



# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



## FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

### AUDITORÍA ENERGÉTICA DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR DE LA EMPRESA TEXTIL PADILLA CIA LTDA.

#### TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

**CRISTIAN ALEXANDER UVILLÚS QUISHPE**  
cristian.uvillus@epn.edu.ec

**DIRECTOR: ING. PALACIOS ENCALADA JOSÉ LUIS, Ph.D.**  
jose.palacios@epn.edu.ec

**CODIRECTOR: ING. NARANJO MENDOZA CARLOS ANDRÉS, Ph.D.**  
carlos.naranjo@epn.edu.ec

Quito, abril 2022

## CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por **CRISTIAN ALEXANDER UVILLÚS QUISHPE**, bajo nuestra supervisión

---

Ing. Palacios Encalada José Luis, Ph.D.

**DIRECTOR DE PROYECTO**

---

Ing. Naranjo Mendoza Carlos Andres, Ph.D.

**CODIRECTOR DE PROYECTO**

## DECLARACIÓN

Yo, **Cristian Alexander Uvillús Quishpe**, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo nuestros derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



---

Cristian Alexander Uvillús Quishpe

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi mamá y abuelitos por ayudarme a lograr mis metas, por confiar en mí, por su amor y sacrificio a lo largo de todos los años de mi vida.

Al Laboratorio de Transferencia de Calor de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional, por el préstamo de los equipos para el desarrollo de este proyecto.

Al ingeniero José Luis Palacios, por compartir sus conocimientos, experiencias y tiempo para realizar este proyecto de titulación.

Al ingeniero Carlos Naranjo, por sus observaciones en este proyecto.

A la empresa Textil Padilla Cia. Ltda, por todas las facilidades para realizar este proyecto, al Sr. Fernando Morales, Jefe de Mantenimiento y a Lenin Padilla, por toda la colaboración prestada.

Cristian Uvillús

## **DEDICATORIA**

Este proyecto se lo dedico a mi mamá y hermano, Fanny y Omar quienes son las personas que más amo, son mi motivación y fortaleza.

A mis abuelitos, Piedad y Manuel, por todo su apoyo incondicional durante toda mi vida. Los amo demasiado.

Cristian Uvillús

## ÍNDICE

CERTIFICACIÓN.....	i
DECLARACIÓN.....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
DEDICATORIA .....	iv
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT .....	xv
INTRODUCCIÓN.....	xvi
Objetivo general.....	xvi
Objetivos específicos.....	xvi
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Descripción general de la planta.....	1
1.1.1. Localización.....	1
1.1.2. Descripción física de la planta .....	2
1.2. Descripción de los procesos de producción.....	4
1.2.1. Materia prima.....	4
1.2.2. Tejeduría .....	4
1.2.3. Plegado .....	5
1.2.4. Tintorería .....	5
1.2.5. Hidroextracción.....	5
1.2.6. Secado .....	5
1.2.7. Acabado .....	6
1.3. Descripción de las fuentes de suministro de energía .....	6
1.3.1. Electricidad.....	6
1.3.2. Suministro de GLP.....	6
1.3.3. Suministro de Diesel.....	7
1.3.4. Consumo de Diesel .....	7
1.4. Elementos y distribución del sistema de vapor .....	8
1.4.1. Equipos de consumo de vapor .....	8
1.4.2. Sistema de retorno de condensado .....	10
1.5. Auditoria energética.....	11
1.6. Norma ISO 50002.....	11
1.6.1. Procedimiento para una auditoria energética.....	11

2.	METODOLOGÍA .....	13
2.1.	Descripción del sistema de generación de vapor .....	13
2.1.1.	Generador de vapor.....	13
2.1.2.	Sistema de distribución de vapor .....	18
2.1.3.	Sistema de retorno de condensado .....	23
2.1.4.	Línea de agua caliente .....	24
2.2.	Descripción de los equipos de consumo de vapor .....	24
2.2.1.	Máquinas de tintura .....	24
2.2.2.	Máquinas de acabado .....	27
2.3.	Balance de masa.....	28
2.3.1.	Determinación del flujo másico de agua de alimentación.....	30
2.3.2.	Determinación del flujo másico de combustible .....	33
2.3.3.	Determinación del flujo másico de condensado.....	37
2.3.4.	Determinación del flujo másico de vapor .....	43
2.3.5.	Determinación del flujo másico de agua de caliente .....	45
2.3.6.	Determinación de flujo másico del agua caliente para el tanque de alimentación .....	49
2.3.7.	Determinación del flujo másico del agua de enfriamiento .....	52
2.4.	Determinación de pérdidas de energía .....	53
2.4.1.	Calores disponibles y útil .....	54
2.4.2.	Pérdidas de calor en la caldera .....	56
2.4.3.	Pérdidas de calor en tuberías .....	69
2.4.4.	Pérdidas de calor por fugas de vapor .....	78
2.4.5.	Auditoria de trampas de vapor.....	81
2.5.	Determinación de la eficiencia térmica de la caldera .....	87
2.5.1.	Método directo.....	87
2.5.2.	Método indirecto .....	88
2.6.	Costos de generación de vapor .....	89
2.6.1.	Índice de consumo .....	89
2.6.2.	Costos de generación de vapor .....	90
2.6.3.	Costo de producción.....	93

2.7.	Determinar costos de pérdida de energía .....	93
2.8.	Determinar oportunidades de mejora.....	95
2.8.1.	Tanque de agua de alimentación.....	96
2.8.2.	Conexiones de las derivaciones .....	97
2.8.3.	Aislamiento térmico de tuberías.....	98
2.8.4.	Tanque de recuperación de revaporizado.....	98
2.8.5.	Reemplazo de trampas de vapor .....	100
2.8.6.	Reparación de fugas de vapor .....	101
2.9.	Determinar el tiempo de recuperación del capital (TRC).....	101
2.10.	Determinar el valor actual neto (VAN).....	102
2.11.	Determinar la tasa interna de retorno (TIR) .....	103
2.12.	Determinar la cantidad de CO <sub>2</sub> no emitidas por las oportunidades de ahorro de energía (OAE´s).....	104
2.13.	Comparar y priorizar las oportunidades de ahorro de energía (OEA´s).....	105
2.14.	Determinar la viabilidad de la propuesta .....	106
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	107
3.1.	Descripción de la fabrica.....	107
3.2.	Análisis de eficiencias.....	108
3.2.1.	Consumo energético.....	108
3.2.1.	Método directo.....	108
3.2.2.	Método indirecto .....	109
3.3.	Medidas de ahorro.....	109
3.3.1.	Costo anual de pérdidas en el sistema de vapor .....	109
3.4.	Evaluación económica.....	110
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	112
4.1.	Conclusiones .....	112
4.2.	Recomendaciones .....	113
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	114
	ANEXOS.....	117
	Anexo I Registro de consumo diario de combustible de los años 2019, 2020 y 2021	
	118	
	Anexo II Informes del tratamiento químico de agua de caldera HURST 2017 ....	120
	Anexo III Propiedades termofísicas de vapor saturado .....	125
	Anexo IV Descripción de equipos .....	126

Anexo V Medición del volumen de agua de alimentación de la caldera .....	128
Anexo VI Medición de combustible de la caldera N°1 .....	129
Anexo VII Cálculos del consumo de combustible.....	131
Anexo VIII Tiempo y temperatura de la máquina en el proceso de tintura.....	132
Anexo IX Calculo de flujo másico de condensado.....	134
Anexo X Cálculos del volumen de condensado .....	135
Anexo XI Resumen de calidad del combustible de tanques de despacho.....	136
Anexo XII Monitoreo de emisiones de combustión.....	137
Anexo XIII Cálculos de pérdidas de calor sensible.....	141
Anexo XIV Fotografías termográficas de la superficie de la caldera.....	142
Anexo XV Calculo del coeficiente de transferencia de calor por radiación .....	145
Anexo XVI Cálculo de coeficiente de transferencia de calor por convección.....	146
Anexo XVII Cálculos del flujo de calor en la superficie de la caldera.....	151
Anexo XVIII Calculo de pérdidas por radiación y convección.....	154
Anexo XIX Mediciones de temperatura para tuberías sin aislamiento .....	155
Anexo XX Cálculos de pérdidas de calor por tuberías sin aislamiento .....	159
Anexo XXI Calculo de pérdidas de calor por tuberías sin aislamiento por resistencias termicas 163	
Anexo XXII Pérdidas de calor en las trampas de vapor .....	164
Anexo XXIII Tablas para determinar el flujo de condensado de cada trampa. ...	166
Anexo XXIV Valores calculados para el revaporizado.....	173
Anexo XXV Orden de fabricación .....	174
Anexo XXVI Cálculos de los costos de perdida de energía.....	175
Anexo XXVII Catalogo del tanque de alimentación .....	177
Anexo XXVIII Costos de fabricación de tanque de agua de alimentación .....	179
Anexo XXIX Perdidas de energía para tuberías sin aislamiento .....	180
Anexo XXX Espesores recomendados de aislante térmico.....	181
Anexo XXXI Factor de emisión por defecto de un gas de efecto invernadero ....	183
Anexo XXXII Propiedades del aire a la presión de 1 atm .....	184

Anexo XXXIII Dimensionamiento de tanques flash .....	186
Anexo XXXIV Cotización de fabricación de tanques de recuperación de revaporizado.....	191

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Mapa satelital del establecimiento textil. ....	1
Figura 1.2. Detalle de la codificación aplicada en planta.....	3
Figura 1.3 Perfil de consumo de diesel de las calderas .....	7
Figura 1.4. Sistema de generación de vapor.....	8
Figura 1.5 Componentes principales de una máquina de tintura.....	9
Figura 1.6 Diagrama de una máquina compactadora con enrollador .....	10
Figura 1.7 Flujograma de auditoria energética.....	12
Figura 2.1. Diagrama del sistema de generación de vapor. ....	13
Figura 2.2. Fotografía de la caldera 1. ....	14
Figura 2.3 Bomba de suministro de diesel al quemador de la caldera. ....	15
Figura 2.4. Sistema modulador aire/combustible. ....	16
Figura 2.5 Diagrama de suministro de agua. ....	16
Figura 2.6 Tanque de alimentación.....	17
Figura 2.7 Tanques de ablandamiento de agua.....	17
Figura 2.8 A) Bomba dosificadora de químicos, B) Tanque de químicos .....	18
Figura 2.9 Distribuidor principal .....	19
Figura 2.10 Distribuido secundario.....	19
Figura 2.11 Tubería de vapor sin aislante de la MCS180.....	20
Figura 2.12 Toma de vapor TRD3.....	21
Figura 2.13 Toma de vapor TRD4.....	21
Figura 2.14 Toma de vapor MCS 300 .....	21
Figura 2.15 Toma de vapor MCS180 .....	22
Figura 2.16 Toma de vapor Lafer2015.....	22
Figura 2.17 Toma de vapor Lafer2019.....	23
Figura 2.18 Diagrama del proceso de tintura .....	25
Figura 2.19 A) Máquina de tintura MCS 300, B) Máquina de tintura MCS 300.....	25
Figura 2.20 Máquina de tintura IMASTER.....	26
Figura 2.21 A) Máquina de tintura TRD3, B) Máquina de tintura TRD4.....	26
Figura 2.22 A) Máquina LAFER 2015, B) Máquina LAFER 2019 .....	28
Figura 2.23 Diagrama de los flujos másicos del área de tintorería .....	29
Figura 2.24 Instalación del caudalímetro ultrasónico .....	30

Figura 2.25 Consumo de agua de alimentación .....	31
Figura 2.26 Tanque diario de diesel.....	34
Figura 2.27 Ciclos de consumo de combustible .....	35
Figura 2.28 Conexión para medición de condensado .....	38
Figura 2.29 Tanque de almacenamiento de condensado.....	39
Figura 2.30 Equipos para medición de condensado .....	40
Figura 2.31 Descripción del proceso de teñido .....	41
Figura 2.32 Áreas de consumo de vapor. ....	44
Figura 2.33 Distribución del agua caliente .....	46
Figura 2.34 Diagrama del volumen de control.....	46
Figura 2.35 Instalación del caudalímetro ultrasónico en la tubería de agua caliente ...	47
Figura 2.36 Diagrama de flujos máxicos .....	53
Figura 2.37 Diagrama de energías para la generación de vapor.....	54
Figura 2.38 Valores límites de las características del agua en el interior de las calderas .....	60
Figura 2.39 Perdidas de calor para tuberías de acero sin aislante .....	69
Figura 2.40 Pérdidas de calor para tuberías de acero sin aislante .....	71
Figura 2.41 Pérdidas de calor para tuberías de acero, condensado, sin aislante.....	73
Figura 2.42 Resistencia térmicas .....	74
Figura 2.43 Flujo de vapor en orificios descargados a la atmosfera.....	79
Figura 2.44 Fuga de vapor en la válvula para la maquina MCS 180 .....	79
Figura 2.45 Fuga de vapor en la válvula de entrada de vapor, máquina TRD4 .....	80
Figura 2.46 Generación de ondas de ultrasonido en asiento de una trampa de vapor.81	
Figura 2.47 Pocket TrapMan: PT1 .....	81
Figura 2.48 Formación de revaporizado.....	85
Figura 2.49 Diagrama del precio de la energía comprada y transformada mediante la unidad de generación de vapor.....	90
Figura 2.50 Toma de vapor tipo cuello de ganso .....	97
Figura 2.51 Configuración de conexiones para el final de línea .....	98
Figura 2.52 Diagrama de funcionamiento de un tanque flash .....	99
Figura 2.53 Medidas de ahorro de energía .....	105
Figura 3.1 Interior de la tubería de ingreso de agua a la caldera .....	108
Figura 3.2 Flujo de efectivo.....	111
Figura 0.1 Sección tapa frontal de la caldera N°1. ....	142
Figura 0.2 Sección izquierda de la caldera N°1.....	142
Figura 0.3 Sección derecha de la caldera N°1. ....	142
Figura 0.4 Sección tapa posterior de la caldera N°1. ....	143

Figura 0.5 Sección frontal de la chimenea de la caldera N°1. ....	143
Figura 0.6 Sección posterior de la chimenea de la caldera N°1. ....	143

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Distribución de áreas en tintorería.....	2
Tabla 1.2 Distribución del área de tintorería y acabado .....	2
Tabla 1.3. Áreas de producción de la planta de tintorería. ....	3
Tabla 1.4. Equipos de producción de la planta de tintorería.....	3
Tabla 1.5. Fuentes de energía y sus aplicaciones. ....	6
Tabla 2.1. Ficha técnica de las calderas 1 y 2.....	14
Tabla 2.2 Geometría de distribuidores de vapor .....	20
Tabla 2.3 Trampas de vapor de los equipos de consumo .....	23
Tabla 2.4 Equipos utilizados para el proceso de tintura .....	25
Tabla 2.5 Placa de las máquinas MCS 300 y 180.....	25
Tabla 2.6 Placa de la máquina iMaster .....	26
Tabla 2.7 Placa de las máquinas TRD3 y TRD4.....	26
Tabla 2.8 Equipos utilizados en el área de acabado .....	27
Tabla 2.9 Flujos máscicos del balance de masa.....	28
Tabla 2.10 Valores calculados para el agua de alimentación a la caldera.....	33
Tabla 2.11 Factor de conversión.....	34
Tabla 2.12 Consumo de combustible parcial y total .....	36
Tabla 2.13 Datos calculados del combustible .....	37
Tabla 2.14 Factor de conversión.....	39
Tabla 2.15 Medición de condensado .....	42
Tabla 2.24 Valores calculados para el condensado .....	43
Tabla 2.25 Flujo máscico de vapor .....	44
Tabla 2.26 Flujos máscicos para el suministro de vapor.....	45
Tabla 2.19 Mediciones para el flujo de agua caliente.....	48
Tabla 2.20 Valores calculados para el agua caliente .....	49
Tabla 2.21 Mediciones para agua caliente para el tanque de alimentación.....	50
Tabla 2.30 Datos calculados para el agua caliente para el tanque de alimentación....	52
Tabla 2.23 Resumen de valores calculados para los diferentes flujos masicos.....	53
Tabla 2.24 Datos obtenidos del análisis de gases. ....	57
Tabla 2.33 Valores calculados para las pérdidas de calor sensible.....	58
Tabla 2.35 Temperatura promedio para cada sección de la caldera.....	62

Tabla 2.27 Coeficientes de transferencia de calor por radiación .....	63
Tabla 2.37 Coeficientes de transferencia de calor por convección.....	65
Tabla 2.38 Flujos de calor superficiales en la caldera .....	67
Tabla 2.39 Pérdidas de calor por convección y radiación .....	68
Tabla 2.40 Diámetros y longitudes de tuberías de vapor no aisladas.....	70
Tabla 2.41 Temperaturas de tuberías de vapor no aisladas.....	70
Tabla 2.42 Pérdidas de calor en tuberías de vapor sin aislamiento.....	72
Tabla 2.43 Diámetros y longitudes de tuberías de condensado no aisladas .....	72
Tabla 2.44 Temperaturas de tuberías de condensado sin aislamiento.....	72
Tabla 2.45 Pérdidas de calor en tuberías de condensado sin aislamiento .....	74
Tabla 2.46 Valores típicos del coeficiente de transferencia de calor por convección....	77
Tabla 2.49 Flujo másico de vapor por fugas .....	80
Tabla 2.50 Resultados de la revisión de funcionamiento de trampas de vapor .....	82
Tabla 2.51 Pérdidas de calor por fuga en las trampas de vapor .....	84
Tabla 2.53 Resumen del balance térmico de la caldera.....	89
Tabla 2.54 Costos de generación de vapor.....	93
Tabla 2.55 Costos de producción.....	93
Tabla 2.56 Resumen de las pérdidas de calor .....	93
Tabla 2.57 Días de operación de la caldera mensualmente.....	94
Tabla 2.58 Pérdidas anuales de energía.....	95
Tabla 2.59 Costo de inversión del tanque de almacenamiento .....	97
Tabla 2.51 Comparación económica del uso de aislante en tuberías.....	98
Tabla 2.63 Costo de aislamiento de tuberías de vapor y condensado .....	98
Tabla 2.64 Flujo de vapor flash para selección de tanque de revaporizado .....	99
Tabla 2.65 Dimensionamiento de tanques de revaporizado.....	100
Tabla 2.66 Costos para el tanque flash N° 1 .....	100
Tabla 2.67 Costos para el tanque flash N° 2.....	100
Tabla 2.68 Costo para la fuga de vapor .....	101
Tabla 2.69 Criterios de selección de proyectos según VAN.....	102
Tabla 2.70 Flujo efectivo del proyecto.....	102
Tabla 2.71 Valor presente de ingresos y egresos, VAN y VAN acumulado.....	102
Tabla 2.72 Criterios de selección de proyectos según TIR .....	103
Tabla 2.73 Organización de propuestas energéticas .....	105
Tabla 2.74 Indicadores financieros .....	106
Tabla 3.2 Balance térmico en la caldera N°1 .....	109
Tabla 3.3 Costos de pérdida de energía .....	110
Tabla 3.4 Propuestas de ahorro energético .....	110

Tabla 3.5 Análisis económico de las propuestas de ahorro.....	110
---	-----

## RESUMEN

El presente proyecto de titulación tiene como objetivo realizar una auditoria energética del sistema de generación de vapor de la empresa Textil Padilla Cia. Ltda para determinar oportunidades de ahorro de energía.

En el capítulo 1 se presenta una descripción de la empresa, los productos que elaboran y energía utilizada. Además, se realiza una introducción a los sistemas de generación de vapor.

En el capítulo 2 se realiza la recopilación de información de los equipos. Se determina las pérdidas de energía en el sistema, eficiencia de la caldera y costos de: generación de vapor y perdidas de energía. Además, se presentan propuestas de ahorro de energía complementadas con un análisis financiero y viabilidad.

En el capítulo 3 se presentan los resultados obtenidos en la auditoria energética.

En el capítulo 4 se presentan las conclusiones y recomendaciones del proyecto de titulación.

**Palabras clave:** Auditoria energética, sistemas de vapor, transferencia de calor, ahorro energético.

## **ABSTRACT**

The objective of this degree project is to make an energy audit of the steam generation system of the company Textil Padilla Cia. Ltda. to determine energy saving opportunities.

Chapter 1 presents a description of the company, the products produced and the energy used. In addition, an introduction to the steam generation systems is presented.

In chapter 2, the collection of information of the equipment is realized. Energy losses in the system, boiler efficiency and costs of steam generation and energy losses are determined. In addition, energy saving propositions are presented, complemented with a financial and viability analysis.

Chapter 3 presents the results of the energy audit.

Chapter 4 presents the conclusions and recommendations of the degree project.

**Keywords:** Energy audits, steam systems, heat transfer, energy savings.

# **AUDITORÍA ENERGÉTICA DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR DE LA EMPRESA TEXTIL PADILLA CIA LTDA.**

## **INTRODUCCIÓN**

TEXTIL PADILLA E HIJOS TEXPADILLA CIA. LTDA, es una empresa ecuatoriana con más de 45 años en el mercado dedicada principalmente a la fabricación y distribución de telas deportivas. Durante los 2 últimos años, la empresa ejecutó un proyecto de mejoramiento de procesos productivos con una inversión alta en nueva maquinaria y tecnología de automatización, con la finalidad de aumentar eficiencia en los procesos y aumentar la competitividad en el mercado. Sin embargo, la empresa no registra una valoración sobre el uso de energía en el proceso de generación de vapor. El sistema de generación de vapor representa un rubro importante dentro de los costos de producción. El vapor es requerido constantemente durante dos procesos textiles: teñido y acabado. Estos procesos determinan la calidad de la tela.

Una auditoria energética permite la verificación, seguimiento y análisis del uso de la energía que servirá para determinar propuestas para mejorar la eficiencia energética, reducir costos de energía y ahorro económico en facturas de energía [1]. La eficiencia energética aumenta la competitividad y mejora los aspectos sociales, un método efectivo para atenuar el cambio climático y asegurar el suministro energético [2]. En este contexto, este proyecto se enfoca en realizar una auditoria energética en base a la norma ISO 50002 enfocado en la generación de vapor, permite determinar los puntos críticos de mayor consumo de energía en la cadena de producción y proponer potenciales mejoras en el sistema.

La auditoría energética es un procedimiento sistemático para conocer el perfil de consumo energético en una instalación, con la finalidad de identificar y valorar posibilidades de ahorro de energía basado en un punto de vista técnico y económico [3]. También se busca el uso eficiente de la energía con la finalidad de aumentar niveles de competitividad, minimizar el consumo de energía y reducir la huella de carbono [4].

### **Objetivo general**

Realizar una auditoria energética del sistema de generación de vapor de la empresa Textil Padilla Cia. Ltda.

### **Objetivos específicos**

- Describir el funcionamiento de los procesos de producción en la planta.
- Establecer la línea base de consumo de energía del sistema de vapor.
- Determinar la eficiencia de combustión de las calderas.
- Determinar costos energéticos del sistema de generación de vapor.
- Realizar una evaluación técnica económica y ambiental de las oportunidades de ahorro de energía (OAE's)
- Clasificar las oportunidades de ahorro de energía (OAE's) en función del nivel de inversión y beneficio económico-ambiental.
- Redactar informe técnico-económico.

# 1. MARCO TEÓRICO

Este capítulo expone una descripción general, procesos y equipos de producción y fuentes de suministro de energía de la planta.

Se describe los elementos y componentes del sistema de generación de vapor. También, se indica la norma ISO 50002 para la ejecución de una auditoría energética.

## 1.1. Descripción general de la planta

TEXTIL PADILLA E HIJOS TEXPADILLA CIA. LTDA, es una empresa ecuatoriana con más de 45 años de experiencia en la industria textil dedicada principalmente a la fabricación, terminado, venta y distribución de telas deportivas, cuellos y puños en tejido de punto con fibras sintéticas poliéster 100%, poliéster microfibra y poli algodón. El área de producción cuenta con equipos con tecnología de punta de la más alta de calidad. Además, se elaboran accesorios para la confección de prendas de vestir como hilos, telas, elásticos, cierres y cordones [5] y [6].

### 1.1.1. Localización

La planta industrial y oficinas administrativas se encuentran ubicadas en el Valle de los Chillos, en el Barrio San Carlos, Puerto Rico S2-16 y Argentina, en la Parroquia de Alangasí, Cantón Quito, Provincia de Pichincha como indica la Figura 1.1.



Figura 1.1 Mapa satelital del establecimiento textil.  
(Fuente:[5])

### 1.1.2. Descripción física de la planta

Las actividades de la empresa se distribuyen en dos predios. El predio de tejeduría dedicada principalmente a la fabricación de tela en crudo y almacenamiento de: materia prima y producto terminado. Mientras que, el predio de tintorería se dedica al teñido, secado y planchado de la tela.

#### 1.1.2.1. Predio de tejeduría

El predio de tejeduría tiene una infraestructura de estructura metálica y techos de placas de fibrocemento, cuentan con servicios básicos. En la Tabla 1.1, se presenta detallado la distribución de áreas en este predio.

Tabla 1.1 Distribución de áreas en tintorería

Área	Superficie [m <sup>2</sup> ]
Área total	2500
Área productiva-tejeduría	961,4
Bodega de materia prima (Hilo)	300
Bodega de en crudo	239,5
Bodega de producto terminado	400,8
Bodega de reciclables	131,1
Oficinas administrativas	106,6

(Fuente: [7])

#### 1.1.2.2. Predio de tintorería

El predio donde se realizan las actividades de tintorería tiene una infraestructura de estructura metálica y techos de placas de fibrocemento, cuenta con servicios básicos. En la Tabla 1.2, se presenta detallado la distribución de áreas en este predio.

Tabla 1.2 Distribución del área de tintorería y acabado

Área	Superficie [m <sup>2</sup> ]
Área total	2500
Área operativa	1106,6
Bodega de productos químicos y colorantes	89,5
Área de calderas	141,1
Área de combustible	265,8
Área de planta de tratamientos de aguas residuales	151,2
Administración	353,1

(Fuente:[7])

La planta cuenta con codificación de identificación de áreas productivas y equipos, implementada por el departamento de mantenimiento. Actualmente, solamente cuenta con codificación la planta de tintorería porque tiene más procesos productivos y mayor

variedad de máquinas. En la Figura 1.2, se indica la codificación utilizada en las máquinas y equipos.

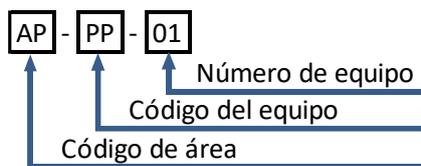


Figura 1.2. Detalle de la codificación aplicada en planta.  
(Fuente: Autor)

La planta de tintorería presenta 10 áreas de producción. En la Tabla 1.3, se presenta el área con su respectivo código.

Tabla 1.3. Áreas de producción de la planta de tintorería.

Área productiva	Código de área
Plegado	AP
Tintorería	AT
Hidro extracción	AH
Centrifugado	AC
Secado	AS
Acabado	AE
Calderas	AV
PTAR	PT
Generador eléctrico	AG
Martel	AM

(Fuente: Departamento de Mantenimiento de Textiles Padilla CIA. LTDA.)

