



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

**PROPUESTA PARA LA DISMINUCIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN LA RED DE
DISTRIBUCIÓN DE VAPOR EN EL ÁREA INDUSTRIAL DEL INGENIO PANTALEON**

Harold Mejía Maldonado

Asesorado por el Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma

Guatemala febrero 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA PARA LA DISMINUCIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN LA RED DE
DISTRIBUCIÓN DE VAPOR EN EL ÁREA INDUSTRIAL DEL INGENIO PANTALEON**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

HAROLD MEJÍA MALDONADO

ASESORADO POR EL ING. CARLOS ANÍBAL CHICOJAY COLOMA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA FEBRERO 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
EXAMINADOR	Ing. Julio César Campos Paiz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magali Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

PROPUESTA PARA LA DISMINUCIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR EN EL ÁREA INDUSTRIAL DEL INGENIO PANTALEON

Tema que me fue asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 22 de enero de 2018.


Harold Mejía Maldonado



Guatemala, 22 de octubre de 2018
REF.EPS.DOC.861.10.18.

Inga. Christa Classon de Pinto
Directora Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Ingeniera Classon de Pinto.

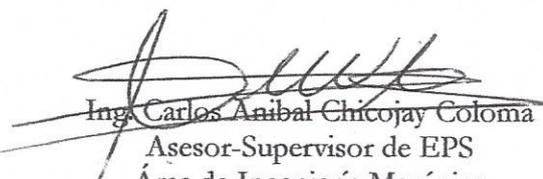
Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Harold Mejía Maldonado** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 201114575, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **PROPUESTA PARA LA DISMINUCIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR EN EL ÁREA INDUSTRIAL DEL INGENIO PANTALEON.**

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Carlos Anibal Chicojay Coloma
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Mecánica

c.c. Archivo
CACC/ra





Guatemala, 22 de octubre de 2018
REF.EPS.D.408.10.18

Ing. Carlos Roberto Pérez Rodríguez
Director Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Presente

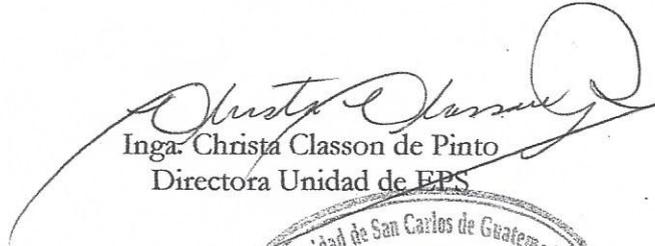
Estimado Ingeniero Pérez Rodríguez:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado: **PROPUESTA PARA LA DISMINUCIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR EN EL ÁREA INDUSTRIAL DEL INGENIO PANTALEON**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Harold Mejía Maldonado** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Carlos Anibal Chicojay Coloma.

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"


Inga. Christa Classon de Pinto
Directora Unidad de EPS

CCdP/ra





USAC
TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.024.2019

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor-Supervisor y del Director de la Unidad de EPS, al trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA PARA LA DISMINUCIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR EN EL ÁREA INDUSTRIAL DEL INGENIO PANTALEON** del estudiante **Harold Mejía Maldonado**, CUI No. **2178957270920**, Reg. Académico No. **201114575** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Julio César Campos Paiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica



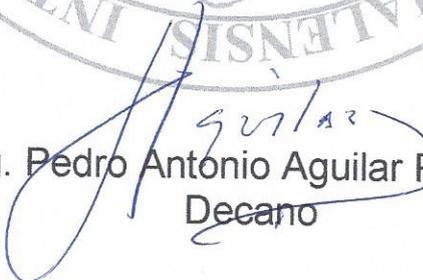
Guatemala, enero de 2019

/aej



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica del trabajo de graduación titulado: **“ PROPUESTA PARA LA DISMINUCIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR EN EL ÁREA INDUSTRIAL DEL INGENIO PANTALEON ”** presentado por el estudiante universitario: **Harold Mejía Maldonado** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, Febrero de 2019

/echm

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por las bendiciones que me ha dado a lo largo de toda mi vida.

Mis padres

Por el apoyo incondicional que me han brindado en los momentos difíciles y por su amor que nunca me hizo falta.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser mi casa de estudios en donde formé la base de mis conocimientos en la ingeniería mecánica.

Ingenio Pantaleon

Por darme la oportunidad de realizar el Ejercicio Profesional Supervisado en la empresa.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. FASE DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Fundamento teórico.....	1
1.2. Generalidades de la empresa.....	7
1.2.1. Ubicación de la empresa.....	7
1.2.2. Historia.....	7
1.2.3. Misión.....	7
1.2.4. Visión.....	7
1.2.5. Valores.....	8
1.2.6. Organigrama.....	8
1.3. Descripción del problema.....	9
1.4. Descripción del uso de vapor.....	9
1.4.1. Uso de vapor para limpieza.....	9
1.4.2. Uso de vapor para calentamiento.....	9
1.4.3. Uso de vapor para generación de energía eléctrica.....	9

1.5.	Medidas para la disminución en el desperdicio de vapor.....	10
1.5.1.	Modificación y optimización de procedimientos de trabajo.....	10
2.	FASE TÉCNICO PROFESIONAL.....	11
2.1.	Cronogramas.....	12
2.1.1.	Tuberías de vapor.....	13
2.1.2.	Tuberías de condensado.....	14
2.1.3.	Calderas.....	16
2.1.4.	Actividades.....	16
2.2.	Recolección de datos de tuberías de vapor y condensado....	17
2.2.1.	Diámetros, temperaturas, presiones, energía calorífica entalpía, distancias y área superficial.....	17
2.3.	Recolección de datos de calderas.....	36
2.3.1.	Área superficial, temperatura y energía calorífica.....	37
2.4.	Recolección de datos de vapor para limpieza.....	39
2.4.1.	Máquinas centrífugas.....	39
2.4.2.	Conductores de caña.....	41
2.5.	Inspección de trampas de vapor.....	43
2.5.1.	Chequeo de funcionamiento.....	43
2.6.	Actualización de diagramas.....	44
2.6.1.	Diagrama de distribución de vapor.....	45
2.6.2.	Diagrama de distribución de condensado.....	48
2.7.	Cálculos.....	51
2.7.1.	Pérdida de energía por fugas y purgas directas.....	51
2.7.1.1.	Tuberías de vapor y tuberías de condensado.....	51

2.7.2.	Cuantificación de datos.....	58
2.7.2.1.	Tuberías de vapor, tuberías de condensado, calderas y vapor para limpieza.....	58
2.8.	Análisis de ahorro energético.....	59
2.8.1.	Incremento en la eficiencia.....	59
2.8.2.	Energía recuperada.....	60
2.9.	Análisis económico.....	61
2.9.1.	Ahorro monetario.....	61
2.9.2.	Costo de reparación.....	61
2.9.3.	Tasa interna de rentabilidad.....	64
3.	FASE DOCENTE.....	65
3.1.	Implementación de sistema de documentación y trazabilidad del mantenimiento en el departamento de energía.....	65
3.1.1.	Procedimiento para reserva de materiales.....	65
3.1.2.	Procedimiento para registro de mantenimiento.....	68
3.1.3.	Capacitación.....	77
	CONCLUSIONES.....	79
	RECOMENDACIONES.....	81
	BIBLIOGRAFÍA.....	83
	APÉNDICE.....	85

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Organigrama.....	8
2.	Cronograma de vapor.....	13
3.	Cronograma de condensado.....	15
4.	Cronograma de calderas.....	16
5.	Cronograma de actividades.....	17
6.	Diagrama de vapor anterior.....	46
7.	Diagrama de vapor actualizado.....	47
8.	Diagrama de condensado anterior.....	49
9.	Diagrama de condensado actualizado.....	50
10.	Ejemplo de boleta para solicitud de materiales.....	67
11.	Boleta para bombas.....	70
12.	Boleta para motores.....	71
13.	Boleta para válvula.....	72
14.	Boleta para turbinas.....	73
15.	Boleta para variadores, arrancadores.....	74
16.	Boleta para equipos varios.....	75
17.	Parte trasera de boletas.....	76
18.	Capacitaciones.....	77

TABLAS

I.	Datos de tuberías de vapor.....	18
II.	Datos de tuberías de condensado.....	23
III.	Datos de calderas.....	37
IV.	Limpieza de centrífugas de tercera.....	40
V.	Datos de centrífugas de tercera.....	40
VI.	Vapor para limpieza en conductores de caña del tándem A.....	41
VII.	Datos de conductores de caña del tándem A.....	42
VIII.	Datos de fugas en tuberías de vapor.....	51
IX.	Datos de fugas de tuberías de condensado.....	54
X.	Datos de purgas directas en tuberías de vapor.....	55
XI.	Cuantificación de datos.....	58
XII.	Energía recuperada.....	60
XIII.	Ahorro monetario.....	61
XIV.	Costo de reparación.....	62
XV.	Tasa interna de rentabilidad.....	64

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
GPM	Galones por minuto
°F	Grado Fahrenheit
h	Horas
kg	Kilo gramo
kJ	Kilo Joule
kW	Kilo watt
kWh	Kilo watt hora
PSI	Libra por pulgada cuadrada
lb	Libras
MW	Mega watt
m	Metros
ft	Pies
P	Presión
TIR	Tasa interna de retorno
W	Watt

GLOSARIO

Análisis termográfico	Es una técnica que permite, a distancia y sin ningún contacto, medir y visualizar temperaturas de superficies con precisión.
BTU	Cantidad de energía necesaria para incrementar un grado Fahrenheit la temperatura de una libra de agua.
Condensado	Líquido formado cuando el vapor pasa de fase gaseosa a líquida.
Condensing	Nombre que reciben las turbinas que expulsan condensado.
Energía	Capacidad que tiene la materia de producir trabajo en forma de movimiento, luz, calor, entre otros.
Entalpía	Cantidad de energía que un sistema intercambia con su entorno.
Mantenimiento	Acción que tiene como objetivo preservar o mantener un estado óptimo.
Presión	Se define como la razón de fuerza por área.

SAP

Sistema informático que le permite a las empresas administrar sus recursos.

3e plus

Programa que calcula las pérdidas de energía calorífica en tuberías.

WASP

Water and steam properties, programa que calcula los valores de las propiedades del vapor.

Zafra

Período de cosecha intensiva de caña de azúcar.

RESUMEN

Para iniciar el Ejercicio Profesional Supervisado, el reconocimiento de las actividades que se realizaron fueron importantes durante la primera fase para determinar cuáles eran las principales necesidades a atender. Se realizó una inspección física de todas las líneas donde fluye vapor y las líneas en donde el condensado retorna a las calderas.

Luego se procedió a realizar una toma de datos como; temperaturas, presiones, diámetros de tuberías, diámetros de orificios, distancia de tubería y superficies sin aislamiento térmico. Con estos datos se realizaron los cálculos para obtener las pérdidas de calor procedentes de todas las áreas y finalmente se obtuvo la pérdida monetaria en el tiempo de zafra.

En la parte final del proyecto, con los datos de las pérdidas monetarias y costos de reparación se planteó un análisis de la tasa interna de rentabilidad (TIR) para medir la viabilidad del proyecto.

OBJETIVOS

General

Disminuir las pérdidas de energía en la red de distribución de vapor en el área industrial del Ingenio Pantaleon.

Específicos

1. Identificar las pérdidas de energía en tuberías y calderas causadas por la falta de aislamiento, fugas y purgas directas en el área industrial del Ingenio Pantaleon.
2. Determinar la pérdida de energía total en tuberías y calderas causadas por la falta de aislamiento, fugas y purgas directas en el área industrial del Ingenio Pantaleon.
3. Optimizar la energía utilizada para la limpieza de las máquinas centrífugas de tercera y del conductor de caña del tándem A en el área industrial del Ingenio Pantaleon.
4. Determinar la energía eléctrica que representa la pérdida de energía total en tuberías y calderas a causa de la falta de aislamiento, fugas y purgas directas en el área industrial del ingenio Pantaleon.

5. Determinar el ahorro de energía eléctrica que representa la optimización de la energía utilizada para la limpieza de las máquinas centrífugas de tercera y del conductor de caña del tándem A en el área industrial del Ingenio Pantaleon.

6. Realizar un análisis económico para determinar el costo beneficio de la ejecución de las reparaciones correspondientes a la falta de aislamiento, fugas, purgas directas y de la optimización de la energía utilizada para la limpieza de las máquinas centrífugas de tercera y del conductor de caña del tándem A en el área industrial del Ingenio Pantaleon.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

- Antecedentes

Al paso del tiempo el área industrial del Ingenio Pantaleon se ha expandido, sin embargo, no se ha tenido el criterio apropiado para el uso de la energía térmica y el desperdicio se ha incrementado, así mismo la falta de mantenimiento a la red de distribución de vapor y condensado ha provocado el deterioro inminente del aislante y de la tubería.

- Justificación

Cada unidad de energía térmica desperdiciada puede ser aprovechada para la venta. Los riesgos de operación de una red en mal estado se incrementan siendo peligrosa la circulación en el área para los operarios. El deterioro progresivo en un equipo puede llevar a la necesidad de hacer reparaciones imprevistas e ineficientes, por ende, éste problema se transforma en pérdidas monetarias.

- Formulación y delimitación del problema

El sistema de distribución de vapor y condensado en mal estado ocasiona bajas en la presión y temperatura provocando un déficit en el aprovechamiento de la energía producida por las turbinas.

- Alcances o límites

El límite es solamente económico, debe ser rentable y accesible.

INTRODUCCIÓN

La generación de vapor es producida utilizando el bagazo de la caña después de ser procesada para la producción de azúcar, miel y etanol. Luego la energía del vapor producida por las 7 calderas es transformada en energía eléctrica por medio de 5 generadores impulsados por turbinas que se hacen trabajar con vapor a alta presión y alta temperatura. Se buscó mejorar la eficiencia en la producción de energía para maximizar la venta durante el tiempo de zafra que es el periodo en que el departamento de energía opera.

Para disminuir las pérdidas de energía se realizó una inspección física de todas las posibles causas que generan bajas en la producción de energía eléctrica, posteriormente un análisis para calcular la energía calorífica perdida y desperdiciada en los diferentes procesos en los que se utiliza el vapor.

El presente informe contiene los resultados obtenidos de un estudio en el que se toman en cuenta todos los factores que afectan la conservación de la energía térmica dentro del sistema de distribución de vapor y condensado.

