Flujo Neto de Fondos		¢34.110.245	¢36.730.331	¢39.549.588	¢42.582.883	¢45.846.153	¢49.356.483	¢53.132.178

Fecha: 10 de noviembre de 2021.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30. Cálculo de flujo de efectivo sistema de retorno de condensados presurizado

	AÑOS							
		1	2	3	4	5	6	7
Inversión inicial	¢165.770.598							
Costos de mantenimiento								
Ganancias		¢41.424.244	¢44.653.700	¢48.134.926	¢51.887.550	¢55.932.731	¢60.293.276	¢64.993.772
Flujo Neto de Fondos		¢41.424.244	¢44.653.700	¢48.134.926	¢51.887.550	¢55.932.731	¢60.293.276	¢64.993.772

Fecha: 10 de noviembre de 2021.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31. Cálculo de flujo de efectivo trampas de vapor

	AÑOS							
		1	2	3	4	5	6	7
Inversión inicial	¢9.458.285							
Costos de mantenimiento		¢1.952.640	¢2.206.483	¢2.493.326	¢2.817.458	¢3.183.728	¢3.597.613	¢4.065.302
Ganancias		¢24.973.121	¢26.920.039	¢29.018.740	¢31.281.056	¢33.719.744	¢36.348.553	¢39.182.305
Flujo Neto de Fondos		¢23.020.481	¢24.713.556	¢26.525.414	¢28.463.598	¢30.536.016	¢32.750.940	¢35.117.003

Fecha: 10 de noviembre de 2021.

Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 4

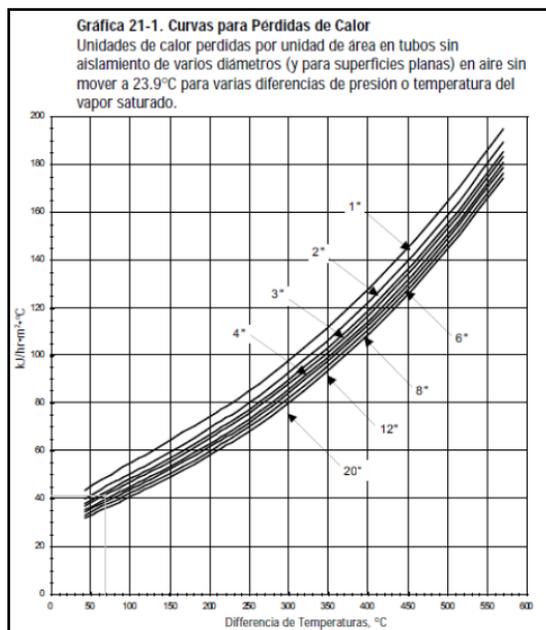
Imagen 18. Conductividad térmica para materiales más comunes

Tabla de Conductividad Térmica ( $\lambda$ )	
Material	W/m.K
Acero	47-58
Agua	0,58
Aire	0,02
Alcohol	0,16
Alpaca	29,1
Aluminio	209,3
Amianto	0,04
Bronce	116-186
Cinc	106-140
Cobre	372,1-385,2
Corcho	0,04-0,30
Estaño	64,0
Fibra de Vidrio	0,03-0,07
Glicerina	0,29
Hierro	1,7
Ladrillo	0,80
Ladrillo Refractario	0,47-1,05
Latón	81-116
Litio	301,2
Madera	0,13
Mercurio	83,7
Mica	0,35
Niquel	52,3
Oro	308,2
Parafina	0,21
Plata	406,1-418,7
Plomo	35,0
Vidrio	0,6-1,0

Fuente: Netto (2014).

## Anexo 5

Imagen 19. Factor de transferencia de calor



Fuente: Armstrong International, Inc. (1998).

## Anexo 6

Imagen 20. Propiedades físicas del aire a presión atmosférica

**PROPIEDADES FÍSICAS DEL AIRE** Tabla 2  
**a presión atmosférica**

Temperatura	Densidad	Viscosidad dinámica	Viscosidad cinemática	Velocidad del sonido
°C	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$\mu$ N.s/m <sup>2</sup> 10 <sup>-5</sup>	$\nu$ m <sup>2</sup> /s 10 <sup>-5</sup>	$C$ m/s
-30	1,452	1,56	1,08	312
-20	1,394	1,61	1,16	319
-10	1,342	1,67	1,24	325
0	1,292	1,72	1,33	331
10	1,247	1,76	1,42	337
20	1,204	1,81	1,51	343
30	1,164	1,86	1,60	349
40	1,127	1,91	1,69	355
50	1,092	1,95	1,79	360
60	1,060	2,00	1,89	366
70	1,030	2,05	1,99	371
80	1,000	2,09	2,09	377
90	0,973	2,13	2,19	382
100	0,946	2,17	2,30	387
200	0,746	2,57	3,45	436
300	0,616	2,93	4,75	480

Fuente: frba.utn.edu (2010).