Dentro de estas áreas productivas se encuentran 13 equipos para el procesamiento de la tela. Para la identificación de equipos redundantes, dentro de la planta de tintorería, se le asigna un número al equipo, como se indica en la Tabla 1.4.

Tabla 1.4. Equipos de producción de la planta de tintorería.

Equipo	Código de equipo	Número de equipo	Código de área	Codificación
Plegadora PUGGI	PP	01	AP	AP-PP-01
Revisadora PROECO	RP	01	AP	AP-RP-01
TRD1	TR	01	AT	AT-TR-01
TRD2	TR	02	AT	AT-TR-02
TRD3	TR	03	AT	AT-TR-03
TRD4	TR	04	AT	AT-TR-04
Imaster	IM	01	AT	AT-IM-01
MCS 300	MC	01	AT	AT-MC-01
MCS 180	MC	02	AT	AT-MC-02
Centrífuga	CN	01	AC	AC-CN-01
Bianco 2013	HB	01	AH	AH-HB-01
Bianco 2019	HB	02	AH	AH-HB-02
Secadora Unitech	SU	01	AS	AS-SU-01

Lafer 2015	LF	01	AE	AE-LF-01
Lafer 2019	LF	02	AE	AE-LF-02
Compresor 20HP	CO	01	AV	AV-CO-01
Compresor 30HP	CO	02	AV	AV-CO-02
Generador eléctrico	GE	01	AG	AG-GE-01
Caldera 1	CA	01	AV	AV-CA-01
Caldera 2	CA	02	AV	AV-CA-02
Martel tintorería	MI	01	AM	AM-MI-01
Martel terminado	ME	02	AM	AM-ME-02

(Fuente: Departamento de Mantenimiento de Textiles Padilla CIA. LTDA.)

## 1.2. Descripción de los procesos de producción

La industria textil tiene una cadena de producción con 3 actividades principales: hilatura, tejeduría y acabados. Textiles Padilla realiza los procesos de tejeduría y acabados. Dentro la actividad de acabados existe subprocesos como: plegado, tinturado, hidro extracción y secado. La empresa TEXTIL PADILLA S.A tiene el siguiente proceso de producción:

### 1.2.1. Materia prima

La empresa utiliza fibras de poliéster 100% y poli algodón que son provenientes de China e India. El almacenamiento es en las bodegas de materia prima en el área de tejeduría.

### 1.2.2. Tejeduría

El siguiente paso es la entrega del hilo a las máquinas circulares. El proceso de tejeduría es convertir el hilo en tela cruda. Esta área se divide 2 plantas dependiendo de la materia prima utilizada por las máquinas:

- Planta Poli Algodón (6) con máquinas de mono fontura utilizan poli algodón.
- Planta Poliéster 1, Poliéster 2 (10) y Poliéster 3 (6) con máquinas de doble fontura utilizan poliéster.

Para la producción de cordones cuentan con dos máquinas.

La función del departamento de producción es programar la operación de las máquinas dependiendo de la demanda del mercado.

Al finalizar, se realiza un procedimiento de aseguramiento de calidad. La pieza de tela es clasificada en primera o segunda calidad dependiendo de las fallas encontradas.

### **1.2.3. Plegado**

Para este proceso se cuenta con dos máquinas plegadoras. El proceso de plegado consiste en desenrollar la tela en crudo para facilitar el ingreso en las máquinas de tintura. Además, se revisa la tela para detectar defectos durante el proceso de tejido como: manchas, hilo irregular, hilo doble, motas, nudos, fallas de aguja, cabos rotos, entre otros.

Este proceso cuenta con dos máquinas plegadoras. Utilizan aire comprimido y energía eléctrica.

### **1.2.4. Tintorería**

Tintorería es un conjunto de procesos químicos que hacen que la tela adquiriera un color según lo requerido. El departamento de producción elabora la receta de insumos. Los insumos realizan la función de cambio de color, ejemplo: colorantes y blanqueadores ópticos, o mejoran el proceso de tinturado, por ejemplo: productos químicos, auxiliares o enzimas.

Este proceso cuenta con 8 máquinas para el proceso de tintura. La maquinaria utilizada es 4 máquinas JET, 2 máquinas OVER FLOW y 1 máquina AIR FLOW. Este proceso se estima que consume la mayor parte de vapor generador, no se tiene cuantificado el valor. Además, tiene consumo elevado de agua y productos químicos.

### **1.2.5. Hidroextracción**

La hidro extracción es un proceso que retira el exceso de agua que contiene la tela, dejando un porcentaje de humedad antes pasar al secado. Además, se añade productos suavizantes a la tela para mejorar su calidad. Al final se realiza un control de la tela en busca de defectos que pudieron producirse en el proceso de tintura como: lascado, variación de tono, manchas, mordeduras, veteado, entre otros. La tela es preparada, plegada, para continuar con el proceso de secado.

Este proceso cuenta con 2 máquinas con sistema de exprimido con rodillos y 1 maquina centrifuga.

### **1.2.6. Secado**

El secado es el proceso de aplicar calor a las telas humedecidas por medio de aire caliente que circula dentro de la unidad de secado. Este sistema se denomina secado por convección térmica [8].

Este proceso cuenta con 1 máquina secadora UNITECH. Es una secadora de compartimientos con 5 quemadores de GLP.

### **1.2.7. Acabado**

Los acabados textiles son procesos aplicados sobre tejidos secos para optimizar propiedades sensoriales (tacto, sensación térmica o apariencia) y funcionales. El tipo de acabado utilizado es acabado físico en seco conocido como calandrado. El calandrado da un aspecto liso, brillante, denso y compacto se utiliza calor, presión y fricción [9].

Este proceso cuenta con 2 máquinas calandras Lafer del 2015 y 2019. Estas máquinas utilizan vapor para planchar la tela.

Después de pasar por el proceso de calandrado, la tela es enrollada y enfundada para ser distribuida.

## **1.3. Descripción de las fuentes de suministro de energía**

La planta de tintorería de Textil Padilla cuenta con los siguientes tipos de energía para desarrollar los distintos procesos de producción, como se detalla en la Tabla 1.5.

Tabla 1.5. Fuentes de energía y sus aplicaciones.

Tipo de energía	Energía	Aplicaciones
Eléctrica	Electricidad	Compresores, motores, bombas e iluminación.
Térmica	GLP	Secadora y encendido de calderas.
	Diesel	Calderas y generadores eléctricos.

(Fuente: Propia)

### **1.3.1. Electricidad**

La energía eléctrica la proporciona la compañía eléctrica a 130.000 V (media tensión) a 60 HZ, luego se reduce la tensión en los tableros de distribución eléctricos a 460 V mediante un transformador, luego los equipos que allí se utilizan son de 220 V y 110 V.

### **1.3.2. Suministro de GLP**

El GLP es comprado a la empresa ENI Ecuador. La empresa cuenta con dos tanques con capacidad para 2000 litros cada uno. El GLP es usado para el funcionamiento de la máquina secadora y en el arranque de las calderas.

### 1.3.3. Suministro de Diesel

Petroecuador es la empresa proveedora del combustible líquido diesel industrial N°2. El combustible se almacena en un tanque matriz después un tanque diario es llenado por medio de un sistema de transporte por bombeo proveniente del tanque matriz.

La capacidad del tanque matriz de diesel es de 4300 galones y 200 galones el tanque diario.

### 1.3.4. Consumo de Diesel

Los datos fueron proporcionados por el departamento de mantenimiento. Las mediciones son realizadas periódicamente en el tanque nodriza de Diesel.

El año 2019 se consumió 214850 galones de diesel con un costo total de \$395.324. Para el año 2020, en el mes de marzo, se declara una pandemia causada por la COVID-19, como resultado, se reduce la producción. Ese año se consume 89231 galones de diesel y se paga un total de \$131.643. Para el año 2021, se recolecta datos hasta el mes de mayo. En el Anexo I se presenta el registro de consumo diario de diesel de los años 2019, 2020 y 2021.

El perfil de consumo mensual de diesel de las calderas en los años: 2019, 2020 y 2021 se indica en la Figura 1.3

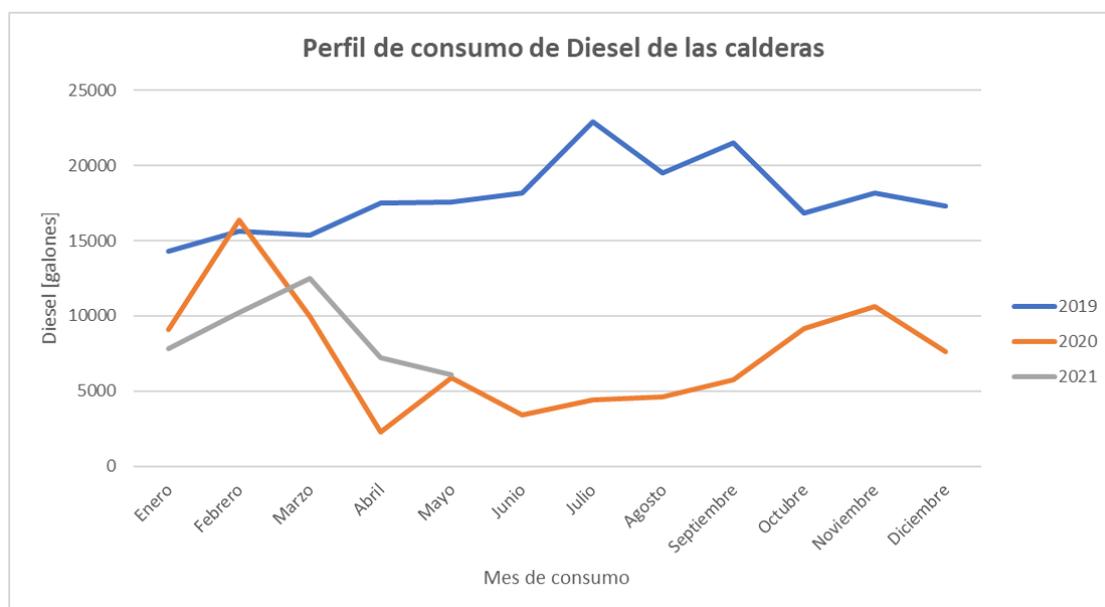


Figura 1.3 Perfil de consumo de diesel de las calderas  
(Fuente: Propia)

## 1.4. Elementos y distribución del sistema de vapor

El vapor es un medio para transportar y suministrar cantidades manejables de energía térmica. Los sistemas de vapor son utilizados para la generación de energía mecánica y eléctrica, sistemas de calefacción, y como materia prima en diferentes procesos. Las industrias que se benefician de sistemas de vapor son: alimentarias, textiles, químicas, medicinales, de energía, calefacción y transporte [10], [11].

Los principales componentes de un sistema de vapor son caldera, sistema de distribución de vapor, equipos de consumo de vapor y sistema de retorno de condensado, como se representa en la Figura 1.4.

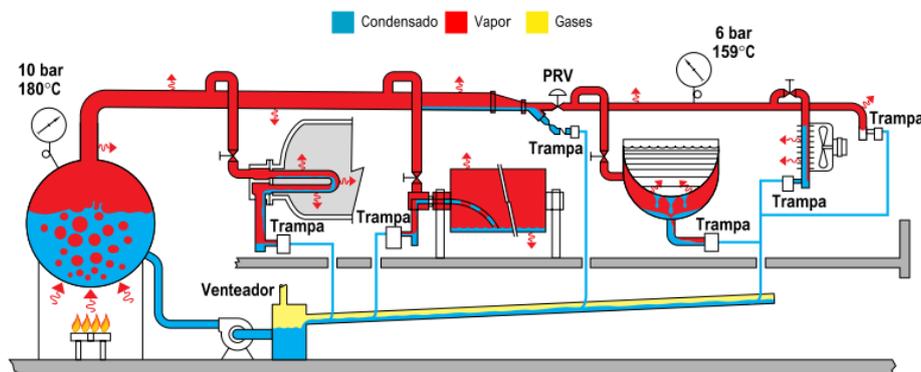


Figura 1.4. Sistema de generación de vapor  
(Fuente: [12])

### 1.4.1. Equipos de consumo de vapor

Los equipos de consumo de vapor están ubicados en el área de tintura y acabado. En el área de tintura se usa vapor para teñir las telas en crudo. El vapor en el área de acabado se utiliza para planchar a la misma.

#### 1.4.1.1. Máquinas de tintura

Las máquinas de tintura colorean los tejidos puestos en contacto con una solución de colorante.

##### 1.4.1.1.1. Componentes principales de una máquina de tintura

Los componentes principales de una máquina de tintura son: tanques de mezclado, tanque de almacenamiento, intercambiador de calor y cuerpo, como se indican en la Figura 1.5. Los tanques de mezclado son donde se disuelve el colorante en un baño de agua. La función del intercambiador es aumentar la temperatura de la mezcla para que el colorante penetre en la estructura de la fibra y fijarlo. El tanque de almacenamiento acumula agua caliente para las diferentes etapas del teñido. El teñido ocurre dentro

cuerpo de la máquina, donde se transfiere y distribuye homogéneamente el colorante del baño hasta la fibra textil [13].



Figura 1.5 Componentes principales de una máquina de tinte  
(Fuente: Propia)

#### 1.4.1.1.2. Tipos de máquinas de tinte

De acuerdo a la clasificación de F. E. Lockúan [13] se tiene las siguientes máquinas:

- Autoclave.
- Teñidora de hijo en madejas.
- Barca de torniquete.
- Jet: Inmersión parcial e inmersión total.
- Over-flow.
- Air-flow.
- Jigger.
- Teñidora de tejidos en bobinas.
- Teñidora de prendas.

El área de tintorería cuenta con cuatro máquinas tipo Jet y tres máquinas over-flow

#### 1.4.1.2. Máquinas compactadoras de fieltros

La máquina compactadora de fieltros, último proceso de producción, mejora y añade las características del tejido como: encogimiento residual, brillo y tacto [9].

Este proceso de uso de fieltro le da textura a la tela. El encogimiento residual necesario (entre 2% y 10%) viene dada mecánicamente por dos fieltros continuos utilizando alta temperatura y presión a vapor. El encogimiento residual del tejido de punto es consecuencia del ángulo de introducción del tejido y la compresión mecánica entre el tambor (cilindro de calor) y el rodillo de presión. Cuando se comprime entre el fieltro y el rodillo de calor, la tela realmente se encoge. El proceso es el siguiente: el vapor entra en los agujeros de la tela bajo tensión, y cuando la tela de punto y el fieltro pasan entre

el rodillo de presión y el rodillo de calor, se produce la compactación. Es por ello que el recipiente de vapor debe estar siempre en buen estado y la regulación del vapor debe ser correcta. Una regulación incorrecta del vapor no producirá buenos resultados de compactación. Por otro lado, el vapor excesivo dañará la superficie del fieltro[14] y [15].

La empresa cuenta con máquinas compactadoras para tela tubular. El tejido tubular tiene dos capas, por lo que el compactador de estos tejidos cuenta con dos unidades de compactación (doble fieltro), una para cada capa; el control mecánico de la contracción se logra mediante el deslizamiento de los hilos[9], como se indica en la Figura 1.6.

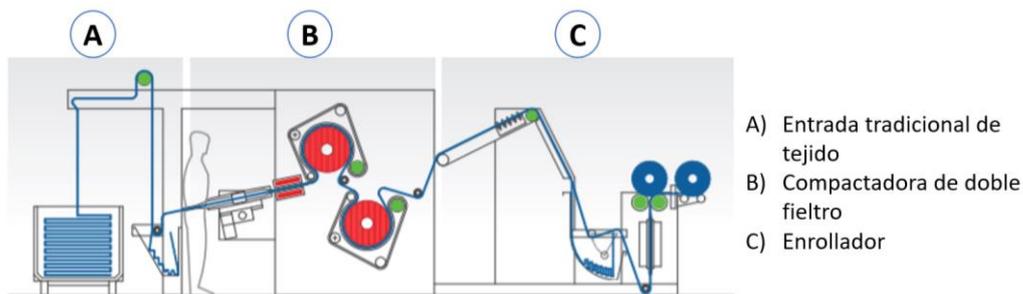


Figura 1.6 Diagrama de una máquina compactadora con enrollador  
(Fuente:[16])

#### 1.4.2. Sistema de retorno de condensado

El condensado se forma cuando el vapor transfiere parte de su energía térmica, calor latente, al producto, línea o equipo que requiere calentamiento. Es decir, el condensado se produce por el paso de fase de gaseosa a líquida [17]. El intercambio de energía en un proceso de calentamiento se indica en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

El condensado tiene un valor económico significativo debido a que contiene una cantidad considerable de calor sensible, entre 10% y 30% de la energía del vapor y no requiere ningún tratamiento químico [17] y [18].

Entonces, la recuperación de condensado presenta ahorro de energía, químicos, aguas tratada y reducción de la huella de carbono de la planta [17].

Las formas más usuales de reutilizar el condensado son:

- Calentamiento del agua de alimentación de caldera.
- Pre calentamiento para procesos.
- Aprovechamiento de vapor flash.
- Aprovechamiento de agua caliente para actividades de limpieza de equipos o instalaciones.

## **1.5. Auditoría energética**

Es un procedimiento sistemático para conocer el gasto energético de una instalación con el fin de identificar y evaluar la posibilidad de ahorro energético desde un punto de vista técnico y económico [21]. También se busca el uso eficiente de la energía para aumentar la competitividad, minimizar el gasto energético y disminuir la huella de carbono [22]. Para el presente trabajo, la auditoría energética se realizó según los lineamientos establecidos en la norma ISO 50002

mencionar que para el presente trabajo se ha seguido los lineamientos establecidos en la ISO 50002

## **1.6. Norma ISO 50002**

La norma ISO 50002 delimitada los requerimientos para la realización de auditorías energéticas relacionadas con el desempeño energético. Se emplea a todo tipo de instalaciones, instituciones y organizaciones, así como a todas las formas y usos de la energía. También, especifica los principios para realizar una auditoría energética, los requisitos para los procedimientos generales en una auditoría energética y los productos que se ofrecerán para una auditoría energética [19].

Principios para auditorías energéticas basado la norma ISO 50002[19]:

- La auditoría debe basarse en el alcance, las limitaciones y las metas establecidas.
- Las mediciones y observaciones deben ser coherentes con el uso final y el consumo de energía.
- Según el proceso, sistema o equipo analizado, los datos de rendimiento energético recopilados deben ser representativos.
- Necesita identificar oportunidades de mejora.
- Se debe documentar el proceso de recopilación, verificación y análisis de datos.
- El informe de auditoría debe contener todos los datos de rendimiento energético y planes de mejora.

### **1.6.1. Procedimiento para una auditoría energética**

El procedimiento para una auditoría energética, según la norma ISO 50002, consta de las etapas siguientes, como se indica en la Figura 1.7:

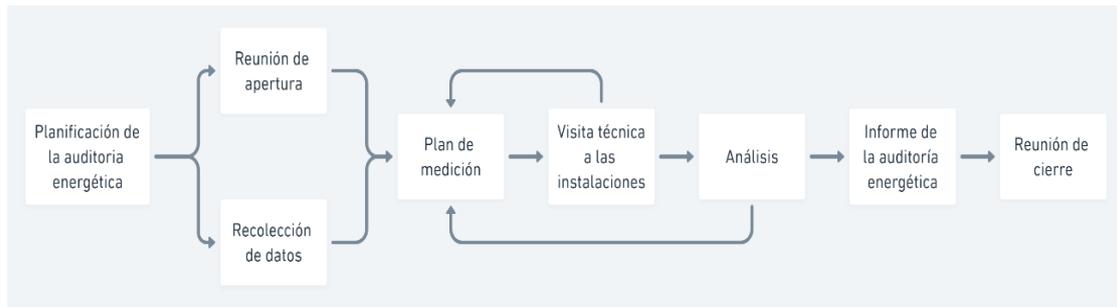


Figura 1.7 Flujograma de auditoría energética  
Fuente: [19]

## 2. METODOLOGÍA

En este capítulo se describe el sistema de generación de vapor y equipos de consumo del área de tintorería y acabado. Se procede a realizar mediciones en la caldera para determinar las pérdidas de calor y su eficiencia. Se determina las pérdidas de calor del sistema de distribución de vapor y se presenta oportunidades de mejora. Se presenta un análisis financiero y de viabilidad para las propuestas de ahorro de energía.

### 2.1. Descripción del sistema de generación de vapor

El sistema de generación de vapor normalmente cuenta con dos calderas pirotubulares. Actualmente, una de las calderas se encuentra fuera de servicio debido a problemas en el hogar. El vapor generado se utiliza en dos áreas: tintorería y acabado.

El área de tintorería utiliza vapor para los 8 intercambiadores de calor, uno por cada máquina de tintura. El área de acabado tiene 2 máquinas que inyectan directamente el vapor en la superficie de la tela.

En la Figura 2.1 se presenta los principales componentes del sistema de generación de vapor, así como los equipos de consumo en el área de tintorería y acabado.

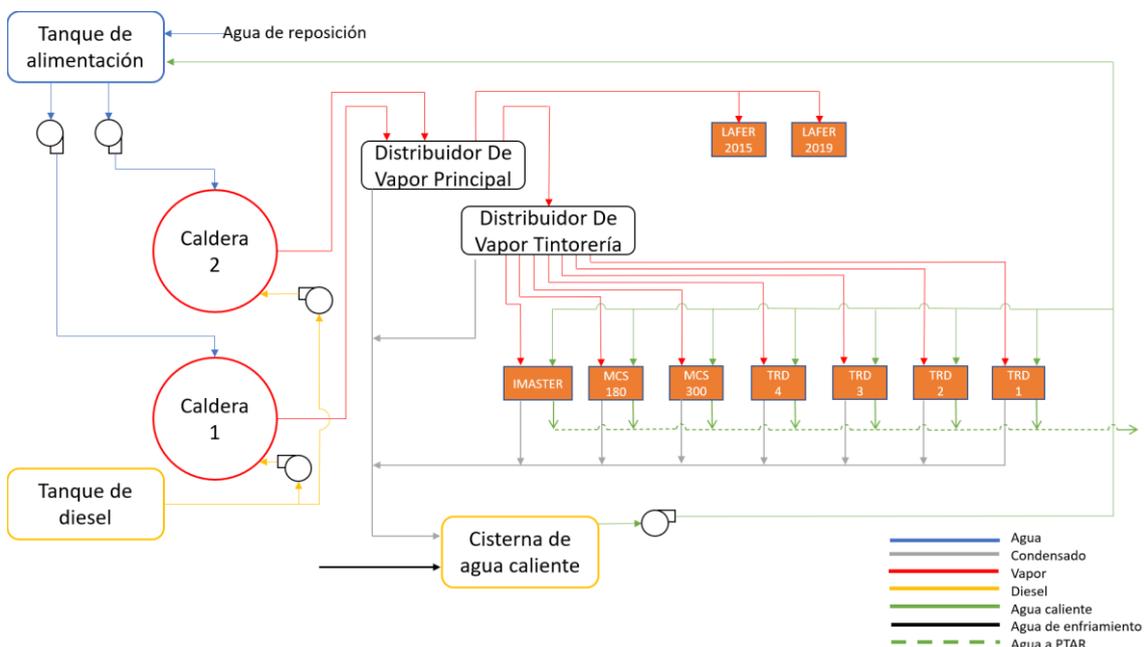


Figura 2.1. Diagrama del sistema de generación de vapor.  
(Fuente: Propia)

#### 2.1.1. Generador de vapor

La planta de tintorería cuenta con dos calderas pirotubulares de tres pasos de espalda mojada para la generación de vapor saturado a una presión de 125 psig y una

temperatura de 135°C. Las calderas utilizan GLP (Gas Licuado de Petróleo) para el arranque, producir la llama piloto.

Actualmente, la caldera N°1 trabaja de lunes a viernes durante todo el día. Dependiendo de la demanda de producción se trabajará los fines de semana. La caldera N°2 se encuentra fuera de servicio.

En la Tabla 2.1 se muestra la identificación y parámetros básicos de la caldera N°1 y caldera N°2 según la norma española UNE 9004.

Tabla 2.1. Ficha técnica de las calderas 1 y 2.

Equipo	Caldera 1		Caldera 2	
Código	AV-CA-01		AV-CA-02	
Marca	HURTS BOILER		HURTS BOILER	
Serie	ES745-150-5		S150-150-242	
Tipo	Pilotubular		Pilotubular	
Pasos	4		4	
Año	2009		2017	
Capacidad	8625 [LBS/HR]		8625 [LBS/HR]	
Presión de Operación	125 [PSIG]		125 [PSIG]	
Potencia	250 [BHP]		250 [BHP]	
Vapor	Saturado		Saturado	
Temperatura Vapor	135 °C		135 °C	
Combustible	Diesel N°2		Diesel N°2	
Dimensiones	Largo	4,36 [m]	Largo	4,36 [m]
	Diámetro	1,98 [m]	Diámetro	1,98 [m]

(Fuente: Propia)

En la Figura 2.2 se muestra la caldera N°1, esta es la que estaba operativa al momento de realizar la auditoria energética.



Figura 2.2. Fotografía de la caldera 1.  
(Fuente: Propia)

#### 2.1.1.1. Suministro de combustible

El combustible se almacena un tanque matriz de 4300 galones de capacidad. Una bomba centrífuga suministra el combustible desde el tanque matriz hacia un tanque

diario. Actualmente, la bomba de suministro esta deshabilitada debido a problemas en la misma. Entonces, se tiene un abastecimiento de combustible por gravedad hacia el tanque diario. El diesel es suministrado a los quemadores por medio de una bomba de paletas. En la Figura 2.3, se muestra la bomba de alimentación de diesel.



Figura 2.3 Bomba de suministro de diesel al quemador de la caldera.  
(Fuente: Propia)

El quemador tiene 3 fases de trabajo. La fase de prebarrido tiene como objetivo limpiar gases que quedaron de combustiones anteriores. El ventilador encendido permite el ingreso de aire y la bomba de combustible succiona diesel. En esta etapa, el GLP y diesel aún no ingresan a la boquilla. El sistema de ignición, transformador de voltaje, provoca la chispa inicial para la combustión.

La fase de encendido tiene como objetivo prender el fuego para la combustión. La válvula de GLP se abre y permite el paso hacia la boquilla. Combustible, comburente y calor se mezclan para provocar la llama piloto.

La fase de funcionamiento tiene como objetivo mantener un fuego constante. La válvula de diesel se abre y llega hasta la boquilla, donde el combustible es pulverizado para la combustión continua. La caldera empieza a subir la temperatura del agua provocando vapor.

El sistema modulador aire/combustible regula la cantidad de combustible en función de la producción de vapor. La caldera tiene tres rangos de llama o combustión según de producción de vapor: alta, media y baja. En llama alta, todo el combustible que ingresa es quemado. Mientras que llama media y baja, no se consume totalmente el combustible y retorna el combustible no quemado al tanque diario. Además, regula el ingreso de aire al quemador para optimizar la relación aire/combustible. En la Figura 2.4, se muestra el sistema modulador aire/combustible.



