



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

**ANÁLISIS PARA MEJORAS EN RED DE VAPOR Y RETORNO DE CONDENSADO PARA  
FORMULACIÓN DE FRIJOL EN UNA INDUSTRIA ALIMENTICIA**

**María Elena Morales Ixtacuy**

Asesorado por el Ing. Roberto Guzmán Ortiz

Guatemala, febrero de 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS PARA MEJORAS EN RED DE VAPOR Y RETORNO DE CONDENSADO PARA  
FORMULACIÓN DE FRIJOL EN UNA INDUSTRIA ALIMENTICIA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**María Elena Morales Ixtacuy**

ASESORADO POR EL ING. ROBERTO GUZMÁN ORTIZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA MECÁNICA**

GUATEMALA, FEBRERO DE 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
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. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Milton Alexander Fuentes Orozco
EXAMINADOR	Ing. Herbert Samuel Figueroa Avendaño
EXAMINADOR	Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí 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:

**ANÁLISIS PARA MEJORAS EN RED DE VAPOR Y RETORNO DE CONDENSADO PARA  
FORMULACIÓN DE FRIJOL EN UNA INDUSTRIA ALIMENTICIA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 11 de octubre de 2018.



**María Elena Morales Ixtacuy**

Guatemala, 11 de octubre de 2018

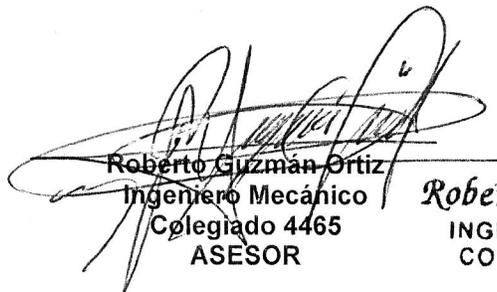
Ingeniero  
Julio Cesar Campos Paiz  
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Julio Cesar:

Por este medio hago constar que he revisado el protocolo del estudiante **MARÍA ELENA MORALES IXTACUY**, con registro académico **201313926** y CUI **2166 35144 0101**, comprometiéndome a asesorar el trabajo de graduación titulado: **“ANÁLISIS PARA MEJORAS EN RED DE VAPOR Y RETORNO DE CONDENSADO PARA FORMULACIÓN DE FRIJOL EN UNA INDUSTRIA ALIMENTICIA”**.

En base a lo anterior, lo someto a su consideración a efecto de continuar con el trámite respectivo para su aprobación, sin otro particular,

atentamente,



Roberto Guzmán Ortiz  
Ingeniero Mecánico  
Colegiado 4465  
ASESOR

*Roberto Guzmán Ortiz*  
INGENIERO MECANICO  
COLEGIADO No. 4465



**USAC**

TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.250.2019

El Coordinador del Área Térmica de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **ANÁLISIS PARA MEJORAS EN RED DE VAPOR Y RETORNO DE CONDENSADO PARA FORMULACIÓN DE FRIJOL EN UNA INDUSTRIA ALIMENTICIA** presentado por la estudiante **María Elena Morales Ixtacuy**, CUI **2166351440101** y Reg. Académico No. **201313926** recomienda su aprobación.

*"Id y Enseñad a Todos"*

Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza  
Coordinador Área Térmica  
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, octubre 2019



**USAC**

TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.058.2020

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Asesor y del Coordinador del Área Térmica, al trabajo de graduación titulado: **ANÁLISIS PARA MEJORAS EN RED DE VAPOR Y RETORNO DE CONDENSADO PARA FORMULACIÓN DE FRIJOL EN UNA INDUSTRIA ALIMENTICIA** presentado por la estudiante **María Elena Morales Ixtacuy**, CUI **2166351440101** y Reg. Académico No. **201313926** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

**"Id y Enseñad a Todos"**

Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, febrero de 2020

/aej

Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref.DTG.073.2020

La Decana 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, al trabajo de graduación titulado: **ANÁLISIS PARA MEJORAS EN RED DE VAPOR Y RETORNO DE CONDENSADO PARA FORMULACIÓN DE FRIJOL EN UNA INDUSTRIAL ALIMENTICIA**, presentado por la estudiante universitaria: **María Elena Morales Ixtacuy** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada  
Decana



Guatemala, febrero de 2020

/asga

## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Dios**

Por darme la bendición de cumplir esta meta, dándome sabiduría, entendimiento, guardándome y estar todo el tiempo a mi lado sosteniendo mi mano, aun cuando pensé no poder más.

### **Mis padres**

Lázaro Morales y Lucía de Morales por ser quienes me inspiraron a nunca darme por vencida, a que sí queremos algo, debemos trabajar ardua y honestamente en ello.

### **Mis hermanos**

Ana Lucía y Pablo David Morales, porque nunca dudaron en motivarme, ponerme a prueba, animarme, ayudar y estar siempre para mí.

### **Mis sobrinas**

Ana Sofía, Andrea Elizabeth, Emma Paola Zarceño; mis pequeños grandes motores que me llenan de alegría cada día, que me hacen mucho bien, y me inspiran a ser una mejor persona.

**Cuñado**

Sergio Zarceño, por estar al cuidado de mí, apoyándome y salvándome de aprietos, por ser un hermano mayor, por ser el papá que Dios permitió para mis sobrinas, el esposo de mi hermana y por el tiempo que en vida estuvo a nuestro lado.

**Abuela**

A mi mamita Santos, por ser una bendición, por preocuparse de mí, como regañarme por no dormir o comer bien, y estar para mí cuando pensé estar sola.

**Tíos**

A mis tíos maternos porque siempre creyeron en mí, gracias también por sus consejos.

**Amiga**

Dailyn Reyes, porque desde el inicio de la carrera universitaria fue la mejor compañera de estudio, la mejor amiga y ahora la mejor colega que Dios me pudo poner en el camino, haciendo que todo este proceso pudiese ser divertido y alegre.

**Amigos**

Viviana Flórian, Brandon Mérida, David Lemus, Medelin Gomez, Cesar Escobar y a todos aquellos que se volvieron parte de este proceso conforme el tiempo iba pasando, enseñándome nuevas cosas, apoyándome, haciéndome más bonita la vida.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Gracias amado Padre por permitirme concluir esta meta.
<b>Familia</b>	Porque siempre me apoyaron y estuvieron para mí a lo largo de la carrera.
<b>Ing. Guzmán Ortiz</b>	Por su apoyo como asesor del presente trabajo de graduación.
<b>Amigos en general</b>	Gracias a todas esas personas que conocí en este proceso; por ser un gran equipo, apoyo y soporte.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	III
LISTA DE SÍMBOLOS .....	V
GLOSARIO .....	VII
RESUMEN .....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN .....	XV
1. VAPOR DE AGUA.....	1
1.1. Tipos de vapor .....	1
1.1.1. Saturado .....	2
1.1.2. Vapor sobrecalentado.....	2
1.2. Generación de vapor en la industria .....	3
1.2.1. Uso de vapor en la industria .....	3
1.2.2. Conservación de la energía del vapor .....	6
1.3. Importancia de la recuperación del condensado .....	7
2. SISTEMA DE VAPOR Y CONDENSADO DE AGUA .....	11
2.1. Red de distribución de vapor .....	11
2.1.1. Tuberías .....	12
2.1.2. Válvulas de on/off .....	13
2.1.3. Válvulas reguladoras .....	13
2.1.4. Válvulas moduladoras .....	14
2.1.5. Medidores de presión y temperatura .....	15
2.1.6. Aislamiento de tuberías .....	16
2.1.7. Juntas de dilatación .....	17

2.1.8.	Patines .....	17
2.2.	Red de distribución de retorno de condensado .....	17
2.2.1.	Trampas de vapor .....	19
2.2.2.	Bombas de condensado.....	19
2.2.3.	Trampa bomba de vapor .....	20
2.2.4.	Válvulas on/off.....	21
2.2.5.	Tanque de condensado.....	21
2.2.6.	Deareador .....	21
2.3.	Equipos que funcionan con vapor en formulación de frijol .....	22
2.4.	Diagnóstico del equipo .....	24
3.	MEJORAS DEL SISTEMA DE VAPOR Y CONDENSADO DE AGUA ...	29
3.1.	Implementación de filtros .....	29
3.2.	Sustitución de válvulas de entradas y escape.....	30
3.3.	Evaluación de altura de tanque .....	30
4.	RENTABILIDAD DE LAS MEJORAS PROPUESTAS.....	31
4.1.	Alcances de las mejoras propuestas.....	31
4.2.	Estimaciones de esfuerzos y costos .....	36
4.3.	Estimación de beneficios.....	49
4.4.	Cálculo de ROI .....	57
	CONCLUSIONES.....	59
	RECOMENDACIONES .....	63
	BIBLIOGRAFÍA.....	65
	APÉNDICES.....	67
	ANEXOS.....	77

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Esquemático de red de distribución de vapor .....	12
2.	Válvula on/off .....	13
3.	Válvula reguladora .....	14
4.	Válvula moduladora.....	15
5.	Manómetro Bourdon.....	16
6.	Esquemático de red de recuperación de condensado .....	18
7.	Trampa de flotador libre .....	19
8.	Bomba mecánica de condensado .....	20
9.	Almix.....	23
10.	Equipo de diagnóstico de trampas de vapor .....	25
11.	Bomba de condensado defectuosa B4 .....	27
12.	Filtro tipo Y .....	29
13.	Instalación de interruptor de presión (flecha) y contador electrónico (círculo) en bomba de condensado de Almix .....	36
14.	Balance de masa de vapor por sistemas energéticos (%) .....	41
15.	Red de distribución de vapor en planta .....	57
16.	Diagrama de procesos de Almix, cocedores o marmitas .....	67
17.	Análisis técnico y financiero de oportunidades de ahorro .....	68
18.	Tramos de tubería de condensado sin aislamiento .....	72
19.	Tramo de tubería de vapor sin aislamiento térmico .....	74
20.	Memoria de cálculo .....	75
21.	Equipo de diagnóstico de trampas de vapor .....	77
22.	Identificación de tuberías .....	79

## TABLAS

I.	Calderas de vapor.....	11
II.	Resultados de prueba de ultrasonido .....	26
III.	Validación del medidor de flujo vapor de caldera No. 3 para el periodo entre las 17:12 del 13 a las 13:17 .....	34
IV.	Generación de vapor registrados por el medidor de vapor instalado en la salida de la caldera No. 3 durante el periodo de cierre del balance .....	42
V.	Balance de energía térmica por tipo de producto alimenticio de frijol ...	42
VI.	Otros consumos generales .....	43
VII.	Resumen de indicadores energéticos por tipo de producto y presentación de kg de vapor por cajas físicas de producto .....	45
VIII.	Indicadores de consumo de vapor por caja física de frijol producido (kg v/ cf) en empaques tipo Doypack y Chub (A) .....	47
IX.	Indicadores de consumo de vapor por caja física de frijol producido (kg v/cf) en empaques tipo Doypack y Chub (B).....	48
X.	Indicadores de consumo de vapor por caja física de frijol producido (kg v/cf) en empaques tipo hojalata .....	49
XI.	Tramos de tubería de condensado sin aislamiento.....	52
XII.	Estimación de ahorro al aislar tuberías de condensado .....	53
XIII.	Tramo de tubería de vapor sin aislamiento .....	54
XIV.	Estimación de ahorro al aislar tuberías de vapor .....	55
XV.	Presión manométrica en cada punto de consumo .....	56

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>Ø</b>	Diámetro
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono
<b>gal</b>	Galón
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>°F</b>	Grados Fahrenheit
<b>h</b>	Hora
<b>Kg</b>	Kilogramo
<b>Kgp</b>	Kilogramo de producto
<b>Kgv</b>	Kilogramo de vapor
<b>Lb</b>	Libra masa
<b>Q<sub>ca</sub></b>	Magnitud de calor btu/h
<b>oz</b>	Onzas
<b>'</b>	Pies
<b>”</b>	Pulgadas
<b>s</b>	Segundo



## GLOSARIO

<b>Agua de alimentación</b>	Es aquella agua de cualquier procedencia que puede utilizarse con ventaja y seguridad para alimentar calderas.
<b>Autoclave</b>	Es un recipiente metálico de paredes gruesas con cierre hermético que permite trabajar con vapor de agua a alta presión y alta temperatura; con el fin de eliminar de forma confiable los microorganismos.
<b>Batch</b>	Sistema por lotes.
<b>BHP</b>	Caballo de potencia de caldera.
<b>BTU</b>	Unidad térmica británica.
<b>Caldera</b>	Recipiente metálico empleado para calentar agua o generar vapor a una presión superior a la atmosférica mediante un proceso de transferencia térmica. Se puede clasificar según la disposición de los fluidos en calderas de tubos de aguas o acuotubulares y calderas de tubos de humo o pirotubulares.
<b>Cp</b>	Calor específico.
<b><math>\Delta T</math></b>	Cambio de temperatura.

<b>Cédula de tubería</b>	Se representa con un número que define el diámetro interno, dimensiones y tolerancia de una tubería.
<b>Cf</b>	Cajas físicas de producto.
<b>Chub</b>	Presentación de frijoles con empaque flexible de forma cilíndrica y apariencia de una salchicha, sellada en ambos extremos por clips de metal.
<b>CIP</b>	Sistema de limpieza CIP ( <i>cleaning in place</i> ) en español, limpieza en el sitio. Un método perfeccionado y automático de limpieza dirigido a eliminar la suciedad del equipamiento de una planta y las conducciones sin necesidad de desmontar el equipo.
<b>Conducción</b>	Es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas. Puede tener lugar en los sólidos, líquidos o gases.
<b>Convección</b>	Es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacentes que están en movimiento y comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento de fluidos.
<b>Coque</b>	Combustible sólido, ligero y poroso que resulta de calcinar ciertas clases de carbón mineral.

<b>Deareador</b>	Es un equipo que elimina el oxígeno y otros gases contenidos en el agua de alimentación de modo que se evite la corrosión de elementos y tramos que componen el circuito agua-vapor de la planta.
<b>Gas licuado del petróleo (GLP)</b>	Es un combustible fósil que se obtienen en el primer paso del proceso de refino del petróleo o también pueden encontrarse formando parte del gas natural (derivado del petróleo).
<b>Huella de carbono</b>	Es un recuento de las emisiones de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ), que son liberadas a la atmósfera debido a nuestras actividades cotidianas o a la comercialización de un producto.
<b>Manifold</b>	Sistema de tubería que puede recibir vapor de una o varias calderas al mismo tiempo para distribuirlo a toda la planta por las tuberías principales.
<b>Marmitas</b>	Son ollas a vapor que trabajan a escala industrial para la cocción de alimentos.
<b>PRS</b>	Periodo neto simple de recuperación.
<b>Psi</b>	Libra fuerza por pulgada cuadrada.
<b>VPN</b>	Valor presente neto.



## RESUMEN

En el presente trabajo se analizó la red de vapor análogamente a la red de recuperación de condensado para poder identificar las debilidades que estos sistemas poseen y con ello cuantificar las pérdidas generadas debido a los problemas encontrados; todo esto con el fin de proponer soluciones que mitiguen las pérdidas y crear sistemas eficientes en el trasiego de vapor como condensado.

Después de identificar cada una de las debilidades en ambos sistemas, se determinó el mal mantenimiento en ciertos puntos, equipos fuera de servicio que afectan el rendimiento de la red, o bien accesorios que debían ser cambiados, y por medio de un balance de masa se dedujo en cuál de estos puntos se perdía calor de manera considerable. La información obtenida por cada uno de los análisis se utilizó para proponer mejoras al diseño y operación de equipos.

Para realizar de manera eficiente el estudio de balance de masa se monitorearon los puntos de carga y descarga por medio de varios métodos, para cada uno de los productos que se manufacturan en la industria, por un periodo relativo de tres días.

Se calculó la rentabilidad del proyecto sobre las mejoras propuestas, así como el cálculo de los costos de instalación. Dicho proyecto reducirá las pérdidas de calor, condensado, mejor aprovechamiento de los recursos y menores emisiones de CO<sub>2</sub>.



# OBJETIVOS

## General

Analizar las posibles mejoras en red de vapor y retorno de condensado para formulación de frijol en una industria alimenticia.