1. FASE DE INVESTIGACIÓN

1.1. Fundamento teórico

Como base para el desarrollo del Ejercicio Profesional Supervisado se tomaron en cuenta los elementos que ayudaron a la identificación de la problemática que se desea resolver, el planteamiento de soluciones y apoyo en mejoras que sean necesarias o requeridas por la empresa.

1. Caldera

Es una máquina o dispositivo de ingeniería diseñado para generar vapor. Este vapor se genera a través de una transferencia de calor a presión constante, en el cual el fluido, originalmente en estado líquido, se calienta y cambia su fase a vapor saturado.

Según la ITC-MIE-AP01, caldera es todo aparato de presión donde el calor procedente de cualquier fuente de energía se transforma en energía utilizable, a través de un medio de transporte en fase líquida o vapor.

La caldera es un caso particular en el que se eleva a altas temperaturas un set de intercambiadores de calor, en la cual se produce un cambio de fase. Además, de ser recipiente de presión, es construida en parte con acero laminado a semejanza de muchos contenedores de gas.

Debido a las amplias aplicaciones que tiene el vapor, principalmente de agua, la caldera es muy utilizada en la industria, a fin de generarlo para aplicaciones como:

- Esterilización
- Para calentar otros fluidos
- Generar electricidad

Los 2 tipos más comunes de calderas industriales son:

- Acuotubulares
- Piro-tubulares
- Acuotubulares:

En estas calderas, por el interior de los tubos pasa agua o vapor y los gases calientes se encuentran en contacto con las caras exteriores de ellos. Son de pequeño volumen de agua. Las calderas acuotubulares son las empleadas casi exclusivamente cuando interesa obtener elevadas presiones y rendimiento, debido a que los esfuerzos desarrollados en los tubos por altas presiones se traducen en esfuerzos de tracción en toda su extensión.

La limpieza de estas calderas se lleva a cabo fácilmente porque las incrustaciones se quitan utilizando dispositivos limpiadores de tubos accionados mecánicamente o por medio de aire.

La circulación del agua, en este tipo de caldera, alcanza velocidades considerables con lo que se consigue una transmisión eficiente del calor y por consiguiente, se eleva la capacidad de producción de vapor.

- Pirotubulares:

Los tubos del interior de la caldera están rodeados por agua, al pasar el fuego los tubos empiezan a calentar el agua y absorben la energía y comienza a generarse el vapor de agua. Este vapor sale por una tubería en la parte superior de la caldera.

Conforme se va generando el vapor de agua el nivel de agua de la caldera va descendiendo y para reponerla la caldera dispone de un sistema de bollas que una vez baja el nivel cierra un circuito y pone en funcionamiento una bomba que empuja agua hasta la caldera.

Pueden producir agua caliente o vapor saturado. En el primer caso, se les instala un estanque de expansión que permite absorber las dilataciones del agua. En el caso de las calderas de vapor poseen un nivel de agua a 10 o 20 cm sobre los tubos superiores.

2. Pérdidas de calor en tuberías

Lo ideal sería que toda la energía que sale de la casa de calderas llegara al proceso. Sin embargo, ya que el vapor es considerablemente más caliente que la temperatura del aire circundante, siempre habrá algunas pérdidas, la clave es reducir las tuberías en la medida que sea posible. El primer paso es el aislamiento térmico de la línea. Hay una gran diferencia entre la pérdida de calor de una tubería al descubierto y una tubería con sólo 1" de aislamiento, pero la regla general es de 1" de aislamiento por 100 °F (25 mm por 56 °C) de la temperatura del vapor.

Un aislamiento típico sería de fibra de vidrio con revestimiento de acero inoxidable. Lo ideal sería que todos los elementos auxiliares tales como válvulas de control, válvulas de aislamiento, entre otros, también se aislen, por lo que es buena idea considerar el aislamiento desprendible para los elementos auxiliares que necesiten un mantenimiento regular.

El punto más importante es mantener el aislamiento seco. El aislamiento mojado es peor que la falta de aislamiento. El revestimiento debe estar bien sellado y la tubería no se debe instalar en zanjas o trincheras donde hay una posibilidad de inundación.

El aislamiento de las tuberías de condensado, aunque a menudo se pasa por alto, también es muy importante. A pesar de que es condensado en lugar de vapor, cualquier pérdida de calor de la línea de condensados resulta ser más energía que se podría utilizar en la casa de calderas.

3. Aislamiento térmico

Es el conjunto de materiales y técnicas de instalación que se aplican en los elementos constructivos que limitan un espacio caliente para minimizar la transmisión de calor hacia otros elementos o espacios no convenientes.

A la hora de seleccionar el material, la propiedad principal a tener en cuenta, es la conductividad, pero no hay que olvidar: la densidad, la estabilidad química, la rigidez estructural, la degradación y lógicamente el costo, que son fundamentales para que el material pueda culminar la función para la que se instaló. Muchos materiales pierden entre el 20 % y el 5 % de su calidad aislante durante el primer año de uso. En los materiales que absorben humedad,

aumenta considerablemente su conductividad y pierden o disminuye, su funcionalidad.

- Fibra mineral:

Es un material aislante térmico y acústico de origen mineral vítreo, con un amplio rango de temperaturas que van desde los -183 °C hasta 750 °C.

Las fibras son inorgánicas e inherentes, libres de todo germen y material nutriente, es de consistencia densa y se aplica principalmente en superficies verticales ya que no pierde su forma de bloque.

- Fibra cerámica:

Se utiliza para recubrimientos de superficies radiales con altas temperaturas que van desde los 538 °C hasta los 1 480 °C. Sus aplicaciones son muy diversas, especialmente en aislamientos térmicos y refractarios para todo tipo de procesos industriales como tuberías, tanques, hornos y sirve como protección pasiva contra fuego.

Estos 2 materiales son los más usados en la industria que utiliza vapor, la eficiencia en la conservación de la energía térmica se incrementa a más de un 90 % al utilizar un espesor no mayor a 2 pulgadas.

4. Trampas de vapor

Son un tipo de válvula automática que filtra el condensado y gases no condensables sin dejar escapar el vapor, incluso si el vapor es sobrecalentado se recomienda tener depósitos de suciedad y trampas de vapor para drenar el condensado de las líneas. En el caso de vapor sobrecalentado en teoría no hay condensado, pero no siempre es así. Si la tubería está sobredimensionada, según el flujo, enseguida se formará una capa de condensado estancado, la cual perderá calor y producirá condensado. También en las líneas de distribución largas, es posible que el vapor pierda el sobrecalentamiento y empiece a condensar. Así que la mejor opción, incluso con vapor sobrecalentado, es diseñar correctamente el sistema de remoción de condensado.

Para vapor saturado los depósitos de suciedad y trampas deben estar ubicados cada 30 o 40 m. Para el vapor sobrecalentado se pueden agregar 10m a este rango. En las tuberías más grandes también se pueden tener distancias más largas entre las trampas.

Algo esencial es disponer de una trampa antes de cada subida y preferiblemente antes de cada curva. El trampeo también es importante para proteger equipos tales como medidores de flujo y válvulas de control.

En un tramo largo la pendiente de la línea debe ser alrededor de 1 de cada 50 (mínimo 1 de cada 100). Ahora si pone a trabajar una trampa al final de 50m entonces es necesario subir 1 m para empezar de nuevo. Sin embargo, si hay un bucle de expansión se requiere que este sea considerado como parte del diseño de la tubería y dependerá de si el bucle de expansión es horizontal o vertical.

1.2. Generalidades de la empresa

El Ingenio Pantaleon es una organización agroindustrial dedicada al procesamiento responsable de caña de azúcar para la producción de azúcar, mieles, alcoholes y energía eléctrica.

1.2.1. Ubicación de la empresa

El Ingenio Pantaleon está ubicado en la Finca Pantaleon, en el municipio de Siquinalá, kilómetro 86,5 carretera al Pacífico. Cuenta con 10 343,25 hectáreas, de las cuales se utilizan 7 148,11 para uso forestal y 3 195,14 están en uso por parte del ingenio.

1.2.2. Historia

Las operaciones dieron inicio a mediados del siglo XIX en la Costa Sur de Guatemala. La casa matriz está ubicada en Ciudad de Guatemala y están presentes en cinco países del continente americano: México, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Brasil.

1.2.3. Misión

Promover el desarrollo transformando recursos responsablemente.

1.2.4. Visión

En el 2 030 seremos una de las diez organizaciones más importantes del mundo en la industria azucarera y productos relacionados.

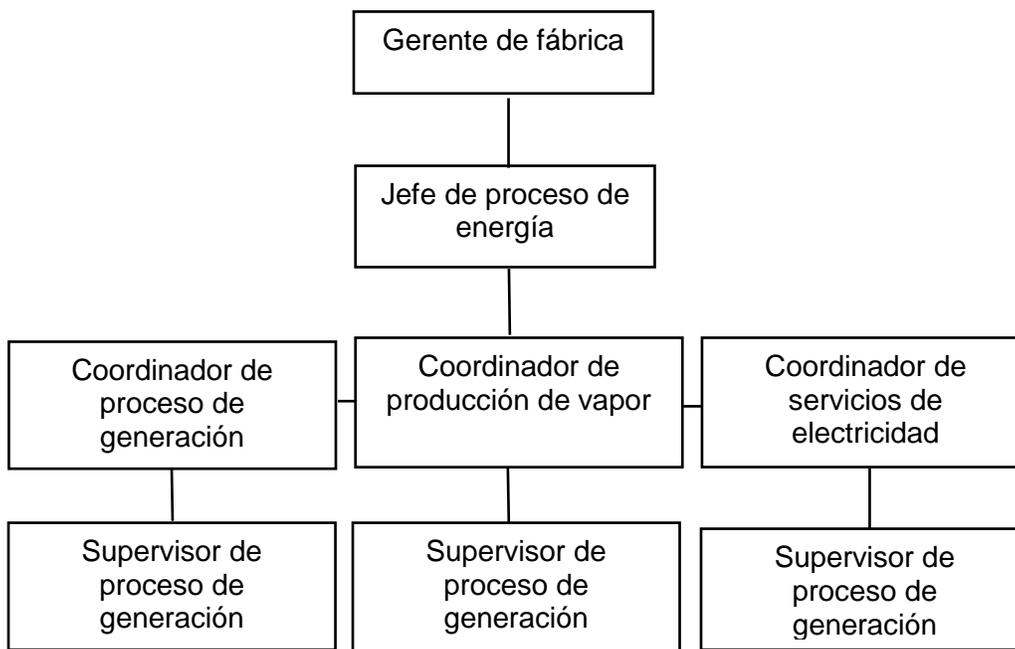
1.2.5. Valores

- Integridad y honestidad.
- Mejora y cambio permanente con visión a largo plazo.
- Respeto por las personas relacionadas y compromiso por su éxito.

1.2.6. Organigrama:

Descripción gráfica de la estructura de personal administrativo dentro del área de fábrica del ingenio Pantaleon.

Figura 1. Organigrama



Fuente: elaboración propia.

1.3. Descripción del problema

El problema principal es la pérdida de vapor, desperdicio de vapor y la falta de aislamiento térmico en las tuberías y en la superficie de las calderas, el vapor se fuga por orificios, trampas de vapor que no funcionan adecuadamente y empaques deteriorados en las juntas.

1.4. Descripción del uso de vapor

En el área de fábrica se utiliza vapor principalmente para generar energía eléctrica y para los procesos de producción de azúcar.

1.4.1. Uso de vapor para generación de energía eléctrica

Se utiliza vapor a 600 psi y 761 °F para alimentar las 5 turbinas que generan en conjunto un total de 100 MW.

1.4.2. Uso de vapor para calentamiento

Se utiliza vapor de extracción a 150 psi y 544 °F para la limpieza de las máquinas centrífugas, la limpieza de los conductores de caña y para los coladores de jugo de caña.

1.4.3. Uso de vapor para limpieza

Se utiliza el vapor de escape de las turbinas a 20 psi y 250 °F para los calentadores de jugo de caña y para los precalentadores de agua que alimentan las calderas.

1.5. Medidas para la disminución en el desperdicio de vapor

El aprovechamiento responsable del vapor es uno de los principales desafíos que se necesitan mejorar. La principal causa por la que se desperdicia vapor suele ser por la falta de un plan que regule el tiempo que se utiliza el vapor para limpieza.

1.5.1. Modificación y optimización de procedimiento de trabajo

Para tener un mejor control en el uso del vapor se creó un plan para reducir las horas diarias de limpieza para las máquinas centrífugas y de igual manera las horas diarias de limpieza de los conductores de caña.

2. FASE TÉCNICO PROFESIONAL

La segunda fase se relaciona directamente con el Ejercicio Profesional Supervisado que se desarrolló en la empresa, se procedió a un reconocimiento físico y toma de datos para posteriormente realizar los cálculos y llegar a un resultado.

En la fase técnico profesional es en donde se desarrolla el trabajo de campo desde la planeación y la ejecución hasta la interpretación de los resultados que reflejan la rentabilidad del proyecto.

2.1. Cronogramas

Para estructurar el tiempo requerido para desarrollar el trabajo de campo se crearon 4 cronogramas en donde se establece el grado de avance en la consecución de objetivos tomando en cuenta las restricciones y las incertidumbres.

2.1.1. Tuberías de vapor

Distribución del tiempo requerido y grado de avance para actividades correspondientes a tuberías de vapor.