Figura 2.4. Sistema modulador aire/combustible.  
(Fuente: Propia)

### 2.1.1.2. Suministro de agua

La empresa toma agua de la red pública de agua potable y se almacena en 3 cisternas. Las cisternas tienen las capacidades siguientes: 13m<sup>3</sup>, 93m<sup>3</sup> y 230m<sup>3</sup>. El agua es dirigida hacia las diferentes áreas mediante bombas centrífugas. El control de bacterias en las cisternas se realiza con cloro. En la Figura 2.5, se muestra el diagrama de suministro de agua de alimentación.

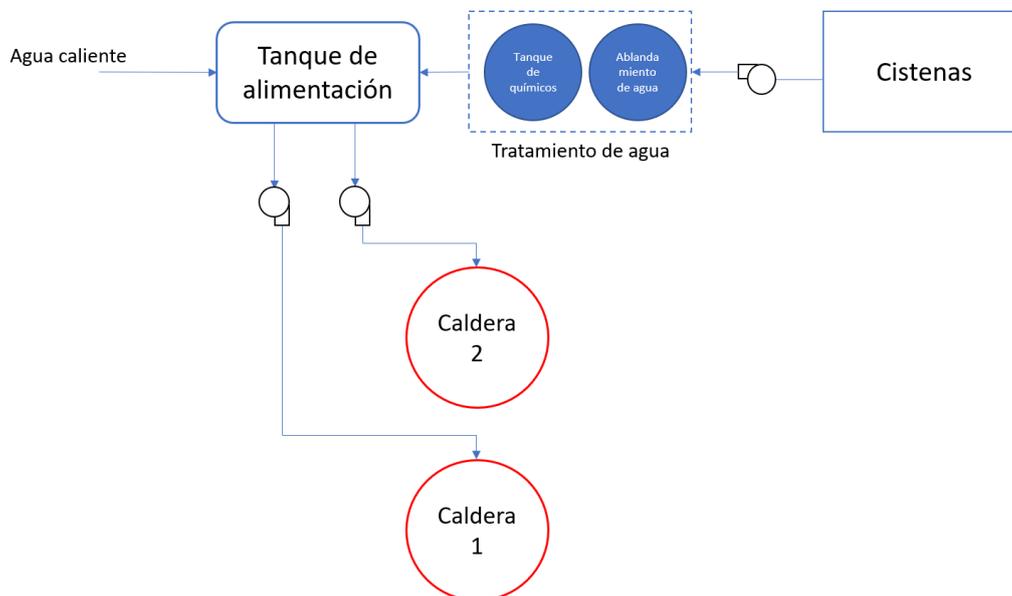


Figura 2.5 Diagrama de suministro de agua.

(Fuente: Propia)

En el tanque de alimentación ingresa agua potable, ablandada y tratada químicamente, y agua caliente. El agua caliente proviene de una cisterna con capacidad de 42m<sup>3</sup> y contiene mezcla del condensado y agua caliente (agua resultada del enfriamiento de las

máquinas). Un sistema de bombeo que consta de dos bombas multietapa transporta el agua caliente hasta el tanque de reposición.



Figura 2.6 Tanque de alimentación.  
(Fuente: Propia)

El tanque de alimentación tiene una capacidad de 1300 litros a una temperatura alrededor de 30°C. El agua es transportada hacia las calderas por dos bombas centrífugas ubicadas en la parte inferior del tanque. Cada caldera tiene su bomba de alimentación que se acciona automáticamente dependiendo del nivel de agua dentro de estas.

### 2.1.1.3. Tanques de tratamiento de agua

La dureza es la concentración de calcio y magnesio contenida en el agua y forman depósitos o incrustaciones en las tuberías o en las calderas disminuyendo su vida útil. En la entrada de agua de reposición hay dos tanques de ablandamiento de agua para reducir la dureza del agua.

Antes del ingreso al tanque de alimentación existe dos tanques de ablandamiento de agua, como se observa en la Figura 2.7.



Figura 2.7 Tanques de ablandamiento de agua  
(Fuente: Propia)

#### 2.1.1.4. Tanque químico

Se realiza un tratamiento químico para evitar incrustaciones y corrosiones en las calderas. El producto químico empleado se denomina STEAM DS SL, desarrollado por la empresa ÉLQUIM S.A. El químico es suministrado a la tubería de ingreso de agua a la caldera por medio de una bomba dosificadora. La capacidad del tanque de químicos es de 50 galones. La bomba dosificadora y tanque de químicos se indican en la Figura 2.8.

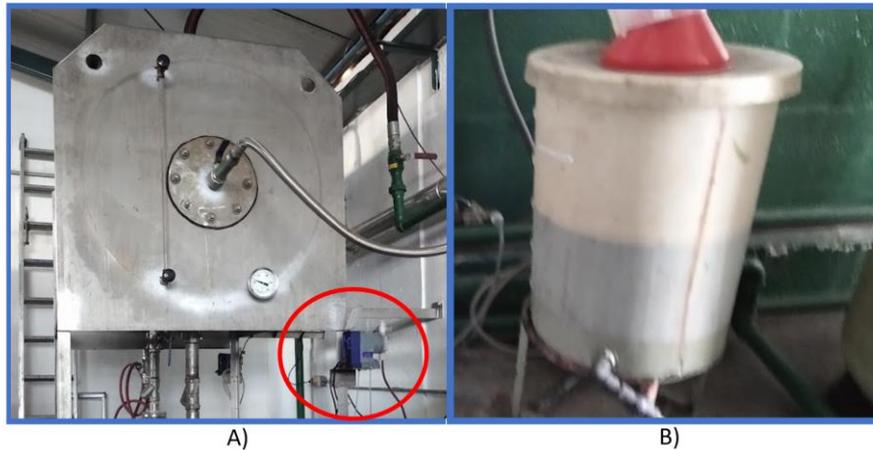


Figura 2.8 A) Bomba dosificadora de químicos, B) Tanque de químicos  
(Fuente: Propia)

En el Anexo II se detalla el tratamiento químico que se aplica al agua de la caldera.

#### 2.1.2. Sistema de distribución de vapor

La planta tiene dos distribuidores de vapor. El distribuidor principal se encuentra ubicado en el área de calderas y un distribuidor secundario ubicado en el área de tintorería.

El vapor saturado generado por las calderas 1 y 2 llegan al distribuidor principal mediante tubería de 4" aislada con 2" de manta térmica. El distribuidor tiene en un extremo una pierna colectora de 2" de diámetro nominal conectada a una trampa de vapor de balde invertido. El distribuidor principal tiene 2 tuberías de salida de vapor de 2" y 6" para el área de acabados y tintorería, respectivamente, como se observa en Figura 2.9.



Figura 2.9 Distribuidor principal  
(Fuente: Propia)

El distribuidor secundario, en el área de tintorería, recibe vapor desde el distribuidor principal por una tubería de 6" cubierta con 4" de aislante térmico con una longitud de 47 metros. El distribuidor tiene una pierna colectora en un extremo y conectada a una válvula, un filtro y una trampa de vapor de balde invertido, como se observa en la Figura 2.10. El distribuidor tiene 6 tuberías de salida de vapor de 3" cubiertas con 2" de aislante térmico que llegan hasta los intercambiadores de las máquinas de tintorería.

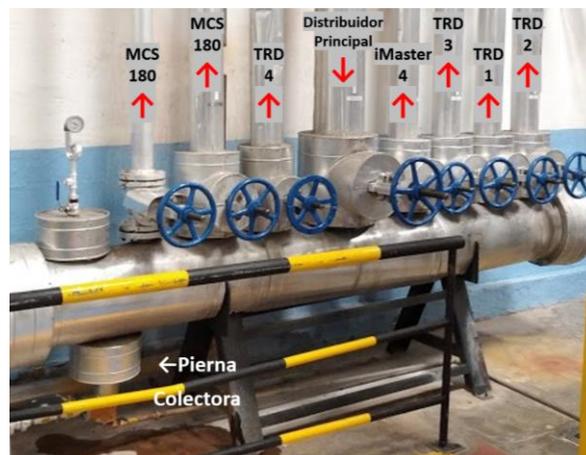


Figura 2.10 Distribuidor secundario  
(Fuente: Propia)

Existe una tubería de vapor de 3", sin aislante térmico, que se dirige hacia la máquina MCS 180, como se observa en la Figura 2.10



Figura 2.11 Tubería de vapor sin aislante de la MCS180  
(Fuente: Propia)

En la Tabla 2.2 Geometría de distribuidores de vapor, se muestra las características geométricas de los distribuidores de vapor.

Tabla 2.2 Geometría de distribuidores de vapor

Distribuidor	Área de Ubicación	Alimentación	Diámetro nominal [Pulg]	Aislante [Pulg]	Tipo aislante	Longitud [m]
Principal	Calderas	Caldera 1 y 2	10	3	Manta térmica lana de roca	1,98
Secundario	Tintorería	Distribuidor principal	10	3	Manta térmica de roca	3,35

(Fuente: Propia)

### 2.1.2.1. Conexión de derivaciones

Las conexiones de los equipos de tintorería toman el vapor de la parte lateral e inferior de la tubería principal. Desde la Figura 2.12 hasta la Figura 2.17 se indican las tomas de vapor para los equipos.



Figura 2.12 Toma de vapor TRD3  
[Fuente: Propia]



Figura 2.13 Toma de vapor TRD4  
[Fuente: Propia]



Figura 2.14 Toma de vapor MCS 300  
Fuente: Propia



Figura 2.15 Toma de vapor MCS180  
Fuente: Propia

El área de acabados recibe vapor en una tubería de 2" proveniente del distribuidor principal. La toma de vapor hacia la máquina Lafer2015 es por la parte inferior, como se indica en la Figura 2.16



Figura 2.16 Toma de vapor Lafer2015  
(Fuente: Propia)

La toma de vapor para la máquina Lafer2015 es por la parte de abajo y no cuenta con final de línea, como se indica en la Figura 2.17.



Figura 2.17 Toma de vapor Lafer2019  
(Fuente: Propia)

### 2.1.3. Sistema de retorno de condensado

El vapor se condensa después de pasar por los equipos de tintura y acabado. Los distribuidores de vapor, equipos de tintura y acabado tiene trampas de vapor que desembocan en la línea de retorno de condensado. El condensado se descarga en una cisterna de agua caliente a presión atmosférica.

#### 2.1.3.1. Trampas de vapor

Existen trampas de vapor mecánicas, termodinámicas y termostáticas instaladas dependiendo de la aplicación de cada equipo. En la Tabla 2.3, se indica las trampas de vapor del área de tintorería y acabado.

Tabla 2.3 Trampas de vapor de los equipos de consumo

Área	Cod	Máquina	Ubicación	Marca	Tipo	Diámetro [pulg]
Tintorería	T1	MSC 180	Intercambiador de calor	ADCA	De flotador	1
Tintorería	T2	MSC 180	Tanque principal	Bell	De flotador	1
Tintorería	T3	MSC 180	Tanque mezclado 1	Bell	De flotador	1
Tintorería	T4	MSC 180	Tanque mezclado 2	Bell	De flotador	1
Tintorería	T5	MSC 300	Tanque mezclado 2	Bell	De flotador	1
Tintorería	T6	MSC 300	Tanque principal	Bell	De flotador	1
Tintorería	T7	MSC 300	Intercambiador de calor	ADCA	De flotador	1
Tintorería	T8	MSC 300	Tanque mezclado 1	Bell	De flotador	1
Tintorería	T9	IMASTER	Intercambiador de calor	Bell	De flotador	2
Tintorería	T10	IMASTER	Ingreso tanque principal	Pennanat	Balde invertido	1/2
Tintorería	T11	IMASTER	Tanque de mezclado	Spirax Sarco	Disco termodinámica	1/2
Tintorería	T12	IMASTER	Tanque principal	Amstrong	Balde invertido	2
Tintorería	T13	TRD4	Tanque principal	Spirax Sarco	Disco termodinámica	1/2
Tintorería	T14	TRD4	Intercambiador de calor	ADCA	De flotador	2

Tintorería	T15	TRD4	Tanque de mezclado	PENNANAT	Balde invertido	1/2
Tintorería	T16	TRD4	Tanque principal	AMSTRONG	Balde invertido	2
Tintorería	T17	TRD3	Ingreso tanque principal	Spirax Sarco	Disco termodinámica	1/2
Tintorería	T18	TRD3	Tanque de mezclado	ADCA	De flotador	1/2
Tintorería	T19	TRD3	Tanque principal	Amstrong	Balde invertido	2
Tintorería	T20	TRD1	Intercambiador de calor	ADCA	De flotador	1
Tintorería	T21	TRD1	Tanque de mezclado	ADCA	De flotador	1
Tintorería	T22	TRD1	Tanque principal	Amstrong	Balde invertido	1
Tintorería	T23	TRD2	Intercambiador de calor	ADCA	De flotador	1
Tintorería	T24	TRD2	Fuera de servicio	Amstrong	Balde invertido	1
Tintorería	T25	TRD2	Tanque principal	ADCA	Balde invertido	1
Tintorería	T26	Distribuidor tintorería	MANIFOLD	Amstrong	Balde invertido	1
Calderos	T27	Distribuidor principal	MANIFOLD	Amstrong	Balde invertido	1
Acabado	T28	LAFER 2015	Equipo	Spirax Sarco	De flotador	1/2
Acabado	T29	LAFER 2015	Equipo	Spirax Sarco	De flotador	1/2
Acabado	T30	LAFER 2015	Equipo	Spirax Sarco	De flotador	1/2
Acabado	T31	LAFER 2015	Equipo	Spirax Sarco	De flotador	1/2
Acabado	T32	LAFER 2019	Equipo	Spirax Sarco	Balde invertido	1/2
Acabado	T33	LAFER 2019	Equipo	Spirax Sarco	Balde invertido	1/2
Acabado	T34	LAFER 2019	Equipo	Spirax Sarco	Balde invertido	1/2
Acabado	T35	LAFER 2019	Equipo	Spirax Sarco	Balde invertido	1/2

(Fuente: Propia)

#### **2.1.4. Línea de agua caliente**

Después del proceso de enfriamiento de las máquinas de tintura se obtiene agua caliente. La línea de agua caliente es descargada en una cisterna. El condensado y agua caliente se mezcla en la cisterna para ser utilizada nuevamente en los tanques de mezclado de las máquinas de tintura.

## **2.2. Descripción de los equipos de consumo de vapor**

### **2.2.1. Máquinas de tintura**

Los químicos auxiliares y colorantes se combinan en el tanque de mezclado para formar el baño de colorante. Para asegurar la homogeneidad del baño, se calienta en el tanque por medio de un serpentín. El vapor ingresa por el serpentín.

A continuación, el baño de colorante pasa a través del intercambiador de calor. La temperatura se eleva hasta 130°C.

Por último, el baño ingresa al cuerpo de la máquina. El baño de colorante y tejido entran en contacto. Cuando se acaba de teñir, se descarga el baño y se retira la tela de la máquina.

En la Figura 2.18, se indica el proceso durante la tintura del tejido y las fuentes que intervienen.

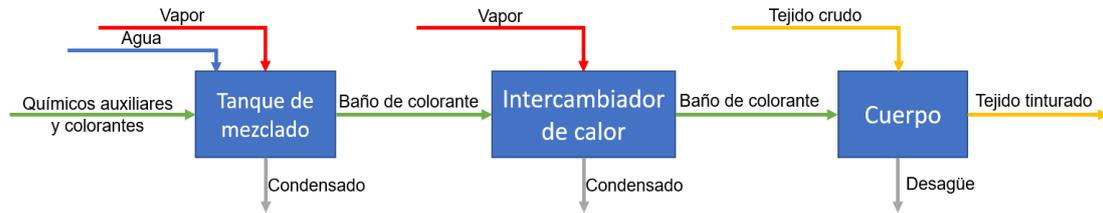


Figura 2.18 Diagrama del proceso de tintura  
Fuente: [13]

Se cuenta con 7 máquinas para el proceso de tintura, los equipos que intervienen en este se indican en Tabla 2.4.

Tabla 2.4 Equipos utilizados para el proceso de tintura

Código	Equipo	Fabricante	Tipo
AT-TR-01	TRD1	THIES	Jet
AT-TR-02	TRD2	THIES	Jet
AT-TR-03	TRD3	THIES	Jet
AT-TR-04	TRD4	THIES	Jet
AT-IM-01	Imaster	THIES	Air Jet
AT-MC-01	MCS 300	MCS	Over Flow
AT-MC-02	MCS 180	MCS	Over Flow

(Fuente: Propia)

Desde la Figura 2.19 hasta la Figura 2.21 se muestra fotografías de las máquinas de tintura disponibles en la planta. Las placas de las máquinas se indican desde la Tabla 2.5 hasta la Tabla 2.7.

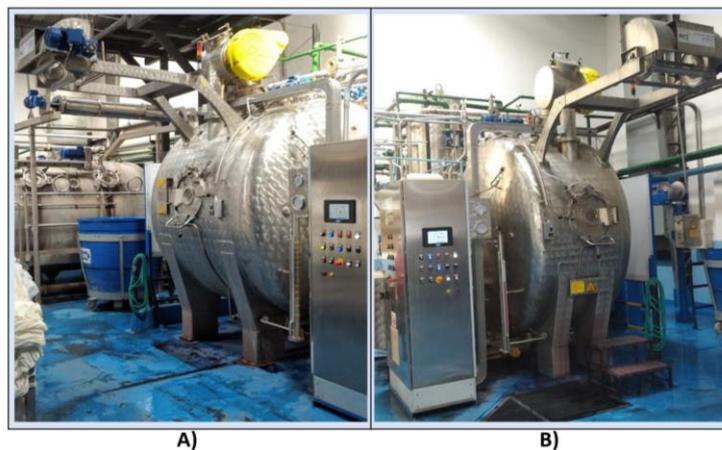


Figura 2.19 A) Máquina de tintura MCS 300, B) Máquina de tintura MCS 300  
(Fuente: Propia)

Tabla 2.5 Placa de las máquinas MCS 300 y 180

Equipo	MCS 300	MCS 180
Modelo	HT overflow dyeing machinces	HT overflow dyeing machinces

Temperatura máxima [°C]	144	144
Presión [bar g]	3	3
Volumen [Litros]	8500	6200
Año de fabricación	2019	2019

(Fuente: Propia)



Figura 2.20 Máquina de tintura IMASTER  
(Fuente: Propia)

Tabla 2.6 Placa de la máquina iMaster

Equipo	Thies
Modelo	iMaster Overflow
Temperatura máxima [°C]	140
Presión [MPa]	0,3
Volumen [Litros]	13363
Año de fabricación	2013

(Fuente: Propia)



A)

B)

Figura 2.21 A) Máquina de tintura TRD3, B) Máquina de tintura TRD4  
(Fuente: Propia)

Tabla 2.7 Placa de las máquinas TRD3 y TRD4

Marca	Thies
Modelo	JET TRD
Temperatura máxima [°C]	140
Presión [MPa]	0,3
Volumen [Litros]	13363
Año de fabricación	2014

(Fuente: Propia)

### **2.2.1.1. Componentes de las máquinas de tintura**

Las máquinas de tintura están conformadas principalmente por los siguientes componentes:

- Tanque de mezclado
- Intercambiador de calor
- Cuerpo

#### **2.2.1.1.1. Tanque de mezclado**

El tanque de mezclado es un recipiente donde se combinan los químicos auxiliares y colorante para formar el baño de colorante. El tanque de mezclado cuenta con un serpentín para el ingreso de vapor y una tubería para ingreso de agua. Se requiere elevar la temperatura del baño de colorante para homogenizar la mezcla.

#### **2.2.1.1.2. Intercambiador de calor**

El baño de tintura pasa a través del intercambiador de calor para alcanzar los 130°C. El vapor es suministrado por el distribuidor secundario. La presión de vapor es de 7 [bar] debido al regulador de vapor instalado antes del ingreso del vapor al intercambiador de vapor.

Los intercambiadores de calor cuentan con una trampa de vapor a la salida de los mismos.

### **2.2.2. Máquinas de acabado**

Las máquinas de acabado o compactadoras proporcionan las características finales a los tejidos, como son: encogimiento residual, brillo y tacto.

Se cuenta con dos máquinas compactadoras de similares características, como se indica en la Tabla 2.8 y Figura 2.22

Tabla 2.8 Equipos utilizados en el área de acabado

Código	Equipo	Fabricante	Tipo
AE-LF-01	LAFER 2015	LAFER	Compactadora
AE-LF-02	LAFER 2019	LAFER	Compactadora

(Fuente: Propio)



Figura 2.22 A) Máquina LAFER 2015, B) Máquina LAFER 2019  
(Fuente: Propia)

En el apartado 1.4.1.2 se describe el funcionamiento de las máquinas compactadoras.

### 2.3. Balance de masa

El balance de masa permite contabilizar los caudales en el sistema de generación, distribución y equipos de consumo de vapor. Se realizó mediciones en sitio para calcular, a partir del caudal, el flujo másico de: combustible, agua de alimentación de la caldera, condensado, agua caliente y agua caliente para el tanque de alimentación de la caldera. A partir de las mediciones anteriores se obtuvieron los siguientes flujos masicos: vapor producido, para tintorería, para acabado, agua caliente para procesos de teñido y agua de enfriamiento. En la Tabla 2.9 se indica los flujos másicos para realizar el balance de masa.

Tabla 2.9 Flujos másicos del balance de masa.

Punto	Derivación	Denominación
1	N/A	Agua de alimentación
2	N/A	Combustible
3	N/A	Condensado
4	4.0	Vapor producido
	4.1	Vapor para área de tintorería
	4.2	Vapor para área de acabado
5	5.0	Agua caliente
	5.1	Agua caliente para el tanque de alimentación de la caldera
	5.2	Agua caliente para procesos de teñido
6	N/A	Agua de enfriamiento

(Fuente: Propia)

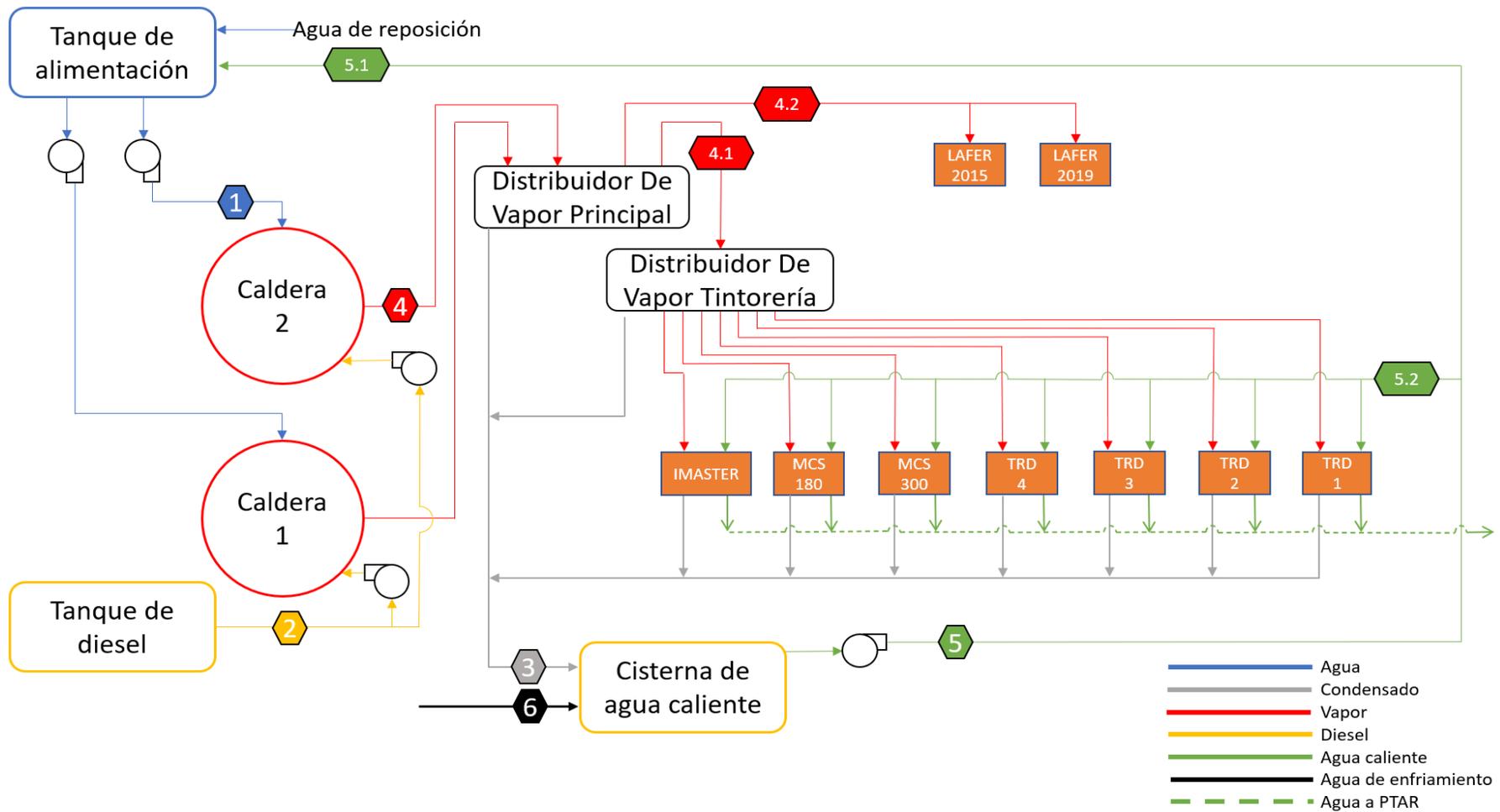


Figura 2.23 Diagrama de los flujos másicos del área de tintorería  
(Fuente: Propia)

### **2.3.1. Determinación del flujo másico de agua de alimentación**

El agua de alimentación a las calderas está a una temperatura de 30 °C. El caudalímetro se instala en una tubería de 2 pulgadas y cedula 40, ingreso de agua de alimentación a la caldera.

Las propiedades termofísicas para el vapor saturado se encuentran en el Anexo III.

En el Anexo IV se presenta ficha técnica del caudalímetro ultrasónico.

#### **2.3.1.1. Equipos**

El caudalímetro de ultrasonido se utilizó para medir el volumen de agua inicial y final en un determinado tiempo. Además, con un cronometro se registró el tiempo de las mediciones.

##### **2.3.1.1.1. Proceso de medición**

1. Instalar el equipo de medición, caudalímetro, en la tubería de agua de alimentación de la caldera, ingreso a la caldera.
2. Medir el volumen de ingreso de agua a la caldera durante 8 horas continuas.
3. Calcular el caudal de agua de alimentación empleando los datos medidos de volumen y tiempo.
4. Calcular el flujo másico de agua de alimentación empleando el caudal anteriormente obtenido.

En la Figura 2.24 se indica la instalación del caudalímetro ultrasónico en la tubería de entrada de agua de alimentación a la caldera N°1.



Figura 2.24 Instalación del caudalímetro ultrasónico  
(Fuente: Propia)

### 2.3.1.2. Datos obtenidos

Los datos obtenidos de la medición del volumen de agua de alimentación a la caldera se indican en el Anexo V.