## Específicos

1. Evaluar el estado de los equipos, instrumentos, accesorios y tuberías que forman parte de la red de distribución de vapor y condensado.
2. Calcular el porcentaje de recuperación actual y pérdidas de condensado de vapor mediante un balance de masa en el sistema de vapor.
3. Proponer las mejoras para la instalación mecánica de la red de vapor y recuperación de condensado en base a las deficiencias encontradas en él.
4. Realizar un análisis de retorno de inversión en la ejecución de un proyecto de mejoras en el sistema de retornos de condensados.



## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se basa en la correcta recuperación del condensado en una red de distribución de vapor en el área de formulación de frijol. Se evaluará el equipo actual de la tubería de distribución, para hacer propuestas y mejoras, que hagan el proceso de recuperación eficiente y rentable.

El vapor es uno de los medios más comunes para transportar y aportar energía a los procesos de producción en la industria. La caldera es el equipo donde se genera el vapor. Este es generado cuando se quema un combustible convirtiendo la energía química del combustible en energía térmica que se cede al agua en forma de calor, haciendo cambiarla de fase y creando así el vapor.

Cuando el vapor empieza su trayecto en las diferentes líneas de distribución para los procesos de producción, pierde calor debido a que la superficie de las tuberías permanece a una temperatura menor a la que este se encuentra, esta diferencia de temperatura provoca la condensación de vapor.

El condensado, debido a su calor sensible, mantiene la temperatura del vapor y esto lo vuelve un valioso recurso porque contiene aproximadamente el 25 % de la energía útil que tiene el vapor al principio; sin olvidar que es agua caliente tratada y limpia. Estas características del condensado lo hacen un recurso de interés, ya que su recuperación refleja un considerable ahorro de combustible, tratamiento químico del agua y agua.



# 1. VAPOR DE AGUA

El agua es una sustancia pura que existe en fases diferentes, las principales son sólida, líquida y gaseosa.

En la fase gaseosa, las moléculas están bastante apartadas, no hay un orden molecular, se mueven al azar con colisiones continuas entre sí y contra las paredes del recipiente que las contiene. A esto se definirá como gas.

Las palabras vapor y gas, comúnmente las empleamos para referirnos a lo mismo; pero en realidad, un gas es un vapor altamente sobrecalentado, muy lejos de su temperatura de saturación, como el aire. Un vapor está en sus condiciones de saturación o no muy lejos de ellas, como el vapor de agua. Así pues, el vapor de agua o humedad en un espacio, puede estar en una condición de saturación o ligeramente arriba de ella. Si se enfría unos cuantos grados, se condense, y si se le aplica calor, se sobrecalienta.

## 1.1. Tipos de vapor

Las propiedades del vapor cambian de forma dependiendo de la presión y temperatura a la cual sea sujeto. A continuación, se describen los tipos de vapor y sus aplicaciones.

### **1.1.1. Saturado**

Comparado con el sistema de calentamiento con agua caliente, este ofrece rapidez, incluso en calentamiento, para alcanzar rápidamente la temperatura establecida sin uniformidades en la temperatura.

El vapor saturado es vapor a la temperatura de ebullición del líquido. Es el vapor que se desprende cuando el líquido hierve. Se obtiene en calderas de vapor.

Usos de vapor saturado:

- Procesos industriales
- Procesos físicos
- Procesos químicos
- Procesos de esterilización hospitalaria
- Procesos de presión atmosférica en la hidrodestilación
- Procesos de limpieza
- Procesos de pasteurización de alimentos y bebidas
- Procesos de calefacción central urbana

### **1.1.2. Vapor sobrecalentado**

El vapor sobrecalentado es vapor de agua a una temperatura mayor que la del punto de ebullición. Se obtiene cuando se le agrega más energía en forma de calor al vapor saturado en generadores de vapor que tienen secciones de recalentamiento, haciendo pasar el vapor que se obtiene en la ebullición por tubos expuestos a los gases calientes del proceso de combustión.

## Usos de vapor sobrecalentado

- Funcionamiento de máquinas de pistones y turbinas
- Funcionamiento de locomotoras de vapor
- Accionamiento de barcos
- Procesos de destilación
- Procesos de obtención del coque
- Procesos industriales de secado de madera

### **1.2. Generación de vapor en la industria**

El vapor es el medio más común y más eficiente para el transporte de calor en la mayoría de procesos industriales. Es generado en calderas donde se evapora el agua a partir de un calentamiento producido por la quema de un combustible, a través de un proceso de combustión.

Las calderas generan y entregan vapor en cantidad, calidad y oportunidad requerida por el usuario final, en forma continua con operación económica como segura. Estos equipos evaporan el agua a partir de un calentamiento producido por la quema de un combustible, a través de un proceso de combustión. Hay dos tipos de calderas de vapor que normalmente suelen utilizarse; caldera de tubos de humo o pirotubulares y calderas de tubos de agua o acuotubulares.

#### **1.2.1. Uso de vapor en la industria**

El uso de vapor en la industria se debe a sus propiedades:

- Es limpio, a diferencia de los combustibles fósiles.
- Es relativamente fácil de transportar.

- Posee un alto contenido calórico y lo entrega muy rápidamente a medida que lo requiere.
- El mantenimiento en planta es más sencillo y de menor costo comparado con otros fluidos.
- Es controlable, a cada presión le corresponde una temperatura, una energía específica y un volumen; esto es muy apreciado para los cálculos de transferencia de calor en equipos y procesos industriales.

La clasificación de vapor comúnmente usada en la industria es: vapor industrial, vapor filtrado, vapor limpio y vapor puro. Estos se clasifican por su pureza.

- Vapor industrial

El vapor industrial es el punto de partida de todos los grados de vapor usados en el procesamiento de comida y bebidas. El vapor industrial es indudablemente apto para todas aplicaciones donde no haya un contacto directo con el proceso o producto alimenticio/bebida, por ejemplo, cuando se usa en intercambiadores de calor, calderetas o para generar agua caliente y otros. Cuando se usa en contacto directo con el proceso, se debe tomar en consideración que la calidad del vapor siempre debe ser alta.

- Vapor filtrado

El término 'vapor filtrado', a menudo se le conoce como vapor 'culinario', es vapor industrial que ha pasado un filtro de acero inoxidable fino, generalmente de 5 micras. Un elemento filtrante de 5 micras retiene el 95 % de todas las partículas mayores a 2 micras y está reconocido en los Estados Unidos como

aceptable para el vapor culinario. Si se usa un filtro de 5 micras, se deberá instalar un filtro (normalmente de 100 mesh) aguas arriba del filtro de vapor culinario, para impedir que se obturen (obstrucción de los poros) demasiado rápidamente.

- Vapor limpio

El vapor limpio es un medio para superar los riesgos potenciales de contaminación de los vapores mencionados anteriormente. Para crear vapor limpio, se usa un generador secundario con una cualidad de agua de alimentación controlada para asegurar que se mantienen los niveles adecuados de calidad y pureza del vapor. El diseño de la red de distribución de vapor, la selección de los materiales y las buenas prácticas de instalación son todos factores críticos para minimizar la degradación del vapor, asegurando una pureza y calidad aceptable en el punto de uso.

- Vapor puro

El vapor puro está generalmente restringido al sector farmacéutico. Como con el vapor limpio, el puro vapor se produce dentro de un generador especial, pero diseñado, construido y operado conforme a las buenas prácticas farmacéuticas (GMP por sus siglas en inglés) y normativas relacionadas.

La pureza del vapor producido es tal que su condensado se ajusta a las especificaciones oficiales que gobiernan el agua para inyectables. En otras palabras, es lo suficientemente puro que se puede inyectar en el cuerpo humano sin que produzca ningún efecto adverso.

### **1.2.2. Conservación de la energía del vapor**

En realidad, lo que se entiende por conservación de energía es la conservación de la calidad de la energía, no la cantidad. Por ello es importante tomar en cuenta los siguientes aspectos para conseguir esto.

- Evaluar posibilidades de reducir la longitud de las tuberías de vapor mediante una redistribución adecuada de los equipos, para reducir las pérdidas por convección, conducción, fricción, radiación.
- En líneas de vapor subterráneas evitar el paso por sectores sujetos a inundación.
- Dar mantenimiento continuo al aislante térmico de tuberías de vapor y equipo.
- Considerar el aislamiento de paredes y techo de cualquier tanque caliente.
- Realizar inspecciones y mantenimiento a las tuberías de vapor y condensado y sus accesorios.
- Realizar un mantenimiento continuo de trampas de vapor removiendo o sellando trampas de vapor innecesarias y definir un programa de reemplazo.
- Desconectar tuberías que no estén en uso.
- Reparar fugas de vapor.

- Revisar el nivel de presión del vapor utilizado para calentamiento.
- En el distribuidor principal de vapor cerrar o sellar aquellas líneas de vapor en las que las unidades de proceso estén fuera de servicio.
- Revisar y verificar los requerimientos de vapor en el proceso, para considerar su posible reducción.
- Evaluar los costos de un sistema de retorno de condensados, considerando los ahorros en combustibles y los costos de tratamiento de agua.
- Evaluar la posibilidad de instalar precalentadores de aire para aprovechar parte del calor de los gases de chimenea de las calderas.
- Evaluar la temperatura de tanques calentados con vapor, manteniéndolos al mínimo necesario a fin de reducir el consumo de vapor.
- Dar a conocer a los operarios el costo del vapor, con el objeto de que visualicen la operación o los cambios realizados en ella.

### **1.3. Importancia de la recuperación del condensado**

La recuperación del condensado es un proceso que reutiliza el agua y el calor sensible contenidos en el condensado descargado. Por eso la importancia de su recuperación, ya que aprovechar tales cualidades pueden significar ahorros de energía, tratamiento químico, agua y reducir la huella de carbono de la planta.

Este puede ser reutilizado como agua de alimentación cuando retorna al deareador de la caldera, como precalentamiento, en algún sistema de calentamiento compatible, como vapor, si se reutiliza el vapor flash y para limpieza de equipos u otras aplicaciones.

- Reduce el consumo de combustible

El condensado contiene una cantidad valiosa de calor sensible, que puede ser entre el 10 % y el 25 % de la energía inicial que contiene el vapor. Alimentar la caldera con condensado de alta temperatura puede maximizar la generación de la caldera porque se requiere menor energía para convertir el agua en vapor. Cuando es eficientemente recuperado y usado, incluso puede reducirse el consumo de combustible entre el 10 % y el 20 %.

- Disminuye los gastos del agua

El condensado puede ser utilizado como agua de alimentación de la caldera, reduciéndose los costos de agua fresca y tratamiento, así como los costos de agua de enfriamiento usada para bajarle la temperatura al condensado antes de enviarlo al drenaje (si fuera el caso).

- Reduce huella de carbono

Reducir la cantidad de combustible necesario gracias a la recuperación de condensado equivale a menor contaminación del aire porque se reducen las emisiones de CO<sub>2</sub>.

- Otros aspectos

La corrosión en el sistema de vapor es menor ya que la calidad del agua es constante, reduce las nubes y ruido generado por la descarga del condensado a la atmósfera, también previenen la formación de charcos de condensado en el piso generados por la descarga de este en alguno de los equipos, mejorando el ambiente de trabajo de la planta.



## 2. SISTEMA DE VAPOR Y CONDENSADO DE AGUA

### 2.1. Red de distribución de vapor

Es el sistema de tuberías que conecta a la caldera con los equipos que utilizan vapor en las plantas industriales. En este apartado se realiza una descripción general de todo el sistema de vapor de la planta, tanto del proceso de generación como de distribución.

Actualmente, la planta trabaja con tres calderas generadoras de vapor, pirotubulares y de espalda seca. Las características principales se muestran en la siguiente tabla comparativa.

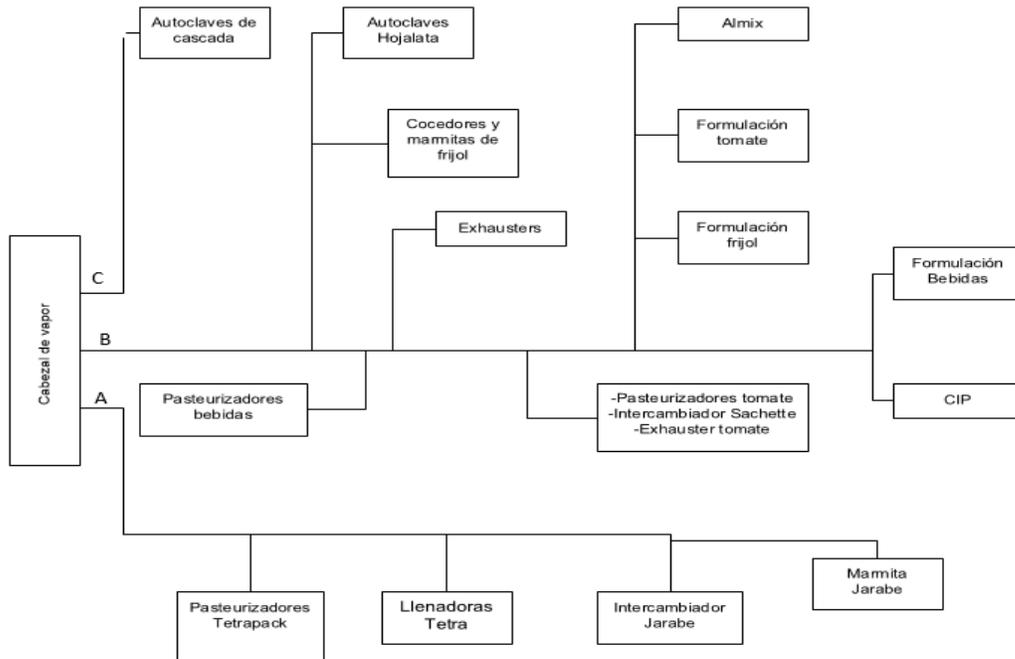
Tabla I. **Calderas de vapor**

<b>No. Caldera</b>	<b>Marca</b>	<b>Capacidad (BHP)</b>	<b>No. de pasos</b>	<b>Combustible</b>
1	York Shipley	600	3	Búnker
2	York Shipley	800	3	GLP
3	Cleaver Brooks	600	4	GLP

Fuente: elaboración propia.

En la figura 1 se muestra un esquemático de la distribución de tuberías de alimentación de vapor para los distintos equipos y procesos que se mantuvieron en uso durante el periodo en que se realizó el trabajo de campo.

Figura 1. Esquemático de red de distribución de vapor



Fuente: elaboración propia.

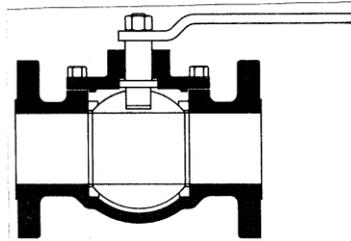
### 2.1.1. Tuberías

La tubería principal de vapor que alimenta el área de formulación de frijoles posee una longitud 627,70 con un ángulo de caída de 3°; es de tubo redondo, hierro negro de cédula 40 sin costura y Ø6". Los ramales que alimentan a los cinco tanques tienen la misma característica, pero con un Ø2" y una longitud de 257,90' un ángulo de caída de 1°.

### 2.1.2. Válvulas de on/off

En las conexiones de los ramales a los tanques de formulación se utilizan válvulas on/off (de bola) de bronce y Ø2", estas pueden reducir la pérdida de energía, el tiempo de parada y los riesgos de seguridad asociados a las fugas en las válvulas de los sistemas de vapor.

Figura 2. Válvula on/off



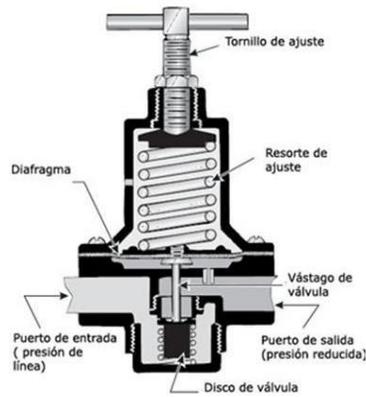
Fuente: Holzbock, Werner. *Instrumentación para medición y control*, CECSA.

### 2.1.3. Válvulas reguladoras

La válvula reguladora y reductora presión es un dispositivo automático, actuado mediante los cambios de presión de flujo descendente. Cualquier incremento en la presión de flujo descendente que esté arriba del punto al que se ha ajustado la válvula debido a la disminución de demanda del fluido, forzará al diafragma hacia arriba y vencerá la resistencia del resorte, permitiendo, entonces, el cierre de la válvula.