## Anexo 7

Imagen 21. Conductividad térmica del aire

Propiedades del aire a 1 atm de presión							
Temp. $T, ^\circ\text{C}$	Densidad $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor específico $c_p$ $\text{J/kg} \cdot \text{K}$	Conductividad térmica $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Difusividad térmica $\alpha, \text{m}^2/\text{s}$	Viscosidad dinámica $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Número de Prandtl $Pr$
-150	2.866	983	0.01171	$4.158 \times 10^{-6}$	$8.636 \times 10^{-6}$	$3.013 \times 10^{-6}$	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	$8.036 \times 10^{-6}$	$1.189 \times 10^{-5}$	$5.837 \times 10^{-6}$	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	$1.252 \times 10^{-5}$	$1.474 \times 10^{-5}$	$9.319 \times 10^{-6}$	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	$1.356 \times 10^{-5}$	$1.527 \times 10^{-5}$	$1.008 \times 10^{-5}$	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	$1.465 \times 10^{-5}$	$1.579 \times 10^{-5}$	$1.087 \times 10^{-5}$	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	$1.578 \times 10^{-5}$	$1.630 \times 10^{-5}$	$1.169 \times 10^{-5}$	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	$1.696 \times 10^{-5}$	$1.680 \times 10^{-5}$	$1.252 \times 10^{-5}$	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	$1.818 \times 10^{-5}$	$1.729 \times 10^{-5}$	$1.338 \times 10^{-5}$	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	$1.880 \times 10^{-5}$	$1.754 \times 10^{-5}$	$1.382 \times 10^{-5}$	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	$1.944 \times 10^{-5}$	$1.778 \times 10^{-5}$	$1.426 \times 10^{-5}$	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	$2.009 \times 10^{-5}$	$1.802 \times 10^{-5}$	$1.470 \times 10^{-5}$	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	$2.074 \times 10^{-5}$	$1.825 \times 10^{-5}$	$1.516 \times 10^{-5}$	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	$2.141 \times 10^{-5}$	$1.849 \times 10^{-5}$	$1.562 \times 10^{-5}$	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	$2.208 \times 10^{-5}$	$1.872 \times 10^{-5}$	$1.608 \times 10^{-5}$	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	$2.277 \times 10^{-5}$	$1.895 \times 10^{-5}$	$1.655 \times 10^{-5}$	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	$2.346 \times 10^{-5}$	$1.918 \times 10^{-5}$	$1.702 \times 10^{-5}$	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	$2.416 \times 10^{-5}$	$1.941 \times 10^{-5}$	$1.750 \times 10^{-5}$	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	$2.487 \times 10^{-5}$	$1.963 \times 10^{-5}$	$1.798 \times 10^{-5}$	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	$2.632 \times 10^{-5}$	$2.008 \times 10^{-5}$	$1.896 \times 10^{-5}$	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	$2.780 \times 10^{-5}$	$2.052 \times 10^{-5}$	$1.995 \times 10^{-5}$	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	$2.931 \times 10^{-5}$	$2.096 \times 10^{-5}$	$2.097 \times 10^{-5}$	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	$3.086 \times 10^{-5}$	$2.139 \times 10^{-5}$	$2.201 \times 10^{-5}$	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	$3.243 \times 10^{-5}$	$2.181 \times 10^{-5}$	$2.306 \times 10^{-5}$	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	$3.565 \times 10^{-5}$	$2.264 \times 10^{-5}$	$2.522 \times 10^{-5}$	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	$3.898 \times 10^{-5}$	$2.345 \times 10^{-5}$	$2.745 \times 10^{-5}$	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	$4.241 \times 10^{-5}$	$2.420 \times 10^{-5}$	$2.975 \times 10^{-5}$	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	$4.593 \times 10^{-5}$	$2.504 \times 10^{-5}$	$3.212 \times 10^{-5}$	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	$4.954 \times 10^{-5}$	$2.577 \times 10^{-5}$	$3.455 \times 10^{-5}$	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	$5.890 \times 10^{-5}$	$2.760 \times 10^{-5}$	$4.091 \times 10^{-5}$	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	$6.871 \times 10^{-5}$	$2.934 \times 10^{-5}$	$4.765 \times 10^{-5}$	0.6935
350	0.5664	1056	0.04721	$7.892 \times 10^{-5}$	$3.101 \times 10^{-5}$	$5.475 \times 10^{-5}$	0.6937
400	0.5243	1069	0.05015	$8.951 \times 10^{-5}$	$3.261 \times 10^{-5}$	$6.219 \times 10^{-5}$	0.6948
450	0.4880	1081	0.05298	$1.004 \times 10^{-4}$	$3.415 \times 10^{-5}$	$6.997 \times 10^{-5}$	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	$1.117 \times 10^{-4}$	$3.563 \times 10^{-5}$	$7.806 \times 10^{-5}$	0.6986
600	0.4042	1115	0.06093	$1.352 \times 10^{-4}$	$3.846 \times 10^{-5}$	$9.515 \times 10^{-5}$	0.7037
700	0.3627	1135	0.06581	$1.598 \times 10^{-4}$	$4.111 \times 10^{-5}$	$1.133 \times 10^{-4}$	0.7092
800	0.3289	1153	0.07037	$1.855 \times 10^{-4}$	$4.362 \times 10^{-5}$	$1.326 \times 10^{-4}$	0.7149
900	0.3008	1169	0.07465	$2.122 \times 10^{-4}$	$4.600 \times 10^{-5}$	$1.529 \times 10^{-4}$	0.7206
1000	0.2772	1184	0.07868	$2.398 \times 10^{-4}$	$4.826 \times 10^{-5}$	$1.741 \times 10^{-4}$	0.7260
1500	0.1990	1234	0.09599	$3.908 \times 10^{-4}$	$5.817 \times 10^{-5}$	$2.922 \times 10^{-4}$	0.7478
2000	0.1553	1264	0.11113	$5.664 \times 10^{-4}$	$6.630 \times 10^{-5}$	$4.270 \times 10^{-4}$	0.7539