En la Figura 2.25, se indica el consumo de agua de alimentación de la caldera 1 durante 8 horas de trabajo continuo.

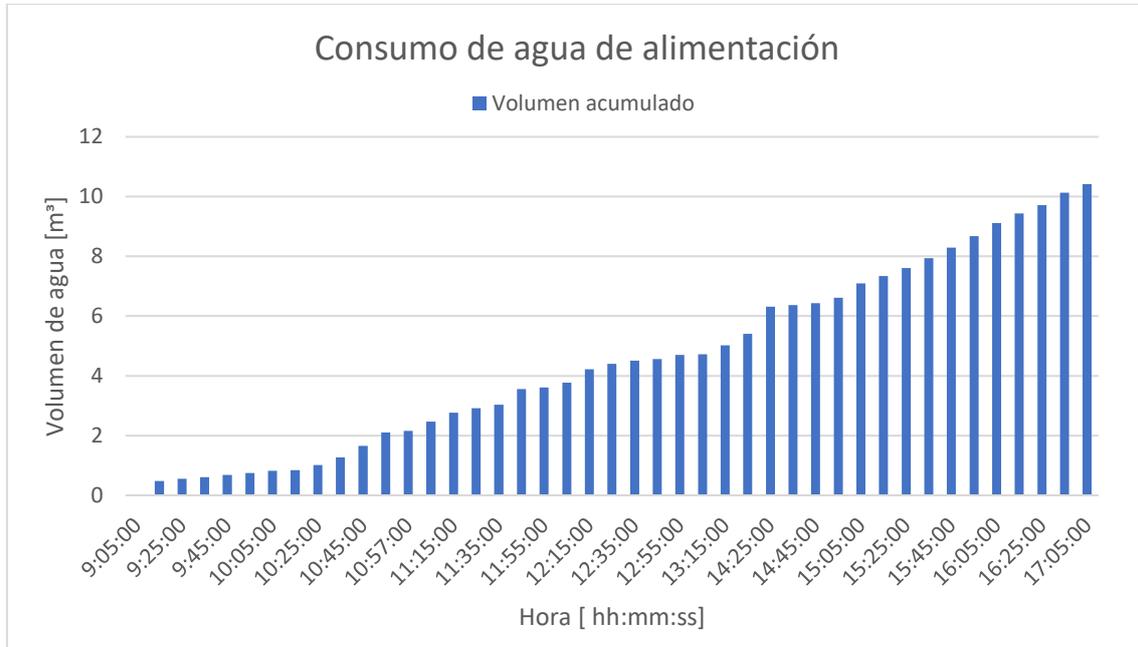


Figura 2.25 Consumo de agua de alimentación  
[Fuente: Propia]

Las ecuaciones para determinar el flujo masico de agua de alimentación son las siguientes:

$$\Delta V_{aa} = V_{aa}^{final} - V_{aa}^{inicial} \text{ m}^3 \quad \text{Ec. 2.1}$$

$$\Delta T = T_{final} - T_{inicial} \text{ h} \quad \text{Ec. 2.2}$$

$$Q_{aa} = \frac{\Delta V_{aa}}{\Delta T} \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad \text{Ec. 2.3}$$

$$\dot{m}_{aa} = Q_{aa} \cdot \rho_{aa} \frac{\text{kg}}{\text{h}} \quad \text{Ec. 2.4}$$

Donde:

$V_{aa}^{inicial}$ : Volumen inicial registrado en el caudalímetro  $\text{m}^3$

$V_{aa}^{final}$ : Volumen final registrado en el caudalímetro  $\text{m}^3$

$\Delta V_{aa}$ : Variación de volumen de agua de alimentación  $\text{m}^3$

$T_{inicial}$ = Hora de inicio de las mediciones hh:mm

$T_{final}$ = Hora de finalización de las mediciones hh:mm

$\Delta T$ : Tiempo de la realización de la medición h

$Q_{aa}$ : Caudal del agua de alimentación de la caldera  $m^3/h$

$\rho_{aa}$ : Densidad del agua de alimentación @30°C  $kg/m^3$

$\dot{m}_{aa}$ : Flujo másico de agua de alimentación en la caldera  $kg/h$

Desde la Ec. 2.1 hasta la Ec. 2.4, se utilizan para el cálculo de la variación del volumen, caudal y flujo masico del agua de alimentación con los siguientes datos:

$$V_{aa}^{final} = 58,1129 \text{ m}^3$$

$$V_{aa}^{inicial} = 47,6933 \text{ m}^3$$

$$T_{final} = 17:05 \text{ hh:mm}$$

$$T_{inicial} = 09:05 \text{ hh:mm}$$

$$\rho_{aa} = 995,71 \text{ @ } 30^\circ\text{C } kg/m^3$$

- Variación de volumen de agua de alimentación

$$\Delta V_{aa} = V_{aa}^{final} - V_{aa}^{inicial} \text{ m}^3$$

$$\Delta V_{aa} = 58,1129 - 47,6933 \text{ m}^3$$

$$\Delta V_{aa} = 10,42 \text{ m}^3$$

- Tiempo de la realización de la medición

$$\Delta T = T_{final} - T_{inicial} \text{ hh:mm}$$

$$\Delta T = 17:05 - 09:05 \text{ hh:mm}$$

$$\Delta T = 8:00 \text{ hh:mm}$$

- Caudal del agua de alimentación de la caldera

$$Q_{aa} = \frac{\Delta V_{aa} \text{ m}^3}{\Delta T_{aa} \text{ h}}$$

$$Q_{aa} = \frac{10,42 \text{ m}^3}{8 \text{ h}}$$

$$Q_{aa} = 1,30 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

- Flujo másico de agua de alimentación en la caldera

$$\dot{m}_{aa} = Q_{aa} \cdot \rho_{aa} \frac{kg}{h}$$

$$\dot{m}_{aa} = 1,30 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 995,71 \frac{kg}{\text{m}^3}$$

$$\dot{m}_{aa} = 1296,86 \frac{kg}{h}$$

El consumo total de agua de la caldera N°1 es de 10,42 m<sup>3</sup>, con un flujo masico de 1296 kg/h durante 8 horas de trabajo continuo. En la Tabla 2.10 se indica los valores calculados para el agua de alimentación de la caldera N°1.

Tabla 2.10 Valores calculados para el agua de alimentación a la caldera

Agua de alimentación		
Variación de volumen [m <sup>3</sup> ]	Caudal [m <sup>3</sup> /h]	Flujo másico [kg/h]
10,42	1,30	1296,86

(Fuente: Propia)

### 2.3.2. Determinación del flujo másico de combustible

Se mide simultáneamente el consumo de agua de alimentación y combustible de la caldera N° 1. La medición de combustible se realiza en el tanque diario de combustible durante 8 horas de trabajo. Se debe tener cuidado que la caldera se quede sin suministro de combustible. La capacidad del tanque diario de combustible es de 200 galones.

#### 2.3.2.1. Preparación

1. Determinar la capacidad del tanque diario de diesel.
  - a. Vaciar el tanque diario de diesel.
  - b. Llenar el tanque diario de diesel con un recipiente de 5 litros.
2. Segmentar el indicador de nivel de diesel.
  - a. Marcar en el indicador de diesel cada 5 litros de diesel, como se observa en la Figura 2.26.
3. Calcular la equivalencia de volumen a longitud. Entonces, 3,6 centímetros del indicador equivalen a 5 galones de diesel.



Figura 2.26 Tanque diario de diesel  
(Fuente: Propia)

### 2.3.2.2. Proceso de medición

1. Llenar el tanque diario de diesel hasta los 200 galones.
2. Medir la altura del indicador del tanque cada 10 minutos hasta que llegue a 130 galones, para evitar que la caldera se quede sin combustible.
3. Repetir el paso 1 y 2 durante 8 horas continuas.
4. Transformar la longitud medida a volumen de combustible.
5. Calcular el consumo de combustible.
6. Calcular el caudal de combustible empleando los datos medidos de volumen y tiempo.
7. Calcular el flujo masico de combustible empleando el caudal obtenido anteriormente.

### 2.3.2.3. Datos obtenidos

Los datos obtenidos de la medición de altura del combustible en el tanque diario se indican en el Anexo V.

El factor de conversión se determina experimentalmente en el tanque diario. Cuando se ingresa 5 galones de combustible el nivel se eleva 3,6 cm, como se indica en la Tabla 2.11.

Tabla 2.11 Factor de conversión

Unidad lineal [cm]	Unidad volumétrica [Gal]
3,6	5

(Fuente: Propia)

A continuación, se realiza un ejemplo de cálculo para la conversión de centímetros a galones de diesel.

$$144 \text{ cm} \times \frac{5 \text{ galones de diesel}}{3,6 \text{ centímetros}} = 200 \text{ galones de diesel}$$

Se llena con 200 galones al inicio de cada medición hasta llegar a los 130, para evitar que la caldera se quede sin combustible, durante 8 horas de trabajo seguidas. La medición de diesel se realiza en 4 ciclos, como se indica en la Figura 2.27.

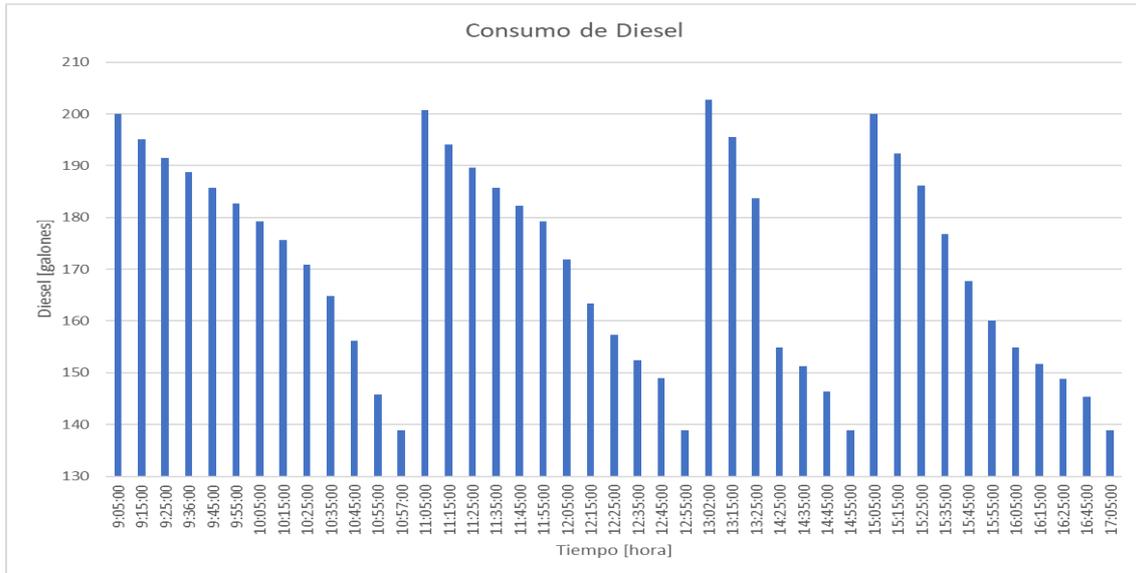


Figura 2.27 Ciclos de consumo de combustible (Fuente: Propia)

A continuación, se indica el procedimiento para calcular el consumo, caudal y flujo másico del combustible.

Las ecuaciones para determinar el flujo masico de combustible son las siguientes:

$$CC_{pn} = V_{ccn}^{inicial} - V_{ccn}^{final} \text{ Gal} \quad \text{Ec. 2.5}$$

$$CC_T = \sum CC_{pn} \text{ Gal} \quad \text{Ec. 2.6}$$

$$Q_{comb} = \frac{CC_T}{\Delta T} \frac{\text{Gal}}{h} \quad \text{Ec. 2.7}$$

$$\dot{m}_{comb} = Q_{comb} \cdot \rho_{comb} \frac{\text{kg}}{h} \quad \text{Ec. 2.8}$$

Donde:

$V_{ccn}^{inicial}$ : Volumen inicial del tanque diario de combustible Gal

$V_{ccn}^{final}$ : Volumen final del tanque diario de combustible Gal

$CC_{pn}$ : Consumo de combustible parcial de cada ciclo de medición Gal

$CC_T$ : Consumo de combustible total durante el periodo de medición Gal

$T_{inicial}$  = Hora de inicio de las mediciones hh:mm

$T_{final}$  = Hora de finalización de las mediciones hh:mm

$Q_{comb}$ : Caudal de combustible  $m^3/h$

$\rho_{comb}$ : Densidad del combustible  $kg/m^3$

$\dot{m}_{comb}$ : Flujo másico de combustible  $kg/h$

Desde la Ec. 2.5 hasta la Ec. 2.8, se utilizan para el cálculo de la variación del volumen, caudal y flujo masico de combustible con los siguientes datos:

$$V_{ccn}^{inicial} = 200 \text{ Gal}$$

$$V_{ccn}^{final} = 138,89 \text{ Gal}$$

$$CC_T = 247,91 \text{ Gal}$$

$$T_{inicial} = 09:05 \text{ hh:mm}$$

$$T_{final} = 17:05 \text{ hh:mm}$$

$$\rho_{comb} = 815 \text{ kg/m}^3$$

- Consumo de combustible parcial

$$CC_{pn} = V_{ccn}^{inicial} - V_{ccn}^{final} \text{ Gal}$$

$$CC_{p1} = 200,00 - 138,89 \text{ Gal}$$

$$CC_{p1} = 61,11 \text{ Gal}$$

En el Anexo VII se realiza el cálculo del consumo parcial de combustible para cada ciclo.

- Consumo de combustible total

El total de consumo de combustible es la sumatoria de los consumos parciales de combustible. Los valores del consumo parcial y tota se indica en la Tabla 2.12.

$$CC_T = CC_{p1} + CC_{p2} + CC_{p3} + CC_p \text{ [Gal]}$$

$$CC_T = 61,111 + 61,806 + 63,889 + 61,111 \text{ [Gal]}$$

$$CC_T = 247,91$$

Tabla 2.12 Consumo de combustible parcial y total

Ciclo	Consumo parcial de combustible [Gal]
1	61,11
2	61,80
3	63,88
4	61,11
Total	247,91

(Fuente: Propia)

El consumo total de combustible de la caldera es de 247 galones en un tiempo de 8 horas de trabajo continuo.

- Caudal de combustible

$$Q_{comb} = \frac{CC_T}{\Delta T} \frac{Gal}{h}$$

$$Q_{comb} = \frac{247,91}{8} \frac{Gal}{h}$$

$$Q_{comb} = 30,98 \frac{Gal}{h} \approx 0,1173 \frac{m^3}{h}$$

- Flujo másico de combustible

$$\dot{m}_{comb} = Q_{comb} \cdot \rho_{comb} \frac{kg}{h}$$

$$\dot{m}_{comb} = 0,1173 \frac{m^3}{h} \times 815 \frac{kg}{m^3}$$

$$\dot{m}_{comb} = 95,60 \frac{kg}{h}$$

El caudal de combustible es de 31 Gal/h, en términos de flujo másico es 95 kg/h, en un intervalo de tiempo de 8 horas de trabajo continuo. En la Tabla 2.13 se indica los valores calculados para el combustible de la caldera N°1 durante 8 horas de trabajo.

Tabla 2.13 Datos calculados del combustible

Volumen de combustible [Gal]	Caudal de combustible		Flujo másico de combustible [kg/h]
	[Gal/h]	[m³/h]	
247,91	30,98	0,1173	95,61

(Fuente: Propia)

### 2.3.3. Determinación del flujo másico de condensado

El área de acabado utiliza vapor directamente sobre el producto. Cuenta con un sistema de trampas de vapor para purgar las tuberías antes del arranque de las máquinas, una vez por semana.

El área de tintorería utiliza vapor para subir temperatura del agua, mediante transferencia de calor, y cuenta con sistema de tubería de condensado. Además, esta área utiliza alrededor del 75 al 80% del vapor suministrado por las calderas.

Las mediciones del condensado se realizan en el área de tintorería debido a la cantidad de condensado formado después proceso de transferencia de calor en los intercambiadores de las máquinas.

### **2.3.3.1. Descripción del funcionamiento de la máquina de tintura**

Los intercambiadores tienen 4 válvulas de pistón neumáticas, 2 válvulas para el ingreso de vapor o agua de enfriamiento y 2 válvulas para la salida de condensado y agua caliente. Cuando se requiere elevar la temperatura, inyección de vapor, se abre una válvula a la entrada que permite el ingreso de vapor al intercambiador y se abre una válvula a la salida que permite desfogar de condensado del intercambiador de calor hacia la trampa de vapor. Cuando se requiere enfriar la máquina, se abre una válvula a la entrada que permite el ingreso de agua fría y se abre una válvula a la salida que permite desfogar de agua caliente.

La inyección de vapor es para los procesos de descrude y tintura. El control del caudal del vapor es mediante una válvula de control. La válvula de control de vapor está abierta al 100% hasta alcanzar la temperatura deseada, posteriormente comienza a modular para mantener esa temperatura.

### **2.3.3.2. Preparación de la máquina**

Se realiza una conexión en la tubería de purga de condensado, como se observa en la Figura 2.28. El procedimiento es el siguiente:



Figura 2.28 Conexión para medición de condensado  
(Fuente: Propia)

1. Instalar un bushing y neplo en la válvula de media vuelta para purga de condensado.
2. Instalar una llave de paso.
3. Colocar una manguera de agua.

4. Llenar los tanques plásticos con agua hasta 15 galones.

Con un balde de 5 galones se vierte agua en los tanques, entonces, se marca que cada 7,69 cm es equivalente a 5 galones. Se procede a llenar los tanques de plástico con el colchón de agua. Los tanques utilizados en la medición del condensado se indican en la Figura 2.29.



Figura 2.29 Tanque de almacenamiento de condensado  
(Fuente: Propia)

A continuación, se determina la equivalencia de la altura de los tanques de almacenamiento en volumen de condensado, como se indica en la Tabla 2.14.

Tabla 2.14 Factor de conversión

Unidad lineal [cm]	Unidad volumétrica [Gal]
7,69	5

Fuente: Propia

### 2.3.3.3. Equipos, materiales y herramientas

- 3 tanques de almacenamiento de agua: 2 tanques de 60 galones y 1 tanque de 40 galones.
- Flexómetro
- Cronometro
- Guantes para altas temperaturas
- Termómetro

### 2.3.3.4. Proceso de medición

1. Cerrar la válvula de salida de condensado.
2. Abrir la válvula de media vuelta para purga de condensado.
3. Abrir la llave de paso de purga de condensado.
4. Colocar la manguera plástica en los tanques plásticos

5. Iniciar en la maquina el proceso de teñido.
6. Recolectar el condensado en los tanques de almacenamiento.
7. Medir la altura de los tanques de almacenamiento y el tiempo de inyección de vapor durante todo el proceso de teñido.
8. Medir la temperatura del condensado.
9. Calcular el volumen de condensado empleando los datos medidos de altura.
10. Calcular el flujo másico de condensado empleando los datos medidos de caudal.

En la Figura 2.30 se indica la ubicación, equipos y conexiones realizadas para la medición del condensado.



Figura 2.30 Equipos para medición de condensado  
(Fuente: Propia)

En el Anexo VIII se indica el proceso de teñido, la variación de temperatura y el requerimiento de vapor.

Para elevar la temperatura se requiere suministro de vapor a los intercambiadores, al mismo tiempo, se descarga el condensado a la tubería de retorno de condensado. El proceso de descrude requiere elevar la temperatura desde 22,5°C hasta los 70°C en un tiempo aproximado de 40 minutos. Al terminar este proceso se descarga los químicos auxiliares ingresados y se realiza un enjuague de la maquina con agua de enfriamiento, la temperatura disminuye hasta los 41°C. El proceso de tintura requiere elevar la temperatura desde 42°C hasta los 115°C durante 38 minutos. Al terminar este proceso se descarga los químicos y colorantes, y se realiza un enjuague de la maquina con agua de enfriamiento, la temperatura disminuye hasta los 27°C.

Para finalizar el proceso de teñido, se descarga la tela de la máquina en tanque plásticos. En la Figura 2.31 se indica la variación de temperatura durante un proceso de teñido.

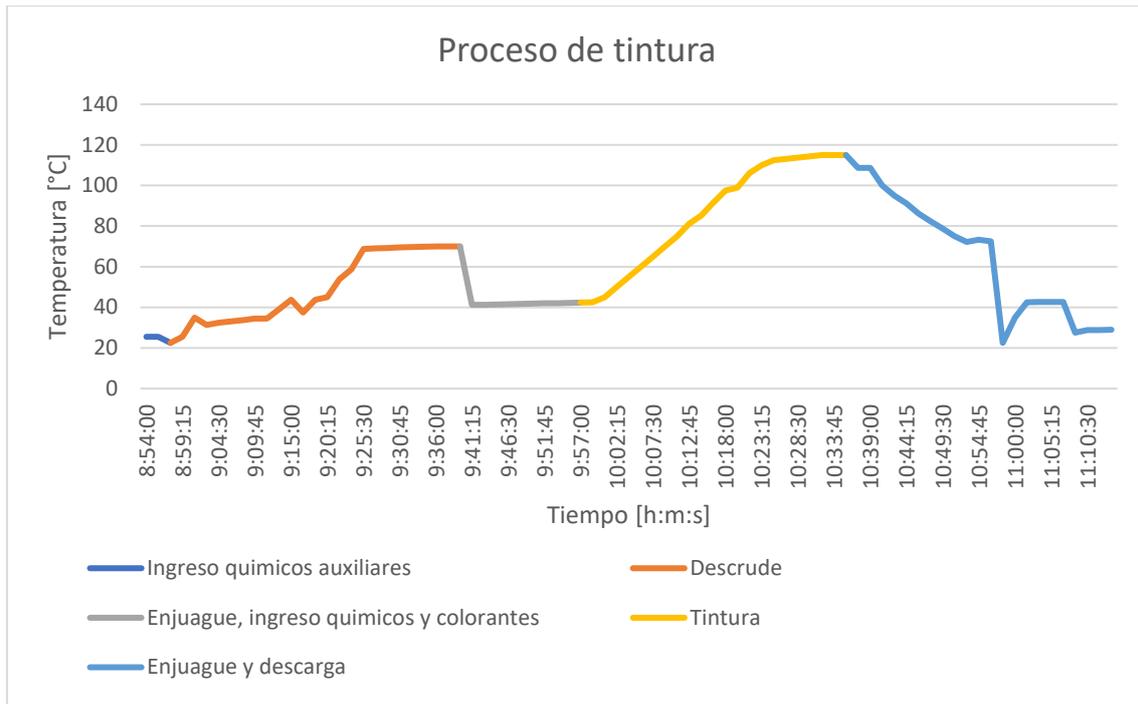


Figura 2.31 Descripción del proceso de teñido  
(Fuente: Propia)

Se procede a determinar el volumen, caudal y flujo másico del condensado durante un proceso de tintura.

La ecuación para determinar el volumen de condensado es la siguiente:

$$V_{cond} = \pi \times r^2 \times h \text{ m}^3 \quad \text{Ec. 2.9}$$

$$V_{cond} = V_{cond} \times 264,172 \quad \text{Ec. 2.10}$$

Donde:

r: Radio del tanque de almacenamiento de condensado m

h: Altura medida del condensado m

Se utilizan la Ec. 2.9 y Ec. 2.10 para el cálculo del volumen de condensado con los siguientes datos:

r = 0,27 m

h = 0,52 m

- Volumen de condensado para el proceso de descrude expresado en m<sup>3</sup>.

$$V_{cond} = \pi \times r^2 \times h \text{ m}^3$$

$$V_{condensado} = \pi \times (0,28 \text{ m})^2 \times 0,52 \text{ m}$$

$$V_{condensado} = 0,1281 \text{ m}^3$$

- Volumen de condensado para el proceso de descrude expresado en Gal.

$$V_{condensado} = 0,1281 \text{ m}^3 \times \frac{264,172 \text{ Gal}}{1 \text{ m}^3}$$

$$V_{condensado} = 33,8342 \text{ Gal}$$

En el Anexo VIII se indican los cálculos de condensado para cada proceso de tintura. En la Tabla 2.15 se resume el tiempo de duración de cada proceso, altura y volumen de condensado para los mismos.

Tabla 2.15 Medición de condensado

Proceso	Hora de Inicio	Hora de Fin	$\Delta$ Tiempo [hora]	Altura [cm]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Volumen [Gal]
Descrude	8:57	9:39	0,70	52	0,128	31,8
Tintura	9:57	10:35	0,64	72	0,177	40,9
Enjuague	10:56	11:03	0,12	10	0,024	6,5
Total			1,46	134	0,33	87,1

(Fuente: Propia)

Nota: Estos datos obtenidos de volumen, es sin considerar el colchón de agua con que se llenó los tanques al inicio de la medición.

La temperatura del condensado es de 90°C, medido con un termómetro metálico.

Las ecuaciones para determinar caudal y flujo másico de condensado son las siguientes:

$$Q_{cond(TRD4)} = \frac{V_{cond} \text{ m}^3}{\Delta T \text{ h}} \quad \text{Ec. 2.11}$$

$$\dot{m}_{cond(TRD4)} = Q_{cond} \times \rho_{cond} \frac{\text{kg}}{\text{h}} \quad \text{Ec. 2.12}$$

Donde:

$V_{cond}$ : Volumen de condensado medido m<sup>3</sup>

$\Delta T$ : Tiempo de inyección de vapor h

$Q_{cond}$ : Caudal de condensado m<sup>3</sup>/h

$\rho_{cond}$ : Densidad del condensado @90°C kg/m<sup>3</sup>

$\dot{m}_{cond}$ : Flujo másico del condensado kg/h

Utilizando la Ec. 2.11 se calcula el caudal de condensado. Para calcular el flujo másico de condensado se utiliza Ec. 2.12 con los valores de caudal de condensado, obtenido anteriormente, y la densidad del agua a 90 °C. En el Anexo IX se presenta el cálculo del caudal y flujo másico de condensado.

En la Tabla 2.16 se indica los valores calculados para el condensado de la máquina TRD4 durante un proceso de tintura.

Tabla 2.16 Valores calculados para el condensado

Condensado		
Variación de volumen [m <sup>3</sup> ]	Caudal [m <sup>3</sup> /h]	Flujo másico [kg/h]
0,33	0,2263	218,39

(Fuente: Propia)

El flujo másico de condensado es de 218 kg/h. El valor obtenido es para una máquina de tintura. Los procesos de teñido realizados son iguales para cada máquina. Durante las mediciones de vapor y condensado trabajan 5 máquinas simultáneamente. Los intercambiadores de calor tienen características similares. Por tal motivo, se considera este consumo de vapor para cada máquina funcionando. Entonces, se obtiene la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_{cond(tintorería)} = \dot{m}_{cond(TRD4)} \times N^{\circ} \text{máquinas} \frac{kg}{h} \quad \text{Ec. 2.13}$$

Se utiliza la Ec. 2.13 para el cálculo flujo másico condensado de las máquinas de tintorería con los siguientes datos:

$$\dot{m}_{cond(TRD4)} = 218,39 \text{ kg/h}$$

$$N^{\circ} \text{máquinas} = 5$$

$$\dot{m}_{cond(tintorería)} = \dot{m}_{cond(TRD4)} \times N^{\circ} \text{máquinas} \frac{kg}{h}$$

$$\dot{m}_{cond(tintorería)} = 218,39 \frac{kg}{h} \times 5$$

$$\dot{m}_{cond(tintorería)} = 1091,97 \frac{kg}{h}$$

Se considera que se encuentran trabajando 5 máquinas de tintura al mismo tiempo, se tiene un flujo másico de 1091,97 kg/h.