Figura 2. Cronograma de vapor

Tuberías de vapor (29 de enero a 16 de marzo)		Semana de calendario						
Inicio de recorrido	Fin de recorrido	5	6	7	8	9	10	11
Caldera 7	TGC #4	■						
	TGE #9							
Caldera 5	Calentadores de búnker 1 y 2	■						
	Línea de 600	■						
	TGC #3	■						
Caldera 1 a 6	Línea de 600		■					
Línea de 600	TGE #1, TGE #2, TGE #3, TGE #4, TGE #6		■					
	TGC #2		■					
Tubería de escape TGC #4 y TGC #9	Evaporador 1er efecto, vasos A1-A3 (triplex)		■					
Extracción de 150psi	Limpieza rastras y conductores		■					
	Limpieza calderas			■				
	Destilería BSA#1			■				
	Limpieza coladores de jugo			■				
	Clarificador de licor			■				
	Limpieza hurnas de azufre			■				
	Limpieza centrifugas de 2da y 3ra				■			
Turbos de escape	Evaporador 1er efecto vasos A4 - A11				■			
	BSA #2				■			
	Calentadores de jugo claro 3 y 4				■			
Vegetal 1	Calentadores de jugo claro 1 y 2				■			
	Evaporador 2do efecto					■		
	Calentadores jugo alcalizado 7 y 8					■		
	Calentadores de meladura 1,2 y 3					■		
	Escoba a tachos					■		
	Tachos de refinería					■		
Vegetal 2	Evaporador 3er efecto						■	
	Calentadores de jugo alcalizado 5 y 6						■	
	Tacho continuo 1A						■	
	Tacho continuo de segunda 1B						■	
	Tacho continuo de segunda 2A						■	
Vegetal 3	Tachos de 1A, 2A y 3A						■	
	Evaporador de 4to efecto						■	
Vegetal 4	Calentador de jugo alcalizado 3 y 4						■	
	Calentador de jugo alcalizado 1 y 2						■	
	Evaporador de 5to efecto						■	

Fuente: elaboración propia.

2.1.2. Tuberías de condensado

Distribución del tiempo requerido y grado de avance para actividades correspondientes a tuberías de condensado.

Figura 3. Cronograma de condensado

Tuberías de condensado (19 de marzo a 18 de mayo)		Semana							
Inicio de recorrido	Fin de recorrido	12	13	14	15	16	17	18	19
TGC #2	Desaireador 1	█							
Destileria 450KLPD	Condensado pre	█							
Evaporador efecto A		█							
TGC #4	Evaporadores triplex	█							
Evaporadores triplex	Desaireador 3		█						
Condensado pre	Desaireador 2		█						
Desaireador 1		█							
Desaireador 2	Calderas 600PSI		█						
Desaireador 3	Caldera 7A		█						
Evaporador efecto B	Condensado duplex			█					
Condensado duplex	Desaireador 2			█					
	Tanque agua de imbibición			█					
	Salchicha			█					
Evaporador efecto C	Condensado colector fábrica			█					
Evaporador efecto D				█					
Evaporador efecto E				█					
Calentadores de jugo claro				█					
Calentadores de jugo alcalizado				█					
Salchicha	Tanque general					█			
Tanque general	Tanque agua de imbibición					█			
Condensado colector fábrica	Tanque elevado					█			
Tachos fábrica	Condensado colector tachos						█		
Tachos continuos 1A							█		
Tachos continuos 2A							█		
Tachos continuos 1B							█		
Tachos refinaria	Condensado refinaria						█		
	Tanque agua dulce						█		
Condensado colector tachos	Condensado colector fábrica							█	
	Tanque elevado							█	
Tanque elevado	Secadoras							█	
	Tanque agua dulce							█	
	Tanque 1 centrifugas							█	
	Tanque 2 centrifugas							█	
Tanque agua dulce	Filtros refinaria							█	
	Derretido							█	
Tanque 1 centrifugas	Lavado de centrifugas 1A, refinaria							█	
Tanque 2 centrifugas	Lavado de centrifugas 2A, 3A							█	

Fuente: elaboración propia.

2.1.3. Calderas

Distribución del tiempo requerido y grado de avance para actividades correspondientes a calderas.

Figura 4. Cronograma de calderas

Calderas (14 de mayo a 8 de junio)	Semana			
	20	21	22	23
Recorrido				
Caldera 1	■			
Caldera 2	■			
Caldera 3		■		
Caldera 4		■		
Caldera 5			■	
Caldera 6			■	
Caldera 7				■

Fuente: elaboración propia.

2.1.4. Actividades

Distribución del tiempo requerido y grado de avance para actividades previamente establecidas.

Figura 5. **Cronograma de actividades**

Actividades (11 de junio a 22 de julio)	Semana					
	24	25	26	27	28	29
Cálculos	■	■				
Corrección de diagramas			■			
Inspección trampas de vapor			■			
Análisis de ahorro energético				■		
Análisis económico				■		
Proyecto de mantenimiento					■	■

Fuente: elaboración propia.

2.2. **Recolección de datos de tuberías de vapor y condensado**

Para la realización de los cálculos se necesitó recolectar toda la información de las propiedades físicas de las tuberías y las condiciones de operación del vapor.

2.2.1. **Diámetros, temperaturas, presiones, energía calorífica, entalpía, distancias y área superficial**

En las siguientes tablas se ordena la información recolectada durante el desarrollo del trabajo de campo.

Tabla I. Datos de tuberías de vapor

Departamento	Ubicación	Diámetro de tubería (pulgadas)	Presión de vapor (psi)	Temperatura de vapor (°F)	Pérdida de calor (BTU/h)	Pérdida de entalpía (KJ/Kg)	Observaciones
Calderas	Caldera 1, alimentación nivel visual	Dimensiones ancho 1 pie, alto 2 pies		262	46 094,40		Distancia sin aislamiento 18 pies
Calderas	Caldera 1, alimentación nivel visual	$\frac{1}{2}$		353	4 427,54		Distancia sin aislamiento 13,2 pies
Calderas	Caldera 1, ductos de aire para quemadores	Dimensiones ancho 3 pies, alto 5 pies		240	81 360		Distancia sin aislamiento 15 pies
Calderas	Caldera 1, domo superior	1		455	18 040,59		Distancia sin aislamiento 45,92 pies
Calderas	Caldera 3, domo superior	$\frac{1}{2}$		277	6 339,12		Distancia sin aislamiento 29,52 pies
Calderas	Caldera 4, tubería nivel visual	$\frac{1}{2}$		405	2 180,30		Distancia sin aislamiento 5 pies
Calderas	Caldera 4, superficie	Dimensiones ancho 1 pie, alto 1 pie		200	242,3		Distancia sin aislamiento, 1 pie
Calderas	Caldera 5, domo superior (lado de caldera 6)	6		385	28 245,32		Distancia sin aislamiento 19,68 pies
Calderas	Caldera 5, tubería quemadores bunker	$\frac{1}{2}$	150	340	12 351,02	723,86	Distancia sin aislamiento 39,56 pies
Calderas	Caldera 5, sopladores de hollín	3	150	385	14 707,45	2 809,3	Distancia sin aislamiento 19,68 pies
Calderas	Caldera 6, nivel 1	2		353	2 619		Distancia sin aislamiento 6 pies
Calderas	Caldera 6, domo superior	$\frac{1}{2}$	685	800	17,296,75	3 264,1	Distancia sin aislamiento 9,84 pies.
					233 904,15	6 797,26	

Continuación de la tabla I

Departamento	Ubicación	Diámetro de tubería (pulgadas)	Presión de vapor (psi)	Temperatura de vapor (°F)	Pérdida de calor (BTU/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Observaciones
Caldera 5	Tubería escape vapor hacia calentador de bunker	1	200	141	407,96	254,58	Distancia sin aislamiento, 9,84 pies
Caldera 5	Tubería escape vapor hacia calentador de bunker	1	200	200	977,3	391,85	Distancia sin aislamiento, 9,84 pies
Caldera 5	Tubería escape vapor hacia calentador de bunker	1 $\frac{1}{2}$	200	141	226,64	254,58	Distancia sin aislamiento 3,93 pies
Caldera 5	Tubería escape vapor hacia calentador de bunker	2	200	200	681,42	391,85	Distancia sin aislamiento 4,92pies
					2 293,32	1 292,86	

Departamento	Ubicación	Diámetro de tubería (pulgadas)	Presión de vapor (psi)	Temperatura de vapor (°F)	Pérdida de calor (BTU/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Observaciones
Calderas	Caldera 7	2	1 080	1100	23 744	3 628,4	Distancia sin aislamiento 4 pies
Calderas	Caldera 7, tubería domo superior	4		385	201 385,44		Distancia sin aislamiento 177,12 pies
Calderas	Caldera 7, sopladores de hollín	2	100	180	2 676	159,34	Distancia sin aislamiento 20 pies
					227 805,44	3 787,74	

Continuación de la tabla I

Departamento	Ubicación	Diámetro de tubería (pulgadas)	Presión de vapor (psi)	Temperatura de vapor (°F)	Pérdida de calor (BTU/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Observaciones
Calderas	Cabezal de 600psi frente a caldera 6	16	600	761	51 843	3 221,9	Distancia sin aislamiento 3.3 pies
Calderas	Salida de vapor de caldera 5 hacia cabezal de 600psi	16	600	761	51 843	3 221,9	Distancia sin aislamiento 3.3 pies
Turbos de escape	Área de envasado, frente a carga de camiones	20	600	761	64 614	3 221,9	Distancia sin aislamiento 3.3 pies
Turbos de escape	Entre área de envasado para turbos de escape	20	600	761	97 900	3 221,9	Distancia sin aislamiento 5 pies
					266 200	12 887,6	

Departamento	Ubicación	Diámetro de tubería (pulgadas)	Presión de vapor (psi)	Temperatura de vapor (°F)	Pérdida de calor (BTU/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Observaciones
Extracción de 150psi	De colador de jugo TB hacia rastras y conductores TA	6	150	544	640 447,0	3 013,3	Distancia sin aislamiento 197 pies sin aislamiento
Extracción de 150psi	De rastras y conductores TA hacia válvula de acople	8	150	544	1 144 798,7	3 013,3	Distancia sin aislamiento 272,9 pies sin aislamiento
					1 785 245,7	6 026,6	

Continuación de la tabla I

Departamento	Ubicación	Diámetro de tubería (pulgadas)	Presión de vapor (psi)	Temperatura de vapor (°F)	Pérdida de calor (BTU/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Observaciones
Extracción de 150psi	Tubería de 150 para limpieza de calderas, junto a caldera 5, 3er nivel	2 $\frac{1}{2}$	150	544	43 187,8	3 013,3	29,52 pies sin aislamiento
Extracción de 150psi	Tubería de 150 para limpieza de calderas, junto a caldera 5, 3er nivel	4	150	544	29 401,9	3 013,3	13,12 pies sin aislamiento
					72 589,7	6 026,6	

Departamento	Ubicación	Diámetro de tubería (pulgadas)	Presión de vapor (psi)	Temperatura de vapor (°F)	Pérdida de calor (BTU/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Observaciones
Centrífugas	Refinería nivel superior	6	13,5	246,77	4 277,02	2 703,9	Distancia sin aislamiento 11,48 pies
Centrífugas	Refinería nivel superior	6	13,5	246,77	17 334,80	2 703,9	Distancia sin aislamiento 82 pies
					21 611,82	5 407,8	

Departamento	Ubicación	Diámetro de tubería (pulgadas)	Presión de vapor (psi)	Temperatura de vapor (°F)	Pérdida de calor (BTU/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Observaciones
Evaporadores	Alimentación de vapor a evaporador A10	30	13	268	22 963,44	2 730	Distancia sin aislamiento 6,52 pies

Continuación de la tabla I

Departamento	Ubicación	Diámetro de tubería (pulgadas)	Presión de vapor (psi)	Temperatura de vapor (°F)	Pérdida de calor (BTU/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Observaciones
Evaporadores	Intercambiador azul de placas de miel	6	13	245,76	12 008,08	2 703,1	Distancia sin aislamiento 45,92 pies
Evaporadores	Calentadores amarillos, miel primer nivel	8	13	245,76	17 649,02	2 703,1	Distancia sin aislamiento 52,48 pies
					29 657,1	5 406,2	

Departamento	Ubicación	Diámetro de tubería (pulgadas)	Presión de vapor (psi)	Temperatura de vapor (°F)	Pérdida de calor (BTU/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Observaciones
Escoba a tachos	Frente a evaporador C2 hacia clarificador de meladura 1	30	13	250	200 932,8	2 709,3	Distancia sin aislamiento 65,6 pies

Departamento	Ubicación	Diámetro de tubería (pulgadas)	Presión de vapor (psi)	Temperatura de vapor (°F)	Pérdida de calor (BTU/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Observaciones
Evaporadores	Alimentación de vapor a evaporadores B8/C1	24	13	246	32 122,84	2 704,70	Distancia sin aislamiento 13,48 pies
Evaporadores	Salida de vapor de evaporadores B8/C1	24	13	246	59 575,00	2 704,70	Distancia sin aislamiento 25 pies
					91 697,84	5 409,4	

Continuación de la tabla I

Departamento	Ubicación	Diámetro de tubería (pulgadas)	Presión de vapor (psi)	Temperatura de vapor (°F)	Pérdida de calor (BTU/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Observaciones
Tachos	Vapor de escoba entrada tachos refinería	2	14	195	3 160,61	379,19	Distancia sin aislamiento 19,68 pies
Tachos	Vapor de escoba entrada tachos refinería	6	14	200	17 474,32	390,87	Distancia sin aislamiento 39,33 pies
Tachos	Vapor de escoba entrada tachos refinería	6	14	140	29 569,20	251,15	Distancia sin aislamiento 164 pies
Tachos	Tubería tachos refinería	2	14	140	5 445,84	251,15	Distancia sin aislamiento 78,72 pies
Tachos	Purga tachos continuo hacia trampa de condensado	1 2	13,5	195	5 152,22	379,19	Distancia sin aislamiento 39,36 pies
					60 802,19	1 651,55	

Fuente: elaboración propia.

El área superficial de las tuberías de vapor representa un total de 266,56 metros cuadrados (tubería descubierta).