Nota: Para gases ideales,  $c_p$ ,  $k$ ,  $\mu$  y  $Pr$  son independientes de la presión. Las propiedades  $\rho$ ,  $\nu$  y  $\alpha$  a una presión  $P$  distinta a 1 atm se determinan cuando se multiplican los valores de  $\rho$  a la temperatura dada por  $P$  (en atm) y cuando se dividen  $\nu$  y  $\alpha$  entre  $P$  (en atm).

Fuente: Datos generados a partir del Software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 198, and Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3: Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11: Viscosity, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena, y F. Hestermann, IFI/Plenum, NY, 1970, ISBN 0-306067020-8.

Fuente: Gencel (o Cengel), Yunus y ¿John? (2006).

## Anexo 8

Imagen 22. Propiedades de tubería comercial

Diámetro Nominal (pulg.)	Diámetro Exterior		Diámetro Interior		Espesor de Pared		Presión a 23 °C		Peso Aprox. kg/m
	(pulg.) (O.D.)	(mm)	(pulg.) (I.D.)	(mm)	(pulg.) (T)	(mm)	(psi)	(kg/cm <sup>2</sup> )	
1/2"	0.840	21.3	0.528	13.4	0.147	3.7	850	59.5	0.30
3/4"	1.050	26.7	0.724	18.4	0.154	3.9	690	48.3	0.41
1"	1.315	33.4	0.936	23.8	0.179	4.5	630	44.1	0.60
1 1/4"	1.660	42.2	1.255	31.9	0.191	4.9	520	36.4	0.82
1 1/2"	1.900	48.3	1.476	37.5	0.200	5.1	470	32.9	1.00
2"	2.375	60.3	1.913	48.6	0.218	5.5	400	28.0	1.39
2 1/2"	2.875	73.0	2.290	58.2	0.276	7.0	420	29.4	2.11
3"	3.500	88.9	2.864	72.7	0.300	7.6	370	25.9	2.83
4"	4.500	114.3	3.786	96.2	0.337	8.6	320	22.4	4.14
6"	6.625	168.3	5.709	145.0	0.432	11.0	280	19.6	7.90
8"	8.625	219.1	7.565	192.2	0.500	12.7	250	17.5	11.98
10"	10.750	273.1	9.493	241.1	0.593	15.1	230	16.1	17.78
12"	12.750	323.9	11.294	286.9	0.687	17.4	230	16.1	24.45
14"	14.000	355.6	12.413	406.8	0.752	14.3	220	15.4	29.43
16"	16.000	406.4	14.214	361.0	0.843	21.4	220	15.4	37.82
18"	18.000	457.2	16.014	406.8	0.937	23.8	220	15.4	47.34
20"	20.000	508.0	17.814	452.5	1.031	26.2	220	15.4	59.62
24"	24.000	609.6	21.418	544.0	1.218	30.9	210	14.7	84.60

Fuente: Comercial (2021).

## Anexo 9

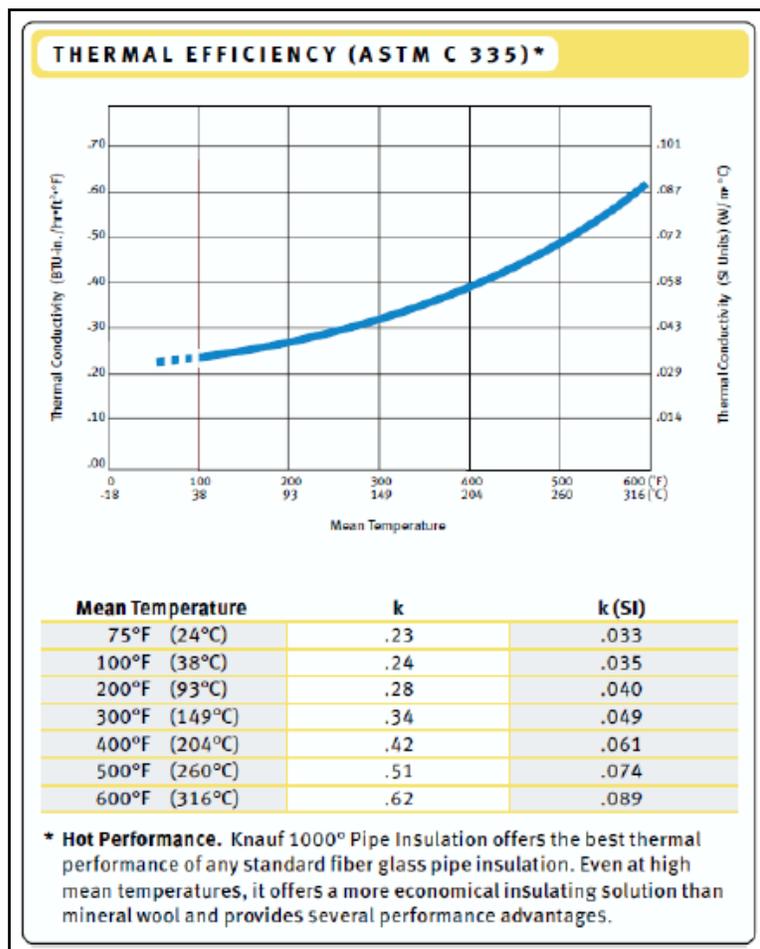
Imagen 23. Emisividad de materiales más comunes