#### 2.3.4. Determinación del flujo másico de vapor

La caldera se considera un dispositivo de flujo estable cuando la caldera funciona durante 8 horas continuas, donde el flujo másico de agua de alimentación de la caldera es igual al flujo másico de vapor.

Entonces, por la suposición anterior se tiene la ecuación para determinar el flujo másico de vapor:

$$\dot{m}_{aa} = \dot{m}_{vapor} \frac{kg}{h} \quad \text{Ec. 2.14}$$

Donde:

$\dot{m}_{aa}$ : Flujo másico de agua de alimentación en la caldera kg/h

$\dot{m}_{\text{vapor}}$ : Flujo másico de vapor kg/h

El valor de flujo másico de agua de alimentación calculado es de 1296,86 kg/h.

Tabla 2.17 Flujo másico de vapor

Flujo másico de vapor [kg/h]
1296,86

(Fuente: Propia)

El vapor suministrado para las 2 áreas (acabado y tintorería) es de 1296,86 [kg/h]. El área de acabado cuenta con dos máquinas y el área de tintorería cuenta con 7 máquinas, como se observa en la Figura 2.32.

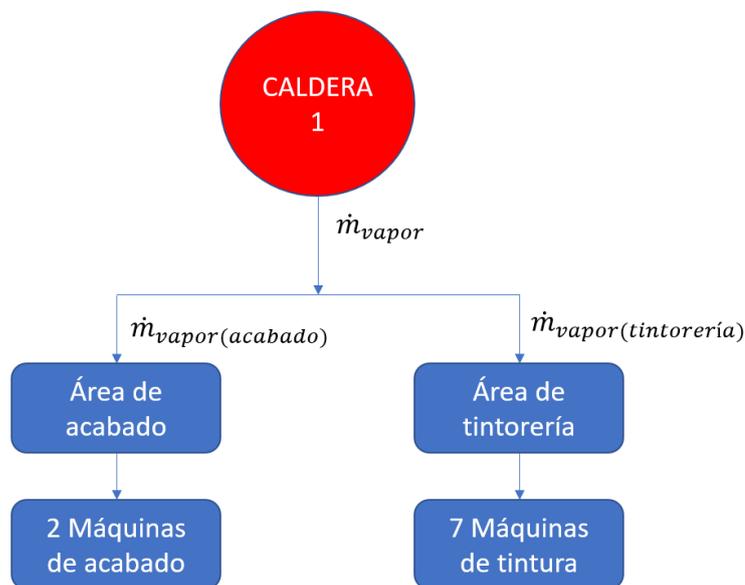


Figura 2.32 Áreas de consumo de vapor.  
(Fuente: Propia)

Aplicando el principio de conservación de masa se obtiene la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_{\text{vapor}} = \dot{m}_{\text{vapor}}(\text{acabado}) + \dot{m}_{\text{vapor}}(\text{tintorería}) \quad \frac{\text{kg}}{\text{h}} \quad \text{Ec. 2.15}$$

Donde:

$\dot{m}_{\text{vapor}}(\text{acabado})$ : Flujo de vapor del área de acabado kg/h

$\dot{m}_{\text{vapor}}(\text{tintorería})$ : Flujo de vapor del área de tintorería kg/h

El funcionamiento de las máquinas de tintura depende de la producción. El área de tintorería normalmente trabaja con 5 máquinas y 2 máquinas de respaldo. Al momento de la medición estaban funcionando 5 máquinas de tintura.

Se considera que el flujo másico de vapor que ingresa a la máquina de tintura TR4 se convierte totalmente en condensado. Entonces, se obtiene la siguiente igualdad:

*Flujo de vapor = Flujo de condensado*

$$\dot{m}_{vapor(tintorería)} = \dot{m}_{cond(tintorería)} \quad \text{Ec. 2.16}$$

Se utiliza Ec. 2.15 para determinar el flujo másico de vapor para el área de acabados con los siguientes datos:

$$\dot{m}_{vapor} = 1296,83 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{vapor(tintorería)} = 1091,97 \text{ kg/h}$$

Despejando de la Ec. 2.15 se obtiene la siguiente la siguiente expresión:

$$\dot{m}_{vapor(acabado)} = \dot{m}_{vapor} - \dot{m}_{vapor(tintorería)} \frac{kg}{h}$$

$$\dot{m}_{vapor(acabado)} = 1296,86 - 1091,83 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{m}_{vapor(acabado)} = 204,89 \frac{kg}{h}$$

En la Tabla 2.18 se indica el vapor producido y la distribución de vapor a las áreas de tintorería y acabados.

Tabla 2.18 Flujos másicos para el suministro de vapor

Vapor		
Flujo másico de vapor producido [kg/h]	Flujo másico de vapor para tintorería [kg/h]	Flujo másico de vapor para acabado [kg/h]
1296,86	1091,83	204,89

(Fuente: Propia)

El vapor generado por la caldera es de 1296,86 kg/h. El consumo para el área de tintorería es de 1091,83 kg/h y para el área de acabado es de 204,89 kg/h.

### 2.3.5. Determinación del flujo másico de agua de caliente

El agua de caliente es una mezcla del condensado y agua de enfriamiento. El agua caliente almacenada se utiliza para procesos de tintura y suministro al tanque de alimentación de la caldera, como se observa en la Figura 2.33.

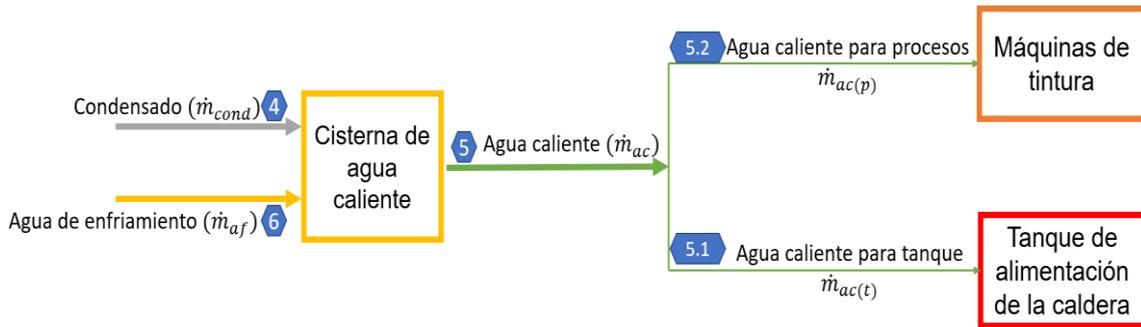


Figura 2.33 Distribución del agua caliente  
(Fuente: Propia)

Para determinar el flujo másico del agua de caliente se aplica el principio de conservación de masa.

### 2.3.5.1. Principio de conservación de masa

Este proceso se considera en estado estable o flujo estable, entonces la masa dentro del volumen de control no cambia con el tiempo. No existe acumulación.

Entonces, el balance de masa para un proceso de estado estable se tiene la siguiente ecuación:

$$\sum_{Salida} \dot{m} - \sum_{Entrada} \dot{m} = 0 \quad \text{Ec. 2.17}$$

Despejando la ecuación Ec. 2.17 se obtiene:

$$\sum_{Entrada} \dot{m} = \sum_{Salida} \dot{m}$$

La cisterna de agua caliente se analiza como volumen de control, como se observa en Figura 2.34.



Figura 2.34 Diagrama del volumen de control  
(Fuente: Propia)

Del volumen de control anterior se obtiene las ecuaciones Ec. 2.18 y Ec. 2.19 para determinar los flujos de entrada y salida, respectivamente.

$$\sum_{Entrada} \dot{m} = \dot{m}_{cond} + \dot{m}_{af} \quad \text{Ec. 2.18}$$

$$\sum_{Salida} \dot{m} = \dot{m}_{ac}$$

Ec. 2.19

### 2.3.5.2. Equipos y materiales

El caudalímetro se utilizó para medir el volumen inicial y final en un determinado tiempo. La cámara termográfica se utilizó para medir la temperatura de la tubería de agua caliente.

#### 2.3.5.2.1. Proceso de medición

1. Instalar el equipo de medición, caudalímetro, en la tubería de agua caliente, salida de la cisterna de agua caliente.
2. Medir la temperatura superficial de la tubería.
3. Medir el volumen de agua caliente durante 8 horas continuas.
4. Calcular el caudal de agua de alimentación empleando los datos medidos de volumen y tiempo.
5. Calcular el flujo másico de agua de alimentación empleando el caudal anteriormente obtenido.

La temperatura del agua caliente es de 50°C. El caudalímetro se instala en una tubería de 2 ½ pulgadas y cedula 40, ingreso a la cisterna de agua caliente.

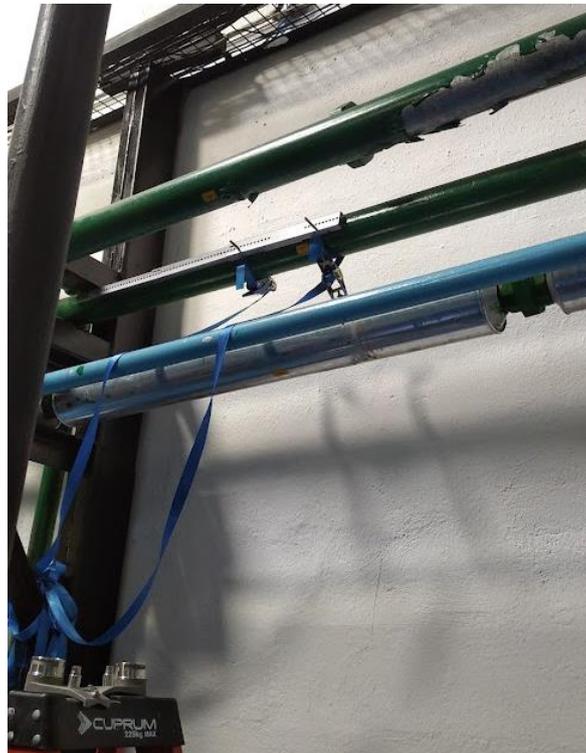


Figura 2.35 Instalación del caudalímetro ultrasónico en la tubería de agua caliente

(Fuente: Propia)

Los datos obtenidos del caudalímetro son hora de inicio y final de la medición, y el registro de volumen de inicio y final del agua caliente, como se indica en la Tabla 2.19.

Tabla 2.19 Mediciones para el flujo de agua caliente

Temperatura de agua calienten [°C]	Hora de Inicio [hh:mm]	Hora de fin [hh:mm]	$\Delta$ Tiempo [hh:mm]	$\Delta$ Tiempo [h]	Volumen inicio [m <sup>3</sup> ]	Volumen final [m <sup>3</sup> ]
50	9:56	18:22	8:26	8,43	69,276	85,43

(Fuente: Propia)

A continuación, se realiza el cálculo del volumen, caudal y flujo másico de agua caliente.

Las ecuaciones para determinar caudal y flujo másico de agua caliente son las siguientes:

$$\Delta V_{ac} = V_{final} - V_{inicial} \text{ m}^3 \quad \text{Ec. 2.20}$$

$$Q_{ac} = \frac{\Delta V_{ac}}{\Delta T} \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad \text{Ec. 2.21}$$

$$\dot{m}_{ac} = Q_{ac} \times \rho_{ac} \frac{\text{kg}}{\text{h}} \quad \text{Ec. 2.22}$$

Donde:

$V_{inicial}$ : Volumen inicial registrado en el caudalímetro m<sup>3</sup>

$V_{final}$ : Volumen final registrado en el caudalímetro m<sup>3</sup>

$\Delta V_{ac}$ : Variación del volumen del agua caliente m<sup>3</sup>

$\Delta T$ : Tiempo de duración de la medición h

$Q_{ac}$ : Caudal de agua caliente m<sup>3</sup>/h

$\rho_{ac}$ : Densidad del condensado @50°C kg/m<sup>3</sup>

$\dot{m}_{ac}$ : Flujo másico de agua caliente kg/h

La Ec. 2.20, Ec. 2.21 y Ec. 2.22, se utilizan para el cálculo de la variación del volumen, caudal y flujo masico de agua caliente con los siguientes datos:

$$V_{inicial} = 69,276 \text{ m}^3$$

$$V_{final} = 85,43 \text{ m}^3$$

$$\Delta T = 8,43 \text{ h}$$

$$\rho_{ac} = 988,02 \text{ @}50^\circ\text{C kg/m}^3$$

- Variación del volumen de agua caliente

$$\Delta V_{ac} = V_{final} - V_{inicial} \text{ m}^3$$

$$V_{ac} = 85,43 - 69,27 \text{ m}^3$$

$$V_{ac} = 16,15 \text{ m}^3$$

- Caudal de agua caliente

$$Q_{ac} = \frac{\Delta V_{ac}}{\Delta T} \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$Q_{ac} = \frac{16,15 \text{ m}^3}{8,43 \text{ h}}$$

$$Q_{ac} = 1,92 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

- Flujo másico de agua caliente

$$\dot{m}_{ac} = Q_{ac} \times \rho_{ac} \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{ac} = 1,92 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 988,02 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\dot{m}_{ac} = 1892,38 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

En la Tabla 2.20 se indica los valores calculados para el agua caliente que se descarga en la cisterna de agua caliente.

Tabla 2.20 Valores calculados para el agua caliente

Agua caliente		
Volumen [m <sup>3</sup> ]	Caudal [m <sup>3</sup> /h]	Flujo másico [kg/h]
16,15	1,92	1892,38

(Fuente: Propia)

En un tiempo de 8 horas continuas se obtuvo un volumen de agua caliente de 16,15 m<sup>3</sup>, con un caudal de 1,92 m<sup>3</sup>/h y en términos de flujo másico es 1892,38 kg/h.

### 2.3.6. Determinación de flujo másico del agua caliente para el tanque de alimentación

El agua caliente es utilizada para procesos de tintura y alimentar al tanque de alimentación de la caldera, como se observa en la Figura 2.33. La medición se realiza al flujo que alimenta al tanque de la caldera.

#### 2.3.6.1. Equipos y materiales

El caudalímetro se utilizó para medir el volumen inicial y final en un determinado tiempo. La cámara termográfica se utilizó para medir la temperatura de la tubería de agua caliente.

### 2.3.6.1.1. Proceso de medición

1. Instalar el equipo de medición, caudalímetro, en la tubería de retorno al tanque de agua de alimentación.
2. Medir la temperatura superficial de la tubería.
3. Medir el volumen durante 6 horas continuas.
4. Calcular el caudal empleando los datos medidos de volumen y tiempo.
5. Calcular el flujo másico empleando el caudal anteriormente obtenido.

La temperatura del agua caliente para el tanque de alimentación es de 50[°C]. El caudalímetro se instala en una tubería de 2 pulgadas y cedula 40.

Tabla 2.21 Mediciones para agua caliente para el tanque de alimentación

Temperatura de agua caliente [°C]	Hora de Inicio [hh:mm]	Hora de fin [hh:mm]	ΔTiempo [h]	Volumen inicio [m³]	Volumen final [m³]
50	10:48	17:10	6,37	58,68	60,45

(Fuente: Propia)

Se procede a determinar el volumen, caudal y flujo másico para el agua caliente de alimentación de caldera.

Las ecuaciones para determinar el flujo masico de agua caliente para el tanque de alimentación:

$$\Delta V_{ac(t)} = V_{ac(t)}^{final} - V_{ac(t)}^{inicial} \text{ m}^3 \quad \text{Ec. 2.23}$$

$$\Delta T = T_{final} - T_{inicial} \text{ h} \quad \text{Ec. 2.24}$$

$$Q_{ac(t)} = \frac{\Delta V_{ac(t)} \text{ m}^3}{\Delta T_{ac(t)} \text{ h}} \quad \text{Ec. 2.25}$$

$$\dot{m}_{ac(t)} = Q_{ac(t)} \times \rho_{ac(t)} \frac{\text{kg}}{\text{h}} \quad \text{Ec. 2.26}$$

Donde:

$V_{ac(t)}^{inicial}$ : Volumen inicial registrado en el caudalímetro m<sup>3</sup>

$V_{ac(t)}^{final}$ : Volumen final registrado en el caudalímetro m<sup>3</sup>

$\Delta V_{ac(t)}$ : Variación de volumen de agua caliente para el tanque de alimentación m<sup>3</sup>

$\Delta T_{ac(t)}$ : Tiempo de medición h

$Q_{ac(t)}$ : Caudal del agua caliente para el tanque de alimentación m<sup>3</sup>/h

$\rho_{ac(t)}$ : Densidad del agua caliente para el tanque de alimentación a 50°C kg/m<sup>3</sup>

$\dot{m}_{ac(t)}$ : Flujo másico de agua caliente para el tanque de alimentación kg/h

Desde la Ec. 2.23 hasta la Ec. 2.26, se utilizan para el cálculo de la variación del volumen, caudal y flujo masico de agua caliente para el tanque de alimentación con los siguientes datos:

$$V_{ac(t)}^{inicial} = 58,68 \text{ m}^3$$

$$V_{ac(t)}^{final} = 60,45 \text{ m}^3$$

$$T_{inicial} = 10:48 \text{ hh:mm}$$

$$T_{final} = 17:10 \text{ hh:mm}$$

$$\rho_{ac(t)} = 988,02 \text{ kg/m}^3$$

- Variación de volumen de agua caliente para el tanque de alimentación

$$\Delta V_{ac(t)} = V_{ac(t)}^{final} - V_{ac(t)}^{inicial} \text{ [m}^3\text{]}$$

$$\Delta V_{ac(t)} = (60,45 - 58,68) \text{ m}^3$$

$$\Delta V_{ac(t)} = 1,77 \text{ [m}^3\text{]}$$

- Tiempo de medición

$$\Delta T = T_{final} - T_{inicial} \text{ [h]}$$

$$\Delta T = (17:10 - 10:48) \text{ [hh:mm]}$$

$$\Delta T = 6:22 \text{ [hh:mm]} \approx 6,37 \text{ [h]}$$

- Caudal del agua caliente para el tanque de alimentación

$$Q_{ac(t)} = \frac{\Delta V_{ac(t)}}{\Delta T_{ac(t)}} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$$

$$Q_{ac(t)} = \frac{1,77 \text{ [m}^3\text{]}}{6,37 \text{ [h]}}$$

$$Q_{ac(t)} = 0,2782 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$$

- Flujo másico de agua caliente para el tanque de alimentación

$$\dot{m}_{ac(t)} = Q_{ac(t)} \times \rho_{ac(t)} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

$$\dot{m}_{ac(t)} = 0,2782 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \times 988,02 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$\dot{m}_{ac(t)} = 274,87 \left[ \frac{kg}{h} \right]$$

En la Tabla 2.22 se indica los valores calculados para de agua caliente para el tanque de alimentación.

Tabla 2.22 Datos calculados para el agua caliente para el tanque de alimentación

Agua caliente para el tanque de alimentación		
Volumen [m <sup>3</sup> ]	Caudal [m <sup>3</sup> /h]	Flujo másico [kg/h]
1,77	0,2782	274,84

(Fuente: Propia)

En tiempo aproximado de 8 horas, se tiene un volumen de 2,77 m<sup>3</sup> de agua caliente con un caudal de 0,2782 m<sup>3</sup>/h y 274,84 kg/h en términos de flujo másico.

### 2.3.7. Determinación del flujo másico del agua de enfriamiento

Se denomina agua de enfriamiento al flujo de agua utilizada para bajar la temperatura de los intercambiadores durante el proceso de tintura. Para determinar este flujo se realiza un balance de masa, tomando a la cisterna de agua caliente como volumen de control, como se indica en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Reemplazando en la Ec. 2.17 se obtiene:

$$\dot{m}_{cond} + \dot{m}_{af} = \dot{m}_{ac}$$

La ecuación para determinar el flujo másico de agua de enfriamiento es la siguiente:

$$\dot{m}_{af} = \dot{m}_{ac} - \dot{m}_{cond} \frac{kg}{h} \quad \text{Ec. 2.27}$$

Donde:

$\dot{m}_{ac}$ : Flujo másico de agua caliente kg/h

$\dot{m}_{cond}$ : Flujo másico de condensado kg/h

Se utiliza la Ec. 2.27 para el cálculo flujo masico agua de enfriamiento con los siguientes datos:

$$\dot{m}_{ac} = 1892,38 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{cond} = 1091,97 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{af} = 1892,38 - 1091,97 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{m}_{af} = 800,41 \frac{kg}{h}$$

En la Tabla 2.23 y la Figura 2.36 se indican los valores calculados para los flujos masicos que intervienen en los procesos de tintura y acabado.

Tabla 2.23 Resumen de valores calculados para los diferentes flujos masicos

Punto	Derivación	Denominación	Flujo másico [kg/h]
1	N/A	Agua de alimentación	1296,86
2	N/A	Combustible	95,61
3	N/A	Condensado del área de tintorería	1091,97
4	4.0	Vapor suministrado	1296,86
	4.1	Vapor para área de tintorería	1091,97
	4.2	Vapor para área de acabado	204,89
5	5.0	Agua caliente	1892,38
	5.1	Agua caliente para el tanque de alimentación de la caldera	274,87
	5.2	Agua caliente para procesos de teñido	1617,52
6	N/A	Agua de enfriamiento	800,41

(Fuente: Propia)

En la Figura 2.36 se indica en un diagrama los flujos masicos medidos y calculados del sistema de generación de vapor.

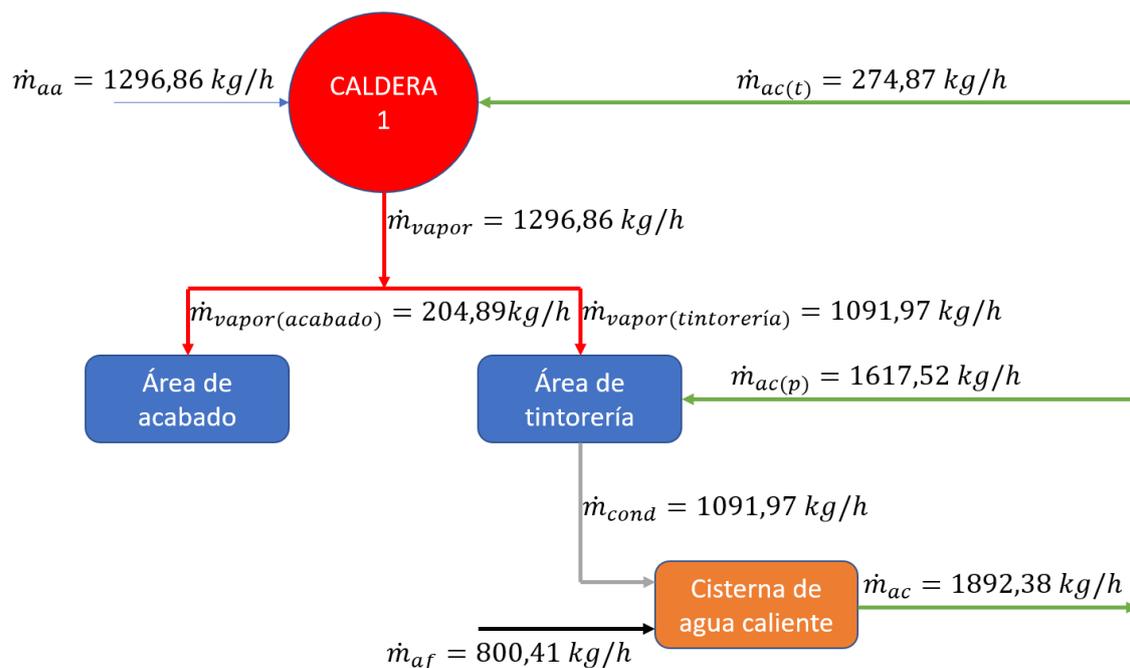


Figura 2.36 Diagrama de flujos másicos  
(Fuente: Propia)

## 2.4. Determinación de pérdidas de energía

Se procede a calcular las pérdidas de energía de la caldera durante la operación en la jornada de trabajo. Estas pérdidas se utilizarán para calcular la eficiencia de la caldera por el método indirecto.

En la Figura 2.37 se indica la relación entre calor disponible, útil y las pérdidas térmicas en una caldera



Figura 2.37 Diagrama de energías para la generación de vapor.  
(Fuente: Propia)

### 2.4.1. Calores disponibles y útil

El calor disponible es la energía entregada por unidad de masa del combustible.

La ecuación para determinar el calor disponible es la siguiente:

$$Q_d = Q_i + Q_c + Q_{pca} + Q_{vat} \frac{kJ}{kg} \quad \text{Ec. 2.28}$$

Donde:

$Q_i$ : Poder calorífico inferior del combustible kJ/kg

$Q_c$ : Calor físico del combustible kJ/kg

$Q_{pca}$ : Calor añadido en el precalentador de aire kJ/kg

$Q_{vat}$ : Calor suministrado con el vapor atomización kJ/kg

Se utiliza la Ec. 2.28 para el cálculo del calor disponible de la caldera con los siguientes datos:

$$Q_i = 43120 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_c = 0 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{pca} = 0 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{vat} = 0 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_d = Q_i + Q_c + Q_{pca} + Q_{vat} \frac{kJ}{kg}$$

$$Q_d = 43120 + 0 + 0 + 0 \frac{kJ}{kg}$$

$$Q_d = 43120 \frac{kJ}{kg}$$

El calor disponible es de 43120 kJ/kg.

El calor útil es la energía transferida al agente de trabajo por unidad de masa de combustible.

La ecuación para determinar el calor útil es la siguiente:

$$Q_1 = \frac{D_v \cdot (h_v - h_{aa})}{B_c} \frac{kJ}{kg} \quad \text{Ec. 2.29}$$

Donde:

$D_v$ : Flujo de vapor producido por la caldera kg/h

$h_v$ : Entalpía de vapor producido kJ/kg

$h_{aa}$ : Entalpía del agua de alimentación kJ/kg

$B_c$ : Gasto de combustible kg/h

Se utiliza la Ec. 2.29 para el cálculo del calor útil de la caldera con los siguientes datos:

$D_v = 1296,86$  kg/h

$h_v = 2774,47$  kJ/kg @135,37 psia

$h_{aa} = 126,59$  kJ/kg @135,37 psia, 30°C

$B_c = 95,61$  kg/h

$$Q_1 = \frac{D_v \cdot (h_v - h_{aa})}{B_c} \frac{kJ}{kg}$$

$$Q_1 = \frac{1296,86 \frac{kJ}{h} \times (2774,47 - 126,59) \frac{kJ}{kg}}{95,61 \frac{kJ}{h}}$$

$$Q_1 = 35917,44 \frac{kJ}{kg}$$

El calor útil es de 35917,44 kJ/kg.