Cualquier disminución en la presión del flujo descendente causada por un incremento en la demanda del fluido, permitirá al resorte abrir la válvula. En las conexiones se utilizan válvulas de reguladoras de acero al carbón, de Ø2".

Figura 3. **Válvula reguladora**

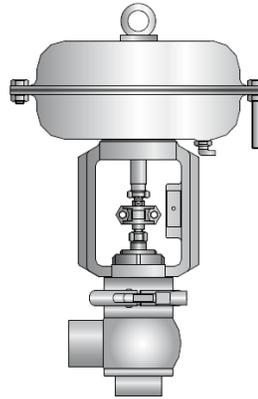


Fuente: Automatización industrial. <http://industrial-automatica.blogspot.com>.

#### 2.1.4. **Válvulas moduladoras**

Estas válvulas son las encargadas de regular el caudal y mantener constante un nivel, una presión o una temperatura. Las válvulas son los principales elementos finales de control. En este caso, el fluido de control es el vapor y la variable medida como controlada es la presión. Se utilizan válvulas moduladoras neumáticas con cuerpo de bronce y Ø2".

Figura 4. **Válvula moduladora**



Fuente: Bardiani. [www.bardiani.com](http://www.bardiani.com).

### **2.1.5. Medidores de presión y temperatura**

La medición es un proceso en el cual se compara un patrón o un elemento estandarizado con otro, objeto, para así asignarle un valor numérico. Entonces, un proceso de medición tiene como fin distinguir objetos, fenómenos entre otros casos para luego poder clasificarlos.

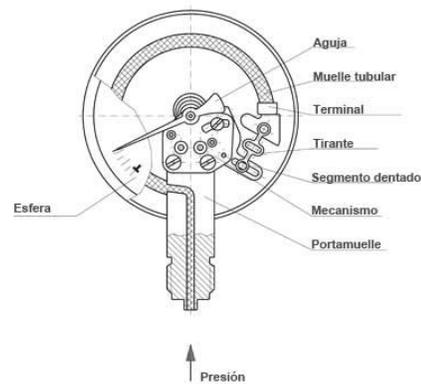
Un instrumento de medición es un aparato que se usa para medir las magnitudes físicas de distintos fenómenos.

- Manómetros

Se utilizan manómetros Bourdon después de la válvula reguladora en cada una de las líneas conectadas a los cinco tanques de formulación, de acero inoxidable, carátula de 3" y escala de 0 – 160 PSI. Estos manómetros son instrumentos de medición que se usan para medir la presión en determinados lugares. Miden la presión manométrica, que se define como la presión total que

tiene el gas menos la presión atmosférica, por tanto, desprecia la presión atmosférica.

Figura 5. **Manómetro Bourdon**



Fuente: Blog Instrumentación. [www.bloginstrumentacion.com](http://www.bloginstrumentacion.com).

- **Termómetros**

El termómetro bimetálico es un instrumento utilizado para medir temperatura mediante la contracción y expansión de dos distintas aleaciones metálicas de alto y bajo coeficiente de dilatación. En formulación de frijol se trabaja con termómetros bimetálicos tipo reloj, con un rango de 0 – 572 °F. Estos se encuentran en cada uno de los ramales conectados a los tanques.

### **2.1.6. Aislamiento de tuberías**

Aislamiento térmico es la capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor por conducción. La tubería principal solo tiene 10' de aislamiento, con 1,5" de espesor de lana mineral con cobertor de aluminio para tuberías de vapor.

### **2.1.7. Juntas de dilatación**

Se usa juntas metálicas cada 164,042'. Las juntas de expansión metálicas son necesarias en procesos donde se utilicen altas temperaturas ya que absorben la contracción y movimiento de la tubería, propiciando así una mayor duración como desempeño de toda la línea de proceso, además de reducir el ruido y aumentar el nivel de eficacia de la transmisión del fluido.

### **2.1.8. Patines**

Patines con abrazaderas de acero inoxidable son los soportes de las tuberías, estos se encuentran 19,685' después de cada curva y cerca de las cargas concentradas como válvulas, bridas y otros.

## **2.2. Red de distribución de retorno de condensado**

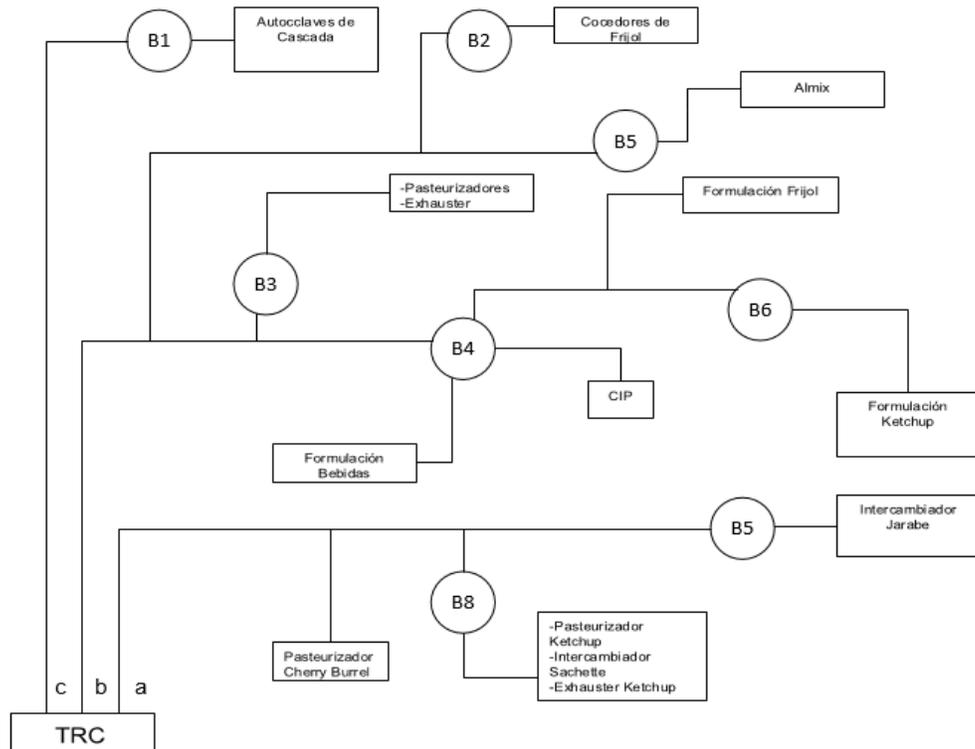
A continuación, se hará una descripción del sistema de condensados, tanto en el proceso de captación y bombeo como de trasiego hasta el cuarto de calderas.

En la siguiente figura se muestra un esquemático de la distribución de tuberías de recuperación y bombas de condensado para los distintos equipos y procesos que se mantuvieron en uso durante el periodo en que se realizó el trabajo.

En este caso, se representa con los círculos y letras "B", y su respectivo consecutivo, las bombas de condensado actualmente instaladas en la planta; dichos equipos utilizan vapor de la red para impulsar el condensado desde el

punto de consumo hasta el tanque de retorno de condensados (TRC) ubicado en el cuarto de calderas.

Figura 6. **Esquemático de red de recuperación de condensado**

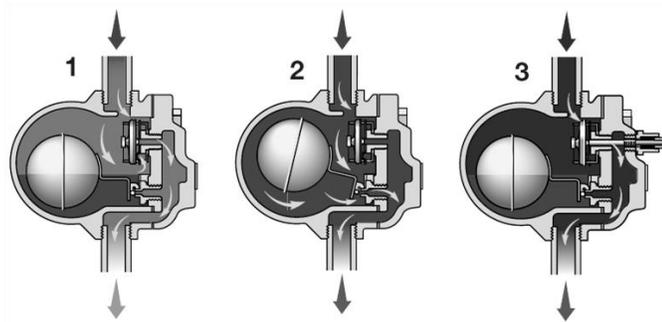


Fuente: elaboración propia.

### 2.2.1. Trampas de vapor

Una trampa para vapor es un dispositivo que permite eliminar condensado, aire y otros gases no condensables, además de prevenir pérdidas de vapor. En formulación de frijol se usan trampas de flotador libre, acero al carbono y Ø1 1/2". Estas son trampas del tipo mecánico que trabajan con la diferencia de densidad entre el vapor y el condensado. Estas trampas trabajan mediante un flotador, el cual hace de válvula, en la que, cuando se acumula condensado se abre descargándolo. Cuando está cerrada, comienza nuevamente el ciclo llenándose de condensado.

Figura 7. Trampa de flotador libre



Fuente: Spirax Sarco. <http://www.spiraxsarco.com>.

### 2.2.2. Bombas de condensado

El sistema de condensado de formulación trabaja con bombas mecánicas pero debido a un mal mantenimiento estas están deshabilitadas. Las bombas mecánicas están formadas por un cuerpo, en donde el condensado cae por gravedad, y un flotador con mecanismo automático, acciona un juego de válvulas. Las válvulas permiten que el vapor entre y salga alternativamente de forma

cíclica. Cuando el vapor presuriza el cuerpo, el condensado es forzado a salir por la válvula de retención a la línea de retorno. El mecanismo, entonces, invierte las válvulas, dejando salir el vapor o el aire, para que entre más condensado.

Figura 8. **Bomba mecánica de condensado**



Fuente: Comeval. <http://www.comeval.es>.

### **2.2.3. Trampa bomba de vapor**

Con una combinación de bomba-trampa se drena condensado en una sola pieza de los equipos de transferencia de calor, cuyo flujo de vapor se controla con una válvula tipo modulante. Cuando una válvula modulante controla el flujo de vapor para un intercambiador de calor, una pérdida de velocidad se puede desarrollar.

La pérdida de velocidad se produce cuando se cierra la válvula reguladora de presión para vapor y aguas abajo de la válvula no es capaz de empujar el condensado en la línea de retorno y se acumula en el intercambiador de calor. Una bomba-trampa puede eliminar este problema. En formulación de frijol se utilizan bombas con trampa externa, con cuerpo de acero al carbón.

#### **2.2.4. Válvulas on/off**

Las válvulas de purga que se utilizan en las líneas de condensado son válvulas on/off de acero al carbono y Ø1 1/2 ", que permiten el drenaje del condensado cuando se encuentran detenidos. Ayudan en la prevención y eliminación de golpes de ariete cuando los equipos de vapor son nuevamente puestos a trabajar generando grandes cantidades de condensado y arrastre de aire.

#### **2.2.5. Tanque de condensado**

Este tanque recupera el condensado de vapor en forma de agua, para su reutilización, ya sea como reserva mínima para alimentar la caldera o su uso en algún proceso industrial. El de formulación es un tanque de acero al carbono marca Cleaver Brooks, unidad estándar conectada de fábrica para operación 1/60/115/230v, de 500 galones de capacidad.

#### **2.2.6. Deareador**

La eliminación de aire o desaireación tiene como objetivo la eliminación del aire previo al proceso de tratamiento térmico para evitar reacciones de oxidación, que ocurren de manera más acentuada con el aumento de la temperatura. La eliminación del aire también mejora la transmisión de calor.

El deareador es un equipo que elimina el oxígeno y otros gases contenidos en el agua de alimentación de modo que se evite la corrosión de elementos y tramos que componen el circuito agua-vapor de la planta.

En planta se tiene un deareador presurizado principal en el cuarto de calderas, a este tanque ingresa agua de alimentación, agua de condensado recuperado y está conectada a una de las cuatro líneas independiente que salen del manifold de distribución principal.

### **2.3. Equipos que funcionan con vapor en formulación de frijol**

- Serpentes

El serpentín es un tanque de acero inoxidable que trabaja con vapor para mantener el frijol a una temperatura de 194°F. En este tanque se hace la formulación del frijol para luego ser enviado a las maquinas empacadoras de las diferentes presentaciones que se trabajan en esta industria. Formulación de frijol cuenta con cinco tanques serpentes activos.

- Almix

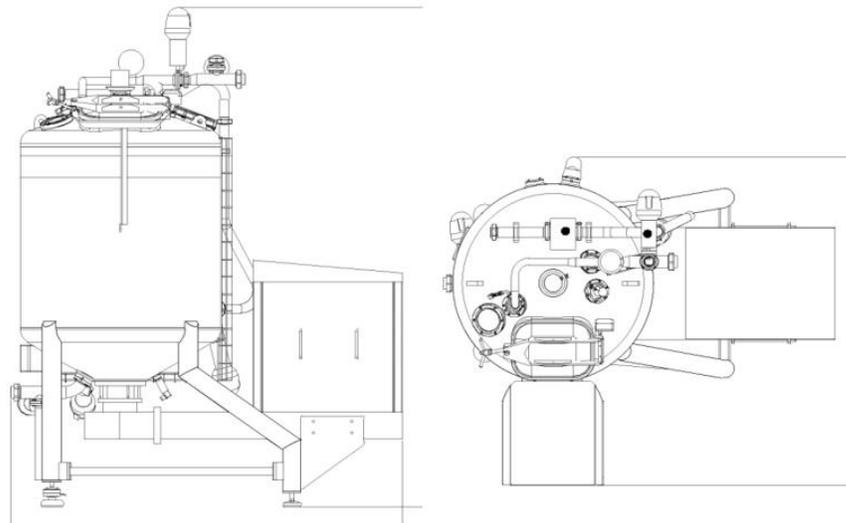
Es un tanque mezclador Tetra Pak, trabaja con vapor directo y agua a altas temperaturas. Las principales características:

- Agitador/rascador: es uno de sus principales accesorios mecánicos que agita el producto, permitiendo una suave mezcla de partículas y facilitando la incorporación adecuada de los ingredientes.
- Tanque de mezcla: el proceso de funcionamiento de este equipo consiste en la aplicación del vacío en el tanque de mezcla que reduce la incorporación de aire al dosificador de polvos. Esto asegura la humectación óptima del polvo, mejora la mezcla y proporciona una calidad de producto superior. El recipiente mezclador está equipado con una camisa de

aislamiento contra el calentamiento indirecto y enfriamiento; el producto puede ser calentado por vapor directo. Cuenta con un elevador en la tapa que ofrece un fácil acceso para añadir ingredientes.

- Bomba de vacío: es el dispositivo que se encarga de extraer moléculas de aire, formando un vacío parcial, también puede llegar a extraer sustancias no deseadas en el producto o proceso.
- Control PLC: ofrece memoria, velocidad y capacidades de procesamiento para aplicaciones de procesos.

Figura 9. **Almix**



Fuente: Tetrapak. [www.tetrapak.com](http://www.tetrapak.com).

## **2.4. Diagnóstico del equipo**

En este apartado se hará una descripción sobre el estado general del sistema de distribución de vapor que alimenta la formulación de frijol y del sistema de recuperación de condensado. Se hará con el fin de identificar las causas de pérdidas de energía a lo largo de la red de vapor que aumenta la tasa de generación de condensado y reduce la capacidad real del vapor aprovechable.

Respecto de la red de trasiego, se identifica un buen diseño general, con la correcta instalación de las válvulas y reducciones de diámetro, así como el adecuado uso de juntas de expansión y trampas de condensado “en línea”, encargadas de eliminar la presencia de condensado a lo largo de las tuberías principales de distribución de vapor. Solo se identificó la falta de filtros en ciertos puntos.

El inventario total de metros de tubería de la red de trasiego de vapor. que fue encontrada sin el debido aislamiento térmico, supera los 26,24 pies lineales; estos tramos sin protección térmica se encuentran principalmente en ramificaciones secundarias, normalmente líneas de alimentación exclusiva a puntos de consumo particulares.

Como fue mencionado anteriormente, el sistema de captación de condensado cuenta con una serie de bombas mecánicas encargadas de llevar el agua resultante del proceso hasta el TRC en el cuarto de calderas. Este tanque se encuentra conectado a otros dos tanques, el tanque de agua de reposición (TAR) y el tanque deareador (TD).

- Trampeo

Se realiza el diagnóstico de las principales trampas de vapor instaladas a lo largo de la red de distribución. Para esto se utiliza un dispositivo de medición que utiliza un sistema de ultrasonido que detecta las vibraciones provocadas por el paso constante del líquido a través de la estructura metálica; dependiendo de la intensidad de estas vibraciones, así como de la temperatura de la superficie y la presión de línea, el equipo es capaz de realizar un diagnóstico preliminar sobre las condiciones de operación de las trampas de vapor.

El equipo de diagnóstico utilizado es de la marca TLV, empresa de origen japonés y fabricante de trampas. La hoja completa de especificaciones del equipo utilizado se adjunta en anexos del presente trabajo, lleva por nombre: equipo de diagnóstico de trampas de vapor.