Tabla II. Datos tuberías de condensado

Recorrido	Ubicación	Diámetro de tubería (pulgadas)	Presión de condensado (psi)	Temperatura de condensado (°F)	Pérdida de calor (BTU/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Observaciones
Destilería 450KLPD	Salida bio etanol a tanque pre	6	60	50	179 604	4,42	Distancia sin aislamiento 2 160 pies

Continuación de la tabla II

Recorrido	Ubicación	Diámetro de tubería (pulgadas)	Presión de condensado (psi)	Temperatura de condensado (°F)	Pérdida de calor (BTU/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Observaciones
De evaporadores A hacia tanque condensado pre	Salida de evaporadores A4 - A8 a tanque condensado pre	6	22,48	250	181 321,25	508,28	Distancia sin aislamiento 275 pies
De evaporadores A hacia tanque condensado pre	Salida de evaporadores A9 - A12 a tanque condensado pre	8	22,48	250	167 654,88	508,28	Distancia sin aislamiento 197 pies
					348 976,13	1 016,56	

Recorrido	Ubicación	Diámetro de tubería (pulgadas)	Presión de condensado (psi)	Temperatura de condensado (°F)	Perdida de calor (BTU/h)	Pérdida de entalpía (KJ/Kg)	Observaciones
TGC#2 hacia desaireador 1	3er nivel calderas, junto a desaireador 1	6	28	164	4 068,97	307,02	Distancia sin aislamiento 22,96 pies

Recorrido	Ubicación	Diámetro de tubería (pulgadas)	Presión de condensado (psi)	Temperatura de condensado (°F)	Pérdida de calor (BTU/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Observaciones
Desaireador 2 hacia desaireador 1	Nivel 0 lado derecho caldera 2	6	782	263	12 915,42	542,4	Distancia sin aislamiento 16,1 pies
Desaireador 2 hacia desaireador 1	Desaireador 2 a calderas de 600, nivel 0	16	782	263	73 839,36	542,4	Distancia sin aislamiento 39,36 pies
					86 754,78	1 084,8	

Continuación de la tabla II

Recorrido	Ubicación	Diámetro de tubería (pulgadas)	Presión de condensado (psi)	Temperatura de condensado (°F)	Pérdida de calor (BTU/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Observaciones
Evaporadores B hacia condensado dúplex	Salida evaporadores B	6	13	230	100 869,71	461,15	Distancia sin aislamiento 181,6 pies
Evaporadores B hacia condensado dúplex	Salida evaporadores B	7	13	230	186 204,78	461,15	Distancia sin aislamiento 292,6 pies
Evaporadores B hacia condensado dúplex	Evaporadores B hacia Cabezal	8	13	230	113 290,74	461,15	Distancia sin aislamiento 158 pies
Evaporadores B hacia condensado dúplex	Evaporador B2 hacia entrada dúplex	9	13	230	73 933,86	461,15	Distancia sin aislamiento 92,4 pies
Evaporadores B hacia condensado dúplex	Evaporadores B hacia Cabezal	10	13	230	197 600,23	461,15	Distancia sin aislamiento 222,2 pies
Evaporadores B hacia condensado dúplex	Frente a calentadores concha y tubo hacia entrada dúplex	12	13	230	63 353,14	461,15	Distancia sin aislamiento 61,6 pies
					735 252,46	2 766,90	

Recorrido	Ubicación	Diámetro de tubería (pulgadas)	Presión de condensado (psi)	Temperatura de condensado (°F)	Pérdida de calor (BTU/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Observaciones
Dúplex hacia desaireador 2	Tanque desmineralizada hacia nivel inferior triplex	6	13	230	307 350	461,15	Distancia sin aislamiento 500 pies

Continuación de la tabla II

Recorrido	Ubicación	Diámetro de tubería (pulgadas)	Presión de condensado (psi)	Temperatura de condensado (°F)	Pérdida de calor (BTU/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Observaciones
Tanque dúplex hacia tanque de Imbibición	De jugo alcalizado hasta evaporadores triplex	6	13	230	156 081,45	461,15	Distancia sin aislamiento 281

Recorrido	Ubicación	Diámetro de tubería (pulgadas)	Presión de condensado (psi)	Temperatura de condensado (°F)	Pérdida de calor (BTU/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Observaciones
Tanque condensado dúplex hacia tanque salchicha	Desde lado derecho de caldera 2 hasta entrada tanque salchicha	6	13	250	112 089,50	461,15	Distancia sin aislamiento 170

Recorrido	Ubicación	Diámetro de tubería (pulgadas)	Presión de condensado (psi)	Temperatura de condensado (°F)	Pérdida de calor (BTU/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Observaciones
Calentadores jugo alcalizado a condensado colector fábrica	Salida calentadores de jugo alcalizado del 1 al 8 hacia tanques nivel inferior	2	13	230	34 121,84	461,15	Distancia sin aislamiento 164 pies
Calentadores jugo alcalizado a condensado colector fábrica	Tanques nivel inferior, hacia tanque condensado colector fábrica	4	13	230	37 525,18	461,15	Distancia sin aislamiento 98 pies
					71 647,02	922,3	

Continuación de la tabla II

Recorrido	Ubicación	Diámetro de tubería (pulgadas)	Presión de condensado (psi)	Temperatura de condensado (°F)	Pérdida de calor (BTU/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Observaciones
Calentadores de jugo claro a condensado colector fábrica	Salida de calentadores de jugo claro a cabezal de 4"	2	13	230	2 496,72	461,15	Distancia sin aislamiento 12 pies
Calentadores de jugo claro a condensado colector fábrica	De tubería de 4" hacia tanque	4	13	230	13 018,94	461,15	Distancia sin aislamiento 34 pies
calentadores de jugo claro a condensado colector fábrica	De tanque hacia tanque condensado colector fábrica	4	13	230	21 060,05	461,15	Distancia sin aislamiento 55 pies
					36 575,71	1 383,45	

Recorrido	Ubicación	Diámetro de tubería (pulgadas)	Presión de condensado (psi)	Temperatura de condensado (°F)	Pérdida de calor (BTU/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Observaciones
Evaporadores D hacia condensado colector fábrica	Salida evaporadores D2, D3, D4 y D5/E1 hacia tanque colector fábrica	6	1,5	190	124 098,80	367,45	Distancia sin aislamiento 140 pies

Continuación de la tabla II

Recorrido	Ubicación	Diámetro de tubería (pulgadas)	Presión de condensado (psi)	Temperatura de condensado (°F)	Pérdida de calor (BTU/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Observaciones
Evaporadores C a condensado colector fábrica	Salida evaporadores C4 y C6	6	3	210	44 406,60	414,21	Distancia sin aislamiento 97 pies
Evaporadores C a condensado colector fábrica	Salida evaporadores C1, C2, C3 y C5	8	3	210	115 223,55	414,21	Distancia sin aislamiento 195 pies
Evaporadores C a condensado colector fábrica	Salida evaporadores C	10	3	210	52 023,12	414,21	Distancia sin aislamiento 71 pies
					211 653,27	1 242,63	

Recorrido	Ubicación	Diámetro de tubería (pulgadas)	Presión de condensado (psi)	Temperatura de condensado (°F)	Pérdida de calor (BTU/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Observaciones
Condensado colector fábrica a tanque elevado	De tubería a un costado de calentadores de jugo a tanque elevado	10	3	240	66 050,44	414,21	Distancia sin aislamiento 68 pies

Continuación de la tabla II

Recorrido	Ubicación	Diámetro de tubería (pulgadas)	Presión de condensado (psi)	Temperatura de condensado (°F)	Pérdida de calor (BTU/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Observaciones
Evaporadores E hacia tanque de condensado fábrica	Salida evaporadores E2 hacia tanque condensado E2	6	14,7	135	2 962,63	239,54	Distancia sin aislamiento 19,8 pies
Evaporadores E hacia tanque de condensado fábrica	Salida evaporador E3 hacia tanque condensado E3	6	14,7	135	3 577	239,54	Distancia sin aislamiento 24,2 pies
Evaporadores E hacia tanque de condensado fábrica	Salida evaporador E3 hacia tanque condensado E3	8	14,7	135	3 355,80	239,54	Distancia sin aislamiento 17,6 pies
Evaporadores E hacia tanque de condensado fábrica	Salida tanques E1, E2 y E3 hacia tanque condensado fábrica	6	14,7	135	4 877,73	239,54	Distancia sin aislamiento 33 pies
Evaporadores E hacia tanque de condensado fábrica	Salida tanques E1, E2 y E3 hacia tanque condensado fábrica	8	14,7	135	5 033,70	239,54	Distancia sin aislamiento 26,4
					19 806,86	1 197,70	

Continuación de la tabla II

Recorrido	Ubicación	Diámetro de tubería (pulgadas)	Presión de condensado (psi)	Temperatura de condensado (°F)	Pérdida de calor (BTU/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Observaciones
Condensado colector fábrica a tanque de imbibición	De salida de tanque colector fábrica a tanque de imbibición	10	3	240	193 294,67	414,21	Distancia sin aislamiento 199 pies

Recorrido	Ubicación	Diámetro de tubería (pulgadas)	Presión de condensado (psi)	Temperatura de condensado (°F)	Pérdida de calor (BTU/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Observaciones
Tanque salchicha a tanque general	Desde la salida del tanque general hasta la entrada del tanque salchicha	10	13	250	334 949,80	461,15	Distancia sin aislamiento 508 pies

Recorrido	Ubicación	Diámetro de tubería (pulgadas)	Presión de condensado (psi)	Temperatura de condensado (°F)	Pérdida de calor (BTU/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Observaciones
Tanque general a tanque de imbibición	Salida del tanque general hasta la entrada del tanque de imbibición	8	3	210	312 580,81	414,21	Distancia sin aislamiento 529 pies

Continuación de la tabla II

Recorrido	Ubicación	Diámetro de tubería (pulgadas)	Presión de condensado (psi)	Temperatura de condensado (°F)	Pérdida de calor (BTU/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Observaciones
Tachos continuos a condensado colector tachos	De salida de tachos continuos a tubería de 6 pulgadas	4	3	213	11 390,05	414,21	Distancia sin aislamiento 35 pies
Tachos continuos a condensado colector tachos	Tubería de 6 pulgadas a tanque colector tachos	6	3	213	75 048	421,25	Distancia sin aislamiento 159 pies
					86 438,05	835,46	

Recorrido	Ubicación	Diámetro de tubería (pulgadas)	Presión de condensado (psi)	Temperatura de condensado (°F)	Pérdida de calor (BTU/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Observaciones
Tachos fábrica a condensado colector tachos	Salida de condensado tachos fábrica a cabezal de 6 pulgadas	4	3	213	33 844,72	414,21	Distancia sin aislamiento 104 pies
Tachos fábrica a condensado colector tachos	Cabezal de 6 pulgadas a tanque condensado colector tachos	6	3	213	242 608	414,21	Distancia sin aislamiento 514 pies
					276 452,72	828,42	

Continuación de la tabla II

Recorrido	Ubicación	Diámetro de tubería (pulgadas)	Presión de condensado (psi)	Temperatura de condensado (°F)	Pérdida de calor (BTU/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Observaciones
De tachos refinera a condensado refinera	Condensado tachos refinera hasta tanque condensado refinera	6	13	230	135 529,8	461,15	Distancia sin aislamiento 244 pies

Recorrido	Ubicación	Diámetro de tubería (pulgadas)	Presión de condensado (psi)	Temperatura de condensado (°F)	Pérdida de calor (BTU/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Observaciones
Tachos refinera hacia tanque de agua dulce	Salida de tachos de refinera a cabezal de 6"	4	13	230	13 784,76	461,15	Distancia sin aislamiento 36 pies
Tachos refinera hacia tanque de agua dulce	Cabezal de 6" a entrada tanque	6	13	230	47 213,25	461,15	Distancia sin aislamiento 85 pies
					60 998,01	922,3	

Recorrido	Ubicación	Diámetro de tubería (pulgadas)	Presión de condensado (psi)	Temperatura de condensado (°F)	Pérdida de calor (BTU/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Observaciones
Condensado colector tachos a tanque elevado	De tanque colector tachos a tanque elevado tachos fabrica	4	13	230	78 496,55	461,15	Distancia sin aislamiento 205 pies

Continuación de la tabla II

Recorrido	Ubicación	Diámetro de tubería (pulgadas)	Presión de condensado (psi)	Temperatura de condensado (°F)	Pérdida de calor (BTU/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Observaciones
De tanque elevado a cribas fábrica	De tubería secadoras hacia cribas fábrica	2	3	210	33 462	414,21	Distancia sin aislamiento 195 pies

Recorrido	Ubicación	Diámetro de tubería (pulgadas)	Presión de condensado (psi)	Temperatura de condensado (°F)	Pérdida de calor (BTU/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Observaciones
De tanque elevado a limpieza tanque clarificador de licor	De cribas fábrica a limpieza tanque clarificador de licor	3	3	210	4 712,38	414,21	Distancia sin aislamiento 19 pies

Recorrido	Ubicación	Diámetro de tubería (pulgadas)	Presión de condensado (psi)	Temperatura de condensado (°F)	Pérdida de calor (BTU/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Observaciones
Tanque elevado a secadoras	Salida de tanque elevado tachos fábrica a secadoras	4	3	210	61 557,60	414,21	Distancia sin aislamiento 195 pies
Tanque elevado a secadoras	Salida de tanque elevado tachos fábrica a secadoras	6	3	210	29 299,20	414,21	Distancia sin aislamiento 64 pies
					90 856,80	828,42	

Continuación de la tabla II

Recorrido	Ubicación	Diámetro de tubería (pulgadas)	Presión de condensado (psi)	Temperatura de condensado (°F)	Pérdida de calor (BTU/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Observaciones
Tanque elevado a tanques centrífugas 1 y 2	De salida de tanque elevado hacia tanques de centrífugas 1 y 2	6	13	230	110 090	461,15	Distancia sin aislamiento 200 pies

Recorrido	Ubicación	Diámetro de tubería (pulgadas)	Presión de condensado (psi)	Temperatura de condensado (°F)	Pérdida de calor (BTU/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Observaciones
Tanque elevado fábrica a tanque de agua dulce	Salida de tanque elevado fábrica a entrada tanque agua dulce	6	3	210	15 565,20	414,21	Distancia sin aislamiento 34 pies

Recorrido	Ubicación	Diámetro de tubería (pulgadas)	Presión de condensado (psi)	Temperatura de condensado (°F)	Pérdida de calor (BTU/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Observaciones
De tanque elevado a tanque de sacarato	De limpieza para tanque de clarificador de licor para tanque de sacarato	3	3	210	34 226,76	414,21	Distancia sin aislamiento 138 pies

Continuación de la tabla II

Recorrido	Ubicación	Diámetro de tubería (pulgadas)	Presión de condensado (psi)	Temperatura de condensado (°F)	Pérdida de calor (BTU/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Observaciones
Tanque agua dulce a filtros refinería y derretido	De salida de tanque de agua dulce hacia tanque derretido y filtros refinería	6	3	210	64 092	414,21	Distancia sin aislamiento 140 pies

Recorrido	Ubicación	Diámetro de tubería (pulgadas)	Presión de condensado (psi)	Temperatura de condensado (°F)	Pérdida de calor (BTU/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Observaciones
Tanques 1 centrífugas a lavado de centrífugas 1ra, 2da y 3ra	Salida de tanque 1 centrífugas hacia centrífugas de 1ra, 2da y 3ra	3	3	210	60 516,88	414,21	Distancia sin aislamiento 244 pies

Recorrido	Ubicación	Diámetro de tubería (pulgadas)	Presión de condensado (psi)	Temperatura de condensado (°F)	Pérdida de calor (BTU/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Observaciones
Tanque 2 centrífugas a lavado de centrífugas refinería	Salida de tanque 2 centrífugas hacia centrífugas de refinería	3	3	210	20 089,62	414,21	Distancia sin aislamiento 81 pies

Continuación de la tabla II

Recorrido	Ubicación	Diámetro de tubería (pulgadas)	Presión de condensado (psi)	Temperatura de Condensado (°F)	Pérdida de calor (BTU/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Observaciones
Salida de tanque de imbibición	De salida de tanque de imbibición hasta tachos	6	3	240	80 069,88	414,21	Distancia sin aislamiento 132 pies

Fuente: elaboración propia.