#### 2.4.1.1. Poder calorífico del combustible

El poder calorífico de un combustible es calor desprendido en la reacción de combustión completa por unidad de masa o volumen del combustible [10].

El poder calorífico del combustible es 43120 kJ/kg, tomado del resumen de calidad del combustible de tanques de despacho proporcionado por Petroecuador disponible en el Anexo XI.

#### 2.4.1.2. Calor físico del combustible

El calor físico del combustible se considera para [10]:

- Combustibles sólidos de bajo poder calorífico.
- Combustibles líquidos precalentados antes de ingresar al quemador.

Las ecuaciones para determinar el calor físico del combustible son las siguientes:

$$Q_c = C_c \cdot T_c \frac{kJ}{kg} \quad \text{Ec. 2.30}$$

$$C_c = \frac{0.388 + 0.00047 T_c}{\sqrt{\gamma}} \frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ C} \quad \text{Ec. 2.31}$$

Donde:

$T_c$ : Temperatura del combustible suministrado a la caldera °C

$C_c$ : Calor específico del combustible kJ/kg°C

$\gamma$ : Gravedad específica

Este parámetro no es tomado en cuenta porque el combustible no se precalienta antes de ingresar al quemador.

#### 2.4.1.3. Calor añadido en el precalentador de aire

Se tiene en cuenta cuando el aire es precalentado por una fuente externa a la caldera.

La ecuación para determinar calor añadido en el precalentador de aire es la siguiente:

$$Q_{pca} = \beta_{pca} (I_{pca} - I_{af}) \frac{kJ}{kg} \quad \text{Ec. 2.32}$$

Donde:

$\beta_{pca}$ : Es la relación entre el volumen de aire a la entrada del calentador de aire y volumen teórico.

$I_{pca}$ : Entalpía del aire a la entrada del calentador de aire kJ/kg

$I_{af}$ : Entalpía del aire a la temperatura ambiente kJ/kg

Este parámetro no es tomado en cuenta porque el aire no se precalienta antes de ingresar al quemador.

#### 2.4.1.4. Calor añadido con el vapor de atomización

Este calor se considera para combustibles líquidos. El vapor de atomización proviene de una fuente externa a la caldera.

La ecuación para determinar calor añadido con el vapor de atomización es la siguiente:

$$Q_{vat} = G_{vat} \cdot (h_{vat} - h_{vge}) \frac{kJ}{kg} \quad \text{Ec. 2.33}$$

Donde:

$G_{vat}$ : Gasto de vapor de atomización por unidad de masa de combustible [kg vapor/kg combustible]

$h_{vat}$ : Entalpía de vapor de atomización kJ/kg

$h_{vge}$ : Entalpía de vapor de agua presente en los gases de escape kJ/kg

Este parámetro no es tomado en cuenta porque el combustible no realiza la adición de vapor de atomización.

#### 2.4.2. Pérdidas de calor en la caldera

Las pérdidas de calor es la energía no aprovechada, se desperdicia en durante los procesos.

Para calcular las pérdidas de calor en la caldera se utilizan los datos del monitoreo de emisiones de combustión, estos datos se indican en la Tabla 2.24.

En el Anexo XII se indica el informe de monitores de emisiones de combustión.

Tabla 2.24 Datos obtenidos del análisis de gases.

Parámetros de emisión	Unidad	Llama baja	Llama media	Llama alta
Temperatura de gases de chimenea	°C	147	212	227
Temperatura ambiente	°C	28,2	30,6	31,7
Exceso de aire	$\lambda$	1,41	1,59	1,49
Porcentaje de oxígeno	%	6,1	7,8	6,9
Porcentaje de dióxido de carbono	%	10,9	9,7	10,3
Monóxido de carbono	ppm	0	0	0
Dióxido de azufre	ppm	95	127	142
Monóxido de nitrógeno	ppm	123	82	86
Óxidos de nitrógeno	ppm	129	87	90
Número de humo	n	0	0	0

(Fuente: Propia)

#### 2.4.2.1. Pérdidas de calor sensible

Estas pérdidas también se conocen como pérdidas con los gases de salida. La pérdida de calor sensible en como porcentaje del poder calorífico inferior se calcula con la fórmula aproximada de Siegert [23].

Las pérdidas en los gases de salida están determinadas por la temperatura, volumen y composición de estos.

La ecuación para determinar las pérdidas de calor sensible es la siguiente:

$$q_1 = k_1 \left( \frac{T_g - T_{amb}}{\%CO_2 + \%CO} \right) \% \quad \text{Ec. 2.34}$$

Donde:

$k_1$ : Coeficiente de Hassentein. Para fuel oil se considera un valor de  $K=0,56 - 0,58$ .

$T_g$ : Temperatura de gases de chimenea °C

$T_{amb}$ : Temperatura del aire ambiente °C

$\%CO_2$ : Porcentaje en volumen de dióxido de carbono contenido en los gases de chimenea %

CO: Porcentaje en volumen de monóxido de carbono contenido en los gases de chimenea ppm

Se utiliza la Ec. 2.34 para el cálculo de las pérdidas de calor sensible con los siguientes datos:

- Llama alta

$$k_1 = 0,57$$

$$\%CO_2 = 10,3 \text{ [%]}$$

$$T_g = 227 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$T_{amb} = 31,7 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$CO = 0 \text{ [%]}$$

$$q_1 = k_1 \times \left( \frac{T_g - T_{amb}}{\%CO_2 + \%CO} \right)$$

$$q_1 = (0,57) \times \frac{(227 - 31,7) \text{ }^\circ\text{C}}{(10,3 - 0) \text{ \%}}$$

$$q_{1(\text{alta})} = 10,81 \text{ \%}$$

Cuando la intensidad de llama es alta se tiene la mayor pérdida de calor sensible, y es de 10,81 %.

Los cálculos de pérdida de calor para llama media y baja se indican en el Anexo XIII.

Se calcula las pérdidas para las tres intensidades de llama de la caldera N°1. Los valores calculados se indica en la Tabla 2.25.

Tabla 2.25 Valores calculados para las pérdidas de calor sensible.

Llama	Temperatura de gases de chimenea [°C]	Temperatura a ambiente [°C]	Dióxido de carbono [%]	Monóxido de carbono [ppm]	Perdidas de calor sensible [%]
Baja	147,0	28,2	10,9	0	6,21
Media	212,0	30,6	9,7	0	10,66
Alta	227,0	31,7	10,3	0	10,81

(Fuente: Propia)

#### 2.4.2.2. Pérdidas de calor por combustión incompleta

Son perdidas por la presencia de monóxido de carbono (CO), en los gases de combustión, debido a una combustión deficiente.

Las pérdidas por combustión incompleta están asociadas con: relación aire-combustible, mezcla del combustible con el aire y la temperatura en la caldera [10].

La ecuación para determinar las pérdidas de calor por combustión incompleta es la siguiente:

$$q_2 = \left( \frac{60 \times \%CO}{\%CO_2 + \%CO} \right) \quad \text{Ec. 2.35}$$

Donde:

$q_2$ : Pérdida de calor por combustión incompleta %

$\%CO_2$ : Porcentaje en volumen de dióxido de carbono %

$\%CO$ : Porcentaje en volumen de monóxido de carbono %

No existe presencia de monóxido de carbono durante el proceso de combustión en las calderas.

#### 2.4.2.3. Pérdida por combustible no quemado

Esta pérdida se presenta cuando existe combustible que no reacciona en el proceso de combustión. No cede el poder calorífico que contiene.

Se tiene importancia para los combustibles sólidos por la generación de cenizas producidas durante la combustión. Esta pérdida no es tomada en cuenta para los combustibles líquidos y gaseosos[10].

#### 2.4.2.4. Perdidas con el calor físico de residuos de hornos

Perdidas relacionadas únicamente con los combustibles sólidos. Se toman en cuenta cuando se extrae residuos de combustible del horno, escoria y cenizas, a una temperatura mayor a la del ambiente [10].

#### 2.4.2.5. Perdidas por purga

Las purgas limitan la concentración de impurezas del agua en la caldera. Las impurezas producen problemas de incrustaciones y corrosión disminuyendo la eficiencia de la caldera.

Las pérdidas por purga corresponden a la extracción de la energía absorbida por el agua en la caldera durante las purgas.

Las ecuaciones para determinar las pérdidas por purga son las siguientes:

$$D_p = D_v \left( \frac{C_{aa}}{C_{pp} - C_{aa}} \right) \frac{\text{kg}}{\text{h}} \quad \text{Ec. 2.36}$$

$$q_{\text{purga}} = D_p \frac{(h_v - h_{aa}) \text{ kJ}}{B_c \text{ kg}} \quad \text{Ec. 2.37}$$

$$q_5 = \frac{q_{\text{purga}}}{Q_d} \times 100 \% \quad \text{Ec. 2.38}$$

Donde:

$D_v$  : Producción de vapor de la caldera kg/s

$C_{aa}$ : Concentración de la sustancia en el agua de alimentación ppm

$C_{pp}$ : Concentración normada de la sustancia en el interior de la caldera ppm

$D_p$  : Gasto de agua extraída kg/h

$h_v$ : Entalpía del vapor producido @135,37 psia kJ/kg

$h_{aa}$ : Entalpía de agua de alimentación @30°C kJ/kg

$B_c$ : Gasto de combustible kg/h

$q_{\text{purga}}$ : Pérdidas de calor por purgas kJ/kg

$Q_d$ : Calor disponible kJ/kg

$q_5$ : Porcentaje de pérdidas de calor por purgas %

Presión del vapor (lb/pulg <sup>2</sup> )	Sólidos totales (ppm)	Silice (ppm)	Sólidos en suspensión (ppm)	Alcalinidad total (ppm)
0-300	3500	125	300	700
301-450	3000	90	250	600
451-600	2500	50	150	500
601-750	2000	35	100	400
751-900	1500	20	60	300
901-1000	1250	85	40	250
1001-1500	1000	2.5	20	200
1501-2000	750	1.0	10	150
Más de 2000	500	0.5	5	100

Figura 2.38 Valores límites de las características del agua en el interior de las calderas (Fuente: [10])

La caldera N°1 opera a 125 psi entonces, según la Figura 2.38, se tiene para sólidos totales un valor de 3500 ppm.

Desde la Ec. 2.36 hasta la Ec. 2.38, se utilizan para el cálculo de las pérdidas de calor por purga con los siguientes datos:

$$D_v = 1296,86 \text{ kg/h}$$

$$C_{aa} = 5 \text{ ppm}$$

$$C_{pp} = 3500 \text{ ppm}$$

$$h_v = 2774,47 \text{ kJ/kg @135,37 psia}$$

$$h_{aa} = 126,59 \text{ kJ/kg @135,37 psia, } 30^\circ\text{C}$$

$$B_c = 95,61 \text{ kg/h}$$

- Gasto de agua extraída

$$D_p = D_v \left( \frac{C_{aa}}{C_{pp} - C_{aa}} \right) \frac{kg}{h}$$

$$D_p = 1296,86 \frac{kg}{h} \times \frac{5 \text{ ppm}}{(3500 - 5) \text{ ppm}}$$

$$D_p = 1,9 \frac{kg}{h}$$

- Pérdidas de calor por purgas

$$q_{purga} = D_p \frac{(h_v - h_{aa}) \frac{kJ}{kg}}{B_c \frac{kg}{h}}$$

$$q_{purga} = 1,9 \frac{kg}{h} \times \frac{(2774,47 - 126,59) \frac{kJ}{kg}}{95,61 \frac{kg}{h}}$$

$$q_{purga} = 51,38 \frac{kJ}{kg}$$

- Porcentaje de pérdidas de calor por purgas

$$q_5 = \frac{q_{purga}}{Q_d} \times 100 \%$$

$$q_5 = \frac{51,38 \frac{kJ}{kg}}{43120 \frac{kJ}{kg}} \times 100 \%$$

$$q_5 = 0,12 \%$$

Las pérdidas por purga son de 0,12 %.

#### **2.4.2.6. Pérdidas de calor por radiación y convección**

Las superficies de la caldera y tuberías de vapor consiguen temperaturas superiores a la ambiental. Se genera una transferencia de calor hacia el ambiente externo debido al gradiente de temperatura por convección y radiación, representa una pérdida de calor. Estas pérdidas dependen de la temperatura y dimensión de los componentes, calderas, y velocidad del aire exterior.

##### **2.4.2.6.1. Equipos**

La cámara de infrarrojos se utilizó para medir la temperatura superficial de la caldera. Las longitudes de la caldera se midieron con un flexómetro.

En el Anexo IV se describe las características técnicas de la cámara de infrarrojos.

##### **2.4.2.6.2. Procedimiento de medición**

1. Medir las dimensiones de la caldera obteniendo largo y ancho.
2. Calcular el área superficial de la caldera empleando los datos de dimensiones: largo y ancho anteriormente obtenidos.
3. Medir la temperatura de alrededor del cuarto de calderas con un termómetro digital.
4. Calcular la temperatura de alrededor promedio del cuarto de calderas empleando las mediciones anteriores.
5. Medir las temperaturas superficiales de la caldera dividida en: tapa frontal, cuerpo, tapa posterior y chimenea.
6. Calcular el coeficiente de transferencia de calor por radiación y convección empleando los datos de temperatura de alrededores y superficial anteriormente medidos.

7. Calcular el coeficiente combinado de transferencia de calor empleando los datos de coeficiente de transferencia de calor por radiación y convección anteriormente obtenidos.
8. Calcular el flujo de calor empleando los datos de área superficial y coeficiente combinado de transferencia.

#### 2.4.2.6.3. Datos obtenidos

En el Anexo XIV, se indica las imágenes térmicas tomadas de la superficie de la caldera y un registro de temperaturas para cada sección de la caldera.

Se calcula la temperatura promedio para cada sección de la caldera N°1. Los valores calculados se indican en la Tabla 2.26.

Tabla 2.26 Temperatura promedio para cada sección de la caldera

Sección	Temperatura superficial promedio [°C]	Temperatura superficial promedio [K]	Temperatura ambiental promedio [°C]	Temperatura ambiental promedio [K]
Tapa frontal	138,97	412,12	33,06	306,21
Cuerpo	48,14	321,29	33,19	305,34
Tapa posterior	100,71	373,856	33,12	306,27
Chimenea	151,93	425,08	40,61	313,76

(Fuente: Propia)

La sección de la chimenea tiene la mayor temperatura de la caldera, es por donde se evacuan los gases de escape de la combustión.

A continuación, se realiza el cálculo de los coeficientes de transferencia de calor por radiación y convección.

#### 2.4.2.6.4. Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por radiación

La ecuación para determinar este coeficiente es la siguiente:

$$h_{rad} = \varepsilon \times \sigma \times \frac{(T_s^4 - T_{atr}^4)}{(T_s - T_{atr})} \frac{W}{m^2K} \quad \text{Ec. 2.39}$$

Donde:

$\varepsilon$ : Emisividad superficial

$\sigma$ : Constante de Stefan-Boltzmann  $W/m^2K^4$

$T_s$ : Temperatura superficial K

$T_{atr}$ : Temperatura de alrededores K

Se utiliza la Ec. 2.39 para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor por radiación con los siguientes datos:

$$\varepsilon = 0,95$$

$$\sigma = 5,68 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$$

- Cálculo para la sección denominada tapa frontal.

$T_s$ : 412,12 K

$T_{alr}$ : 306,21 K

$$h_{rad} = 0,95 \times (5,68 \times e^{-8}) \frac{W}{m^2 K^4} \times \frac{((412,12)^4 - (306,21)^4) K^4}{(412,12 - 306,21)K}$$

$$h_{rad} = 10,21 \frac{W}{m^2 K}$$

En el Anexo XV se indica los cálculos del coeficiente de transferencia de calor por radiación para las secciones restantes de la caldera N°1. La Tabla 2.27 indica los resultados de los cálculos de los coeficientes de transferencia de calor por radiación.

Tabla 2.27 Coeficientes de transferencia de calor por radiación

Sección	Coeficiente de convección por radiación [W/m <sup>2</sup> K]
Tapa frontal	10,21
Cuerpo	6,64
Tapa posterior	8,57
Chimenea	11,12

(Fuente: Propia)

#### 2.4.2.6.5. Cálculo de coeficiente de transferencia de calor por convección

Las ecuaciones para determinar este coeficiente son las siguientes:

$$T_f = \frac{1}{2}(T_s + T_{alr}) K \quad \text{Ec. 2.40}$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} [K^{-1}] \quad \text{Ec. 2.41}$$

$$Gr = \frac{g\beta(T_s - T_{alr})D^3}{\nu^2} \quad \text{Ec. 2.42}$$

$$Ra = Gr \times Pr \quad \text{Ec. 2.43}$$

$$Nu = 0,525 \times Ra^{\frac{1}{4}} \quad \text{Ec. 2.44}$$

$$h_{conv} = \frac{Nu \times k}{D} \frac{W}{m^2 K} \quad \text{Ec. 2.45}$$

Donde:

$T_s$ : Temperatura superficial K

$T_{alr}$ : Temperatura de alrededores K

$T_f$ : Temperatura de película K

$\beta$ : Coeficiente de expansión volumétrica 1/K

$g$ : Aceleración gravitacional m/s<sup>2</sup>

$\nu$ : Viscosidad cinemática del fluido  $\text{m}^2/\text{s}$

Gr: Número de Grashof

Pr: Número de Prandtl

Ra: Número de Rayleigh

C: Coeficiente constante

Nu: Número de Nusselt

D: Longitud característica de la configuración geométrica m

k: Conductividad térmica del aire a la temperatura de película  $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$

$h_{conv}$ : Coeficiente de transferencia de calor por convección  $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$

Desde la Ec. 2.40 hasta la Ec. 2.45, se utilizan para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor por radiación con los siguientes datos:

A) Cálculo para la sección denominada tapa frontal.

$$T_s = 412,12 \text{ K}$$

$$T_{air} = 306,21 \text{ K}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\nu = 2,16 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s} @ 359,17 \text{ K}$$

$$D = 1,98 \text{ m}$$

$$Pr = 0,7141$$

$$n = 1/4$$

$$k = 0,03 \text{ W}/\text{m}\cdot\text{K}$$

- Temperatura de película

$$T_f = \frac{1}{2}(T_s + T_{air}) \text{ K}$$

$$T_f = \frac{1}{2}(412,12 + 306,21) \text{ K}$$

$$T_f = 359,17 \text{ K}$$

- Coeficiente de expansión volumétrica

$$\beta = \frac{1}{T_f}$$

$$\beta = \frac{1}{359,17 \text{ K}}$$

$$\beta = 0,002784 \text{ K}^{-1}$$

- Número de Grashof

$$Gr = \frac{g\beta(T_s - T_{atr})D^3}{\nu^2}$$

$$Gr = \frac{(9,81) \frac{m}{s^2} \times (0,002784)K^{-1} \times (412,12 - 306,21)K \times (1,98 m)^3}{\left(2,16 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}\right)^2}$$

$$Gr = 4,82 \times 10^{10}$$

- Número de Rayleigh

$$Ra = Gr \times Pr$$

$$Ra = (4,82 \times 10^{10}) \times (0,7141)$$

$$Ra = 3,44 \times 10^{10}$$

- Número de Nusselt

$$Nu = 0,525 \times Ra^{\frac{1}{4}}$$

$$Nu = 0,525 \times (3,44 \times 10^{10})^{1/4}$$

$$Nu = 226,085$$

- Coeficiente de transferencia de calor por convección

$$h_{conv} = \frac{Nu \times k}{D} \frac{W}{m^2K}$$

$$h_{conv} = \frac{226,085 \times 0,03 \frac{W}{m \cdot K}}{1,98 m}$$

$$h_{conv} = 3,42 \frac{W}{m^2K}$$

En el Anexo XVI se indica los cálculos del coeficiente de transferencia de calor por convección para las secciones restantes de la caldera N°1. La Tabla 2.28 indica los resultados de los cálculos de los coeficientes de transferencia de calor por convección.

Tabla 2.28 Coeficientes de transferencia de calor por convección

Sección	Temperatura de película Tf [°C]	Coefficiente de expansión volumétrica $\beta$ [1/K]	Número de Grashof Gr	Número de Prandtl	Número de Rayleigh	Número de Nusselt	Conductividad térmica k[W/m·K]	Longitud característica de la geometría D [m]	Coefficiente de transferencia de calor por convección hc [W/m²·K]
Tapa frontal	359,16	0,0027842	4,82E+10	0,7141	3,4391E+10	226,08	0,0300	1,98	3,42
Cuerpo	313,31	0,0031917	1,05E+10	0,7255	7,6364E+09	155,20	0,0266	1,98	2,09
Tapa posterior	340,06	0,0029406	3,99E+10	0,7189	2,8686E+10	216,06	0,0285	1,98	3,11
Chimenea	369,42	0,0027069	7,19E+08	0,7119	5,1192E+08	78,97	0,0307	0,50	4,85

(Fuente: Propia)

La sección de la chimenea tiene el coeficiente de transferencia de calor por convección y es de 4,85 W/m<sup>2</sup>K.

#### 2.4.2.6.6. Cálculo del flujo de calor

Las ecuaciones para determinar el flujo de calor de pérdidas por convección y radiación son las siguientes:

$$h_{combinado} = h_{conv} + h_{rad} \left[ \frac{W}{m^2 K} \right] \quad \text{Ec. 2.46}$$

$$A_s = \pi \times \frac{D^2}{4} [m^2] \quad \text{Ec. 2.47}$$

$$q_{cr} = h_{combinado} A_s (T_s - T_{alr}) [W] \quad \text{Ec. 2.48}$$

Donde:

$h_{rad}$ : Coeficiente de transferencia de calor por radiación W/m<sup>2</sup>·K

$h_{conv}$ : Coeficiente de transferencia de calor por convección W/m<sup>2</sup>·K

$h_{combinado}$ : Coeficiente combinado de transferencia de calor W/m<sup>2</sup>·K

D: Diámetro de la caldera m

$A_s$ : Área superficial de transferencia de calor m<sup>2</sup>

$T_{alr}$ : Temperatura de alrededores K

$T_f$ : Temperatura superficial K

$q_{cr}$ : Flujo de calor por convección y radiación en la superficie de la caldera kJ/h

Desde las Ec. 2.46 hasta la Ec. 2.48, se utilizan para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor combinada y flujo de calor con los siguientes datos:

A) cálculo para la sección denominada tapa frontal.

$$h_{rad} = 10,21 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$h_{conv} = 3,42 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$D = 1,98 \text{ m}$$

$$T_s = 412,12 \text{ K}$$

$$T_{alr} = 306,21 \text{ K}$$

- Coeficiente combinado de transferencia de calor

$$h_{combinado} = h_{conv} + h_{rad} \frac{W}{m^2 K}$$

$$h_{combinado} = (10,21 + 3,42) \frac{W}{m^2 K}$$

$$h_{combinado} = 13,63 \frac{W}{m^2 K}$$

- Área superficial de transferencia de calor

$$A_s = \pi \times \frac{D^2}{4} m^2$$

$$A_s = \pi \times \frac{(1,98)^2 m^2}{4}$$

$$A_s = 3,08 m^2$$

- Flujo de calor por convección y radiación en la superficie de la caldera

$$q_{cr} = h_{combinado} A_s (T_s - T_{alr}) W$$

$$q_{cr} = (13,63) \frac{W}{m^2 K} \times (3,08) m^2 \times (412,12 - 306,21) [K]$$

$$q_{cr} = 4446,13 [W] \approx 16006,07 \frac{kJ}{h}$$

En el Anexo XVII se indica los cálculos de los flujos de calor superficiales para las secciones restantes de la caldera N°1. La Tabla 2.29 indica los resultados de los cálculos de los flujos de calor superficiales en la caldera.

Tabla 2.29 Flujos de calor superficiales en la caldera

Sección	Coficiente de transferencia de calor combinado [W/m <sup>2</sup> ·K]	Área de transferencia de calor [m <sup>2</sup> ]	Flujo de calor superficial [W]	Flujo de calor superficial [kJ/h]
Tapa frontal	13,63	3,08	4446,13	16006,07
Cuerpo	8,73	27,12	3774,27	13587,39
Tapa posterior	11,67	3,08	2429,49	8746,15
Chimenea	15,95	3,69	6563,04	23626,94
		Total	17212,93	61966,55

(Fuente: Propia)

#### 2.4.2.6.7. Cálculo de pérdidas por convección y radiación

Las ecuaciones para determinar el flujo de calor de pérdidas por convección y radiación son las siguientes:

$$q'_6 = \frac{q_{cr}}{B_c} \left[ \frac{kJ}{kg} \right] \quad \text{Ec. 2.49}$$

$$q_6 = \frac{q'_6}{Q_d} \times 100 [\%] \quad \text{Ec. 2.50}$$

Donde:

$q_{cr}$ : Flujo de calor por convección y radiación en la superficie de la caldera kJ/h

$B_c$ : Gasto de combustible kg/h

$q'_6$ : Pérdidas de calor por convección y radiación kJ/kg

$Q_d$ : Calor disponible kJ/kg

$q_6$ : Porcentaje de pérdidas de calor por convección y radiación %

Se utilizan las Ec. 2.49 y Ec. 2.50 para el cálculo de pérdidas de calor por convección y radiación con los siguientes datos:

A) Cálculo para la sección tapa frontal.

$q_{cr} = 16006,07$  kJ/h

$B_c = 95,61$  kg/h

$Q_d = 43120$  kJ/kg

- Pérdidas de calor por convección y radiación

$$q'_6 = \frac{q_{cr}}{B_c} \frac{kJ}{kg}$$

$$q'_6 = \frac{(16006,07) \frac{kJ}{h}}{(95,61) \frac{kg}{h}}$$

$$q'_6 = 167,42 \frac{kJ}{kg}$$

- Porcentaje de pérdidas de calor por convección y radiación

$$q_6 = \frac{q'_6}{Q_d} \times 100 \%$$

$$q_6 = \frac{167,42 \frac{kJ}{kg}}{43120 \frac{kJ}{kg}} \times 100 \%$$

$$q_6 = 0,38 \%$$

En el Anexo XVIII se indica los cálculos de pérdidas de calor por convección y radiación para las secciones restantes de la caldera N°1. La Tabla 2.30 indica los resultados de los cálculos de las pérdidas de calor por convección y radiación en la superficie de la caldera.

Tabla 2.30 Pérdidas de calor por convección y radiación

Sección	Pérdidas de calor por convección y radiación [kJ/kg]	Pérdidas de calor por convección y radiación [%]
Tapa frontal	167,42	0,39%
Cuerpo	142,12	0,33%
Tapa posterior	91,48	0,21%
Chimenea	247,13	0,57%

(Fuente: Propia)

### 2.4.3. Pérdidas de calor en tuberías

Para el cálculo de las pérdidas de calor en tuberías se consideró a la línea de vapor y condensado.