Material	Temperatura	$\epsilon$			
			Caucho gris blanco	23 °C	0.86
			Madera	70 °C	0.94
			Guljarro	90 °C	0.95
			Corcho	20 °C	0.70
			Esmeril rojo (desigual)	80 °C	0.86
			Cámara calor, negra anodizada	50 °C	0.98
			Cobre, ligeramente mate	20 °C	0.04
			Cobre, oxidado	130 °C	0.76
			Cobre, pulido	20 °C	0.03
			Cobre, negro oxidado	20 °C	0.78
			Plásticos (PE, PP, PVC)	20 °C	0.94
			Hojas	20 °C	0.84
			Mármol, blanco	20 °C	0.95
			Recubrimiento de minio pintura	100 °C	0.93
			Latón, oxidado	200 °C	0.61
			NATO-verde	50 °C	0.85
			Papel	20 °C	0.97
			Porcelana	20 °C	0.92
			Pizarra	25 °C	0.95
			Pintura negra (mate)	80 °C	0.97
			Seda	20 °C	0.78
			Plata	20 °C	0.02
			Acero (superficie tratamiento calor)	200 °C	0.52
			Acero oxidado	200 °C	0.79
			Arcilla, cocida	70 °C	0.91
			Pintura transformadora	70 °C	0.94
			Agua	36 °C	0.67
			Ladrillo, mortero, yeso	20 °C	0.93
			Zinc blanco (pintura)	20 °C	0.95
Aluminio, laminado brillante	170 °C	0.04			
Asbestos	20 °C	0.96			
Asfalto	20 °C	0.93			
Algodón	20 °C	0.77			
Hormigón	25 °C	0.93			
Plomo, gris oxidado	20 °C	0.28			
Plomo, muy oxidado	20 °C	0.28			
Techo de fieltro	20 °C	0.93			
Hielo, brillante	0 °C	0.97			
Hielo, irregular	0 °C	0.99			
Hierro, esmerilado	20 °C	0.24			
Hierro brillante -grabado	150 °C	0.13			
Hierro con cuero	100 °C	0.80			
Hierro con láminas de cuero	20 °C	0.77			
Hierro ligeramente oxidado	20 °C	0.61			
Hierro muy oxidado	20 °C	0.85			
Tierra cultivada arada	20 °C	0.38			
Tierra, arcilla negra	20 °C	0.66			
Tejas	25 °C	0.93			
Yeso	20 °C	0.90			
Vidrio	90 °C	0.94			
Oro, pulido	130 °C	0.02			
Caucho duro	23 °C	0.94			

Fuente: Academia Testo (2021).

## Anexo 10

Imagen 24. Conductividad del aislamiento según temperatura



Fuente: Ficha técnica de aislamiento knauf (2021).

## Anexo 11

## Imagen 25. Cotización trampas para vapor

L	Código	Cant.	UM	Cabys	Descripción	P. Unitario	Total
1	312501000038	1	c/u	4325499990000	TRAMPA FLOTADOR TERMOSTATICA WATSON FTT-145-16-N 145 PSI 1 1/2"	538,110.63	538,110.63
2	312501000025	1	c/u	4325499990000	TRAMPA FLOTADOR TERMOSTATICA WATSON FTT-145-14-N 145 PSI 1"	220,932.81	220,932.81
3	312501000012	1	c/u	4325499990000	TRAMPA FLOTADOR TERMOSTATICA WATSON FTT-145-12-N 145 PSI 1/2" *****Última línea*****	128,503.85	128,503.85
<p>Los precios pueden cambiar sin previo aviso, y las cantidades están sujetas a previa venta. Indicar el N° Proforma en la Orden de Compra. Compras menores a 10.000 colones, serán en efectivo.</p>						<b>SubTotal:</b> ₡ 887,547.29 <b>Descuento:</b> ₡ 88,754.73 <b>Subtotal:</b> ₡ 798,792.56 <b>I.V.:</b> ₡ 103,843.03 <b>TOTAL:</b> ₡ 902,635.60	
OBSERVACIONES							
Solicitud		Condiciones			Información		
Contacto:	Tiempo de Entrega:		INMEDIATA		FIRMA:		
	Vigencia:		5 DIAS		Indira Gongora		
	Forma de Pago:		Credito Colones				
	Lugar de Entrega:						

Fuente: Cotización Central de Válvulas S.A (2021).