Se realizaron un total de 40 recorridos en el área de condensado, de los cuales se seleccionaron sólo los que afectan directamente a la producción de vapor.

- TGC#2 a desaireador 1
- Desaireador 1 a desaireador 2
- Tanque condensado dúplex a desaireador 2

Con un total de 83,57 metros cuadrados (tubería descubierta).

2.3. Recolección de datos de calderas

Para la realización de los cálculos se necesitó recolectar toda la información de las propiedades físicas de las superficies de las calderas y las condicione de operación.

2.3.1. Área superficial, temperatura y energía calorífica

Distribución de datos correspondientes al área superficial, temperatura y energía calorífica específicos para cada caldera.

Tabla III. Datos de calderas

Departamento	Ubicación	Superficie (piés ²)	Temperatura (°F)	Pérdida de calor (BTU/h)
Calderas	Caja de aire caldera 1, nivel 0 parte posterior	69,96	379	58 245,89
Calderas	Tapadera soplador caldera 1 nivel 0 lado izquierdo	2,87	274	1 263,74
Calderas	Tapaderas de ducto secundario. Caldera 1 nivel 1 parte frontal	4,5	384	3 843,54
Calderas	Ducto de aire secundario. Nivel 3 caldera 1 lado izquierdo	93	269	39 469,20
Calderas	Ducto de aire secundario. Nivel 3 caldera 1 parte frontal	192	269	81 484,80
Calderas	Auxiliar 1. Niveles 2 y 3 caldera 1 lado izquierdo	644	224	187 558,56
Calderas	Caja de aire caldera 2, Niveles 0,1 y 2 parte trasera.	1 323	375	1 078 853,58
Calderas	Tapadera soplador caldera 2, lado izquierdo	2,87	336	1 888,77
		233,2		1 452 608,08

Continuación de la tabla III

Departamento	Ubicación	Superficie (piés^2)	Temperatura (°F)	Pérdida de calor (BTU/h)
Calderas	Caja de aire caldera 3, niveles 0 y 1 parte posterior	799	485	1 101 189,79
Calderas	Tapadera soplador caldera 3, nivel 0 lado izquierdo	4,5	456	5 491,75
Calderas	Caja de aire caldera 4, niveles 0 al 5 parte posterior	2 779	313	1 592 005,73
Calderas	Soplador caldera 4, nivel 0 lado izquierdo	4,5	374	3 650,30
Calderas	Caja de aire caldera 5, niveles 1 al 4	2 030	342	1 381 577,40
Calderas	Tapadera soplador caldera 5, nivel 0 lado izquierdo	2,25	323	1 370,74
Calderas	Soplador auxiliar caldera 5, nivel 1 lado izquierdo	11,25	207	2 764,23
Calderas	Soplador caldera 6, nivel 0 lado izquierdo	6	288	2 917,44
		5 637		4 090 967

Fuente: elaboración propia.

El área superficial de calderas representa un total de 740,7 metros cuadrados.

*Se realizó un informe de todos los tramos y áreas con falta de aislamiento, exceptuando las áreas que no presentaron problemas.

2.4. Recolección de datos de vapor para limpieza

Se utiliza vapor para limpiar los diferentes equipos utilizados para la producción de azúcar, desde la descarga de la caña hasta el envasado del producto final. Se realizó un estudio de tiempos para determinar la cantidad de vapor que se utiliza para limpieza.

2.4.1. Máquinas centrífugas

Distribución de datos específicos correspondientes a centrífugas de tercera y estudio de tiempos establecidos para la limpieza con vapor de cada una de las centrífugas de tercera.

Tabla IV. Limpieza de centrífugas de tercera

Centrífuga	Tiempo de uso de vapor al abrir válvula (en minutos)	Abertura de la válvula veces/día	Tiempo de uso de vapor horas/día
1	25	3	1,25
2	25	3	1,25
3	30	1	0,5
4	25	3	1,25
5	25	3	1,25
6	30	4	2
7	30	4	2
8	30	4	2
9	30	4	2
Total			13,5

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. Datos de centrífugas de tercera

Diámetro de tubería (pulgadas)	Presión (psi)	Temperatura (°F)	Tiempo de uso de vapor al día (h)	Flujo másico (lb/h)	Entalpía (kJ/kg)	Energía utilizada (BTU/día)
0.75	150	544	13,5	808,45	3 013,30	14 733 601,35

Fuente: elaboración propia.

*Las válvulas son abiertas 3 de 5 vueltas (60 % de abertura).

En el área de centrífugas existen 3 líneas de operación. Centrífugas de primera, de segunda y tercera, se analizó sólo la línea de tercera ya que es en donde se utiliza la mayor cantidad de vapor para limpieza debido a que la materia prima es más densa y por lo tanto satura más rápido las máquinas.

2.4.2. Conductores de caña

Distribución de datos correspondientes a periodos de inspección del uso de vapor para limpieza de conductores de caña.

Tabla VI. Vapor para limpieza en conductores de caña del tándem A

Inspección de uso de vapor para limpieza de conductores de caña	
Lunes 26 de febrero, de 13:30 a 15:30 horas	
Hora de inicio de uso de vapor	Tiempo de uso
13:35	6 minutos
*Detuvieron operaciones durante 35 minutos	
14:13	1:24 minutos
14:18	1:20 minutos
14:24	39:43 minutos
Miércoles 28 de febrero, de 8:00 a 10:06 horas	
Hora de inicio de uso de vapor	Tiempo de uso
08:00	52 minutos
09:15	50:37 minutos
De 14:30 a 16:00	
14:30 ya había empezado el uso de vapor	14:30 minutos
14:50	37:06 minutos

Continuación de la tabla VI

Jueves 1 de marzo, de 10:30 a 12:00 horas	
Hora de inicio de uso de vapor	Tiempo de uso
10:35	25:23 minutos
11:02	04:38 minutos
11:11	20:55 minutos
11:35	7:10 minutos
11:45	15:12 minutos
De 14:30 a 15:30	
14:30 ya había empezado el uso de vapor	26:45 minutos
15:00	27:52 minutos

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Datos de conductores de caña del tándem A**

Tiempo de uso de vapor durante periodo de inspección	Porcentaje equivalente
83,45 minutos de 120 minutos	69 %
102,61 minutos de 126 minutos	81,40 %
51,6 minutos de 90 minutos	57,33 %
73,3 minutos de 90 minutos	81,44 %
54,6 minutos de 60 minutos	91 %
Promedio de uso de vapor durante inspección	76 %

Total de minutos de inspección	486
Total de horas de inspección	8,1

Total en horas de uso de vapor	6,15
--------------------------------	------

Continuación de la tabla VII

Diámetro de tubería (pulgadas)	Presión (psi)	Temperatura (°F)	Tiempo de uso de vapor al día (h)	Flujo másico (Lb/h)	Entalpía (kJ/kg)	Energía utilizada (BTU/día)
3	150	544	18,24	35 930,95	3 013,30	884 743 666,49

Fuente: elaboración propia.

Actualmente hay 2 puntos en donde se descarga la caña, el tándem A y el tándem B, se analizó sólo el tándem B debido a que el uso de vapor para limpieza es casi continuo durante todo el día.

2.5. Inspección de trampas de vapor

Las trampas de vapor son dispositivos que mantienen el vapor en condiciones óptimas, por lo tanto, es esencial darles mantenimiento continuo y chequearlas periódicamente para asegurar su buen funcionamiento.

2.5.1. Chequeo de funcionamiento

Se realizó una inspección en el circuito de trampas de vapor que van en las tuberías de entrada y salida de las turbinas de escape y en la tubería de extracción de vapor para limpieza.

Se determinó lo siguiente:

- Trampa de vapor y válvula no funcionan. Línea de 20 psi frente a bombas de circulación.
- Trampa de vapor abnegada, no puede descargar. Línea de 20 psi frente a área de carga de camiones.
- Trampa no funciona. Línea de 600 psi de turbo de escape número 2.
- Trampa de vapor abnegada no puede descargar. Línea de 150 psi, la válvula izquierda que no funciona y la trampa queda purgando directamente.
- Trampa de vapor no funciona. Línea de extracción de 150 psi del turbo número 2.
- Trampa de vapor no funciona. Línea de 20 psi.
- Trampa de vapor no funciona. Línea de 20 psi, debajo de entrada de vapor de turbo número 1.

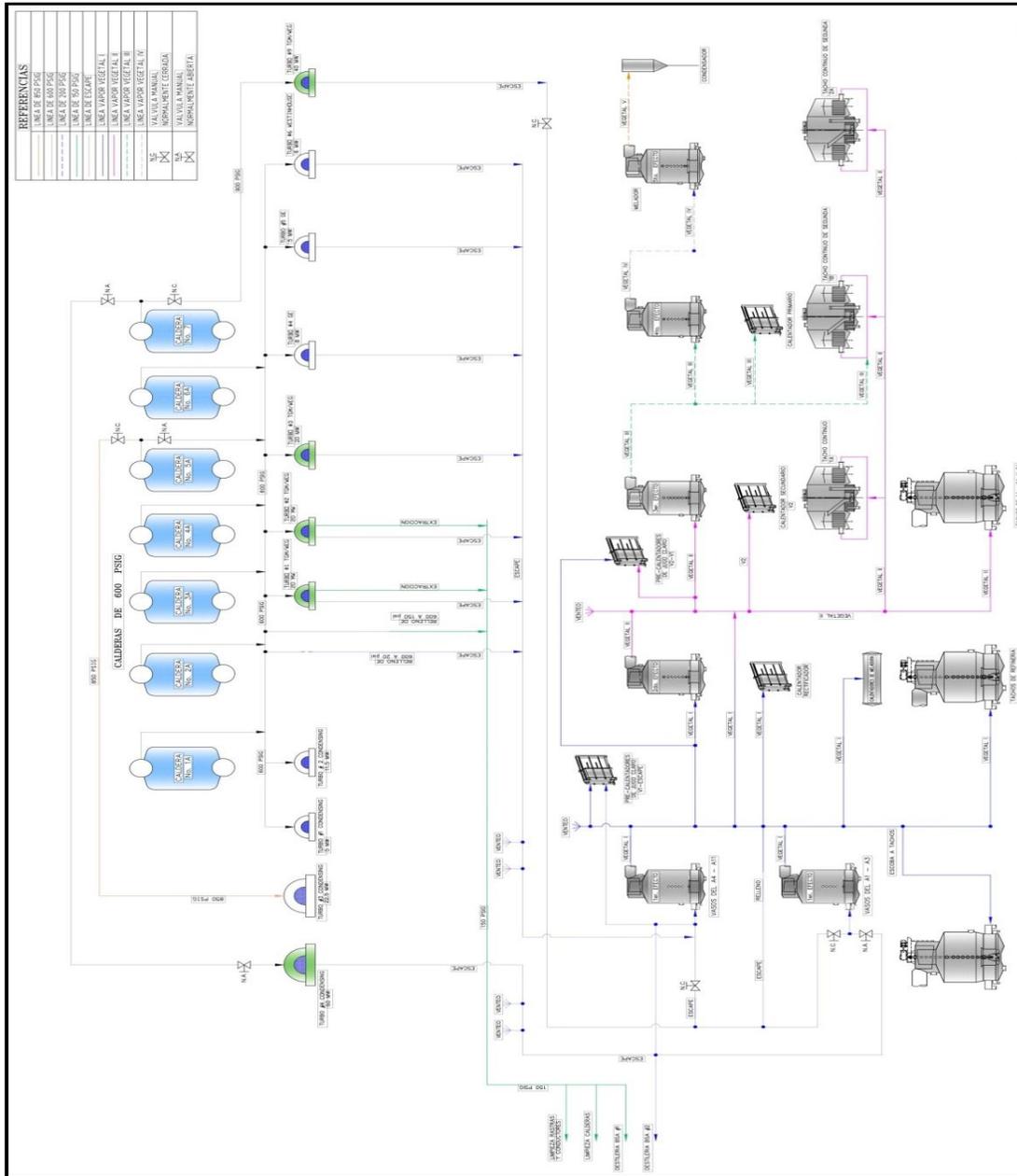
2.6. Actualización de diagramas

Al paso del tiempo se realizan nuevas instalaciones, modificaciones y reubicaciones de los equipos, por lo tanto, los diagramas de distribución de vapor y condensado se actualizaron para tener una mejor referencia de las condiciones de operación actuales, añadiendo equipos y líneas nuevas y removiendo de la misma manera.