#### 2.4.3.1. Método simplificado para estimar perdidas de calor

Se basa en la temperatura del fluido y se considera que [20]:

- La temperatura de la superficie de la tubería, sin aislamiento, es igual al fluido.
- La temperatura del aire exterior (temperatura ambiente) es aproximadamente de 20°C.
- La transferencia de calor es una combinación de radiación, conducción y convección.

En el Anexo XIX se indica las termografías realizadas en las tuberías de vapor. Los datos obtenidos se registran en la Tabla 2.32.

El factor de pérdida de calor depende de la temperatura del fluido, o de la tubería, y el diámetro.

La Figura 2.39 permite obtener un factor para determinar las pérdidas de calor.

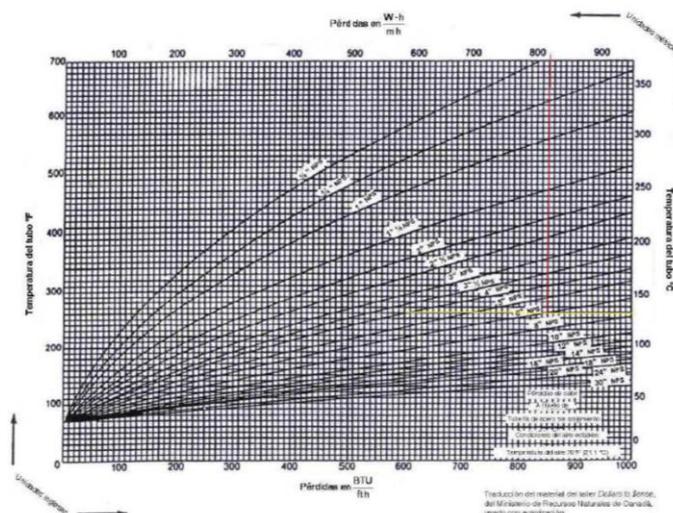


Figura 2.39 Pérdidas de calor para tuberías de acero sin aislante (Fuente:[20])

### 2.4.3.1.1. Pérdidas en las tuberías de vapor

En la

Tabla 2.31 se indica el diámetro y longitud de tubería sin aislar de vapor de las máquinas de tintura.

Tabla 2.31 Diámetros y longitudes de tuberías de vapor no aisladas

Equipo	Diámetro Tubería [Pulg]	Longitud sin aislamiento [m]
MCS 180	2	45,45
MCS 300	2	9,2
IMASTER	2	1,42
TRD 1	2	1,5
TRD 2	2	0
TRD 3	2	1,05
TRD 4	2	2,2

(Fuente: Propia)

Mediante el uso de la cámara de infrarrojos se determinó la temperatura superficial de las tuberías de vapor no aisladas, como se indica en la Tabla 2.32. Se utiliza la temperatura promedio de todas las tuberías de vapor sin aislamiento para calcular las pérdidas.

Tabla 2.32 Temperaturas de tuberías de vapor no aisladas

Equipo	Temperatura [°C]
MCS 300	163,32
MCS 300	166,14
MCS 300	163,39
IMASTER	170,05
TRD4	167,01
TRD3	166,5
Promedio	166,06

(Fuente: Propia)

Para obtener el factor de pérdidas de calor en la tubería de vapor no aislada se tiene los siguientes datos:

Temperatura del tubo = 166 °C

NPS = 3 pulg

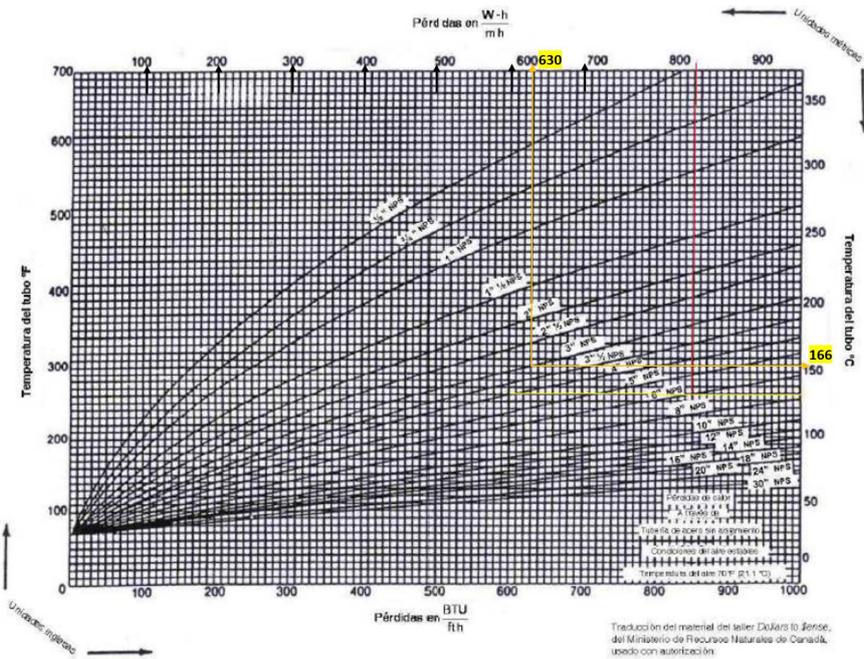


Figura 2.40 Pérdidas de calor para tuberías de acero sin aislante (Fuente: [20])

Según la Figura 2.40, se obtiene un factor de pérdidas de calor en tuberías no aislada de 630 W/m.

La ecuación para determinar las pérdidas de calor en la tubería de vapor sin aislamiento es la siguiente:

$$Q_{\text{sin aislamiento}} = F_{\text{perdidas}} \times L_{\text{sin aislamiento}} \text{ W} \quad \text{Ec. 2.51}$$

Donde:

$F_{\text{perdidas}}$  : Factor de pérdidas de calor W/m

$L_{\text{sin aislamiento}}$ : Longitud de tubería no aislada W

Se utiliza la Ec. 2.51 para el cálculo de pérdidas de calor en la tubería de vapor sin aislamiento con los siguientes datos:

A) Cálculo para la máquina MCS 180

$$F_{\text{perdidas}} = 630 \text{ W/m}$$

$$L_{\text{sin aislamiento}} = 45,45 \text{ m}$$

$$Q_{\text{sin aislamiento}} = F_{\text{perdidas}} \times L_{\text{sin aislamiento}} \text{ W}$$

$$Q_{\text{sin aislamiento}} = 630 \frac{\text{W}}{\text{m}} \times 45,45 \text{ m}$$

$$Q_{\text{sin aislamiento}} = 28633,5 \text{ W} \approx 28,63 \text{ kW}$$

En el Anexo XX se indica los cálculos de pérdidas de calor para las máquinas restantes del área de tintorería. La Tabla 2.33 indica los resultados de los cálculos de las pérdidas de calor en la tubería de vapor sin aislamiento.

Tabla 2.33 Pérdidas de calor en tuberías de vapor sin aislamiento

Equipo	Pérdidas de calor [W]	Pérdidas de calor [kW]
MCS 180	28633,5	28,6335
MCS 300	5796	5,796
IMASTER	894,6	0,8946
TRD 1	945	0,945
TRD 2	0	0
TRD 3	661,5	0,6615
TRD 4	1386	1,386
Total	38316,6	38,3166

(Fuente: Propia)

#### 2.4.3.1.2. Perdidas en las tuberías de condensado

En la Tabla 2.34 se indica el diámetro y longitud de tubería sin aislar de condensado de las máquinas de tintura.

Tabla 2.34 Diámetros y longitudes de tuberías de condensado no aisladas

Equipo	Diámetro Tubería [Pulg]	Longitud sin aislamiento [m]
MCS 180	2	4,79
MCS 300	2	11,05
IMASTER	2	1
TRD 1	2	4,7
TRD 3	2	6,3
TRD 4	2	1,35

(Fuente: Propia)

Mediante el uso de la cámara de infrarrojos se determinó la temperatura superficial de las tuberías de condensado no aisladas, como se indica en la Tabla 2.35. Se utiliza la temperatura promedio de todas las tuberías de condensado sin aislamiento para calcular las pérdidas.

Tabla 2.35 Temperaturas de tuberías de condensado sin aislamiento

Equipo	Temperatura [°C]
IMASTER	137,36
IMASTER	112,55
TRD3	114,6
TRD4	119,24
Promedio	120,94

(Fuente: Propia)

Para obtener el factor de pérdidas de calor en la tubería de vapor no aislada se tiene los siguientes datos:

Temperatura del tubo = 120 °C

NPS = 2 pulg

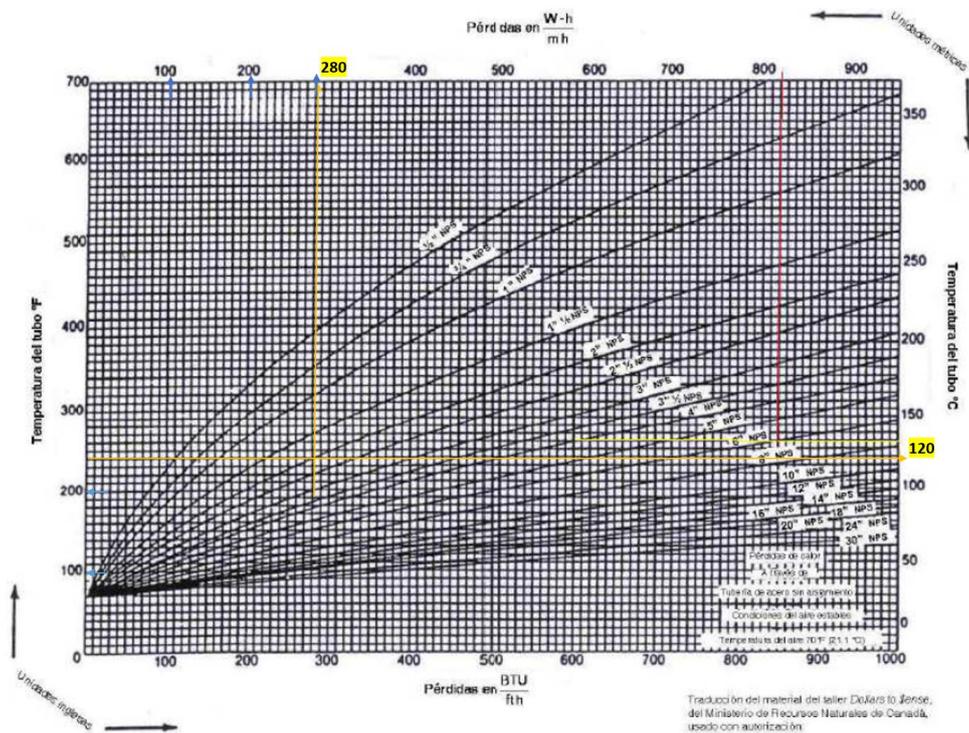


Figura 2.41 Pérdidas de calor para tuberías de acero, condensado, sin aislante (Fuente: [20])

Según la Figura 2.41, se obtiene un factor de pérdidas de calor en tuberías no aislada de 280 W/m. La Tabla 2.36 indica los resultados de los cálculos de las pérdidas de calor en la tubería de condensado sin aislamiento.

A) Cálculo para la máquina MCS 180

$$F_{\text{perdidas}} = 280 \text{ W/m}$$

$$L_{\text{sin aislamiento}} = 4,79 \text{ m}$$

$$Q_{\text{sin aislamiento}} = F_{\text{perdidas}} \times L_{\text{sin aislamiento}} \text{ W}$$

$$Q_{\text{sin aislamiento}} = 280 \frac{\text{W}}{\text{m}} \times 4,79 \text{ m}$$

$$Q_{\text{sin aislamiento}} = 1341,2 \text{ W} \approx 1,3412 \text{ kW}$$

En el Anexo XX se indica los cálculos de pérdidas de calor para las máquinas restantes del área de tintorería. La Tabla 2.36 indica los resultados de los cálculos de las pérdidas de calor en la tubería de condensado sin aislamiento.

Tabla 2.36 Pérdidas de calor en tuberías de condensado sin aislamiento

Equipo	Pérdidas de calor [W]	Pérdidas de calor [kW]
MCS 180	1341,2	1,3412
MCS 300	3094	3,094
IMASTER	280	0,28
TRD 1	1316	1,316
TRD 3	1764	1,764
TRD 4	378	0,378
TOTAL	8173,2	8,1732

(Fuente: Propia)

### 2.4.3.2. Cálculo de pérdidas de calor en tuberías

Adicional, se determina las pérdidas de calor en tuberías utilizando el método de resistencias térmicas para verificar la utilización de las tablas anteriores. Se consideran tres resistencias térmicas:  $R_1$  es por convección interna,  $R_2$  es por conducción y  $R_3$  es por convección y radiación.

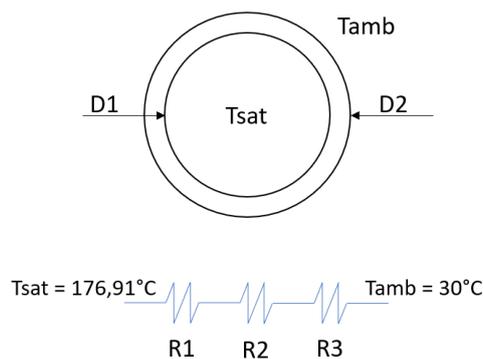


Figura 2.42 Resistencia térmicas

Las resistencias térmicas de la Figura 2.42 son las siguientes:

$R_{conv,1}$ : Resistencia térmica por convección interna

$R_{cond,2}$ : Resistencia por conducción

$R_{conv,3}$ : Resistencia térmica por convección y radiación

Se evalúa las propiedades termofísicas para el vapor saturado a una presión de 135 psia:

$T_{sat}$ : Temperatura de saturación =  $176,91^\circ\text{C}$

$v$ : Volumen específico =  $0,208\text{ m}^3/\text{kg}$

$C_p$ : Calor específico =  $2,56\text{ kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$

$\mu$ : Viscosidad =  $14,85 \times 10^{-6}\text{ N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$

$k$ : Conductividad térmica =  $33,1 \times 10^{-3}\text{ W}/\text{m}\cdot\text{K}$

$Pr$ : 1,14

La ecuación para calcular la velocidad del vapor dentro de la tubería es la siguiente:

$$v = \frac{m_s \cdot V}{3600\pi \left(\frac{D_1}{2}\right)^2} \frac{m}{s} \quad \text{Ec. 2.52}$$

Donde:

$m_s$ : Flujo de vapor kg/h

$V$ : Volumen específico  $m^3/kg$

$D_1$ : Diámetro interior de tubería m

Se utiliza la Ec. 2.52 para el cálculo de pérdidas de calor en la tubería de vapor sin aislamiento con los siguientes datos:

$m_s$ : 1296,86 kg/h

$V$ : 0,208  $m^3/kg$

$D_1$ : 77,92 mm = 0,07792 m

$$v = \frac{m_s \cdot V}{3600\pi \left(\frac{D_1}{2}\right)^2} \frac{m}{s}$$

$$v = \frac{1296,86 \frac{kg}{h} \times 0,208 \frac{m^3}{kg}}{3600\pi \left(\frac{0,07792}{2}\right)^2}$$

$$v = 15,713255 \frac{m}{s}$$

Se determina el número de Reynolds, con la velocidad de vapor obtenida, con la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{\rho V D_1}{\mu} \quad \text{Ec. 2.53}$$

$$Re = \frac{\frac{1 \text{ kg}}{0,208 \text{ m}^3} \times 15,713255 \frac{m}{s} \times 0,07792 \text{ m}}{14,85 \times 10^{-6} \frac{kg}{m \cdot s}}$$

$$Re = 396392,39 \therefore \text{Flujo turbulento}$$

Se determina el número de Nusselt para un flujo turbulento, con la siguiente ecuación:

$$Nu = 0,023 Re^{0.8} Pr^{0.3} \quad \text{Ec. 2.54}$$

$$Nu = 0,023 \times (396392,39)^{0.8} (1,14)^{0.3}$$

$$Nu = 723,09$$

A) Tubería de vapor sin aislamiento para el equipo MCS 180

Datos:

$D_1$ : Diámetro interior de tubería = 77,92 m

$D_2$ : Diámetro exterior de tubería = 88,9 m

$L = 45,45$  m

$T_{amb} = 25^\circ\text{C}$

$K_{acero} = 50,2$  W/mK

$A_1 = \pi D_1 L = 11,1258$  m<sup>2</sup>

$A_2 = \pi D_2 L = 12,6936$  m<sup>2</sup>

- Resistencia térmica por convección interna

Se determina el coeficiente de convección interior con la siguiente ecuación:

$$h_1 = \frac{Nu K}{D_1} \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad \text{Ec. 2.55}$$

$$h_1 = \frac{(723,09) \times (33,1 \times 10^{-3}) \frac{W}{m \cdot K}}{0,07792 \text{ m}}$$

$$h_1 = 307,16 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Se determina la resistencia térmica por convección interna con la siguiente ecuación:

$$R_{conv,1} = \frac{1}{h_1 A_1} \frac{K}{W} \quad \text{Ec. 2.56}$$

$$R_{conv,1} = \frac{1}{307,1676 \frac{W}{m^2 \cdot K} \times 11,1258 \text{ m}^2}$$

$$R_{conv,1} = 2,9261 \times 10^{-4} \frac{K}{W}$$

- Resistencia por conducción

Se determina la resistencia por conducción con la siguiente ecuación:

$$R_{cond,2} = \frac{\ln\left(\frac{D_2}{D_1}\right)}{2\pi K_{acero} L} \frac{K}{W} \quad \text{Ec. 2.57}$$

$$R_{cond,2} = \frac{\ln\left(\frac{0,0889}{0,07792}\right)}{2\pi \times 50,2 \frac{W}{m \cdot K} \times 45,45 \text{ m}}$$

$$R_{cond,2} = 9,1959 \times 10^{-6} \frac{K}{W}$$

- Resistencia térmica por convección y radiación

Se determina el coeficiente de radiación con la siguiente ecuación:

$$h_{rad} = \frac{\varepsilon \sigma (T_{sat}^4 - T_{alr}^4)}{T_{sat} - T_{amb}} \frac{W}{m^2 K} \quad \text{Ec. 2.58}$$

$$h_{rad} = \frac{0,8 \times (5,67 \times 10^{-8}) \frac{W}{m^2 K^4} (450,061^4 - 298,15^4) K^4}{(450,061 - 298,15) K}$$

$$h_{rad} = 9,89 \frac{W}{m^2 K}$$

En la Tabla 2.37 se indica valores de coeficiente de transferencia de calor por convección. Se escoge la convección libre de gases, su valor es de 5 [W/m<sup>2</sup>K].

Tabla 2.37 Valores típicos del coeficiente de transferencia de calor por convección

Tipo de convección	Coficiente de transferencia de calor por convección [ $\frac{W}{m^2 K}$ ]
Convección libre de gases	2-5
Convección libre de líquidos	10-1000
Convección forzada de gases	25-250
Convección forzada de líquidos	50-20000
Ebullición y condensación	2500-100000

(Fuente:[21])

Se determina el coeficiente de radiación y convección con la siguiente formula:

$$h_3 = h_{rad} + h_{conv} \quad \text{Ec. 2.59}$$

$$h_3 = (9,89 + 5) \frac{W}{m^2 K}$$

$$h_3 = 14,89 \frac{W}{m^2 K}$$

Utilizando el coeficiente de radiación y convección, se determina la resistencia con la siguiente ecuación:

$$R_{conv,3} = \frac{1}{h_3 A_2} \frac{K}{W} \quad \text{Ec. 2.60}$$

$$R_{conv,3} = \frac{1}{(14,8914) \frac{W}{m^2 K} \times (12,6936) m^2}$$

$$R_{conv,3} = 0,00529 \frac{K}{W}$$

La resistencia térmica total es la sumatoria de la resistencia térmica por: convección interna, conducción y, convección y radiación.

$$R_{total} = R_{conv,1} + R_{cond,2} + R_{conv,3} \frac{K}{W} \quad \text{Ec. 2.61}$$

$$R_{total} = (2,9261 \times 10^{-4} + 9,1959 \times 10^{-6} + 0,00529) \frac{K}{W}$$

$$R_{total} = 0,005592 \frac{K}{W}$$

La ecuación para determinar las pérdidas de calor en la tubería de vapor es la siguiente:

$$Q = \frac{\Delta T}{R_{total}} \quad \text{Ec. 2.62}$$

$$Q = \frac{(450,061 - 298,15) K}{0,005592 \frac{K}{W}}$$

$$Q = 27165,3659 W = 97795,3171 \frac{kJ}{h}$$

Se determina el error porcentual entre el valor obtenido matemáticamente y el valor tabulado con la siguiente ecuación:

$$Error = \frac{|V_{matemático} - V_{tabulado}|}{V_{matemático}} \times 100 \% \quad \text{Ec. 2.63}$$

$$Error = \frac{|27165,36585 - 28633,5|}{27165,36585} \times 100 \%$$

$$Error = 5,4 \%$$

El porcentaje de error entre el valor tabulado y calculado es de 5,4 %.

En el Anexo XXI se indica los valores calculados para las tuberías de vapor sin aislamiento de los equipos y el porcentaje de error para cada uno.

#### 2.4.4. Pérdidas de calor por fugas de vapor

Las fugas de vapor en las tuberías se pasan por alto frecuentemente. Las fugas pueden ser costosas tanto en los aspectos económicos como ambientales, por lo que se necesita atención inmediata para garantizar que el sistema de vapor funcione con un rendimiento óptimo y minimizar el impacto en el medio ambiente [22].

A continuación, se presenta fugas de vapor detectadas en el área de tintorería. Para estimar las pérdidas de vapor causadas por fugas, se utiliza el método del diámetro de la fuga, que requiere determinar el diámetro de la fuga y presión en la tubería, y la pérdida se puede calcular utilizando una tabla estandarizada, Figura 2.43.

Table 17: Steam Flow through Orifices Discharging to Atmosphere													
Steam flow, lb/h, when steam gauge pressure is													
Diameter (inches)	2 psi	5 psi	10 psi	15 psi	25 psi	50 psi	75 psi	100 psi	125 psi	150 psi	200 psi	250 psi	300 psi
1/32	.31	.47	.58	.70	.94	1.53	2.12	2.7	3.3	3.9	5.1	6.3	7.4
1/16	1.25	1.86	2.3	2.8	3.8	6.1	8.5	10.8	13.2	15.6	20.3	25.1	29.8
3/32	2.81	4.20	5.3	6.3	8.45	13.8	19.1	24.4	29.7	35.1	45.7	56.4	67.0
1/8	4.5	7.5	9.4	11.2	15.0	24.5	34.0	43.4	52.9	62.4	81.3	100	119
5/32	7.8	11.7	14.6	17.6	23.5	38.3	53.1	67.9	82.7	97.4	127	156	186
3/16	11.2	16.7	21.0	25.3	33.8	55.1	76.4	97.7	119	140	183	226	268
7/32	15.3	22.9	28.7	34.4	46.0	75.0	104	133	162	191	249	307	365
1/4	20.0	29.8	37.4	45.0	60.1	98.0	136	173	212	250	325	401	477
9/32	25.2	37.8	47.4	56.9	76.1	124	172	220	268	316	412	507	603
5/16	31.2	46.6	58.5	70.3	94.0	153	212	272	331	390	508	627	745
11/32	37.7	56.4	70.7	85.1	114	185	257	329	400	472	615	758	901
3/8	44.9	67.1	84.2	101	135	221	306	391	476	561	732	902	1073
13/32	52.7	78.8	98.8	119	159	259	359	459	559	659	859	1059	1259
7/16	61.1	91.4	115	138	184	300	416	532	648	764	996	1228	1460
15/32	70.2	105	131	158	211	344	478	611	744	877	1144	1410	1676
1/2	79.8	119	150	180	241	392	544	695	847	998	1301	1604	1907

Figura 2.43 Flujo de vapor en orificios descargados a la atmosfera (Fuente:[23])

En el área de tintorería existen dos fugas de vapor. El distribuidor de tintorería presenta una fuga de vapor en la válvula de globo de la maquina MCS 180. La tubería de vapor de la maquina TRD4 presenta una fuga de vapor en la válvula de pistón. Los componentes con fugas de vapor se indican en la Figura 2.44 y Figura 2.45.



Figura 2.44 Fuga de vapor en la válvula para la maquina MCS 180 (Fuente: Propia)



Figura 2.45 Fuga de vapor en la válvula de entrada de vapor, máquina TRD4  
(Fuente: Propia)

La ecuación para determinar las pérdidas de calor por fugas de vapor es la siguiente:

$$Q_{fuga} = \dot{m}_{fuga\ vapor} \times h_v \frac{kJ}{h} \quad \text{Ec. 2.64}$$

Donde:

$\dot{m}_{fuga\ vapor}$ : Flujo másico de la fuga de vapor kg/h

$h_v$ : Entalpía del vapor producido @135,37 psia kJ/kg

Se utiliza la Ec. 2.64 para el cálculo de pérdida de calor por fugas de vapor con los siguientes datos:

$\dot{m}_{fuga\ vapor}$ : 37,51 kg/h

$h_v$ : 2774,47 @135,37 psia kJ/kg

$$Q_{fuga} = 1,49 \frac{kg}{h} \times 2774,47 \frac{kJ}{h}$$

$$Q_{fuga} = 4152,97$$

A continuación, la Tabla 2.38 indica los resultados de las estimaciones de flujo másico de vapor y pérdidas de calor en la tubería sin aislamiento de vapor y condensado.

Tabla 2.38 Flujo másico de vapor por fugas

Ubicación	Diámetro de fuga [mm]	Diámetro de fuga [Pulg]	Presión de vapor [psig]	Flujo de vapor [lb/h]	Flujo de vapor [kg/h]	Perdidas de calor por fuga [kJ/h]	Perdidas de calor por fuga [W]
Distribuidor tintorería	1	1/32	125	3,3	1,4968	4152,97	1153,61
TRD4	1	1/32	125	3,3	1,4968	4152,97	1153,61
					Total	8305,95	2307,22

(Fuente: Propia)

#### 2.4.5. Auditoria de trampas de vapor

La empresa realizó una inspección de trampas de vapor del área de tintorería y acabado en el mes de agosto del 2021.

Para la revisión del funcionamiento de las trampas de vapor se utilizó el método de ultrasonido.

Cuando el fluido pasa rápidamente a través de un pequeño orificio, genera ondas ultrasonido. En las trampas de vapor, cuando hay fuga de vapor se generan ondas de ultrasonido, como se observa en la Figura 2.46. Las ondas ultrasónicas son producidas por cualquier fuga, medirlas puede detectar daños a las trampas de vapor o válvulas de manera temprana [24].



Figura 2.46 Generación de ondas de ultrasonido en asiento de una trampa de vapor.  
(Fuente: [24])

El equipo empleado marca TLV, modelo Pocket TrapMan:PT1, para la revisión del funcionamiento con el método ultrasónico, como se indica en la Figura 2.47. El equipo evalúa la condición en que trabaja la trampa de vapor al medir la intensidad del ultrasonido y rango de temperatura para comprar con una serie de valores predeterminados, obtenidos por experimentaciones precisas previas [24].



Figura 2.47 Pocket TrapMan: PT1  
(Fuente: [17])

La trampa de vapor es inspeccionada automáticamente por el PT1. El equipo emite un resultado a partir de las condiciones básicas de operación (Buena/Precaución/Fugando/Bloqueada/Baja Temperatura) [24].