## Anexo 12

Imagen 26. Cotización equipos y mano de obra para sistema retorno de condensado

TERM ELÉCTRICA		INGENIERÍA Y ENERGÍA		PROFORMA SERVICIO		Consecutivo: 0081-21 / Revisión 1																
TermoEléctrica Ingeniería SIE SRL Puriscal, San José, Costa Rica. <a href="mailto:cesar@termoelectricacr.com">cesar@termoelectricacr.com</a> M. +506-8810-0307 / 2416-4772 Fecha: 2/11/2021				<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">DATOS DEL CLIENTE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cliente:</td> <td>CIISA, EL ARREO</td> </tr> <tr> <td>Contacto:</td> <td>Ing. Esteban Rodríguez</td> </tr> <tr> <td>Dirección:</td> <td>Heredia</td> </tr> <tr> <td>Teléfono:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>E-mail:</td> <td><a href="mailto:Esteban.Rodriguez@grupocisa.com">Esteban.Rodriguez@grupocisa.com</a></td> </tr> </tbody> </table>				DATOS DEL CLIENTE		Cliente:	CIISA, EL ARREO	Contacto:	Ing. Esteban Rodríguez	Dirección:	Heredia	Teléfono:		E-mail:	<a href="mailto:Esteban.Rodriguez@grupocisa.com">Esteban.Rodriguez@grupocisa.com</a>			
DATOS DEL CLIENTE																						
Cliente:	CIISA, EL ARREO																					
Contacto:	Ing. Esteban Rodríguez																					
Dirección:	Heredia																					
Teléfono:																						
E-mail:	<a href="mailto:Esteban.Rodriguez@grupocisa.com">Esteban.Rodriguez@grupocisa.com</a>																					
Ítem	Cant.	Alcance	Precio Unitario (USD)	Precio Total (USD)																		
1	1	Desaireador	\$ 65,000.00	\$ 65,000.00																		
2	1	Estación de bombas mecánicas para vapor	\$ 33,000.00	\$ 33,000.00																		
3	1	Tanque receptor de condensado	\$ 17,850.00	\$ 17,850.00																		
4	1	Estación de reducción de presión	\$ 25,950.00	\$ 25,950.00																		
5	1	Calentador de agua	\$ 35,475.00	\$ 35,475.00																		
6	1	Materiales y consumibles	\$ 36,725.00	\$ 36,725.00																		
7	1	Mano de obra	\$ 19,000.00	\$ 19,000.00																		
Todo lo que no se indique en esta oferta no forma parte integral de la misma.																						
<b>Condiciones de entrega:</b> Tiempo: Validez: Forma de pago:				<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Sub total 1</td> <td>USD</td> <td>\$ 233,000.00</td> </tr> <tr> <td>Descuento</td> <td>0%</td> <td>\$ -</td> </tr> <tr> <td>Subtotal 2</td> <td>USD</td> <td>\$ 233,000.00</td> </tr> <tr> <td>I.V.A</td> <td>13%</td> <td>\$ 30,290.00</td> </tr> <tr> <td>Total IVAI</td> <td>USD</td> <td>\$ 263,290.00</td> </tr> </tbody> </table>				Sub total 1	USD	\$ 233,000.00	Descuento	0%	\$ -	Subtotal 2	USD	\$ 233,000.00	I.V.A	13%	\$ 30,290.00	Total IVAI	USD	\$ 263,290.00
Sub total 1	USD	\$ 233,000.00																				
Descuento	0%	\$ -																				
Subtotal 2	USD	\$ 233,000.00																				
I.V.A	13%	\$ 30,290.00																				
Total IVAI	USD	\$ 263,290.00																				
 Responsable: Ing. César Bonilla Mora				Moneda: Dólar estadounidense (USD) Distribuidor Autorizado para Costa Rica de: 																		

Fuente: Cotización Termo Eléctrica (2021).

## Anexo 13

Imagen 27. Cotización válvulas de tres vías para vapor

L	Código	Cant.	UM	Cabys	Descripción	P. Unitario	Total
1	990017980008	1	clu	4325499990000	VALVULA BOLA ACERO INOX 3 VIAS APOLLO 7880101A 1/4" *****Ultima linea*****	55,504.08	55,504.08
<p>Los precios pueden cambiar sin previo aviso, y las cantidades están sujetas a previa venta. Indicar el N° Proforma en la Orden de Compra. Compras menores a 10.000 colones, serán en efectivo.</p> <p>OBSERVACIONES</p>						SubTotal:	55,504.08
						Descuento:	5,550.41
						Subtotal:	49,953.65
						LV.:	8,493.98
						TOTAL:	56,447.63
Solicitud		Condiciones			Información		
Contacto:		Tiempo de Entrega:	INMEDIATA		FIRMA:		
		Vigencia:	5 DIAS		Beverly Mendez		
		Forma de Pago:	Credito Colonos				
		Lugar de Entrega:					

Es un gusto servirle.

Página 1 de 1

Fuente: Cotización Central de Válvulas S.A (2021).