2.6.1. Diagrama de distribución de vapor

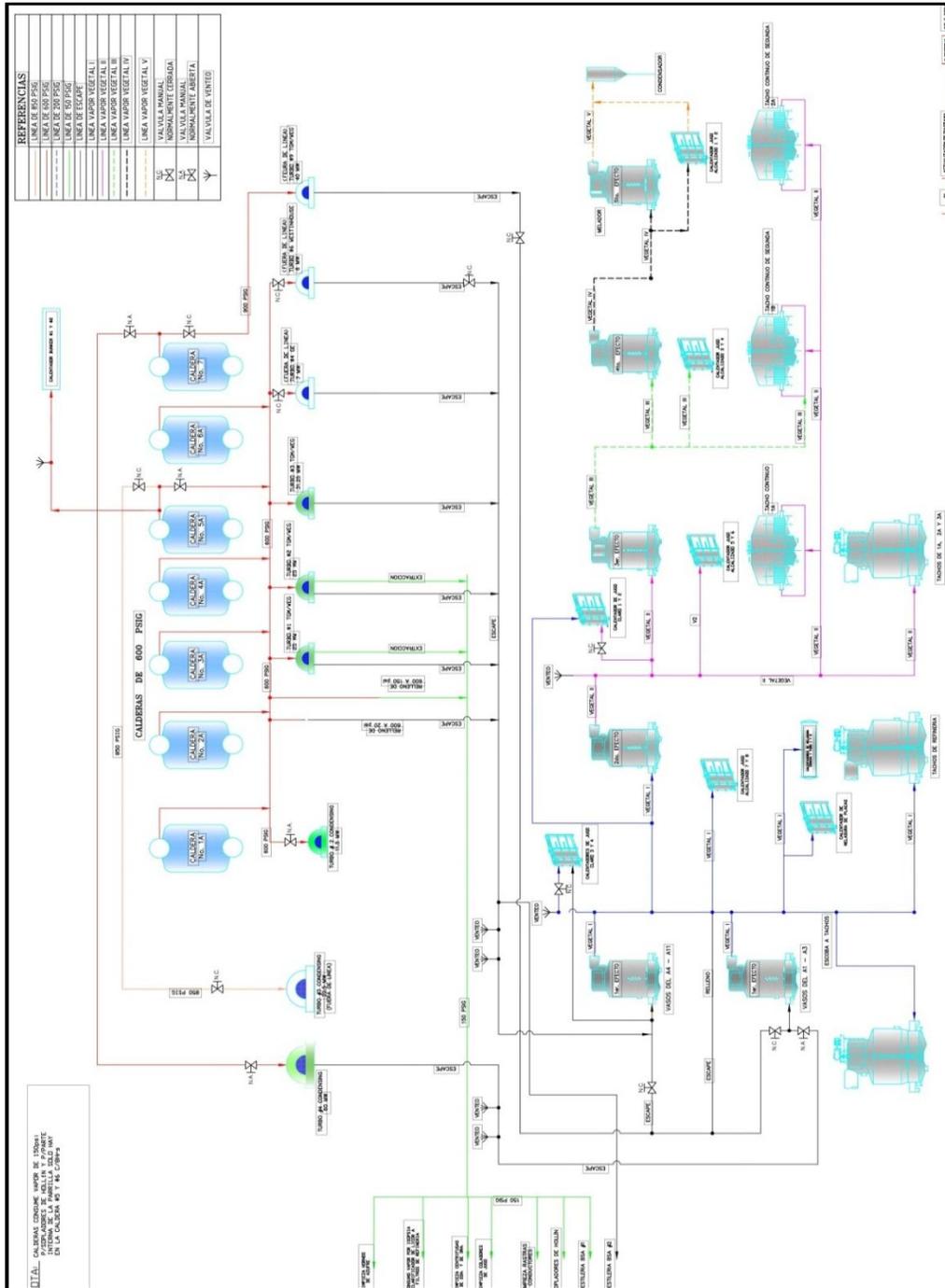
Representación de los arcos de tiempo, referidos a los puntos muertos del pistón, durante los cuales las válvulas permanecen abiertas o cerradas para la distribución de vapor, según actualización del diagrama.

Figura 6. Diagrama de vapor anterior



Fuente: Ingenio Pantaleon.

Figura 7. Diagrama de vapor actualizado

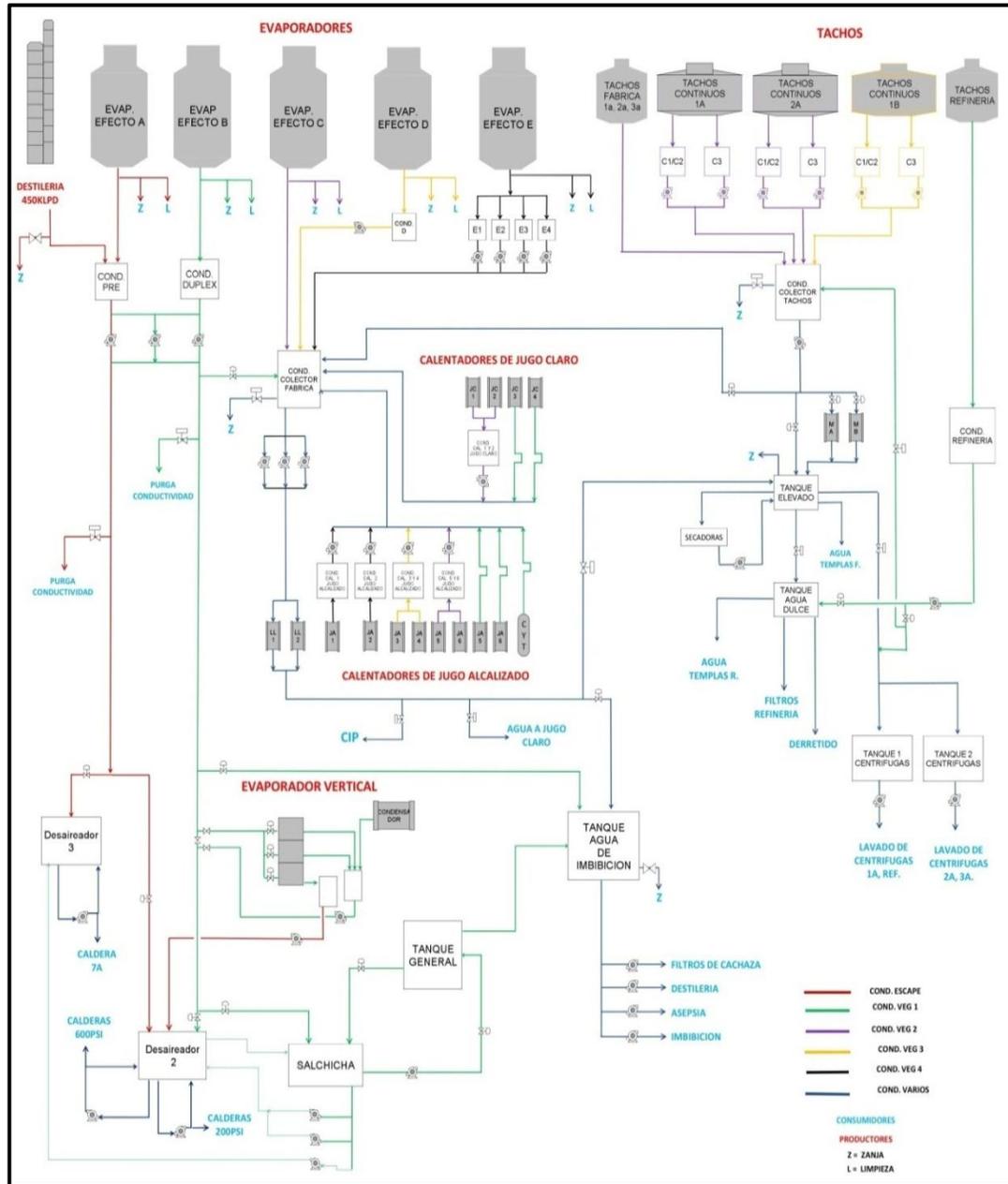


Fuente: Ingenio Pantaleon.

2.6.2. Diagrama de distribución de condensado

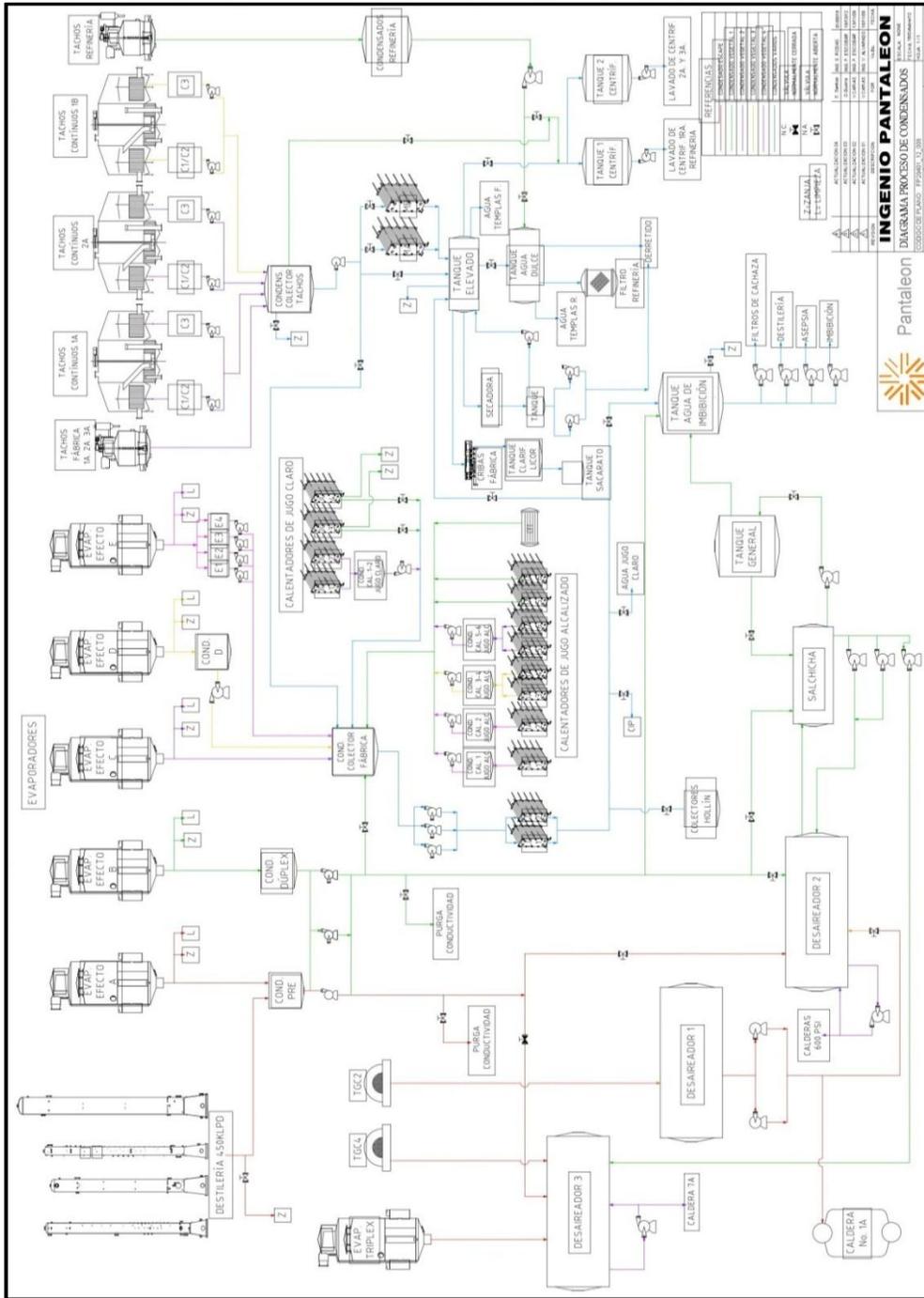
Representación de los arcos de tiempo, referidos a los puntos muertos del pistón, durante los cuales las válvulas permanecen abiertas o cerradas para la distribución de condensado, según actualización del diagrama.

Figura 8. Diagrama de condensado anterior



Fuente: Ingenio Pantaleon.

Figura 9. Diagrama de condensado actualizado



Fuente: Ingenio Pantaleon.

2.7. Cálculos

Para la realización de los cálculos se utilizó toda la información obtenida en el trabajo de campo. Los cálculos se obtuvieron por medio del uso de programas computacionales y ecuaciones matemáticas proporcionadas por el jefe del proceso de generación de energía del Ingenio Pantaleon.

2.7.1. Pérdida de energía por fugas y purgas directas

Se recolectaron datos como: diámetros de orificios, presiones, temperaturas, entalpía, flujo másico y energía calorífica.

2.7.1.1. Tuberías de vapor y tuberías de condensado

Distribución de datos específicos para la determinación de fugas localizadas en tuberías de vapor y tuberías de condensado.

Tabla VIII. Datos de fugas en tuberías de vapor

Departamento	Ubicación	Diámetro del orificio (pulgadas)	Presión de vapor (psi)	Temperatura de vapor (°F)	Perdida de vapor (lb/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Pérdida de calor (BTU/h)
Destilería BSA #1	Extracción de 150psi de turbos de escape hacia bio etanol	$\frac{1}{8}$	150	544	62,38	3 013,30	84 211,09

Continuación de la tabla VIII

Departamento	Ubicación	Diámetro del orificio (pulgadas)	Presión de vapor (psi)	Temperatura de vapor (°F)	Perdida de vapor (lb/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Pérdida de calor (BTU/h)
Extracción de 150psi	Acople de válvula frente a colador de jugo TA	$\frac{1}{4}$	150	544	249,52	3 013,3	336 845,02

Departamento	Ubicación	Diámetro del orificio (pulgadas)	Presión de vapor (psi)	Temperatura de vapor (°F)	Perdida de vapor (lb/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Pérdida de calor (BTU/h)
Tachos de Refinería	Nivel inferior tacho de refinería núm. 2	$\frac{5}{8}$	14,6	250	277,43	2 708,20	336 601,22

Departamento	Ubicación	Diámetro del orificio (pulgadas)	Presión de vapor (psi)	Temperatura de vapor (°F)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Perdida de vapor (lb/h)	Pérdida de calor (BTU/h)
Evaporadores	Parte superior de evaporador B7	$\frac{1}{16}$	13	243	2 708,2	2,62	3 182,25

Departamento	Ubicación	Diámetro del orificio (pulgadas)	Presión de vapor (psi)	Temperatura de vapor (°F)	Perdida de vapor (lb/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Pérdida de calor (BTU/h)
Centrífugas	Centrífuga núm. 9 de tercera	$\frac{1}{16}$	150	544	15,60	3 013,3	21 052,81

Continuación de la tabla VIII

Departamento	Ubicación	Diámetro del orificio (pulgadas)	Presión de vapor (psi)	Temperatura de vapor (°F)	Perdida de vapor (lb/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Pérdida de calor (BTU/h)
Vegetal 2	Línea principal vegetal 2 frente a evaporadores triplex	$\frac{1}{4}$	6,5	213	32,12	2 702,80	116 671,61

*se multiplica por 3 debido a que hay 3 pérdidas de igual magnitud en la misma línea.