Figura 10. **Equipo de diagnóstico de trampas de vapor**



Fuente: *CIRE Consultores en energía de los recursos energéticos, S.A.*

En la siguiente tabla se muestran los dispositivos que fueron probados y sus resultados.

Tabla II. **Resultados de prueba de ultrasonido**

Ubicación	Resultados según equipo de medición
Salida de serpentín 1 y 2 (Doypack)	Good (BIEN)
Salida de serpentín 5 (Chub)	Good (BIEN)

Fuente: elaboración propia

Con el funcionamiento de las bombas mecánicas de condensado actualmente instaladas se encontró que la B4 estaba fría, ya que no está realizando los ciclos de bombeo a partir de la entrada de vapor. Este equipo representa un punto de afluencia de los condensados provenientes de varios puntos de consumo, como es el caso del CIP, formulación de bebidas y formulación de frijol.

Debido a que el equipo no se encuentra bombeando, el agua llega hasta el TRC solamente mediante el impulso de la gravedad, compitiendo contra los flujos provenientes de las bombas B2, B3 y B5, las cuales si funcionan correctamente y se encuentran conectadas al mismo ramal de trasiego.

Figura 11. **Bomba de condensado defectuosa B4**



Fuente: Planta de producción.

En lo que respecta a la presencia de aislamiento térmico en las tuberías, también se identificaron varios tramos en los que no se cuenta con dicha protección; esto ocasiona una pérdida elevada de energía por convección natural y obliga a que esta energía sea suplida por la caldera, a través de la combustión de GLP. Se encontraron 41,8 pies lineales de tubería de condensado sin aislamiento térmico.



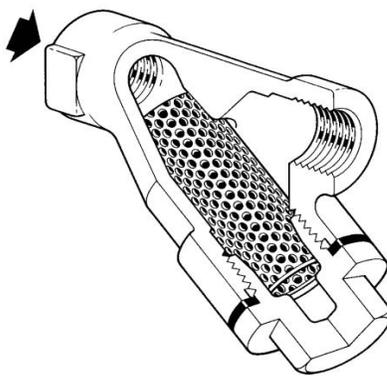
### 3. MEJORAS DEL SISTEMA DE VAPOR Y CONDENSADO DE AGUA

#### 3.1. Implementación de filtros

La calidad del vapor y preservación de esta es un factor importante en la industria alimenticia. El condensado debe ser filtrado antes de ingresar a los equipos, reteniendo las partículas de material sólido que vienen suspendidas en el vapor, evitando de esta forma su acumulación en los asientos de válvulas, trampas, y otros.

Por ello, es importante implementar filtros en el equipo de retorno de condensado, esto es vital para garantizar las condiciones de operación del equipo y la calidad de condensado. El filtro mostrado a continuación es tipo Y con conexiones roscadas. Se usan para proteger de daños a otros elementos de la línea por la suciedad en el sistema.

Figura 12. **Filtro tipo Y**



Fuente: Spirax Sarco. [www.spiraxsarco.com](http://www.spiraxsarco.com).

### **3.2. Sustitución de válvulas de entradas y escape**

Se recomienda cambiar las válvulas de admisión y escape de vapor, debido al daño por escoria en el sistema, así como la presencia de condensado en la línea de vapor (golpe de ariete). Estas válvulas están diseñadas para reducir los problemas causados por el aire atrapado cuando se pone en marcha o se detiene un sistema. Expulsan el aire durante la puesta en funcionamiento, proporcionando un llenado suave y rápido de las tuberías, evitando el golpe de ariete. También permiten introducir aire en el sistema al apagarse, evitando la deformación de las tuberías y la succión de los emisores.

### **3.3. Evaluación de altura de tanque**

El tanque de condensado no tiene la altura requerida para que el equipo trabaje óptimamente. Es importante que el equipo cuente con la cabeza de llenado necesaria para operar la bomba en su óptimo y evitar desgastes prematuros. Es necesario mencionar que la presión de descarga de la bomba debe ser suficientemente mayor que la presión del recipiente de destino, para que pueda vencer las pérdidas en la tubería y accesorios hasta llegar hasta donde desea.

## **4. RENTABILIDAD DE LAS MEJORAS PROPUESTAS**

### **4.1. Alcances de las mejoras propuestas**

- Metodología del balance de energía

La realización de un balance de energía busca identificar los consumidores energéticos más importantes dentro del proceso productivo, además de indicar, para cada uno de estos, los consumos promedio de energía en un periodo determinado y su porcentaje de participación respecto del total de la factura energética.

Para alcanzar este objetivo y realizar el balance de energía, se debe iniciar por un proceso de reconocimiento del sistema térmico en general. Se harán registros de compra de combustibles, eficiencia de generación de vapor de las calderas y ramales principales de distribución de vapor, hasta llegar a la identificación y análisis de los diferentes puntos de consumo, distribuidos a lo largo de la planta de producción.

El inventario de los distintos puntos de consumo usualmente es agrupado según el sistema energético o proceso productivo al que pertenece. Para este caso en particular, se decide realizar la agrupación según el producto alimenticio cuyo proceso de producción incluye cada punto de consumo, es decir, las categorías o subgrupos son “frijoles”, “salsas”, “bebidas” y “otros”. Esa última categoría tiene algunos procesos misceláneos como es el caso del CIP y algunas pérdidas generales de energía, como las pérdidas por vapor flash o a través de aislamiento térmico en las tuberías.

Para los distintos puntos de consumo se determinan los requerimientos nominales de operación, respecto de la cantidad promedio de vapor utilizado para llevar los ciclos de funcionamiento, ya sea según cada *batch* o por cada hora continua de operación, dependiendo de las características de cada caso. Posteriormente se toma este dato y se multiplica por la cantidad de ciclos, *batch* u horas de operación que tuvieron esos puntos de consumo dentro del periodo de cierre del balance. Al realizar este cálculo, se obtiene el total de vapor demandado por cada punto de consumo durante este periodo.

La sumatoria de todos estos consumos energéticos mencionados debe ser igual o muy cercano a los valores de generación de vapor registrados por las calderas. Se cuenta con un medidor de flujo de vapor instalado en la tubería de descarga de la caldera #3 y ya que este equipo fue el encargado de suplir prácticamente toda la demanda de vapor del proceso, se propone utilizar los datos registrados por este medidor como valor teórico contra el cual se compararían los cálculos y estimaciones realizadas para el cierre del balance de energía. Sin embargo, antes de aceptar los datos de este medidor como ciertos y confiables, se debió realizar un proceso de verificación previa.

- Validación de datos del medidor de vapor

Para validar los datos obtenidos del medidor instalado en la descarga de la caldera #3, se compara el consumo de vapor registrado contra el consumo real de combustible para el periodo de análisis utilizado en el balance de energía térmica; desde la 17:12 del 13 a las 13:17 del 17 de febrero de 2019.

Para obtener el combustible consumido en dicho periodo se toman los niveles del tanque de GLP al inicio y al final del periodo (datos que fueron tomados durante el trabajo de campo), que equivalen al volumen inicial y final de GLP, y las compras de combustibles que hubo dentro del mismo periodo de la siguiente manera:

$$\text{Consumo GLP periodo [gal]} = Vol_{inicial} - Vol_{final} + \text{compras GLP} \quad (\text{Ecuación 1})$$

El combustible consumido durante el periodo, es transformado a libras de vapor (lb) utilizando el poder calorífico del gas, las entalpías de entrada, de salida (del agua y vapor respectivamente), y la eficiencia de la caldera. Para efectos de este cálculo, se utiliza una densidad de 511 kg/m<sup>3</sup> y un poder calórico de 83 131,9 BTU/gal para el GLP.

Ambos parámetros son tomados de RECOPE (refinadora costarricense de petróleo) considerando que son los parámetros con los cuales Tropigas, en Costa Rica, compra el combustible para su comercialización y asumiendo que los parámetros en Guatemala tienen valores cercanos a los mencionados.

Las libras de vapor generadas obtenidas a partir del consumo de combustible, son comparadas con las libras de vapor generadas obtenidas de los datos del medidor de vapor, obteniendo un porcentaje de error de -0,4 %, por lo tanto, se validan los datos del medidor de vapor y se consideran como confiables. Se debe mencionar que esta prueba se realizó para diferentes periodos obteniendo resultados parecidos de error.

Tabla III. **Validación del medidor de flujo vapor de caldera No. 3 para el periodo entre las 17:12 del 13 a las 13:17**

Periodo		Lectura de Nivel de tanque de GLP					Totalizador Medidor Caldera 3			Porcentaje de error %
		Contenido		Consumido		Vapor Generado Lb	Lectura kg	Consumido		
		%	gal	gal	BTU			Kg	Lb	
<b>Inicio</b>	2/13/19 Hora: 17:12	82,0	9 050,3	15,077	1 253 383 626	1 018 442	183 538	459 985	1 014 092	-0,4
<b>Final</b>	2/17/19 Hora: 13:17	90,0	9 933,3				643 523			
<b>Compras Combustible</b>		15,960.0								

Fuente: elaboración propia.

#### Parámetros GLP

Densidad: 511,0 kg/m<sup>3</sup>

Poder calórico: 83 131,9 BTU/gal

Entalpía:  $h_{final@105psi}$  1 190,7 BTU/lb

$h_{inicial@176°F}$  144,05 BTU/lb

- **Cálculo de consumos**

Una vez efectuada la validación de los datos del medidor de flujo, se dispuso a realizar los cálculos de consumo nominal para los distintos consumidores de vapor. Se definen tres distintos métodos para obtener estos valores particulares; dependiendo de la información disponible para cada uno de estos puntos de consumo, así fue el procedimiento utilizado para definir los valores nominales, a continuación, se explica cada uno de los tres modelos utilizados:

- Conteo en bombas de condensado

En primer lugar, se realizó un análisis preliminar de la configuración de la línea de condensado y, particularmente, de los procesos que estaban conectados a cada una de las bombas de condensado instaladas.

Partiendo de esto y descartando aquellas bombas de condensado que, tal y como fue mencionado anteriormente, se encontraban defectuosas para el momento en que se realizó el trabajo de campo, se determina que los únicos procesos que podían analizarse mediante este método serían almix (solo en el consumo de la chaqueta), cocimiento de frijol, autoclaves de cascada y los pasteurizadores de las líneas L21, L22 y L23.

Este análisis requiere de la instalación de equipos contadores de pulsos en las bombas de condensado; estos dispositivos consisten de dos partes, primero, un interruptor de presión, el cual cierra un circuito eléctrico cuando el valor de la presión medida en el dispositivo sobrepasa cierto valor fijado, y, por otro lado, un PLC programado como contador y capaz de almacenar dicha información y desplegarla mediante una pequeña pantalla.

Este sistema permite llevar un registro de la cantidad de ciclos de descarga de las bombas y, por ende, determinar la cantidad de condensado trasegado dentro del periodo de cierre del balance. El volumen total desplazado de condensado se obtiene del producto de la cantidad de activaciones y la capacidad nominal de desplazamiento de la bomba, sabiendo que el volumen desplazado por cada activación es constante en cada una de ellas.

Figura 13. **Instalación de interruptor de presión (flecha) y contador electrónico (círculo) en bomba de condensado de Almix**



Fuente: Industria alimenticia.

## 4.2. Estimaciones de esfuerzos y costos

Una vez realizado el análisis independiente de cada una de los proyectos identificados y el filtrado entre aquellos que se consideran viables de ejecutar de los que no, se procede a recomendar un plan de implementación de los proyectos de inversión, esto según una serie de criterios, pensados para priorizarlos en función de su conveniencia financiera y la reducción que implicaría cada proyecto en la factura energética, así como reducción de la huella de carbono asociada a su operación cotidiana.

Los criterios utilizados son los siguientes:

- Periodo simple de recuperación: se priorizan proyectos en los que se obtenga un PSR menor.
- Inversión inicial: se priorizan proyectos en los que se requiera una menor inversión monetaria inicial.
- Reducción en la factura energética: se priorizan aquellos proyectos en los que se reduce en mayor medida la factura energética anual (US\$), así como la reducción en las emisiones equivalentes de kilogramos de CO<sub>2</sub>.
- Mediciones directas

Fue posible observar, tal cual fue mencionado antes, que varias de las bombas de condensado no funcionaban, por lo que la instalación del sistema de conteo explicado en el apartado anterior no resultaba conveniente. En casi todos los casos (exceptuando a B4) el condensado que llegaba hasta la bomba era tirado al desagüe, por lo que resultó posible efectuar mediciones directas del flujo de condensado que estaba siendo descartado. Debido a que en todos los casos los puntos de consumo cuyos condensados resultantes se estaban descartando al caño son pasteurizadores o intercambiadores de calor, la medición del flujo de agua caliente resultó muy fácil.

Por el modo de operación de este tipo de equipos, la cantidad de vapor que demandan para llevar a cabo su proceso es constante a lo largo del tiempo, ya que deben calentar un flujo de líquido en línea; esto ocasiona que el flujo medido en un periodo corto del proceso pueda extrapolarse hacia el total de tiempo que cada equipo permanece en operación.

La medición fue realizada a través de recipientes correctamente ubicados, por lo que se midió la cantidad de litros de condensado que salía hacia el desagüe

en un tiempo determinado. La lista de los puntos de consumo en los que se realizó la medición directa es el siguiente:

- Pasteurizador de salsa kétchup
- Intercambiador de calor de sachette
- Intercambiador de calor de formulación de salsa kétchup
- Intercambiador de jarabe
- Pasteurizadores de bebidas TA Drink
  
- Cálculos analíticos

Al llegar a este punto, la única forma de encontrar el consumo de vapor de los procesos pendientes es mediante el cálculo analítico de la cantidad de energía térmica requerida para cada proceso y el equivalente en kilogramos de vapor demandados en cada caso. La lista de los puntos de consumo con demanda de vapor, ya sea por ciclo o por hora de operación estándar, se muestra a continuación.

- Pérdidas por aislamiento
- Vapor flash
- Almix (vapor directo)
- CIP (cada tipo de proceso)
- Formulación frijol
- Exhausters
- Autoclaves de hojalata
- Llenadoras de hojalata
- Llenadoras de Tetrapack
- Marmita jarabe

Para calcular la cantidad de energía Q que debe ser invertida por cada ciclo o *batch* (en BTU), en cada uno de los procesos, se debió considerar el calor específico Cp de cada producto, la cantidad de libras o galones incluidos en cada tanda y las presiones de vapor de alimentación en cada uno de los equipos. De este modo, las ecuaciones que fueron utilizadas para los cálculos fueron principalmente las siguientes:

- Cálculo del calor requerido para cada batch

$$Q[Btu] = Cp \left[ \frac{Btu}{lb \cdot ^\circ C} \right] * \Delta Temp[^\circ C] * masa\ de\ producto\ [lb] \quad (\text{Ecuación 2})$$

- Cálculo del vapor demandado

$$Vapor\ [lb] = \frac{Q\ [Btu]}{\Delta\ entalpia\ vapor\ \left[ \frac{Btu}{lb} \right]} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Balance energía térmica

Periodo de balance

Para determinar el periodo en que sería posible realizar el cierre del balance de energía, se debió considerar los períodos para los que se contaba con la información completa respecto de:

- Datos de compras de combustible
- Datos del medidor de vapor de caldera No. 3
- Datos de producción de todas las líneas
- Datos de equipos instalados para la medición

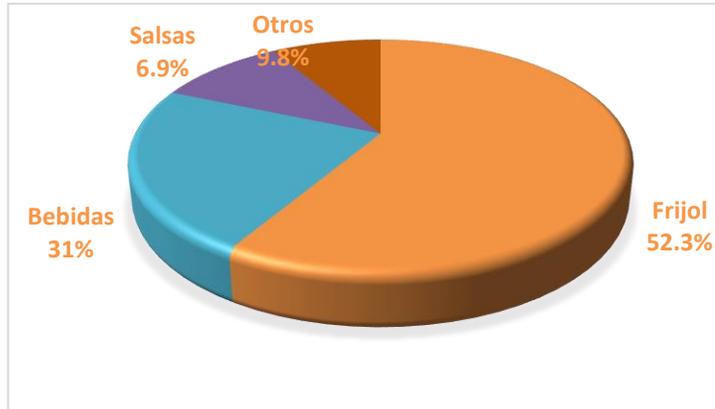
El factor que marcó primordialmente los límites del periodo fue el de la disponibilidad de datos de los equipos instalados para las mediciones, ya que el proceso de montaje y puesta en funcionamiento requirió de bastante trabajo; sin embargo, se considera que el total de tiempo que pudo ser finalmente contemplado dentro del balance resulta bastante significativo según la semana de trabajo.