## Anexo 14

Imagen 28. Cotización aislamiento



**ST**  
INDUSTRIAL

SERVICIOS TECNICOS INDUSTRIALES S.R.L.  
CEDULA JURIDICA: 3-102-704705  
SABANILLA, MONTES DE OCA.  
CENTRAL TELEFONICA: 2224-0778 / 7202-6720

**CLIENTE: CENTRO INTERNACIONAL DE INVERSIONES CII S.A**  
**PROYECTO #420: AISLAMIENTO EN TUBERIAS EN CALIENTE**

Estimado Ing. Esteban Rodriguez

Reciba un cordial y respetuoso saludo de nuestra parte, por este medio tenemos el honor y el agrado de presentarle la oferta formal por el siguiente trabajo:

**DESGLOSE DEL PROYECTO:**

I. **DESCRIPCION DE LA OFERTA:**

En este proyecto se contemplan diversos trabajos los cuales iremos desglosando en varios puntos:

- Se limpiarán las tuberías, si el cliente gusta.
- Se colocarán cañuelas fibra mineral de 2" de grosor en todas las tuberías.
- Se colocará forros en acero inoxidable calibre #28 brillante 430
- Se les aplicara una limpieza a todas las partes externas y se revisara con el cliente hasta su entera satisfacción.
- Se contemplan para el trabajo alrededor de 425 metros lineales en medidas de 1", 1-1/2", 2", 3", 4" y 6" en hierro negro ced40, y 70 figuras entre codos y Tee a una temperatura de 160 grados.

II. **ALCANCE GENERAL DE LA OFERTA.**

1. Además de los materiales también se contempla los costos de los viáticos, transporte de materiales, herramienta y toda la mano de obra para dicha instalación.

Fuente: Cotización Servicios Técnicos Industriales (2021).

**Anexo 14 (continuación)**

Imagen 29. Cotización aislamiento

<p>2. <u>SERVICIOS TECNICOS INDUSTRIALES S.R.L.</u> contara por su cuenta con las pólizas de riesgos de trabajo del INS al día y cada uno de sus trabajadores contara con su debida inscripción en la CCSS.</p> <p>3. La vigencia de la oferta es de 15 días hábiles después de recibida esta propuesta.</p> <p>4. Plazo de entrega: Se contempla alrededor de 10 a 12 semanas hábiles</p> <p>5. La garantía en el trabajo es de 6 meses y cubre errores en la instalación o defectos de fábrica en los materiales brindados, esta se aplicará después de una respectiva revisión.</p> <p>6. Forma de pago: A convenir</p> <p><b><u>III- Oferta económica:</u></b></p>	
<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO</b>	<b>₡ 15 980,000.00</b>
<b>NOTA: EL PRECIO INDICADO NO INCLUYE IVA</b>	
<p>“Esperamos que esta propuesta cumpla con sus expectativas, y a su vez expresarle nuestro agradecimiento por tomarnos en cuenta dentro de sus proyectos.”</p> <p><b>FECHA DE ELABORACION 4/11/2021</b></p>	

Fuente: Cotización Servicios Técnicos Industriales (2021).

## Anexo 15

## Imagen 30. Precio combustibles

Terminales de Venta			
Precios en colones a clientes directos en nuestras terminales de venta:			
PRODUCTO	PRECIO / LITRO SIN IMPUESTO	IMPUESTO ÚNICO	PRECIO / LITRO TOTAL
NAFTA PESADA	364.6000	36.7500	401.3500
EMULSION ASFALTICA LENTA (CSS-1)	187.9000	39.0000	226.9000
JET A-1	397.0200	152.5000	549.5200
AV GAS (100 LL)	727.1200	254.0000	981.1200
ASFALTO ( AC-30)	288.7500	51.7500	340.5000
GLP	237.4700	51.7500	289.2200
KEROSENE	368.1100	72.5000	440.6100
GASOLINA PLUS 91 ( REGULAR)	389.6200	254.0000	643.6200
GASOLINA SUPER ( SUPERIOR)	397.2000	266.0000	663.2000
GASOLEO	327.0000	49.7500	376.7500
EMULSION ASFALTICA RAPIDA (CRS-1)	188.6700	39.0000	227.6700
BUNKER C	292.8600	24.5000	<b>317.3600</b>
IFO-280	324.8500	0.0000	324.8500
DIESEL 50	374.6300	150.2500	524.8800

Fuente: Recope (2021).

## Anexo 16

Imagen 31. Poder calorífico combustibles

### Poder calorífico

El calor de combustión es la cantidad de energía que produce un material (líquido, sólido o gas) al quemarse completamente. Se expresa en unidades de energía (MJ) por unidades de masa (kg) y varía dependiendo del tipo de combustible.

Producto	Poder calorífico
Búnker	42,46 MJ/kg (41,90 MJ/L)
Diésel 50	45,57 MJ/kg (37,64 MJ/L)
Gas Licuado de Petróleo (LPG)	48,00 MJ/kg (25,68 MJ/L)
Gasóleo	43,08 MJ/kg (38,99 MJ/L)
Gasolinas	45,50 MJ/kg (33,49 MJ/L)
Keroseno y Jet A-1	45,83 MJ/kg (36,62 MJ/L)

Valores determinados el 28.06.2017

\*Estos valores de calor de combustión no son absolutos, y pueden variar en un mismo producto dependiendo de la composición química de cada uno ellos.