Departamento	Ubicación	Diámetro del orificio (pulgadas)	Presión de vapor (psi)	Temperatura de vapor (°F)	Perdida de vapor (lb/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Pérdida de calor (BTU/h)
Evaporadores	Segundo nivel, tubería que conecta al evaporador C2 y C3	$\frac{3}{16}$	20	190	29,57	367,55	4 869,11
Evaporadores	Válvula automática de estopero	$\frac{3}{20}$	20	215	19	426	3 626,14
					48,57	793,55	8 495,25

Departamento	Ubicación	Diámetro del orificio (pulgadas)	Presión de vapor (psi)	Temperatura de vapor (°F)	Perdida de vapor (lb/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Pérdida de calor (BTU/h)
Turbos <i>condensing</i>	Entrada de vapor de TGC 2	$\frac{1}{16}$	600	750	58,2	3 207,20	83 623,93

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Datos de fugas de tuberías de condensado**

Departamento	Ubicación	Pérdida de condensado (GPM)	Pérdida de calor (BTU/min)	Presión de vapor (psi)	Temperatura de vapor (°F)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Pérdida de calor (BTU/h)
Turbos <i>condensing</i>	Estopero lado acople, bomba de condensado 1 de TGC 2	0,044	5,5044	28	164	307,02	330,264

Departamento	Ubicación	Pérdida de condensado (GPM)	Pérdida de calor (BTU/min)	Presión de vapor (psi)	Temperatura de vapor (°F)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Pérdida de calor (BTU/h)
Evaporadores triplex	Entrada de condensado a desaireador 3	0,2	25,02	35,6	304	2 759,10	1 501,20

Departamento	Ubicación	Pérdida de condensado (GPM)	Pérdida de calor (BTU/min)	Presión de vapor (psi)	Temperatura de vapor (°F)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Pérdida de calor (BTU/h)
Tachos Refinería	Salida de condensado de tacho de refinería No. 1, nivel inferior	0,31	38,781	13	230	461,15	2 326,86

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Datos de purgas directas en tuberías de vapor**

Departamento	Ubicación	Diámetro de la tubería (pulgadas)	Presión de vapor (psi)	Temperatura de vapor (°F)	Perdida de vapor (lb/h)	Pérdida de entalpía (kJ/kg)	Pérdida de calor (BTU/h)
Vegetal 2	Debajo de los evaporadores triplex	3	5,85	240	4 483,19	2 702,90	1 628 619,82

Fuente: elaboración propia.

Procedimiento para realizar los cálculos:

- Pérdida de energía por falta de aislamiento en tuberías de vapor, condensado y calderas:

Para determinar la pérdida de calor se utilizó el programa 3E Plus, en el cual se indica la temperatura ambiente de 84 °F, el diámetro de la tubería o superficie plana, se selecciona la opción de pérdida de calor por hora, el material de la tubería de acero, el material aislante de fibra mineral y el acabado final en aluminio.

Con esos parámetros indicados el programa calcula la pérdida de calor en BTU/h/ft, este resultado se multiplica por la distancia del tramo sin aislamiento y se obtiene la pérdida de calor en BTU/h.

- Pérdida de energía por fugas en tuberías de vapor:

La pérdida de vapor en kg/h se calculó por medio de la ecuación de Napier. La presión en psi y el diámetro del orificio en pulgadas.

$$Flujo = \frac{[24,24 * (14,7 + P. manométrica) * (diámetro del orificio)^2]}{2,204}$$

Para determinar la entalpía se utilizó el programa WASP, en el cual se indica la presión y la temperatura del vapor para obtener la entalpía en kJ/kg bajo esas condiciones.

La pérdida de calor es el resultado de multiplicar la pérdida de vapor por la entalpía y se obtiene kJ/h, éste resultado se multiplica por el factor de 0,9874 para convertir de kJ a BTU y finalmente obtener BTU/h.

- Pérdida de energía por fugas en tuberías de condensado:

Las pérdidas de condensado por fugas se determinaron mediante la utilización de un recipiente y cronómetro, obteniendo un flujo en GPM.

Para determinar la pérdida de energía en Joules se utilizó la ecuación de calor sensible:

$$Q = Cp * m * (Tf - Ti)$$

Se calcula cantidad de energía que se necesita para elevar la temperatura de 235 °F a 250 °F la cantidad de 3 785 g de agua (el peso de un galón de agua). Este resultado se multiplica por 0,000987 para obtener BTU.

Luego los BTU se multiplicaron por el flujo en GPM y se obtuvo BTU/min. Finalmente se multiplicó el resultado por 60 y se obtuvo BTU/h.

*El parámetro que se tomó para el incremento en la temperatura es debido a que el condensado que se fuga se encuentra a una temperatura de 250 °F.

El condensado perdido se sustituye por condensado de recuperación que se encuentra a 235 °F, el cual debe ser previamente calentado hasta alcanzar la temperatura de 250 °F antes de ingresar a la caldera.

- Pérdida de energía por purgas directas en tubería de vapor:

La pérdida de vapor se calculó por medio de la ecuación de Napier en donde se indica la presión de la tubería y el diámetro del orificio (en este caso el diámetro de la tubería ya que una purga directa se considera como una fuga de vapor) y se obtiene la pérdida de vapor en lb/h.

Para determinar la entalpía se utilizó el programa WASP, en el cual se indica la presión y la temperatura del vapor para obtener la entalpía en kJ/kg bajo esas condiciones.

La pérdida de calor es el resultado de multiplicar la pérdida de vapor por la entalpía y se obtiene lb*kJ/h*kg, éste resultado se divide entre 2,204 para realizar la conversión de lb a kg y se obtiene kJ/h que se multiplica por el factor de 0,9874 para convertir de kJ a BTU y obtener BTU/h.

El resultado final se multiplica por el factor de 0,3 ya que se considera que del total del flujo en una purga sólo el 30 % es vapor.

2.7.2. Cuantificación de datos

La cuantificación de datos consiste en agrupar los datos obtenidos en todos los cálculos para unificarlos y obtener un resultado total.

2.7.2.1. Tuberías de vapor, tuberías de condensado, calderas y vapor para limpieza

Distribución de datos numéricos para cuantificar comportamientos o variables definidas para ser objeto de estudio en tuberías de vapor, tuberías de condensado, calderas y vapor para limpieza.

Tabla XI. Cuantificación de datos

Aislamiento		
Área	Área superficial sin aislamiento (metros cuadrados)	Pérdida de energía (BTU/h)
Vapor	266,56	3 125 265
Condensado	83,57	398 173,75
Calderas	740,70	5 543 575,46
Total	1 090,83	9 067 014,21

Fugas y purgas directas		
Área	Pérdida de energía por fugas (BTU/h)	Pérdida de energía por purgas directas (BTU/h)
Vapor	990 683,18	0,00
Condensado	4 158,32	1 628 619,82
Total	994 841,50	1 628 619,82

Continuación de la tabla XI

Vapor para limpieza	
Área	Uso de energía (BTU/h)
Centrífugas	613 900,05
Conductores de caña	36 864 319,44
Total	37 478 219,49
Pérdida total	49 168 695,02

Fuente: elaboración propia.

2.8. Análisis de ahorro energético

En el análisis de ahorro energético se demuestra cuánta energía eléctrica se puede recuperar al eliminar las causas que producen bajas en la producción de energía y al disminuir la cantidad de vapor que se utiliza para limpieza.

2.8.1. Incremento en la eficiencia

- Aislamiento:

El análisis para incrementar la eficiencia energética de las áreas con falta de aislamiento se realizó con el fin de obtener un incremento mínimo del 90 %, lo cual se alcanzará mediante el aislamiento de dichas áreas utilizando fibra mineral para las tuberías y fibra cerámica para las superficies de las calderas con un grosor de 2 pulgadas; tomando como parámetro la temperatura ambiente, siendo esta de 84 °F.

- Vapor para limpieza:

Para minimizar el consumo de vapor utilizado para la limpieza de las máquinas centrífugas y conductores de caña se redujo el tiempo de limpieza de cada máquina centrífuga 3 minutos/ciclo y 9,12 horas/día para los conductores de caña, obteniendo un ahorro de vapor del 10,37 y 50 %, respectivamente.

2.8.2. Energía recuperada

Incremento de eficiencia a partir de datos de energía recuperada en aislamiento, fugas, purgas y limpieza. Haciendo uso eficiente de la energía, de manera de optimizar los procesos productivos y el empleo de dicha energía.

Tabla XII. **Energía recuperada**

Área	Pérdida/uso de energía recuperada (BTU/h)	Energía recuperada (KWh)	Energía recuperada (MW/zafra)
Aislamiento	9 067 014,21	549,52	2 307,97
Fugas	994 841,50	60,29	253,23
Purgas	1 628 619,82	98,70	414,56
Limpieza	18 495 821,16	1 120,96	4 708,03
Total	30 186 296,69	1 829,47	7 683,78

Fuente: elaboración propia.

La energía recuperada se hizo con base en una temporada de zafra de 175 días y utilizando la conversión de 16 500 BTU por 1 kW.

2.9. Análisis económico

El análisis económico es básicamente cuánto dinero representa la cantidad de energía que se puede recuperar.

2.9.1. Ahorro monetario

En la siguiente tabla se describe la cantidad de dinero que representa la energía eléctrica que se puede recuperar.

Tabla XIII. Ahorro monetario

Área	Energía recuperada (MW/zafra)	Ahorro monetario por zafra en \$
Aislamiento	2 307,97	92 318,69
Fugas	253,23	10 129,30
Purgas	667,79	26 711,61
Limpieza	4 708,03	188 321,09
Total	7 683,78	307 351,38

Fuente: elaboración propia.

El ahorro monetario se calculó en base al precio de venta de la energía eléctrica en el primer semestre de 2018; 40 dólares por MW.

2.9.2. Costo de reparación

Distribución del precio pagado por concepto de las acciones realizadas para conservar o restaurar un bien o un producto a un estado específico para aislamiento, fugas, purga directa y limpieza.

Tabla XIV. **Costo de reparación**

Área	Costo de reparación en \$
Aislamiento	66 259,90
Fugas	2 500
Purga directa	2 729,69
Limpieza	0.00
Total	71 489,59

Fuente: elaboración propia

- Aislamiento:

Se convocó a 3 empresas, Praisá S.A., GM Construcciones y *Quality Insulation* para que realizaran la cotización del material y mano de obra para realizar la reparación. El precio indicado fue la mejor oferta por parte de *Quality Insulation*.

- Fugas directas:

Para la reparación de todas las fugas se costó el precio de contratación de un equipo de soldadores por un lapso de 10 días.

- Purga directa:

Se contactó a la empresa Maquinsa S.A. para costear la compra e instalación de un sistema para eliminar el desperdicio continuo de vapor en la purga directa. El precio indicado incluye lo siguiente:

- Trampa de vapor marca Armstrong modelo 15B8, tipo termostática con flotador, cuerpo en hierro fundido, internos en acero inoxidable; para una presión de diseño de hasta 175 psig, equipada con orificio de 7/8" para operar a un diferencial de hasta 15 psig, descargando un máximo de 7 500 lbs/hr a 6 psig de diferencial operativo. Conexiones roscadas de 2".
- Válvulas de pistón marca Armstrong cuerpo en acero forjado A105/LF2, pistón en acero inoxidable; para una presión de diseño de hasta 1 973 psig y una temperatura máxima de servicio de 800 °F. Sellos de grafito. Mecanismo con vástago no giratorio para minimizar desgaste del pistón. Reparable en línea. Conexiones soldables de 1 ½".
- Filtro Y marca Armstrong serie CA, cuerpo en hierro fundido, elemento filtrante tipo malla perforada con orificios de 0,045" en acero inoxidable; presión de diseño de hasta 250 psig. Conexiones roscadas de 2".
- Limpieza:

Minimizar el consumo de vapor no representa ninguna inversión, ya que sólo se necesita regular el tiempo de uso de vapor por parte de los operarios.

2.9.3. Tasa interna de rentabilidad

La tasa interna de rentabilidad (TIR) es un porcentaje que mide la viabilidad de un proyecto, si la TIR es mayor a 100 % el proyecto es viable.

Tabla XV. Tasa interna de rentabilidad

Pérdida térmica	Costo de reparación (\$)	Energía adicional (MW zafra)	Precio EE (\$/MWh)	Ingreso (\$)	Beneficio (\$)	TIR (%)
Aislamiento térmico tuberías de vapor, condensado y calderas	66 259,90	2 307,97	40	92 318,80	26 058,90	137%
Fugas de vapor	2 500,00	253,23	40	10 129,20	7 629,20	405%
Purgas de vapor continuas	2 729,69	414,56	40	16 582,40	13 852,71	607%
Optimizar uso de vapor para limpieza	10,00	4 708,03	40	188 321,20	188 311,20	1 883 212%
Total	71 499,59	7 683,79	40	307 351,60	235 852,01	430%

año 0	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5
\$-66 259,90	\$92 318,80	\$92 318,80	\$92 318,80	\$92 318,80	\$26 058,90
\$-2 500,00	\$10 129,20	\$10 129,20	\$10 129,20	\$10 129,20	\$7 629,20
\$-2 729,69	\$6 582,40	\$16 582,40	\$16 582,40	\$16 582,40	\$16 582,40
\$-10,00	\$188 321,20	\$188 321,20	\$188 321,20	\$188 321,20	\$188 321,20
\$-71 499,59	\$307 351,60	\$307 351,60	\$307 351,60	\$307 351,60	\$238 591,70

Fuente: elaboración propia.

La tasa interna de rentabilidad se calculó para 5 años ya que se estima que ese es el tiempo de vida del aislamiento. Se aprecia en la tabla que el ingreso total es del 430 % de la inversión inicial.

3. FASE DOCENTE

3.1. Implementación de un sistema de documentación y trazabilidad del mantenimiento en el departamento de energía

Para llevar un mejor control en el presupuesto para el mantenimiento de los equipos se implementó un nuevo sistema que incluye el procedimiento para gestionar la solicitud de materiales y para documentar las tareas de mantenimiento.

3.1.1. Procedimiento para solicitud de materiales

Se tomaron los CPM de los 5 supervisores, esta información se pasó a cuadros de Excel en donde se ordenaron todas las tareas de mantenimiento por equipo. La información ordenada fue trasladada al operador de SAP para la creación de nuevas órdenes de reparación donde se indica el equipo específico.