En este caso, el periodo de cierre del balance está entre las 17:12 de la tarde del 13 de febrero y las 13:17 del 17 de febrero. Comprende un total de 92,08 horas o 3,84 días. En función de esto, se presentan a continuación los resultados del balance:

#### Balance de energía por producto

Con base en la metodología descrita anteriormente, se logró obtener un balance general de energía térmica o balance de masa de vapor, de las instalaciones de la planta de producción. El porcentaje de participación de cada uno de los tipos de alimento producido se puede apreciar de manera gráfica en la figura 14, esto, tal y como ha sido aclarado, para el periodo de cierre del balance y en función de la cantidad de cajas físicas (cf) totales requeridas por el departamento de producción.

Figura 14. **Balance de masa de vapor por sistemas energéticos (%)**



Fuente: elaboración propia.

Como se puede apreciar el 52,3 % del consumo de masa de vapor se usa para el proceso de cocción, formulación, llenado y esterilizado de frijol, 31,0 % en los procesos de pasteurizado, formulación y llenado de bebidas, 6,9 % en la cocción, formulación y llenado de salsas. Además, se estima un 9,8 % del total de la masa de vapor que es dedicado a la atención de otros consumos generales, es el caso de las pérdidas de energía por aislamiento o las pérdidas de vapor flash en los tanques auxiliares, por ejemplo:

En la tabla IV, se muestra el balance de energía térmica de los productos de frijol, detallándose el consumo para cada uno de los procesos y su costo aproximado en la factura de combustible. Lo anterior está contemplando el periodo de cierre de balance.

Como se puede apreciar el 52,3 % del consumo de masa de vapor se usa para el proceso de cocción, formulación, llenado y esterilizado de frijol; ya que este estudio es sobre las mejoras de las redes de vapor y condensado del área de formulación de frijol, se analizará únicamente el balance de los productos de frijol

y otros consumos generales, debido a que en este apartado se encuentran el balance generado por las pérdidas en el sistema.

Tabla IV. **Generación de vapor registrados por el medidor de vapor instalado en la salida de la caldera No. 3 durante el periodo de cierre del balance**

Periodo		Lectura de Nivel de tanque de GLP					Totalizador Medidor Caldera 3			Porcentaje de error %
		Contenido		Consumido		Vapor Generado lb	Lectura kg	Consumido		
		%	gal	gal	BTU			Kg	Lb	
<b>Inicio</b>	2/13/19 Hora: 17:12	82,0	9,050.3	15 077	1 253 383 626	1 018 442	183 538	459 985	1 014 092	-0,4
<b>Final</b>	2/17/19 Hora: 13:17	90,0	9,933.3				643 523			
<b>Compras Combustible</b>		15 960,0								

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Balance de energía térmica por tipo de producto alimenticio de frijol**

Balance general de energía por producto			Costo promedio gal GLP	
			\$	1,82
Producto	Consumo		Porcentaje	Costo Promedio
	Kgv	gal GLP	%	\$/periodo
<b>Frijol</b>	<b>246 888,7</b>	<b>8 566,2</b>	<b>52,3</b>	<b>\$ 15 568,45</b>
ALMIX con retorno	3 726,1	129,3	0,8	\$ 234,96
ALMIX vapor directo	28 669,0	994,7	6,1	\$ 1 807,82
Cocimiento Frijol	17 593,1	610,4	3,7	\$ 1 109,39
Autoclaves Cascada	96 633,1	3 352,9	20,5	\$ 6 093,54
Formulación frijol	13 742,1	476,8	2,9	\$ 866,56
Autoclaves Hojalata	83 229,4	2 887,8	17,6	\$ 5 248,33
Llenadora Hojalata	3 295,9	114,4	0,7	\$ 207,84
<b>Sub Total</b>	<b>246 888,7</b>	<b>8 566,2</b>	<b>52,3%</b>	<b>\$ 15 568,45</b>
<b>Consumo MEDIDOR</b>	<b>239 803,0</b>			
<b>Error</b>	<b>2,27%</b>			

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Otros consumos generales**

Balance general de energía por producto		Costo promedio gal GLP		
				\$ 1 82
Producto	Consumo		Porcentaje	Costo Promedio
	Kgv	gal GLP	%	\$/periodo
<b>Otros</b>	<b>46 475,4</b>	<b>1 612,55</b>	<b>9,8</b>	<b>\$ 2 930,67</b>
Pérdidas por aislamiento	27 605,8	957,8	5,8	\$ 1 740,78
CIP	15 854,8	550,1	3,4	\$ 999,78
Vapor flash en tanques auxiliares	3 014,8	104,6	0,6	\$ 190,11
<b>Sub Total</b>	<b>472 511,9</b>	<b>16 133,4</b>	<b>100,0%</b>	<b>\$ 29 321,19</b>
<b>Consumo MEDIDOR</b>	<b>459 985,0</b>			
<b>Error</b>	<b>2,27%</b>			

Fuente: elaboración propia.

En la parte inferior de la tabla IV y V se compara el consumo promedio estimado contra los datos de generación de vapor registrados por el medidor de vapor instalado en la salida de la caldera No. 3 durante el periodo de cierre del balance. Del análisis de la facturación de combustible, se obtuvieron los valores promedio del costo monetario por cada galón de GLP, el cual se determina en un valor de \$1,82 por cada galón de GLP.

Respecto del consumo de energía estimado en el balance y el valor registrado por el medidor de vapor, se obtuvo un porcentaje de error de cierre de 2,72 % entre ambos datos, lo cual garantiza la confiabilidad en los cálculos y estimaciones efectuadas durante la realización del balance energético.

- Indicadores energéticos

En esta sección se muestran los indicadores energéticos por tipo de producto y sus respectivas presentaciones. Estos indicadores básicamente muestran la cantidad de vapor requerida para producir una caja física de

producto. En otras palabras, permiten tener el presupuesto del consumo de vapor aproximado para una producción de cajas físicas de producto.

En la tabla VI se muestra un resumen de los indicadores energéticos obtenidos (kg v / cf). Como insumo para la determinación de estos indicadores, se utiliza la información del consumo de vapor del balance de energía térmica y la información suministrada. Referente a los *batch* de producción (en kilogramos) por cada proceso para el periodo de estudio (desde las 17:12 del 13 a las 13:17 del 17 de febrero de 2019).

Se muestran tres columnas de indicadores según el tipo de cocimiento utilizado para elaborarlo: almix, cocedores o marmitas. En los diagramas de procesos que aparecen en el apéndice, se puede apreciar que los frijoles en empaque tipo doypack pueden ser cocinados, ya sea en el proceso integrado (cocción más molienda) almix, o en los cocedores. Lo anterior obliga a determinar dos indicadores para este tipo de empaque, uno para cada tipo de cocimiento.

Para el caso del empaque chub en su presentación de frijol molido y todas las presentaciones del empaque hojalata, se utilizan los cocedores; mientras que para la presentación frijol molido de chub, se utilizan las marmitas.

Tabla VII. **Resumen de indicadores energéticos por tipo de producto y presentación de kg de vapor por cajas físicas de producto**

Producto	Empaque	Presentación	Indicador [kgv/cf]		
			Por tipo de cocción		
			Almix	Cocedores	Marmitas
Frijol	Doypack	5,5 oz	4,2777	4,7195	-
		8 oz	3,1397	3,4610	-
		14,1 oz	3,8663	4,2911	-
		29 oz	5,5583	6,1407	-
		35 oz	6,4977	7,2007	-
		52 oz	10,0508	11,0951	-
		104 oz	9,2859	10,3303	-
	Chub 1.8kg	Entero	-	-	5,6041
		Molino	-	6,4255	-
	Hojalata	5,5 oz	-	4,5296	-
		10,5 oz	-	8,5302	-
		15 oz	-	6,0828	-
		29 oz	-	5,8365	-
		34,8 oz	-	7,1399	-

Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar de la tabla, el proceso de cocción por almix es más eficiente que por cocedores, por lo tanto, se requiere una cantidad menor de vapor para producir una caja física de producto.

Los indicadores de cocimiento, formulación, pérdidas y otros, son iguales para todas las presentaciones (a excepción del chub entero cuyo cocimiento es por marmitas); esto quiere decir que la diferencias en los indicadores por cada presentación son determinadas por el costo térmico del proceso de esterilizado. Además, el costo energético del esterilizado disminuye para el empaque hojalata, ya que este se realiza en las autoclaves de vapor directo.

El proceso de llenado solo aplica para el empaque hojalata, ya que no existen consumos asociados a este proceso para las restantes presentaciones.

En la tabla VII y VIII se muestra el cálculo para la determinación de los indicadores de producción de frijol, el cual, está dividido en 5 procesos: cocimiento, formulación, llenado, esterilizado, pérdidas y otros. Para cada proceso, se utiliza la información de consumo de vapor del balance de energía térmica y la información de producción (en kilogramos) por cada proceso para el periodo de estudio; con esto, se obtiene el indicador: kg v / kg p. Luego, se emplea el peso de cada presentación y la cantidad de unidades dentro de cada caja física para determinar la relación: kg p / cf.

El indicador final para cada presentación se obtiene de multiplicar:

$$\frac{kg\ v}{kg\ p} * \frac{kg\ p}{cf} = \frac{kg\ v}{cf} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Como se puede observar de las tablas, el proceso de cocción por almix es más eficiente que por cocedores, por lo tanto, se requiere una cantidad menor de vapor para producir una caja física de producto. Los indicadores de cocimiento, formulación, pérdidas y otros, son iguales para todas las presentaciones (a excepción del chub entero cuyo cocimiento es por marmitas); esto quiere decir que la diferencias en los indicadores por cada presentación son determinadas por el costo térmico del proceso de esterilizado.

Además, el costo energético de esterilizado disminuye para el empaque hojalata, ya que este se realiza en las autoclaves de vapor directo.

Tabla VIII. **Indicadores de consumo de vapor por caja física de frijol producido (kg v/ cf) en empaques tipo Doypack y Chub (A)**

Frijoles tipo DOYPACK Y CHUB								
Proceso	Consumo de vapor por proceso según presentación [kgv/kgp]							
	35 oz		52 oz		104 oz		Chub	
Tipo de cocimiento	Almix	Cocedores	Almix	Cocedores	Almix	Cocedores	Almix	Cocedores
1. Cocimiento	0,1322	0,1913	0,1322	0,1913	0,1322	0,1913	0,1812	0,1913
2. Formulación	0,0652	0,0652	0,0652	0,0652	0,0652	0,0652	-	0,0652
3. Llenado	-	-	-	-	-	-	-	-
4. Autoclavado Cascada	0,2899	0,2899	0,3124	0,3124	0,2691	0,2691	0,2736	0,2736
5. Pérdidas y otros	0,0584	0,0584	0,0584	0,0584	0,0584	0,0584	0,0584	0,0584
<b>Total [kgv/kgp]</b>	<b>0,5457</b>	<b>0,6048</b>	<b>0,5682</b>	<b>0,6272</b>	<b>0,5249</b>	<b>0,5840</b>	<b>0,5132</b>	<b>0,5884</b>
Detalle Cajas físicas (cf)	35 oz		52 oz		104 oz		Chub	
Capacidad (unidades / cf)	12		12		6		6	
Peso [kfp/cf]	11,91		17,69		17,69		10,92	
Indicadores [kgv/cf]								
Presentación	35 oz		52 oz		104 oz		Chub	
Tipo de cocimiento	Almix	Cocedores	Almix	Cocedores	Almix	Cocedores	Marmitas (entero)	Cocedores (molido)
Indicador [kgv/cf]	6 4977	7,2007	10,0508	11,0951	9,2859	10,3303	5,6041	6,4255

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Indicadores de consumo de vapor por caja física de frijol producido (kg v/cf) en empaques tipo Doypack y Chub (B)**

Frijoles tipo DOYPACK Y CHUB								
Proceso	Consumo de vapor por proceso según presentación [kgv/kgp]							
	5,5 oz		8 oz		14,1 oz		29 oz	
Tipo de cocimiento	Almix	Cocedores	Almix	Cocedores	Almix	Cocedores	Almix	Cocedores
1. Cocimiento	0,1322	0,1913	0,1322	0,1913	0,1322	0,1913	0,1322	0,1913
2. Formulación	0,0652	0,0652	0,0652	0,0652	0,0652	0,0652	0,0652	0,0652
3. Llenado	-	-	-	-	-	-	-	-
4. Autoclavado cascada	0,3158	0,3158	0,3210	0,3210	0,2816	0,2816	0,3076	0,3076
5. Pérdidas y otros	0,0584	0,0584	0,0584	0,0584	0,0584	0,0584	0,0584	0,0584
<b>Total [kgv/kgp]</b>	<b>0,5716</b>	<b>0,6306</b>	<b>0,5768</b>	<b>0,6359</b>	<b>0,5373</b>	<b>0,5964</b>	<b>0,5634</b>	<b>0,6224</b>
Detalle cajas físicas (cf)	5,5 oz		8 oz		14,1 oz		29 oz	
Capacidad (unidades / cf)	48		24		18		12	
Peso [kfp/cf]	7,48		5,44		7,20		9,87	
Indicadores [kgv/cf]								
Presentación	5,5 oz		8 oz		14,1 oz		29 oz	
Tipo de cocimiento	Almix	Cocedores	Almix	Cocedores	Almix	Cocedores	Almix	Cocedores
Indicador [kgv/cf]	4,2777	4,7195	3,1397	3,4610	3,8663	4,2911	5,5583	6,1407

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Indicadores de consumo de vapor por caja física de frijol producido (kg v/cf) en empaques tipo hojalata**

<b>Frijoles tipo HOJATALA</b>					
Proceso	Consumo de vapor por proceso según presentación				
	[kg v/kg p]				
	5,5 oz	10,5 oz	15 oz	29 oz	34,8 oz
Tipo de cocimiento	Cocedores	Cocedores	Cocedores	Cocedores	Cocedores
1. Cocimiento	0,1913	0,1913	0,1913	0,1913	0,1913
2. Formulación	0,0652	0,0652	0,0652	0,0652	0,0652
3. Llenado	0,0140	0,0140	0,0140	0,0140	0,0140
4. Autoclavado vapor directo	0,2764	0,2682	0,2672	0,2628	0,2743
5. Pérdidas y otros	0,0584	0,0584	0,0584	0,0584	0,0584
Total [kg v/kg p]	0,6052	0,5970	0,5960	0,5916	0,6031
Detalle cajas físicas (cf)	5,5 oz	10,5 oz	15 oz	29 oz	34,8 oz
Capacidad [unidades / cf]	48	48	24	12	12
Peso [kg p/cf]	7,48	14,29	10,21	9,87	11,84
Indicadores [kg v/ cf]					
Presentación	5,5 oz	10,5 oz	15 oz	29 oz	34,8 oz
Tipo de conocimiento	Cocedores	Cocedores	Cocedores	Cocedores	Cocedores
Indicador [kg v/cf]	4,5296	8,5302	6,0828	5,8365	7,1399

Fuente: elaboración propia.

### 4.3. Estimación de beneficios

En esta sección se presenta aquellas oportunidades de ahorro económico y energético que fueron identificadas como resultado de los trabajos de campo, las cuales son producto de mejoras en el control operacional y aprovechamiento de la energía térmica. Estas oportunidades de ahorro son analizadas con el propósito de determinar la conveniencia financiera de su implementación. Se brindan recomendaciones en operaciones que se desarrollan en la planta, buscando fomentar en ellos hábitos de mejoramiento y conciencia en el uso de la energía de manera eficiente.

Mediante comparación de escenarios (actual y propuesto) se muestran los posibles resultados que se tendría al ejecutar las mejoras, garantizando la reducción de consumo de energía en aquellos proyectos recomendados para su implementación.

También se tomó en cuenta la reducción en las emisiones de CO<sub>2</sub> a la implementación de las recomendaciones descritas en este estudio; esto, según los valores de equivalencia del factor de conversión de gal GLP a kg<sub>equiv</sub> de CO<sub>2</sub>, por lo que el valor considerado para los cálculos es de 6.12kg<sub>equiv</sub> de CO<sub>2</sub> por cada galón de GLP.