última actualización: 16/04/2021

Fuente: Recope (2021).

**Anexo III**

**CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA USO Y MANEJO DE LOS TRABAJOS  
FINALES**

**DE GRADUACIÓN UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL**

Página | 37

**(Trabajo Individual)**

Ciudad,

Fecha.

Señores/as

Vicerrectoría de Investigación. Sistema Integrado de Bibliotecas y Recursos Digitales

Estimados señores/as:

Yo Esteban Rodríguez Murillo portador (a) de la cédula de identidad número 401800668. En mi calidad de autor (a) del trabajo de graduación titulada:

Análisis energético del sistema de vapor de la empresa CIISA

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

El cual se presenta bajo la modalidad de, marque una opción:

Proyecto de Graduación

Tesis de Graduación

Presentado en la fecha 10/05/2022, autorizo a la Universidad Técnica Nacional, sede central, para que mi trabajo pueda ser manejado de la siguiente manera:

**Autorizo**

**Ver capítulo V, disposiciones finales, artículo 41 (O aquel que refiera a derechos patrimoniales)**

Marque con una X o un ✓	
Conservación de ejemplares para préstamo y consulta física en biblioteca.	X
Inclusión en el catálogo digital del SIBIREDI (Cita catalográfica)	X
Comunicación y divulgación a través del Repositorio Institucional	X
Resumen (Describe en forma breve el contenido del documento)	X
Consulta electrónica con texto protegido	X
Descarga electrónica del documento en texto completo protegido	X
Inclusión en bases de datos y sitios web que se encuentren en convenio con la Universidad Técnica Nacional contando con las mismas condiciones y limitaciones aquí establecidas.	X
Divulgación del resumen en el Repositorio UTN, con una cantidad de 200 a 500 palabras	X

Por otra parte, declaro que el trabajo que aquí presento es de plena autoría, es un esfuerzo realizado de forma personal, académica e intelectual con plenos elementos de originalidad y creatividad. Garantizo que no contiene citas, ni transcripciones de forma indebida que puedan devenir en plagio, pues se ha utilizado la normativa vigente de la American Psychological Association (APA). Las citas y transcripciones utilizadas se realizan en el marco de respeto a las obras de terceros. La responsabilidad directa en el diseño y presentación son de competencia exclusiva, por tanto, eximo de toda responsabilidad a la Universidad Técnica Nacional.

Consciente de que las autorizaciones no reprimen mis derechos patrimoniales como autor del trabajo. Confío en la que Universidad Técnica Nacional respete y haga respetar mis derechos de propiedad intelectual.

Firma del estudiante: \_\_\_\_\_ ESTEBAN RODRIGUEZ MURILLO (FIRMA)  
 Cédula: 401800668  
 Día: 11 de mayo del 2022

Firmado digitalmente por ESTEBAN RODRIGUEZ MURILLO (FIRMA)  
 Nombre de reconocimiento (DN):  
 serialNumber=CPF-04-0180-0668,  
 cn=ESTEBAN RODRIGUEZ MURILLO,  
 givenName=ESTEBAN, c=CR,  
 o=PERSONA FISICA, ou=CIUDADANO,  
 cn=ESTEBAN RODRIGUEZ MURILLO (FIRMA)  
 Fecha: 2022.05.11 21:48:29 -06'00'

*(Reformado mediante Acuerdo 9-3-2021, tomado por el Consejo Universitario en la Sesión Ordinaria No. 3-2021, celebrada el jueves 11 de febrero de 2021, a las nueve horas, según el Artículo 12. Publicado en el diario oficial La Gaceta No. 39 del 25 de febrero del 2021, sección de Reglamentos).*



UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL  
SEDE CENTRAL  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

Trabajo final de graduación para optar por el grado de  
Licenciatura en Ingeniería Electromecánica