Para la documentación de las solicitudes se creó una boleta que se debe utilizar para realizar los pedidos de materiales.

Metodología:

- El colaborador debe de hacer el listado de los materiales a utilizar y debe entregar la lista a su supervisor.
- El supervisor crea la solicitud de reserva de materiales y la pasa al operador de SAP.

- El operador crea las reservas en SAP cargando los materiales al equipo específico y la envía a bodega.

- El encargado de bodega valida la existencia de los materiales y gestionar la reserva.

- Horarios y puntos de entrega:
 - Horario 1
 - Entrega de reserva 10:00 am
 - Recepción de materiales
 - Ubicación: patio de caña de 1:15 a 1:30 pm
 - Ubicación: pasillo de calderas de 1:45 a 2:00 pm
 - *Mismo día de entrega de reserva

 - Horario 2
 - Entrega de reservas 3:00 pm
 - Recepción de materiales
 - Ubicación: patio de caña de 7:15 a 7:30 am
 - Ubicación: pasillo calderas 7:45 a 8:00 am
 - *Día siguiente de entrega de reserva

- Este procedimiento excluye:
 - Perfiles o piezas que requieran grúa o montacargas, gases y solventes.

- Lineamientos adicionales:
 - Las solicitudes de reservas serán emitidas única y exclusivamente por supervisores, no tienen autorización para tramitar reservas solicitadas por operadores.

Figura 10. **Ejemplo de boleta para solicitud de materiales**

No. de Orden _____	Fecha _____
Descripción _____	
Supervisor _____	

Descripción de material	Cantidad	UM	Encargado de tarea	Nombre de la tarea	Posición

Firma _____

Fuente: elaboración propia.

3.1.2. Procedimiento para registro de mantenimiento

Se crearon 6 tipos de boletas para la documentación y trazabilidad del mantenimiento realizado, las cuales deben de llenar con la información requerida al finalizar las tareas.

Cumplimiento de documentación:

Se les entregará a los supervisores un archivo con las tareas de mantenimiento con su respectivo número de orden.

- El supervisor genera una boleta de registro de mantenimiento correspondiente al equipo a intervenir, la imprime y la entrega al colaborador.
- Al finalizar la tarea de mantenimiento el colaborador llena la boleta y se la entrega al supervisor para su revisión y aprobación.
- El supervisor escanea la boleta para su archivo y manda una copia al coordinador.

- Boletas de registro de mantenimiento:

Se cuenta con 6 tipos de boletas:

- Bombas
- Motores
- Válvulas
- Turbinas
- Variadores, arrancadores
- Equipos varios

Campos a llenar

Supervisor:

- Número de orden
- Código del equipo
- Tipo de mantenimiento
- Fechas y horas
- Responsables del equipo

*Firma al recibir la boleta de vuelta del personal operativo.

- Personal operativo:
 - Llenar todos los campos restantes de las boletas.

Ejemplo de boletas:

Figura 11. Boleta para bombas

Pantaleon S.A		REGISTRO MANTENIMIENTO DE EQUIPOS (BOMBAS - REDUCTORES)				
Codigo del equipo		Tipo de mantenimiento	Preventivo	Correctivo		
Número de Orden						
Nombre del equipo						
Fecha de inicio		Fecha de finalización		Total días trabajados		
Hora de inicio		Hora de finalización		Total horas de trabajo		
Datos de placa	Marca		Modelo	Medida de impelente		
Persona o personas responsables del trabajo						
Herramienta utilizada para realizar el trabajo						
Materiales y repuestos utilizados durante el trabajo						
EPP y permisos de trabajos utilizados						
Mantenimiento a equipo		Bomba	Reductor			
		Datos bomba/Reductor			Alineamiento	
No. Cojinete L.A		Cojinete L.A	Nuevo	Usado		
No. Cojinete L.N.A		Cojinete L.N.A	Nuevo	Usado		
Tipo de lubricación	Grasa	Aceite	Retenedor L.A	Nuevo		Usado
Tipo de grasa		Retenedor L.N.A	Nuevo	Usado		
Tipo de aceite		Tipo de empaque	Datos sello mecanico			
Retenedor L.A		Modelo				
Retenedor L.N.A		Diámetro exterior				
Tipo de estopa		Diámetro interior				
Tipo de acople						

Fuente: elaboración propia.

Figura 12. Boleta para motores

 Pantaleon		REGISTRO MANTENIMIENTO DE EQUIPOS (MOTORES)			
Pantaleon S.A	Código del equipo		Tipo de mantenimiento	Preventivo	Correctivo
Número de orden					
Nombre del equipo					
Fecha de inicio		Fecha de finalización		Total días trabajados	
Hora de inicio		Hora de finalización		Total horas de trabajo	
Persona o personas responsables del trabajo					
Herramienta utilizada para realizar el trabajo					
Materiales y repuestos utilizados durante el trabajo					
EPP y permisos de trabajos utilizados					
TIPO DE MOTOR		Abierto	Cerrado		
Datos de motor					
No. Cojinete L.A		Cojinete L.A	Nuevo	Usado	Nema arrancador
No. Cojinete L.N.A		Cojinete L.N.A	Nuevo	Usado	Calibración relé sobre carga
Tipo de grasa		Medida castigador L.A			Capacidad del flípon
Medida ventilador		Medida castigador L.V			Calibración disparó flípon
No. Aspas ventilador		Estado del acople	Bueno	Malo	Calibre cable
Aplicación de barniz	Si	No	Medición de aislamiento		Datos placa de motor
Tipo de barniz			L1 (MGΩ)		HP
Estado embobinado	Bueno	Malo	L2 (MGΩ)		Voltaje
Motor rebobinado	Si	No	L3 (MGΩ)		Amperaje
					Frame
					RPM
					Marca

Fuente: elaboración propia.

Figura 13. Boleta para válvulas

Pantaleon S.A		REGISTRO MANTENIMIENTO DE EQUIPOS (VÁLVULAS)				
Pantaleon S.A	Código del equipo		Tipo de mantenimiento	Preventivo	Correctivo	
Número de orden						
Ubicación de válvula						
Fecha de inicio		Fecha de finalización		Total días trabajados		
Hora de inicio		Hora de finalización		Total horas de trabajo		
Persona o personas responsables del trabajo						
Herramienta utilizada para realizar el trabajo						
Materiales y repuestos utilizados durante el trabajo						
EPP y permisos de trabajos utilizados						
Mantenimiento a equipo						
Datos válvula			Uso estopa		Medida de la junta	
Medida			Si	No	Diámetro externo	
PSI			Tipo de estopa			
Temperatura			Material de la junta			
Uso	Agua	Vapor	Tipo de junta		Diámetro	
	Aceite	Otro	Medida del junta		interno	
Tipo de válvula	Válvula Check		Medida del cobre			
	Válvula compuerta		Cantidad tornillos			
	Válvula globo		Medida tornillos		Diámetro	
	Trampas		Grado de tornillos		agujeros	
Material de la válvula						

Fuente: elaboración propia.

Figura 14. Boleta para turbinas

 Pantaleon		REGISTRO MANTENIMIENTO DE EQUIPOS (Turbina)				
Pantaleon S.A	Código del equipo		Tipo de mantenimiento	Preventivo	Correctivo	
Número de orden						
Nombre del equipo						
Fecha de inicio		Fecha de finalización		Total días trabajados		
Hora de inicio		Hora de finalización		Total horas de trabajo		
Persona o personas responsables del trabajo						
Herramienta utilizada para realizar el trabajo						
Materiales y repuestos utilizados durante el trabajo						
EPP y permisos de trabajos utilizados						
Mantenimiento a equipo						
Datos turbina				Alineamiento turbina		
Medición holgura chumaceras			Medición desplazamiento axial			
Diámetro del eje				Medición activa		
Mediciones	1	2	3	4	Medición inactiva	
Holgura chumacera 1					Medición disparo sobrevelocidad	
Holgura chumacera 2					RPM disparo mecánico 1	
Holgura chumacera 3					RPM disparo mecánico 2	
Holgura chumacera 4					RPM disparo mecánico 3	
Holgura chumacera 5					RPM disparo eléctrico 1	
Holgura chumacera 6					RPM disparo eléctrico 2	
Holgura chumacera 7					RPM disparo eléctrico 3	
Holgura chumacera 8						

Fuente: elaboración propia.

Figura 15. **Boleta para variadores, arrancadores**

 Pantaleon		REGISTRO MANTENIMIENTO DE EQUIPOS (Variadores, arrancadores)							
Pantaleon S.A	Código del equipo	Tipo de mantenimiento			Preventivo	Correctivo			
Número de orden									
Nombre del equipo									
Fecha de inicio		Fecha de finalización		Total días trabajados					
Hora de inicio		Hora de finalización		Total horas de trabajo					
Persona o personas responsables del trabajo									
Herramienta utilizada para realizar el trabajo									
Materiales y repuestos utilizados durante el trabajo									
EPP y permisos de trabajos utilizados									
TIPO DE CONTROL		Arrancador electromagnético			Variador de frecuencia				
		DATOS VARIADOR			Nema arrancador				
Marca		Estado tarjeta electr.	Bueno	Malo	Calibración relé sobre carga				
Modelo		Estado ventilador	Bueno	Malo	Capacidad del flipón				
Capacidad capacitores		Disipador de calor	Bueno	Malo	Calibración disparo flipón				
Medida capacitor mas bajo		Voltaje entrada			Estado contactos principal		Bueno	Malo	
Numero de capacitores		Voltaje Bus DC			Estado contactos auxiliar		Bueno	Malo	
Estado de diodos (IGBT)		Fusibles de entrada al BUS DC			Fusibles de control				
Bueno	Malo	Cantidad	Capacidad	Tipo	Corriente	Cantidad	Capacidad	Tipo	
					AC				
					DC				

Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **Boleta para equipos varios**

 Pantaleon		REGISTRO MANTENIMIENTO DE EQUIPOS (VARIOS)			
Pantaleon S.A	Código del equipo		Tipo de mantenimiento	Preventivo	Correctivo
Número de orden					
Nombre del equipo					
Fecha de inicio		Fecha de finalización		Total días trabajados	
Hora de inicio		Hora de finalización		Total horas de trabajo	
Datos de placa					
Persona o personas responsables del trabajo					
Herramienta utilizada para realizar el trabajo					
Materiales y repuestos utilizados durante el trabajo					
EPP y permisos de trabajos utilizados					
DATOS IMPORTANTES DEL EQUIPO					

Fuente: elaboración propia.

3.1.3. Capacitación

Las capacitaciones a cerca del nuevo sistema para la reservar materiales y la documentación del mantenimiento fueron impartidas durante 1 día, en horarios de 8:30 am hasta las 4:30 pm.

Figura 18. Capacitaciones



Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. Se identificaron pérdidas de energía a causa de la falta de aislamiento, fugas y purgas directas en tuberías de vapor, tuberías de condensado y calderas en el área industrial de Ingenio Pantaleon.
2. Se declaró una pérdida de energía total de 11 690 475,53 BTU/h a causa de la falta de aislamiento, fugas y purgas directas en tuberías de vapor, tuberías de condensado y calderas en el área industrial del Ingenio Pantaleon.
3. Se calculó un ahorro de 18 495 821,16 BTU/h de la energía utilizada para la limpieza de las máquinas centrífugas de tercera y del conductor de caña del tándem A en el área industrial del Ingenio Pantaleon.
4. Se estableció un total de 2 975,76 MW/zafra de energía eléctrica que representa la pérdida de energía total a causa de la falta de aislamiento, fugas y purgas directas en tuberías de vapor, tuberías de condensado y calderas en el área industrial de Ingenio Pantaleon.
5. Se obtuvo un total de 4 708,03 MW/zafra de ahorro de energía eléctrica que representa la optimización de la energía utilizada para la limpieza de las máquinas centrífugas de tercera y del conductor de caña del tándem A en el área industrial del Ingenio Pantaleon.

6. Se determinó un costo total de reparación y optimización de \$71 499,59, con un beneficio de \$307 351,60 del año uno al cuatro, y de \$238 591,70 en el año cinco, representando una tasa interna de rentabilidad de 430 % de la inversión inicial.

RECOMENDACIONES

1. Llevar el control del estado físico del aislamiento de las tuberías y calderas para evitar bajas en la eficiencia en la producción de vapor.
2. Programar un nuevo cambio de aislamiento general cada 5 años para evitar pérdidas de energía.
3. Contar con personal capacitado para realizar las reparaciones en aislamiento y fugas imprevistas en el menor tiempo posible.
4. Informar periódicamente al personal a cerca de la importancia en el ahorro de vapor para limpieza.
5. Evitar dañar el aislamiento de las tuberías y calderas al momento de realizar mantenimientos.
6. Programar mantenimiento constante a las trampas de vapor para evitar su deterioro prematuro.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ingenio Pantaleon. *Historia, Misión, Visión, Valores*. [en línea].
<<https://www.pantaleon.com/#nuestra-historia>> [Consulta: agosto 2018].
2. Ingenio Pantaleon. *Reporte Desarrollo Responsable*. [en línea].
<<https://www.pantaleon.com/downloads/Reporte-de-Desarrollo-Responsable-Pantaleon-2015.pdf>> [Consulta: agosto 2018].
3. TLV. *Ecuación de Napier*. [en línea].
<<https://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/cost-of-steam-trap-losses.html>> [Consulta: agosto 2018].
4. Absor Sistem. *Calderas Acuatubulares, Piro tubulares*. [en línea].
<<https://www.absorsistem.com/tecnologia/calderas/pirotubulares>> [Consulta: agosto 2018].
5. TLV. *Trampas de Vapor*. [en línea]
<<https://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/what-is-a-steam-trap.html>> [Consulta: agosto 2018].

APÉNDICE

Apéndice 1. Tuberías de vapor sin aislamiento



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Tuberías de vapor sin aislamiento



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Tuberías de vapor sin aislamiento**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Tuberías de condensado sin aislamiento**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Tuberías de condensado sin aislamiento**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. **Calderas sin aislamiento**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. **Calderas sin aislamiento**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. **Calderas sin aislamiento**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9. **Conductor de caña del tándem A**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 10. **Inspección trampas de vapor**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 11. **Inspección trampas de vapor**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 12. **Inspección trampas de vapor**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 13. **Capacitaciones**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 14. **Capacitaciones**



Fuente: elaboración propia.