A continuación, se describen las diferentes oportunidades de ahorro, con el propósito de dar a entender el alcance técnico del proyecto y los beneficios económicos que ofrece con su implementación. En el apéndice “Análisis técnico y financiero de oportunidades de ahorro” se muestra el análisis financiero realizado para cada una de las oportunidades de ahorro presentadas a continuación; se muestran las referencias utilizadas para los cálculos de viabilidad financiera.

- Conservación de la energía

En este apartado se analiza el aprovechamiento más eficiente de los equipos consumidores que se encuentran instalados actualmente; esto, a partir de la implementación de mejoras en el sistema o en la gestión operacional por parte de los personeros encargados, por ejemplo, que se logre reducir en alguna medida el consumo de combustible y, por ende, el pago monetario asociado.

Para efectos de los cálculos realizados en este apartado, se utiliza un costo promedio del combustible de \$1,82 por gal de gas licuado de petróleo (GLP).

- Colocar aislante térmico en tuberías de condensado

Tal y como fue presentado en el capítulo 3 del presente informe, se encontraron algunas carencias en la línea de recuperación de condensado, particularmente en lo que respecta a la ausencia de aislamiento térmico en distintos puntos del trazado de la tubería. Este cobertor térmico tiene la función de proteger la integridad del tubo, pero más que eso, es el encargado de reducir al máximo posible el desperdicio de energía a causa de la interacción entre el fluido caliente con el aire frío, a través de la pared metálica del tubo.

La interacción entre los dos fluidos involucrados (el condensado caliente y el aire externo frío), genera un flujo de calor constante que se traduce en pérdidas de energía interna por parte del condensado y una disminución en su temperatura. Toda esta energía perdida debe ser compensada de alguna manera, ya que, en el nuevo ciclo, todo este condensado debe ser convertido nuevamente en vapor. La compensación de energía se debe realizar mediante la quema de mayor cantidad de GLP.

En esta oportunidad de ahorro se propone la reparación de los tramos existentes que se encuentran dañados y la instalación de aislante en donde haga falta. Con esto se reduce considerablemente la cantidad de energía perdida a través del proceso de enfriamiento convectivo y se propone la reducción en el uso de GLP.

En la siguiente tabla se muestra la lista de los tramos de tuberías en los que no se encontró aislamiento, se encuentran identificadas por un código numérico consecutivo, el cual se muestra de manera física en el apéndice llamado “Tramos de tubería de condensado sin aislamiento”, el cual se adjunta a este informe y muestra la ubicación en el plano arquitectónico de la planta de producción de cada uno de los tramos señalados.

Tabla XI. **Tramos de tubería de condensado sin aislamiento**

Tramo	Condición sin aislamiento			Condición con aislamiento		Ahorro  Q <sub>CA</sub> BTU/H
	Diámetro	Longitud	Calor perdido	Espesor	Calor perdido	
	Nominal	Tubería	Q <sub>CA</sub>	aislamiento	Q <sub>CA</sub>	
	Pulgadas	pie	BTU/H	Pulgadas	BTU/H	
7	2	9,02	333	1,50	214	119
9	4	32,80	1,212	1,50	779	434

Fuente: elaboración propia.

A partir de lo anterior, se calculan las equivalencias de estos ahorros en términos de galones de GLP anuales y, por ende, los costos monetarios asociados.

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos respecto del gasto de combustible en los escenarios actual y propuesto, el ahorro económico por año es de 53,3 \$/año y la reducción de emisiones anuales de CO<sub>2</sub> es de 179,08 kg/año. Estos datos muestran pequeñas cantidades de emisiones como ahorro de GLP, pero se tiene contemplado aislar todas las tuberías de condensado de la planta y es aquí donde se muestra un ahorro significativo del GLP, así como emisiones de CO<sub>2</sub>.

También se puede apreciar los resultados del aislamiento de todas las tuberías obtenidos con respecto al gasto de combustible en los escenarios actual y propuesto, el ahorro económico por año es de 1 711,3 \$/año y la reducción de emisiones anuales de CO<sub>2</sub> es de 5 964,6 kg/año. Se estima que para sustituir todos los tramos de aislamiento faltantes se requiere de un costo de inversión de unos US\$2 119,5, con lo que se obtiene un VPN a 5 años de US\$ 2 580 y un PSR de 2,65 años.

Tabla XII. **Estimación de ahorro al aislar tuberías de condensado**

Estimación del ahorro	
Ahorro de combustible [gal GLP/año]	974,6
Costo promedio del galón de GLP [\$/gal GLP]	\$ 1,82
Ahorro económico por año [\$/año]	\$ 1 771,3
Reducción en emisiones anuales de CO <sub>2</sub> equivalente [kg/año]	5 964,6

Fuente: elaboración propia.

- Colocar aislante térmico en tuberías de vapor

En las carencias en la línea de trasiego de vapor, particularmente en lo que respecta a la ausencia de aislamiento térmico en distintos puntos del trazado de la tubería. Este cobertor térmico tiene la función de proteger la integridad del tubo, pero más que eso, es el encargado de reducir al máximo posible el desperdicio de energía a causa de la interacción entre el fluido caliente con el aire frío, a través de la pared metálica del tubo.

En esta oportunidad de ahorro se propone la reparación de los tramos existentes que se encuentran dañados y la instalación de aislante en donde haga falta; con esto se reduce considerablemente la cantidad de energía perdida a través del proceso de enfriamiento convectivo y se propone la reducción en el consumo de GLP.

En la siguiente tabla se muestra la lista de los tramos de tuberías en formulación de frijol en los que no se encontró aislamiento, se encuentra identificadas por un código numérico consecutivo, el cual se muestra de manera física en el apéndice: tramos de tubería de vapor sin aislamiento, que se adjunta a este informe y en el que se muestra la ubicación en el plano arquitectónico de cada uno de los tramos señalados.

**Tabla XIII. Tramo de tubería de vapor sin aislamiento**

Tramo	Condición sin aislamiento			Condición con aislamiento		Ahorro
	Diámetro	Longitud tubería	Calor perdido	Espesor	Calor perdido	
	Nominal	Pie	$Q_{CA}$	Aislamiento	$Q_{CA}$	$Q_{CA}$
	Pulgadas		BTU/H	pulgada	BTU/H	BTU/H
21	2	26,24	12 500	1,50	1 161	11 339

Fuente: elaboración propia.

A partir de lo anterior, se calculan las equivalencias de estos ahorros en términos de galones de GLP anuales y, por ende, los costos monetarios asociados.

El ahorro en el área de formulación de frijol es de US\$ 1092,20 y la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> de 3672,56 kg<sub>equiv</sub>/año. En la tabla siguiente se puede apreciar los resultados obtenidos respecto del gasto de combustible en los escenarios actual y propuesto de los ahorros generados si se aíslan todas las

tuberías de vapor de la planta. El ahorro por año es de 42 941 US\$/año y la reducción de emisiones anuales de CO<sub>2</sub> es de 144 601 kg/año.

Se estima que para sustituir todos los tractos de aislamiento faltantes se requiere de un costo de inversión de unos US\$ 7 565 con lo que se obtiene un VPN a 5 años de US\$ 168 741 y un PSR de 0,18 años.

Tabla XIV. **Estimación de ahorro al aislar tuberías de vapor**

Estimación del ahorro	
Ahorro de combustible [gal GLP/año]	23
	627,7
Costo promedio del galón de GLP [\$/galGLP]	\$ 1,82
Ahorro económico por año [\$/año]	\$ 42 941,4
Reducción en emisiones anuales de CO <sub>2</sub> equivalente [kg/año]	144
	601,5

Fuente: elaboración propia.

- Red de vapor

A partir de la información recopilada durante el trabajo de campo y la proporcionada por el personal de la planta, se procedió a evaluar la condición actual de la red para corroborar los problemas ya mencionados. Posteriormente se realizó el rediseño de la red para solucionar las situaciones no deseadas y permitir alimentar las nuevas cargas, procurando aprovechar al máximo la red existente y con la menor cantidad de cambios posibles, sin comprometer un diseño ingenieril, y considerando importante un sistema flexible que permita un crecimiento a futuro.

La metodología y memoria de cálculo utilizadas en el diseño se encuentran en el apéndice sobre la memoria de cálculo. En la figura 15 se muestra un diagrama simplificado de la distribución de vapor. Como primer paso, se

determinó el flujo másico de vapor en los puntos de consumo y la longitud equivalente de las tuberías que le dan servicio a cada uno. A partir de esto, y con la información de los diámetros existentes según los planos proporcionados, se calculó la caída de presión final en cada consumidor. En la tabla XIV se aprecian los resultados obtenidos.

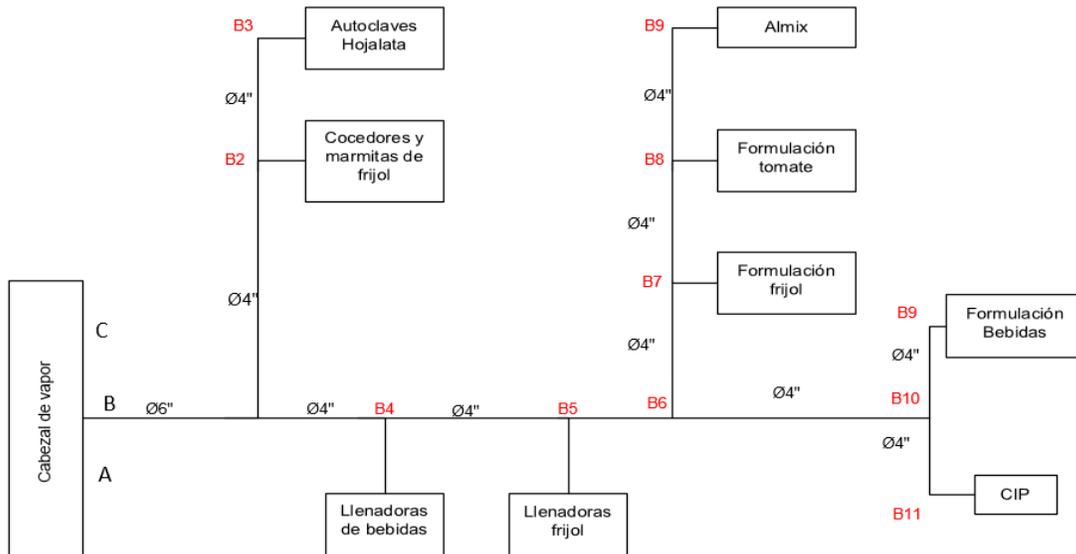
Tabla XV. **Presión manométrica en cada punto de consumo**

<b>Consumidores de vapor</b>	<b>Presión manométrica en el punto de consumo [psig]</b>
Formulación de frijol	70,28
Almix	70,89

Fuente: elaboración propia.

De la tabla XIV se aprecia que el proceso de Almix se encuentra por debajo de su requerimiento de presión manométrica de 75 psig, al encontrarse en un punto lejano de la tubería “B” en el diagrama, que además sirve a muchas otras cargas antes que el Almix.

Figura 15. Red de distribución de vapor en planta



Fuente: elaboración propia.

#### 4.4. Cálculo de ROI

El ROI o retorno de inversión es el valor económico generado como resultado de la implementación de diferentes acciones. Este indicador permite medir el rendimiento que se ha obtenido de una inversión.

Donde:

$$\text{ROI} = (\text{Beneficios estimados} / \text{costos asociados con el programa})$$

(Ecuación 5)

ROI del aislamiento de la tubería de condensado:

Beneficios estimados por año: \$1 771,3

Costo asociado con el programa por año: \$1 770,75

$$\text{ROI} = 1\,771,3 / 1\,770,75 = 1$$

Es decir que, por cada dólar invertido, se ganará un dólar.

ROI del aislamiento de la tubería de vapor:

Beneficios estimados por año: \$42 941,4

Beneficios estimados por años: \$7 562,7

$$\text{ROI} = 42\,941,4 / 7\,562,7 = 5,68$$

Es decir que, por cada dólar invertido, se ganará \$5,68

## CONCLUSIONES

1. Durante el trabajo de campo debió corroborarse el trazado de las tuberías de vapor y condensado, con el levantamiento oficial mostrado en los planos. En este proceso resultó difícil dar seguimiento a las tuberías, ya que no se encuentran correctamente señalizadas; por ello resultaba muy fácil confundir las tuberías de vapor y condensado en los tramos en donde ambas se encontraban aisladas. También se observó que la señalización general en tuberías respecto del tipo de sustancias trasegadas y dirección de flujo se encontraba incompleta, tanto en lo que respecta a facilidades como en los productos alimenticios y sustancias misceláneas en los procesos. Se evaluó la estructura de la red de vapor, la cual en general cumple con un buen diseño; instalación correcta de valvulería, reducciones de diámetro, adecuado uso de juntas de expansión, así como trampas de condensado. Sin embargo, se encontraron tramos de tubería sin aislamiento térmico, lo que reduce la capacidad real de vapor aprovechable. Análogamente en el sistema de recuperación de condensado se identificaron las bombas de condensado que presentaban fallas, comprometiendo seriamente su correcto funcionamiento.
2. Por medio de un balance de masa de vapor de las instalaciones de la planta de producción se obtuvo el porcentaje de participación de cada uno de los tipos de alimento que se manufactura. Se determinó que del 100 % de vapor producido, se utiliza el 52,3 % para la producción de los productos de frijol; 37,9 % para otros productos y el 9,8 % del total de masa de vapor se pierde debido a la falta de aislamiento térmico en largos tramos de tubería. También al mal funcionamiento de manómetros de

control en los puntos de consumo de vapor y a que un alto porcentaje de las bombas de condensado se mantiene inhabilitado, o bien hay pérdidas de vapor flash.

3. En cuanto a las mejoras propuestas en las instalaciones mecánicas de la red de vapor, al inspeccionar la instalación de la bomba de condensado para el proceso de Almix, se observó que las tuberías de succión y descarga del equipo cuentan con una unión de tope que permite un fácil desacople de la bomba. Sin embargo, eso no sucede en la tubería de venteo ni en la alimentación de vapor; esta situación limita la facilidad con la que el equipo puede ser desmontado, ya sea para su eventual cambio o para ser sometido a labores de mantenimiento. También se encuentra el cambio de válvulas de admisión y escape de vapor, ya que presentaban desgaste debido al daño producido por escoria. En la red de condensado se recomienda la implementación de filtros y determinar la altura correcta del tanque de condensado, ya que esta debe tener la misma altura del nivel de agua de la caldera, para que el equipo trabaje correctamente con la ayuda de la fuerza de gravedad; ya que la presión de descarga de la bomba debe ser suficientemente mayor que la presión del recipiente de destino, para que pueda vencer las pérdidas en la tubería y accesorios hasta llegar a donde se desea.
4. Se realizó un análisis de retorno de inversión para la ejecución de un proyecto con base en las mejoras presentadas al sistema de distribución de vapor y condensado. Ya que la pérdida de calor en las tuberías, debido a la falta de aislamiento térmico, genera un considerable desperdicio de recursos que se reflejaba en los costos; se considera trabajar en la insulación térmica de las tuberías que todavía carecen de esta en la red de vapor como en la de condensado. De lo anterior se dedujo que el ahorro

anual solo del área de formulación de frijol aislando la tubería de vapor era de \$1 092,20 y la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> de 3 672,56 Kg<sub>equivalentes/año</sub>, mientras que el ahorro aislando la tubería de condensado sería de \$53,30/año con una reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> de 179,08 Kg<sub>equivalentes/año</sub>.



## RECOMENDACIONES

1. Iniciar con un proceso de identificación detallado de todas las tuberías de la planta, de modo que sea fácil el reconocimiento de cada una de ellas, detallando qué tramos contienen sustancias peligrosas o se mantienen a temperaturas elevadas; utilizando la codificación de colores estándar para tuberías. Es prudente realizar periódicamente evaluaciones completas a la red de tuberías de ambos sistemas; independiente de las programadas por el área de mantenimiento. Esto con el fin de detectar o bien prevenir defectos que generen accidentes, considerables pérdidas de calor o agua de condensado, desgaste temprano de accesorios o equipos; con el fin de lograr que el proceso de traslado de vapor y recuperación de condensado sea eficiente sin comprometer la calidad de ambos flujos.
2. Ahondar en el diseño de un plan de fortalecimiento en el mantenimiento de la red de vapor y sus auxiliares, en el cual se le faciliten de todos los insumos de tiempo y recursos que este necesite. Ya que por medio del balance de masa para calcular las pérdidas en los sistemas se determinó que estas fallas son la principal causa de la pérdida de calor.
3. Verificar el proceso de instalación de todos los equipos por parte de terceros, y corroborar que el sistema, como un todo, permita el correcto funcionamiento del equipo y su desacople completo, de modo que se faciliten las labores de limpieza y mantenimiento, tanto preventivo como correctivo.