Resumen Ejecutivo

**Análisis energético del sistema de vapor de la empresa  
CIISA, año 2022.**

REALIZADO POR:  
**Esteban Rodríguez Murillo**

I cuatrimestre, 2022

### Palabras claves

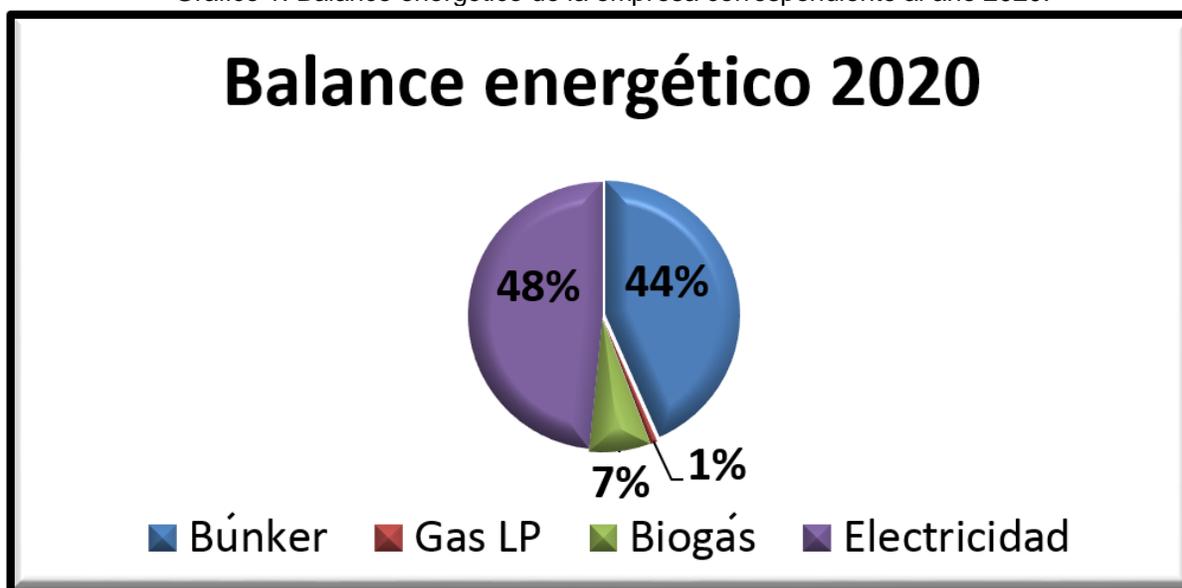
- Energía
- Ahorro
- Mejora
- Aprovechamiento
- Análisis

La empresa CIISA, actualmente presenta una serie de deficiencias, en su sistema de generación y distribución de vapor, como lo son las tuberías de trasiego de vapor sin aislamiento o en malas condiciones, trampas de vapor en mal estado, sistema de retorno de condensados venteado y equipos y tuberías mal dimensionados.

Debido a esta serie de deficiencias en el sistema de vapor, se decide analizarlo con el objetivo de encontrar las posibles fuentes de desperdicio de energía, para así cuantificarlas y determinar si es viable una posible solución.

Uno de los principales factores por el cual se decidió analizar el sistema de vapor de la empresa, es la gran cantidad de energía que utiliza la empresa para la generación de vapor, ya que representa un porcentaje muy alto, del total de energía demandada por la empresa, para su operación. Esto se puede observar en el siguiente gráfico:

Grafico 1. Balance energético de la empresa correspondiente al año 2020.



Fecha: 15/06/2021.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, la empresa emplea más del 50% de la energía total, para la generación de vapor, lo que equivale a un consumo de 125 655 litros de búnker mensuales. Observando este dato, se puede entender por qué es tan atractivo analizar el sistema de vapor, con la finalidad de encontrar oportunidades de aprovechamiento de la energía. Durante el análisis, se detectaron varias oportunidades de aprovechamiento de la energía, las cuales fueron cuantificadas para determinar la cantidad de energía que se está desperdiciando en cada una de ellas, esto con la finalidad de determinar en cuáles se está desperdiciando mayor cantidad de energía, en la siguiente tabla, se puede observar los resultados obtenidos de este análisis:

Tabla 1, Porcentaje de ahorro energético.

Oportunidades de aprovechamiento de energía	Perdida de energía Anual (MJ)	Porcentaje de energía que se podría aprovechar (%)
Sistema de condensados	5437595,09	9,38%
Tuberías sin aislamiento	4602832,39	7,94%
Trampas	3297119,32	5,69%
Tanque de condensado	255069,00	0,44%
Purgas de fondo	121627,76	0,21%

Fecha: 10/10/2021.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla 1, las propuestas que presentan una mayor oportunidad de aprovechamiento de la energía, son tres, la primera es sustituir el sistema de retorno de condensado actual, que es venteado, por un sistema de retorno de condensado presurizado, la segunda es sustituir el aislamiento de las tuberías de trasiego de vapor que se encuentra en mal estado y por último, sustituir las trampas de vapor que se encuentran en mal estado, es por esto que se decide desarrollar una propuesta de mejora para aprovechar la energía que se desperdicia en cada una de estas oportunidades de aprovechamiento de la energía.

El análisis del sistema de vapor, se realizó mediante una investigación tipo descriptiva y cuantitativa, ya que se recopilaron datos físicos, con el fin de generar una serie de indicadores, como lo son Megajulios / Tonelada de animales procesados,

Factura de combustible / Tonelada de animales procesados y los indicadores financieros, como lo son el VAN, TIR y PR, los cuales nos permitirán determinar la viabilidad de las propuestas de mejora. A continuación se presentan los indicadores correspondientes a cada una de las propuestas de mejora:

Tabla 2, Resumen de indicadores.

Propuesta	Inversión inicial (€)	Ahorro económico anual (€)	Periodo de recuperación (Años)	Valor actual neto (€)	Tasa interna de retorno (%)
Trampas de vapor	€ 9 458 285	€ 24 973 121	0,41	€ 105 504 282	251 %
Aislamiento de tuberías de trasiego de vapor	€ 18 057 400	€ 34 862 885	0,53	€ 153 834 652	196 %
Sistema de retorno de condensados presurizado	€ 165 770 598	€ 41 185 565	4,00	€ 43 639 932	23 %

Fecha: 10/10/2021.

Fuente: Elaboración propia.

Cabe resaltar, que del análisis del sistema de vapor, también salieron una serie de recomendaciones, enfocadas en el correcto funcionamiento del sistema de generación y trasiego de vapor.