4. Es recomendable realizar un análisis de inversión para evaluar la conveniencia de un programa de mejora. Se debe evaluar el costo de la implementación, así como el mantenimiento que este requerirá. Por ello, establecer objetivos cuantificables que le den sentido y dirección al programa es importante, para determinar las mejoras que posean ciertas características, como rentabilidad a la empresa minimizando costos, tiempos, mermas y movimientos sin sacrificar la calidad del producto; todo esto antes de la devaluación o vida útil de los activos involucrados en el programa de mejora.

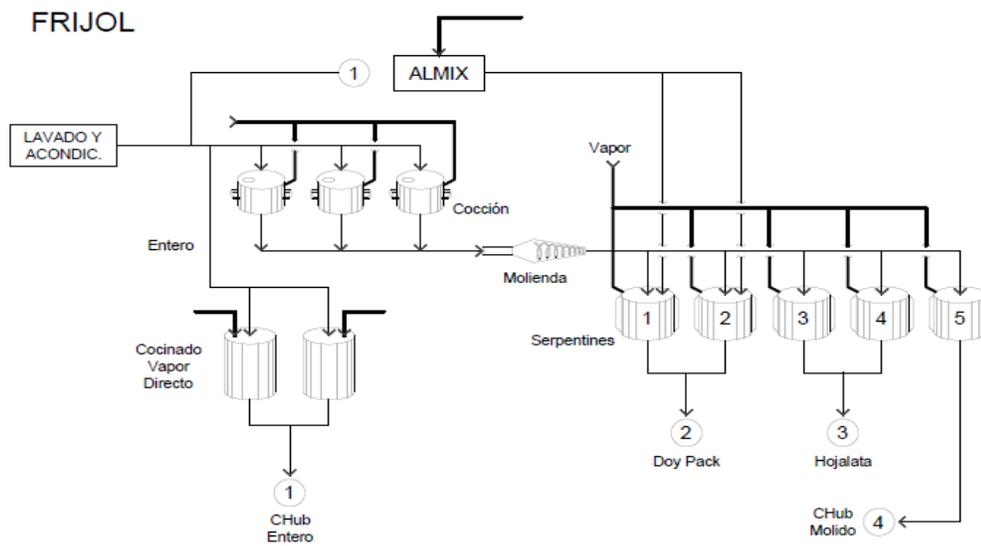
## BIBLIOGRAFÍA

1. BENSON John Thomas, GETRANKE-FACHVERLAG, Carl Hans. *Brewery Utilities (manual of Good practice)* Alemania: European Brewery Convention. 1997.757p.
2. BREALEY, Richard. MYERS, Stewart. ALLEN, Franklin. *Principios de finanzas corporativa* 8a ed. Madrid: MacGraw-Hill, 2006. 332p
3. CENGEL, Yunus. BOLES, Michael. *Termodinámica*. 7a ed. Nueva York: The McGraw-Hill Companies 2011. 736p.
4. Ing Byron Giovanni Palacios Colindres. *Curso de montaje y mantenimiento de equipo*, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2017.
5. Ing Roberto Guzman Ortiz. *Curso de plantas de vapor*. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2017.
6. Ing Roberto Guzman Ortiz. *Cursos de instalaciones mecánicas*, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2017.
7. MARKS, Lionel Simeon. BAUMEISSTER III, Theodore. *Manual del ingeniero mecánico*. 10 a ed. Tomo I, II y III. Editorial McGraw-Hill. México: 1984. 1683p.

8. RENDER, Barry. STAIR, Ralph y Hanna, Michael. *Métodos cuantitativos para los negocios*. 9a ed. México: Person Prentice Hall, 2006. 748p.

# APÉNDICES

## Apéndice 1. Diagrama de procesos de Almix, cocedores o marmitas



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Análisis técnico y financiero de oportunidades de ahorro**  
**Colocar aislante térmico en tuberías de condensado**

		Ahorros anuales proyectados	
		Electricidad	col/kWh
			kWh/año
			\$/año
Reparar o instalar aislameinto en tramos de tuberías de la línea de recuperación de condensado		Bunker	col /litro
			MJ /año
			litros/año
			\$/año
		GLP	US \$/gal
			974.61
			MBTU /año
			0.0
<b>Costos de operación y mantenimiento</b>			\$/año
			<b>\$1,771.3</b>
( ) Aumentarán (US \$/año):	0	Otros	
( ) Disminuirán (US \$/año):	0		\$/año
			<b>\$0.0</b>
Vida útil estimada (años):	5	Ahorro total MBTU/año:	<b>\$0.0</b>
Valor de rescate (US \$):	0	Ahorro total kWh/año:	<b>0</b>
Tasa de cambio dólar US	Q 7.39	Ahorro total US\$/año	<b>\$1,771.3</b>
Costo de capital	0.00%	Costo total US\$	<b>\$4,692.5</b>
Valor Presente Neto	\$2,579.9	Periodo simple de	<b>2.65</b>
Tasa Interna de Retorno (%)	25.74%	de recuperación (años)	
Análisis del costo del Proyecto			
Mano de obra (\$):	1,961	Imprevistos (\$)	15%
			<b>612</b>
Compra Materiales y Equipos (\$):	2,119	Ingeniería (\$):	0%
			<b>0</b>
Alquileres (\$):		Inspección (\$):	0%
			<b>0</b>
Otros (\$)			
<b>SUBTOTAL (\$):</b>	<b>4,080</b>	<b>COSTO TOTAL (\$):</b>	<b>4,692.48</b>

Fuente: elaboración propia.

Continuación apéndice 2

<b>Estimacion costo Materiales y Equipos</b>				
<b>Materiales y equipos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario (\$)</b>		<b>Costo total (\$)</b>
Cañuela 1" x 1 1/2"	22.2	9.1		201.8
Cañuela 1 1/2" x 1 1/2"	20.0	9.3		185.5
Cañuela 2" x 1 1/2"	117.8	11.1		1,306.0
Cañuela 3" x 1 1/2"	0.0	16.9		0.0
Cañuela 4" x 1 1/2"	10.0	18.2		182.4
<b>Subtotal sin Impuestos</b>				<b>1,875.6</b>
	<i>Impuesto de ventas</i>	13%		243.8
<b>Total Materiales y Equipos</b>				<b>2,119.5</b>
<b>Estimacion costo mano de obra</b>				
<b>Materiales y equipos</b>	<b># personas</b>	<b>Duración (días)</b>	<b>Costo M.O (US\$/día)</b>	<b>Costo total (\$)</b>
Técnico				
Mecánico	3.0	11.3	57.7	1,961.0
Eléctrico				0.0
Obra gris				
Peon				0.0
Albañil				0.0
Maestro de obras				0.0
<b>Total mano obra</b>				<b>1,961.0</b>

Fuente: elaboración propia.

Continuación apéndice 2

		Ahorros anuales proyectados	
Reparar o instalar aislameinto en tramos de tuberías de la línea de trasiego de vapor		Electricidad	col/kWh
			kWh/año
			\$/año
		Bunker	col /litro
			MJ /año
			litros/año
			\$/año
		GLP	US \$/gal
			23,627.70
			MBTU /año
			0.0
<b>Costos de operación y mantenimiento</b>			\$/año
			\$42,941.4
( ) Aumentarán (US \$/año):	0	Otros	
( ) Disminuirán (US \$/año):	0		\$/año
			\$0.0
Vida útil estimada (años):	5	Ahorro total	MBTU/año:
			\$0.0
Valor de rescate (US \$):	0	Ahorro total	kWh/año:
			0
Tasa de cambio dólar US	Q 7.39	Ahorro total	US\$/año
			\$42,941.4
Costo de capital	0.00%	Costo total	US\$
			\$7,562.7
Valor Presente Neto	\$168,741.5	Periodo simple de	
Tasa Interna de Retorno (%)	567.76%	de recuperación (años)	0.18
<b>Análisis del costo del Proyecto</b>			
Mano de obra (\$):	2,930	Imprevistos (\$)	15%
			986
Compra Materiales y Equipos (\$):	3,647	Ingeniería (\$):	0%
			0
Alquileres (\$):		Inspección (\$):	0%
			0
Otros (\$)			
<b>SUBTOTAL (\$):</b>	<b>6,576</b>	<b>COSTO TOTAL (\$):</b>	<b>7,562.69</b>

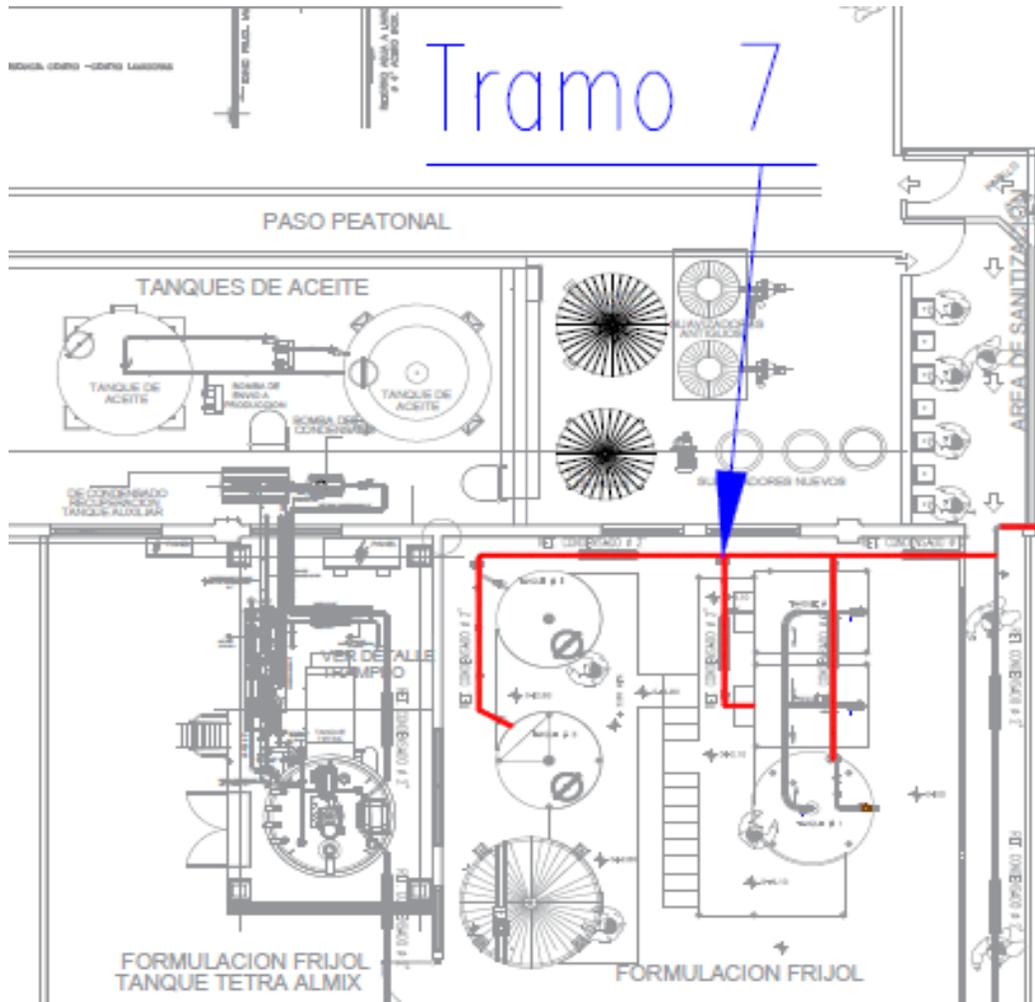
Fuente: elaboración propia.

Continuación apéndice 2

Estimacion costo Materiales y Equipos				
Materiales y equipos	Cantidad	Costo unitario (\$)		Costo total (\$)
Cañuela 1" x 1 1/2"	33.0	9.1		300.0
Cañuela 1 1/2" x 1 1/2"	0.0	9.3		0.0
Cañuela 2" x 1 1/2"	145.6	11.1		1,615.3
Cañuela 3" x 1 1/2"	45.6	16.9		770.2
Cañuela 4" x 1 1/2"	29.7	18.2		541.7
Subtotal sin Impuestos				3,227.2
Impuesto de ventas		13%		419.5
<b>Total Materiales y Equipos</b>				<b>3,646.8</b>
Estimacion costo mano de obra				
Materiales y equipos	# personas	Duración (días)	Costo M.O (US\$/día)	Costo total (\$)
Técnico				
Mecánico	3.0	16.9	57.7	2,929.5
Eléctrico				0.0
Obra gris				
Peon				0.0
Albañil				0.0
Maestro de obras				0.0
<b>Total mano obra</b>				<b>2,929.5</b>
Estimacion costo diario	Técnico	Peón	Albañil	Maestro Obras
	Colones	Colones	Colones	Colones
Salario mensual técnico:	550,000	350,000	750,000	1,000,000
más costo sociales	825,000	525,000	1,125,000	1,500,000
<b>Mano obra costo diario:</b>	<b>31,731</b>	<b>20,192</b>	<b>43,269</b>	<b>57,692</b>

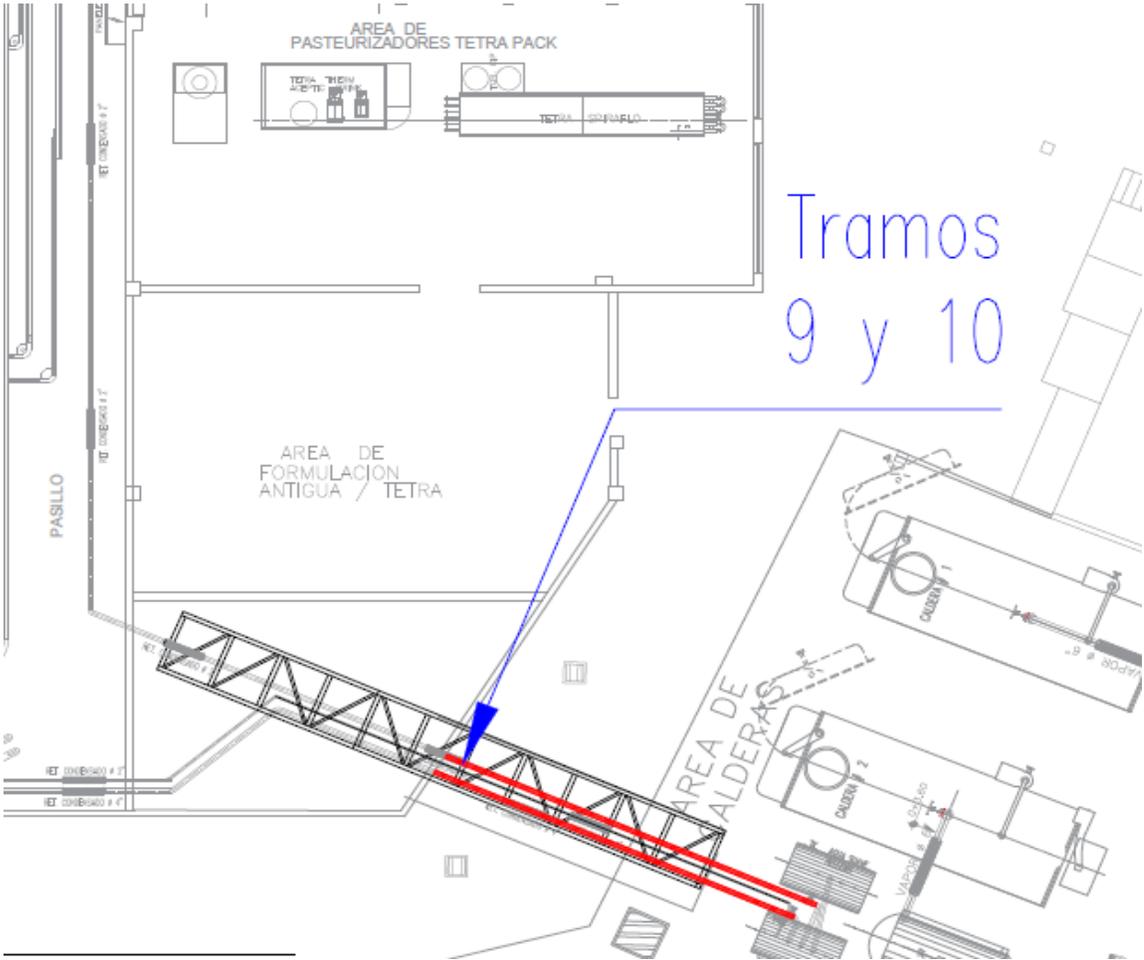
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Tramos de tubería de condensado sin aislamiento**



Fuente: elaboración propia.

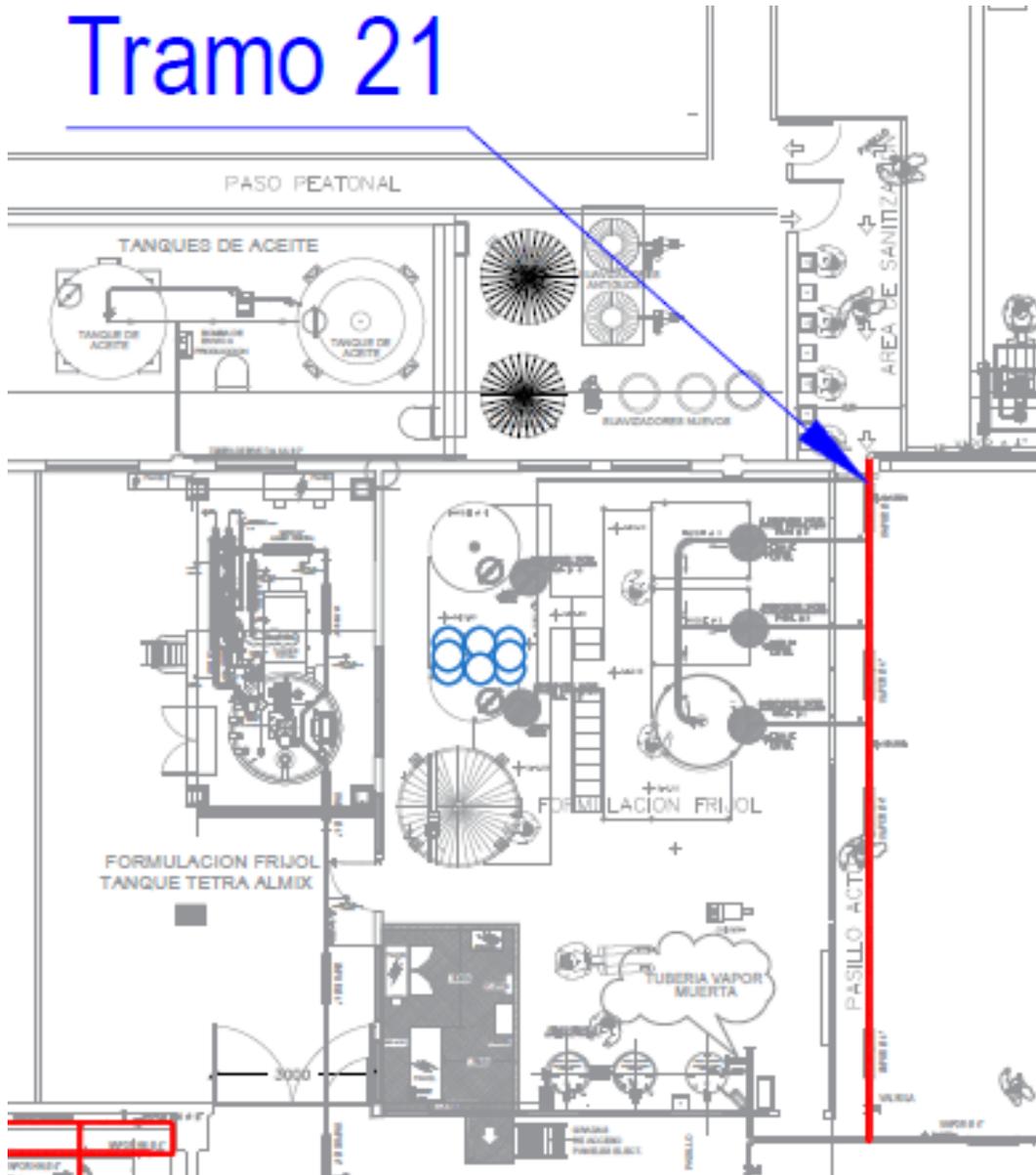
Continuación apéndice 3



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Tramo de tubería de vapor sin aislamiento térmico

# Tramo 21



Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 5. Memoria de cálculo

Red de Vapor

Ecuaciones

Paso 1: Verificación de las tuberías existentes por criterio de velocidad:

### Ecuación 1

$$u = \frac{4\dot{m}v_g}{\pi D^2}$$

u: velocidad del vapor en la tubería [m/s]

$v_g$ : volumen específico [m<sup>3</sup>/kg]

$\dot{m}$ : flujo másico de vapor [kg/s]

D: diámetro interno de la tubería [m]

Paso 2: Diseño del diámetro de la tubería por criterio de velocidad:

### Ecuación 2

$$D = \sqrt{\frac{4\dot{m}v_g}{\pi u}}$$

u: velocidad del vapor en la tubería [m/s]

$v_g$ : volumen específico [m<sup>3</sup>/kg]

$\dot{m}$ : flujo másico de vapor [kg/s]

D: diámetro interno de la tubería [m]

Paso 3a: Evaluación de la caída de presión en una tubería de longitud y diámetro conocidos, para longitudes menores a 200 metros:

### Ecuación 3

$$\Delta P = \frac{L v_g \dot{m}^2}{0.08 D^5}$$

$\Delta P$ : Caída de presión [bar]

L: longitud equivalente [m]

$v_g$ : volumen específico [m<sup>3</sup>/kg]

$\dot{m}$ : flujo másico de vapor [kg/h]

D: diámetro interno de la tubería [mm]

Paso 3b: Evaluación de la caída de presión en una tubería de longitud y diámetro conocidos, para longitudes mayores a 200 metros:

Continuación apéndice 5

### Ecuación 4

$$P_2 = \sqrt[1.9375]{P_1 - \frac{L \dot{m}^{1.853}}{0.011 D^{4.987}}}$$

L: longitud equivalente [m]  
 $\dot{m}$ : flujo másico de vapor [kg/h]  
 D: diámetro interno de la tubería [mm]  
 P1: presión inicial [bar a]  
 P2: presión final [bar a]

### Evaluación de las tuberías principales existentes

Existentes	Vapor (Kg/h)	Longitud Equivalente (m)	Diámetro Interno (mm)	Velocidad (m/s)	Caída de presión (bar)	Caída de presión (psi)	Caída de presión (%)
<b>Tubería A</b>	1 830,00	200,94	102,26	14,88	0,18	2,62	2
<b>Tubería B-B1</b>	16 180,00	135,71	154,05	57,95	1,23	17,84	15
Tubería B1-(B2,B3)	7 900,00	100,9	102,26	64,22	1,69	24,54	21
Tubería B1-B6	8 280,00	126,1	102,26	67,31	2,32	33,69	29
Tubería B6-B7,8,9	3 680,00	191,3	102,26	29,91	0,70	10,09	9
Tubería B6-B10	3 400,00	63,34	102,26	27,64	0,20	2,85	2
<b>Tubería C</b>	8 000,00	272,3	102,26	65,03	3,81	55,26	48

Fuente: elaboración propia.

# ANEXOS

## Anexo 1. Equipo de diagnóstico de trampas de vapor

SDS M1605-00



# Pocket TrapMan®

## MODEL PT1

**POCKET-SIZE DIAGNOSTIC TOOL FOR BASIC OPERATIONAL JUDGEMENTS**

**Features**

Compact diagnostic instrument employing ultrasonic and temperature detection for steam trap, valve and bearing inspection.

1. Compact and easy to use.
2. Simultaneously measures vibration and surface temperature.
3. Analog and digital display plus scaled audio function assist operation assessment.
4. Quickly makes basic judgements for steam traps and valves to help identify where repairs or replacements may be necessary.
5. dB is displayed for bearing inspection to help diagnose operational status.
6. Band-pass filter eliminates misleading background noise, focusing on high frequencies for improved accuracy over conventional ultrasonic detectors.
7. Stores the results of up to 100 trap/valve and 100 bearing inspections in internal memory.



---

**Specifications**

Inspection Type	Steam Trap Diagnosis	Valve Diagnosis <sup>1</sup>	Bearing Inspection
Mode	Steam Trap & Valve	Valve seal judgements	Bearing
Information Displayed	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Operation judgements: Good<sup>2</sup>, Blocked, Caution, LowTemp<sup>3</sup>, Leaking, Surface temperature</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valve seal judgements: Good, Caution, Leaking, Surface temperature</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Average vibration acceleration level (AVG)</li> <li>• Peak vibration acceleration level (PEAK)</li> <li>• CF Value<sup>4</sup></li> <li>• Surface temperature</li> </ul>
Measuring Time	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 15 seconds after placing PT1 probe against item to be inspected</li> <li>• Measurement begins and ends automatically</li> <li>• Measurement status is displayed by the LED indicator and in the display</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 10 seconds after placing PT1 probe against item to be inspected</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Up to 1 minute after placing PT1 probe against item to be inspected</li> <li>• Measurement begins automatically</li> <li>• Measurement ends after 1 minute or when the probe is removed; data is stored automatically</li> <li>• Measurement status is displayed by the LED indicator after 10 seconds or when the measured value stabilizes</li> </ul>
Data Memory	100 measurement results (3 digit Control ID)		100 measurement results (3 digit Control ID)
Measured Variables	Ultrasonic sound, surface temperature		Vibration acceleration (shock pulse/32 kHz), surface temperature
Engineering Units	Selectable: MPa & °C, bar & °C, kg/cm <sup>2</sup> & °C, or psi & °F		
Temperature Measurement	Measurement Range: 0 – 350 °C; Response Speed: 97% (after 15 seconds); Measurement Accuracy: ± 2 °C (after 1 minute)		
Operating Conditions	Ambient temperature range: 0 – 40 °C		
Display	64 × 128 LCD (18 × 28 mm) with backlight		
Auto Power OFF	Power goes OFF automatically after 1 minute if there is no operation and no keys pressed		
Power Source	2 AAA batteries (manganese or alkaline dry cell, Ni-Cd or Ni-MH rechargeable)		
Total Battery Use Time	Approximately 8 hours without backlight, 8 hours with backlight (exact time depends on batteries used)		
Earphone Output	# 3.5 stereo output (audio sound generated in proportion to ultrasonic sound level measured)		
Accessories	Soft case, earphone, carrying strap, 2 AAA batteries		

<sup>1</sup> Valves on steam, air and other gas systems. <sup>2</sup> [Good] judgements for Temperature Control (Adjustable) Steam Traps must be confirmed manually. <sup>3</sup> There is no [LowTemp] judgement for Temperature Control (Adjustable) Steam Traps. <sup>4</sup> Crest Factor Value = PEAK – AVG

Copyright © TLV

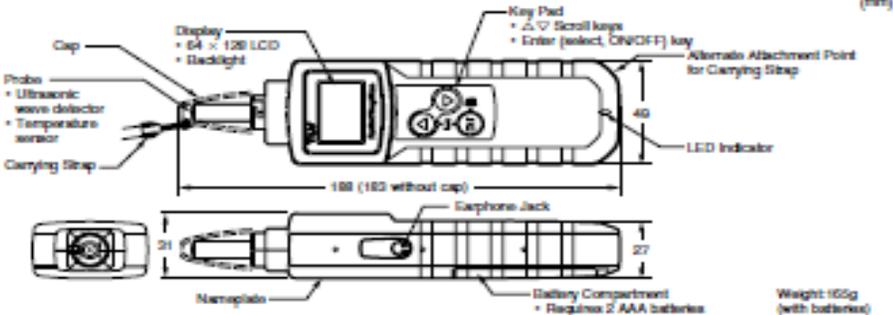
Fuente: TLV International. <https://www.tlv.com/global/LA/products/070700.html>.



Consulting & Engineering Service

---

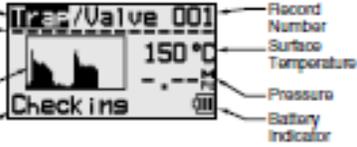
### Dimensions & Components



---

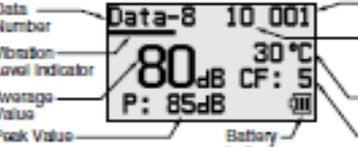
### Display

**• Steam Trap/Valve Diagnosis Mode**



Mode, Measuring Time Indicator, Measured Ultrasound, Comments, Record Number, Surface Temperature, Pressure, Battery Indicator

**• Bearing Diagnosis Mode**

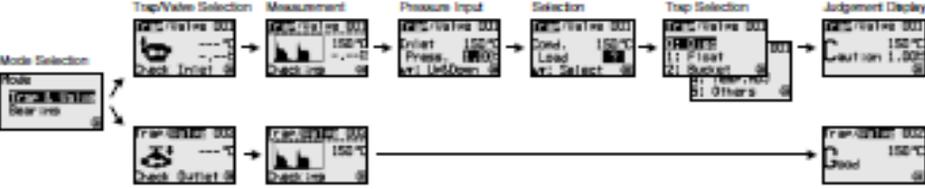


Data Number, Vibration Level Indicator, Average Value, Peak Value, Record Number, Measuring Time Counter, Surface Temperature, Creel Factor Value, Battery Indicator

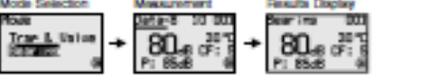
---

### Operation Outline

**• Steam Trap/Valve Diagnosis Screens**



**• Bearing Diagnosis Screens**



Note: Actual steps may be different to those shown above

---

Manufacturer



Kokogawa, Japan  
Incorporated in JAPAN

ISO 9001/ISO 14001



Copyright © TLV (O)

<http://www.tlv.com>

SDS M1605-00 Rev. 3/2012  
Products for intended use only.  
Specifications subject to change without notice.

# SEÑALIZACIÓN

## Identificación de tuberías para fluidos

En cuanto a su señalización, las tuberías se componen de un color básico y otro complementario, según el tipo de fluido que por ellas circula.

### COLOR BÁSICO

- Indica la naturaleza del fluido.
- Puede establecerse en toda la longitud en una cierta longitud, o en una banda longitudinal. SIEMPRE deberá estar en el color básico en la proximidad de válvulas, empalmes y aparatos del servicio de la instalación.

### COLOR COMPLEMENTARIO

- Indica el ESTADO del fluido.
- Se coloca sobre el color básico.



## Anexo 2.

## Identificación de tuberías

FLUIDO	COLOR BÁSICO	ESTADO	COLOR COMPLEMENTARIO	EJEMPLO
AGUA	VERDE	USO INDUSTRIAL	NEGRO	
		RESIDUAL	NEGRO + NEGRO	
ALUJITRÁN	NEGRO	CONCENTRADO	ROJO	
		DEPURADO	AMARILLO	
BASES	VIOLETA	BRUTO	NEGRO	
		ALUMBRADO	ROJO	
GASES	AMARILLO	ACETILENO	BLANCO + BLANCO	
		ÁCIDO CARBÓNICO	NEGRO + NEGRO	
VAPOR	ROJO	DE ALTA	BLANCO	
		DE ESCAPE	VERDE	
VACÍO	GRIS	DE ALTA	BLANCO	
		DE ESCAPE	VERDE	
ACETES	MARRÓN	CASOIL	AMARILLO	
		DE ALUJITRÁN	NEGRO	
ÁCIDO	NARANJA	BENCINA	ROJO	
		BENZOL	BLANCO	
AIRE	AZUL	CONCENTRADO	ROJO	
		CALENTE	BLANCO	
AGUA	VERDE	COMPRESIDO	ROJO	
		POLVO DE CARBÓN	NEGRO	
AGUA	VERDE	POTABLE	VERDE	
		CALENTE	BLANCO	
AGUA	VERDE	CONDENSADA	AMARILLO	
		A PRESIÓN	ROJO	
AGUA	VERDE	SALADA	NARANJA	

Fuente: Ibermutuamur. [www.ibermutuamur.es](http://www.ibermutuamur.es).