La Tabla 2.39 indica el estado de las trampas de vapor basado en el informe de la auditoría externa.

Tabla 2.39 Resultados de la revisión de funcionamiento de trampas de vapor

Cod.	Máquina	Tipo	Conexión [Pulg]	Inspección
T1	MSC 180	Flotador	1	Baja temperatura
T2	MSC 180	Flotador	1	Baja temperatura
T3	MSC 180	Flotador	1	Buena
T4	MSC 180	Flotador	1	Fuga
T5	MSC 300	Flotador	1	Buena
T6	MSC 300	Flotador	1	Fuga
T7	MSC 300	Flotador	1	Baja temperatura
T8	MSC 300	Flotador	1	Baja temperatura
T9	IMASTER	Flotador	2	Baja temperatura
T10	IMASTER	Balde invertido	1/2	Baja temperatura
T11	IMASTER	Disco	1/2	Baja temperatura
T12	IMASTER	Balde invertido	2	Baja temperatura
T13	TRD4	Disco	1/2	Fuga
T14	TRD4	Flotador	2	Buena
T15	TRD4	Balde invertido	1/2	Baja temperatura
T16	TRD4	Balde invertido	2	Bloqueado
T17	TRD3	Disco	1/2	Buena
T18	TRD3	Flotador	1/2	Baja temperatura
T19	TRD3	Balde invertido	2	Bloqueado
T20	TRD1	Flotador	1	Baja temperatura
T21	TRD1	Flotador	1	Baja temperatura
T22	TRD1	Balde invertido	1	Fuera de servicio
T23	TRD2	Flotador	1	Buena
T24	TRD2	Balde invertido	1	Buena
T25	TRD2	Flotador	1	Baja temperatura
T26	Distribuidor tintorería	Balde invertido	1	Fuga
T27	Distribuidor principal	Balde invertido	1	Buena
T28	LAFER 2015	Flotador	1/2	Buena
T29	LAFER 2015	Flotador	1/2	Buena
T30	LAFER 2019	Flotador	1/2	Baja temperatura
T31	LAFER 2019	Flotador	1/2	Baja temperatura
T32	LAFER 2019	Flotador	1/2	Buena
T33	LAFER 2019	Flotador	1/2	Buena

(Fuente: [25])

Definición de los resultados[25]:

- Buena: La trampa de vapor se encuentra operando a un nivel correcto y respondiendo a la carga de condensado adecuada.
- Fuga: El vapor está pasando a través de la trampa de vapor.
- Bloqueado: La trampa de vapor actúa como una válvula cerrada ocasionando la acumulación de condensado.
- Baja temperatura: La trampa de vapor no responde de manera adecuada a la carga de condensado. El condensado no es descargado de manera adecuada.

#### 2.4.5.1. Pérdidas de calor en las trampas de vapor

El flujo de vapor que se escapa a través de una trampa de vapor o una línea de vapor mal acondicionada se puede calcular utilizando la siguiente ecuación[26]:

$$W_{vf} = \frac{\left(\frac{0,8 \times 0,4118 \times \pi}{4}\right) \times \left(\frac{D}{25,4}\right)^2 \times (P \times 14,502) \times 0,4536}{[1,8 \times (T + 273,15)]^{0,5}} \frac{kg}{s} \quad \text{Ec. 2.65}$$

Donde:

$W_{vf}$ : Flujo de vapor fugado kg/s

$D$ : Diámetro de la línea de vapor mm

$P$ : Presión del vapor de línea bar

$T$ : Temperatura del vapor en la línea °C

Se considera que la descarga de la trampa de vapor es hacia la atmosfera.

Se utiliza la Ec. 2.65 para el cálculo del flujo de vapor que se fuga con los siguientes datos:

P: 9,33 bar

T: 135 °C

A) Trampa de vapor 4, tipo flotador de la máquina MCS 180.

D: 25,4 mm

- Flujo de vapor fugado

$$W_{vf} = \frac{\left(\frac{0,8 \times 0,4118 \times \pi}{4}\right) \times \left(\frac{D}{25,4}\right)^2 \times (P \times 14,502) \times 0,4536}{[1,8 \times (T + 273,15)]^{0,5}} \frac{kg}{s}$$

$$W_{vf} = \frac{\left(\frac{0,8 \times 0,4118 \times \pi}{4}\right) \times \left(\frac{25,4}{25,4}\right)^2 \times (9,33 \times 14,502) \times 0,4536}{[1,8 \times (135 + 273,15)]^{0,5}} \frac{kg}{s}$$

$$W_{vf} = 0,5858 \frac{kg}{s} \approx 2109,1387 \frac{kg}{h}$$

La ecuación para determinar el calor perdido por las trampas de vapor con fuga es la siguiente:

$$Q_{vf} = W_{vf} \times (h_v - h_{aa}) \quad \text{Ec. 2.66}$$

Donde:

$Q_{vf}$ : Calor perdido en la trampa de vapor kJ/s

$W_{vf}$ : Flujo de vapor fugado kg/s

$h_v$ : Entalpía del vapor producido @135,37 psia kJ/kg

$h_{aa}$ : Entalpía de agua de alimentación @30°C kJ/kg

Se utiliza la Ec. 2.66 para el cálculo del calor perdido por las trampas de vapor con fuga con los siguientes datos:

A) Trampa de vapor 4, tipo flotador de la máquina MCS 180.

$W_{vf}$ : 0,5858 kg/s

$h_v$ : 2774,47 @135,37 psia kJ/kg

$h_{aa}$ : 126,59 @30°C kJ/kg

- Calor perdido en la trampa de vapor

$$Q_{vf} = W_{vf} \times (h_v - h_{aa}) \quad \text{W}$$

$$Q_{vf} = 0,5858 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times (2774,47 - 126,59) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q_{vf} = 1,5513 \text{ kW}$$

En el Anexo XXII se indica los cálculos de pérdidas de calor para las trampas con fuga restantes del área de tintorería. La Tabla 2.40 indica los resultados de los cálculos de flujo de vapor por fuga y pérdida de calor en trampas de vapor con fuga.

Tabla 2.40 Pérdidas de calor por fuga en las trampas de vapor

Código	Flujo de calor [kg/s]	Flujo de calor [kg/h]	Calor perdido [kJ/h]	Calor perdido [kW]
T4	0,5858	2109,1387	5584,75	1,55
T6	0,5858	2109,1387	5584,75	1,55
T13	0,1464	527,2846	1396,19	0,38
T26	0,5858	2109,1387	5584,75	1,55
		Total	18150,43	5,04

(Fuente: Propia)

#### 2.4.5.2. Revaporizado no recuperado

Cuando el agua a alta presión, y temperatura superior a la temperatura de saturación del líquido a baja presión, cae a una presión más baja, se forma el revaporizado. El condensado, que atraviesa una trampa de vapor, la temperatura aguas arriba es elevada y genera revaporizado [27], como se observa en la Figura 2.48.

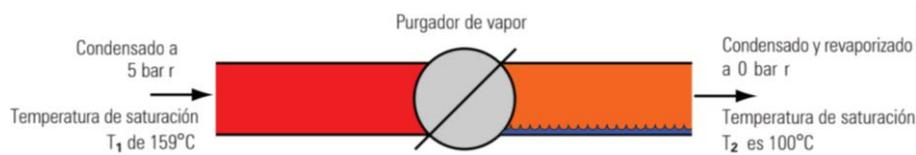


Figura 2.48 Formación de revaporizado  
(Fuente: [27])

La cantidad de revaporizado producida en la presión final se puede determinar utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Cantidad de revaporizado} = \frac{(h_{f1} - h_{f2})}{h_{fg2}} \times 100 \% \quad \text{Ec. 2.67}$$

Donde:

$h_{f1}$ : Calor sensible del condensado a alta presión kJ/kg

$h_{f2}$ : Calor sensible del condensado de baja presión kJ/kg

$h_{fg2}$ : Calor latente del vapor a baja presión kJ/kg

Utilizando el catálogo de la trampa, se determina el caudal de condensado nominal de la trampa en función de la presión de entrada y salida. El condensado se descarga a presión atmosférica. Se considera una pérdida de presión de 0,5 bar, donde se toma en cuenta dos aspectos: la altura de instalación y longitud de la tubería. La tubería se ubica a dos metros del piso.

Se considera un factor de corrección para el caudal de condensado en las trampas de vapor. Se toma de referencia la medición de caudal de condensado en la trampa de vapor de la máquina TRD4. Se calcula el factor de corrección con la siguiente ecuación:

$$FC_{t.v} = \frac{Q_{nom\ t.v}}{Q_{medido\ t.v}} \quad \text{Ec. 2.68}$$

Donde:

$Q_{corregido\ t.v}$ : Caudal de descarga de condensado de trampa de vapor kg/h

$Q_{nom\ t.v}$ : Caudal nominal de descarga de condensado de trampa de vapor kg/h

$Q_{medido\ t.v}$ : Caudal medido de descarga de condensado de trampa de vapor kg/h

Entonces, se calcula el factor de corrección con los siguientes datos:

$Q_{nominal\ t.v}$ : 1250 kg/h

$Q_{medido\ t.v}$ : 218,39 kg/h

$$FC_{t.v} = \frac{Q_{nom\ t.v}}{Q_{medido\ t.v}}$$

$$FC_{t.v} = \frac{218,39 \frac{kg}{h}}{1250 \frac{kg}{h}}$$

$$F_{c_{t.v}} = 0,1747$$

El factor de corrección de 0,1747 se multiplica por el caudal nominal de descarga de condensado de las trampas de vapor.

Se calcula el porcentaje de revaporizado. El caudal de vapor flash nominal es el producto entre el caudal de condensado nominal y porcentaje de revaporizado. El vapor flash real, revaporizado, toma en cuenta el porcentaje de operación de las trampas.

Se considera un porcentaje de operación de las trampas de vapor. Para trampas de uso continuo, ubicadas en piernas colectoras, se considera un 100%. Para las trampas ubicadas en los intercambiadores de calor y tanque de mezclado, se consideran de procesos, se estiman en función del tiempo del proceso y utilización, cuando se produce el condensado, su valor es de 60% y 15%, respectivamente.

Para el cálculo de vapor flash real se utiliza la siguiente ecuación:

$$Vapor\ flash\ real = Q_{nom\ t.v} \times F_{c_{t.v}} \times Revaporizado \times P_{op} \frac{kg}{h} \quad Ec. 2.69$$

Donde:

$Q_{nom\ t.v}$ : Caudal nominal de descarga de condensado de trampa de vapor [kg/h]

$F_{c_{t.v}}$ : Factor de corrección

*Revaporizado*: Porcentaje de revaporizado

$P_{op}$ : Porcentaje de operación

Se utiliza la Ec. 2.69 para el cálculo del vapor flash real con los siguientes datos:

- Trampa de vapor T1.

$$Q_{nom\ t.v} = 1250\ kg/h$$

$$F_{c_{t.v}} = 0,1747$$

$$P_{op} = 0,6$$

$$h_{f1}: 721,32\ @7\ barg\ kJ/kg$$

$$h_{f2}: 468,1\ @0,5\ barg\ kJ/kg$$

$$h_{fg2}: 2225,31\ @0,5\ barg\ kJ/kg$$

$$Cantidad\ de\ revaporizado = \frac{(h_{f1} - h_{f2})}{h_{fg2}} \times 100\ \%$$

$$Cantidad\ de\ revaporizado = \frac{(721,32 - 468,1) \frac{kJ}{kg}}{2225,31 \frac{kJ}{kg}} \times 100\ \%$$

$$Cantidad\ de\ revaporizado = 11,37\%$$

$$Vapor\ flash\ real = Q_{nom\ t.v} \times Fc_{t.v} \times Revaporizado \times P_{op} \frac{kg}{h}$$

$$Vapor\ flash\ real = 1250 \frac{kg}{h} \times 0,1747 \times 11,37\% \times 0,6$$

$$Vapor\ flash\ real = 14,9 \frac{kg}{h}$$

En el Anexo XXIII se indican los catálogos de las trampas de vapor para determinar el caudal de condensado nominal de la trampa.

En el Anexo XXIV se presenta los valores calculados del revaporizado y vapor flash real para trampa de vapor del área de tintorería y acabados.

## 2.5. Determinación de la eficiencia térmica de la caldera

La eficiencia térmica es un indicador del funcionamiento de una caldera de vapor. Esta métrica determina qué tan bien se utiliza la energía suministrada, es decir, una parte de esta energía se transfiere al agente de trabajo [23].

La eficiencia se determina por el método directo y método indirecto.

### 2.5.1. Método directo

El método directo relaciona la energía útil producida (vapor producido o salida) y la energía suministrada (combustible o entrada).

La ecuación para determinar la eficiencia por el método directo es la siguiente:

$$\eta_d = \frac{\dot{Q}_{demanda}}{\dot{Q}_{combustible}} \times 100 \% \quad \text{Ec. 2.70}$$

Donde:

$\dot{Q}_{demanda}$ : Flujo de calor del vapor producido kJ/h

$\dot{Q}_{combustible}$ : Flujo de calor suministrado por el combustible kJ/h

Se utiliza la Ec. 2.70 para el cálculo de eficiencia por el método directo con los siguientes datos:

$$\dot{Q}_{demanda} = 3433933,65 \text{ kJ/h}$$

$$\dot{Q}_{combustible} = 4122544,14 \text{ kJ/h}$$

$$\eta_d = \frac{\dot{Q}_{demanda}}{\dot{Q}_{combustible}} \times 100 \%$$

$$\eta_d = \frac{(3433933,65) \frac{kJ}{h}}{(4122544,14) \frac{kJ}{h}} \times 100 \%$$

$$\eta_d = 83,3 \%$$

### 2.5.2. Método indirecto

El método indirecto relaciona las pérdidas térmicas expresadas en porcentaje de calor disponible y después determinar la eficiencia como porcentaje restante [28].

Las ecuaciones para determinar las pérdidas totales y la eficiencia térmica de la caldera N°1 son las siguientes:

$$\eta_I = (100 - \Sigma \text{Pérdidas}) \% \quad \text{Ec. 2.71}$$

$$\Sigma \text{Pérdidas} = (q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6) \% \quad \text{Ec. 2.72}$$

Donde:

$q_1$ : Pérdida de calor sensible con los gases de salida %

$q_2$ : Pérdida de calor por combustión incompleta %

$q_3$ : Pérdida por combustible no quemado %

$q_4$ : Perdidas con el calor físico de residuos de hornos %

$q_5$ : Perdidas por puga %

$q_6$ : Perdidas de calor por radiación y convección %

$\Sigma \text{Pérdidas}$ : Sumatoria de pérdidas térmicas %

Se utilizan la Ec. 2.71 y Ec. 2.72 para el cálculo de eficiencia por el método indirecto con los siguientes datos:

$$q_1 = 10,81 \%$$

$$q_2 = 0 \%$$

$$q_3 = 0 \%$$

$$q_4 = 0 \%$$

$$q_5 = 0,12 \%$$

$$q_6 = 1,5 \%$$

- Sumatoria de pérdidas térmicas

$$\Sigma \text{Pérdidas} = (q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6) \%$$

$$\Sigma \text{Pérdidas} = (10,81 + 0 + 0 + 0 + 0,12 + 1,5) \%$$

$$\Sigma \text{Pérdidas} = 12,43 \%$$

- Eficiencia térmica de la caldera N°1

$$\eta_I = (100 - \Sigma \text{Pérdidas}) \%$$

$$\eta_I = (100 - 12,43) \%$$

$$\eta_I = 87,57 \%$$

La Tabla 2.41 indica los valores calculados para completar el balance térmico de la caldera.

Tabla 2.41 Resumen del balance térmico de la caldera

Parámetro	Nomenclatura	Unidad	Valor
Calor disponible	$Q_d$	kJ/kg	43120
Pérdida de calor sensible con los gases de salida	$q_1$	%	10,81
Pérdida de calor por combustión incompleta	$q_2$	%	0
Pérdida por combustible no quemado	$q_3$	%	0
Perdidas con el calor físico de residuos de hornos	$q_4$	%	0
Perdidas por puga	$q_5$	%	0,12
Perdidas de calor por radiación y convección	$q_6$	%	1,5031
Total, de perdidas	$\Sigma$ Pérdidas	%	12,43
Eficiencia por método indirecto	$\eta_I$	%	87,57

(Fuente: Propia)

## 2.6. Costos de generación de vapor

Los costos relacionados a la generación de vapor dependen del consumo y costo de combustibles: productos químicos para el tratamiento de aguas, agua de reposición, energía eléctrica, operación y mantenimiento de la caldera.

El consumo y costo del combustible representa alrededor del 93% de los costos involucrados, esta es la variable de mayor incidencia para determinar el costo de generación de vapor.

### 2.6.1. Índice de consumo

Un índice de consumo o consumo específico de energía es la cantidad de energía por unidad de producción o servicios, medida en términos físicos [30].

La ecuación para determinar índice de consumo mediante método directo es la siguiente:

$$IC = \frac{n_d \times Q_i}{h_v - h_{aa}} \frac{kg_v}{kg_c} \quad \text{Ec. 2.73}$$

Donde:

$n_d$ : Eficiencia del generador de vapor obtenida por el método directo

$Q_i$ : Poder calorífico del combustible kJ/kgc

$h_v$ : Entalpía del vapor producido kJ/kg

$h_{aa}$ : Entalpía de agua de alimentación kJ/kg

Se utiliza la Ec. 2.73 para el cálculo del índice de consumo con los siguientes datos:

$$n_d = 0,833$$

$$Q_i = 43120 \text{ [kJ/kgc]}$$

$$h_v = 2774,47 \text{ [kJ/kg]} @ 135,37 \text{ psia}$$

$$h_{aa} = 126,59 \text{ [kJ/kg]} @ 135,37 \text{ psia}, 30^\circ\text{C}$$

$$IC = \frac{n_d \times Q_i \frac{kg_v}{kg_c}}{h_v - h_{aa} \frac{kJ}{kg_v}}$$

$$IC = \frac{0,833 \times (43120) \frac{kJ}{kg_c}}{(2774,47 - 126,59) \frac{kJ}{kg_v}}$$

$$IC = 13,56 \frac{kg_v}{kg_c}$$

### 2.6.2. Costos de generación de vapor

Es el precio de la energía transformada por unidad de masa o energía, este dependerá del rendimiento de la caldera y precio de la energía comprada. En la Figura 2.49 se indica un diagrama de transformación de energía.

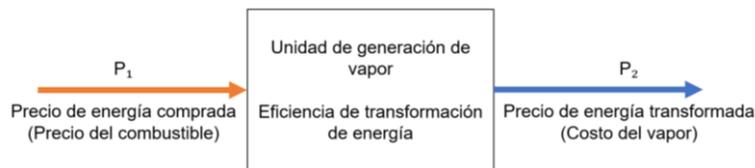


Figura 2.49 Diagrama del precio de la energía comprada y transformada mediante la unidad de generación de vapor. (Fuente:[31])

Se obtiene la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{P_1}{P_2} \rightarrow P_2 = \frac{P_1 \text{ USD}}{\eta \text{ kg}_c} \quad \text{Ec. 2.74}$$

Donde:

$\eta$ : Eficiencia de la caldera.

$P_1$ : Precio del combustible USD/kg<sub>c</sub>

$P_2$ : Costo del vapor [USD/kg<sub>c</sub>]

Se utiliza la Ec. 2.74 para el cálculo de los costos con los siguientes datos:

$$\eta = 0,833$$

$$P_1 = 1,84 \text{ USD/kg}_c$$

Se procede a obtener el precio del combustible por unidad de masa.

$$P_1 = 1,84 \frac{USD}{Gal} \times \frac{1 Gal}{3,785 L} \times \frac{1000 L}{1 m^3} \times \frac{1 m^3}{815 kg_c} = 0,5965 \frac{USD}{kg_c}$$

Reemplazando la ecuación Ec. 2.74 con los datos calculados, se determina costo del vapor por unidad de masa.

$$P_2 = \frac{P_1 USD}{\eta kg_c}$$

$$P_2 = \frac{0,5965 \frac{USD}{kg_c}}{0,833}$$

$$P_2 = 0,7161 \frac{USD}{kg_c}$$

La ecuación para determinar el precio de la unidad de masa de vapor generado es la siguiente:

$$P_3 = IC \times \frac{1 kg_v}{P_1 USD} \quad \text{Ec. 2.75}$$

Donde:

$P_3$ : Precio de la unidad de masa de vapor generado kgv/USD

IC: Índice de consumo kgv/kgc

$P_1$ : Precio del combustible USD/kgc

Se utiliza la Ec. 2.75 para el cálculo del precio de la unidad de masa de vapor generado con los siguientes datos:

IC = 13,57 kgv/kgc

$P_1$  = 0,5965 USD/kgc

$$P_3 = IC \times \frac{1}{P_1}$$

$$P_3 = 13,57 \frac{kg_v}{kg_c} \times \frac{1}{0,5965 \frac{USD}{kg_c}}$$

$$P_3 = 22,74 \frac{kg_v}{USD}$$

El costo por unidad de masa del kilogramo de vapor se obtiene calculando el inverso de  $P_3$ , precio de la unidad de masa de vapor generado.

La ecuación para determinar el costo por unidad de masa del kilogramo de vapor es la siguiente:

$$P_4 = (P_3)^{-1} \frac{USD}{kg_v} \quad \text{Ec. 2.76}$$

Se utiliza la Ec. 2.76 para el cálculo costo por unidad de masa del kilogramo de vapor con los siguientes datos:

$P_3 = 24,74$  Precio de la unidad de masa de vapor generado kgv/USD

$$P_4 = (P_3)^{-1} \frac{USD}{kg_v}$$

$$P_4 = \left( 24,74 \frac{kg_v}{USD} \right)^{-1}$$

$$P_4 = 0,04397 \frac{USD}{kg_v} \text{ o } 4,39 \frac{ctvs}{kg_v}$$

El costo del kiloJoule de vapor producido se obtiene dividiendo el costo por unidad de masa del kilogramo de vapor para la entalpia de vapor producido.

La ecuación para determinar el costo del kiloJoule de vapor producido es la siguiente:

$$P_5 = \frac{P_4 \text{ USD}}{h_v \text{ kJ}_v} \quad \text{Ec. 2.77}$$

Donde:

$P_4$ : Costo por unidad de masa del kilogramo de vapor ctvs/kgv

$h_v$ : Entalpia del vapor producido @135,37 psia kJ/kg

Se utiliza la Ec. 2.77 para el cálculo del costo por unidad de masa del kilogramo de vapor con los siguientes datos:

$P_4 = 0,04397$  USD/kgv

$h_v = 2774,47$  @135,37 psia kJ/kg

$$P_5 = \frac{P_4 \text{ USD}}{h_v \text{ kJ}_v}$$

$$P_5 = \frac{0,04397 \frac{USD}{kg_v}}{2774,47 \frac{kJ_v}{kg_v}}$$

$$P_5 = 1,585 \times 10^{-5} \frac{USD}{kJ_v} \text{ o } 0,01585 \frac{USD}{MJ_v}$$

A continuación, la Tabla 2.42 indica los resultados de los cálculos de costos de generación de vapor.

Tabla 2.42 Costos de generación de vapor

Parámetro	Nomenclatura	Unidad	Valor
Eficiencia de la caldera	$\eta$	%	83,3
Índice de consumo	IC	kgv/kgc	13,56
Precio de combustible	$P_1$	USD/Gal	1,840
		USD/kgc	0,594
Costo de vapor por unidad de masa	$P_2$	USD/kgc	0,716
Precio de la unidad de masa de vapor generado	$P_3$	kgv/USD	22,74
Costo por unidad de masa del kilogramo de vapor	$P_4$	USD/kgv	0,0439
		ctvs/kgv	4,39
Costo del kiloJoule de vapor producido	$P_5$	USD/kJv	1,58E-05
		USD/MJv	0,015

(Fuente: Propia)

Un dólar de combustible genera 22,74 kilogramos de vapor. Los valores obtenidos anteriormente servirán para cuantificar económicas las pérdidas de energía.

### 2.6.3. Costo de producción

El costo de producción indica cuantos kilogramos de tela se tinturan con una unidad monetaria de combustible.

En el Anexo XXV se presenta la orden de fabricación utilizada por la empresa, se indica el peso del producto para el cálculo de costos. La Tabla 2.43 indica los resultados de los cálculos de costos de producción.

Tabla 2.43 Costos de producción

Producto	Peso [kg]	Vapor [kgv]	(kg prod/kgv)	(kgv/USD)	(kg prod/USD)
PES MICROFIBRA BLANCO	287,31	252,42	1,14	22,72	27,72

(Fuente: Propia)

La caldera con una eficiencia de 83% se consigue que un dólar de combustible genera vapor para tinturar 27,72 kg de tela.

## 2.7. Determinar costos de pérdida de energía

Las pérdidas de calor evaluadas se presentan en la Tabla 2.44.

Tabla 2.44 Resumen de las pérdidas de calor

Pérdidas de calor en:	Pérdidas de calor
	[W]
Tuberías de vapor sin aislamiento	38316,6
Tuberías de condensado sin aislamiento	8173,2
Por fugas de vapor en accesorios	2307,21

Por fugas en trampas de vapor	5041,78
Vapor flash no recuperado	195480,9

[Fuente: Propia]

Las ecuaciones para determinar los costos de pérdidas de energía son las siguientes:

$$Q_{total} = Q_{perdidas} \times T_{HT} \frac{kJ}{año} \quad \text{Ec. 2.78}$$

$$Costo_{perdidas} = Q_{total} \times P \frac{USD}{año} \quad \text{Ec. 2.79}$$

Donde:

$Q_{perdidas}$ : Calor perdido kJ/h

$T_{HT}$ : Tiempo total de horas de trabajo h/año

$Q_{total}$ : Pérdidas de calor en un periodo de tiempo, en este caso es anual [kJ/año]

P: Costo del kiloJoule de vapor producido USD/kJv o Costo por unidad de masa del kilogramo de vapor USD/kgv

Se utiliza la Ec. 2.78 y Ec. 2.79 para calcular el costo anual de las pérdidas de calor con los siguientes datos:

Las horas de trabajo se calcularon basado en la información del registro de consumo diario de combustible del año 2019, obteniendo los días que la caldera permanece encendida.

Tabla 2.45 Días de operación de la caldera mensualmente

Mes	Días trabajo
Enero	26
Febrero	28
Marzo	30
Abril	30
Mayo	30
Junio	27
Julio	31
Agosto	31
Septiembre	30
Octubre	28
Noviembre	29
Diciembre	26
Total de días	346

(Fuente: Propia)

La caldera trabaja durante 24 horas al día. Entonces, los 346 días de operación se multiplica por las 24 horas de trabajo diarias y se obtiene un total de 8304 horas de trabajo de la caldera.

$T_{HT}$ : 8304 h/año

$P_5$ :  $1,5849e^{-5}$  USD/kJv

A) Pérdidas de calor en tuberías de vapor sin aislamiento

$$Q_{\text{perdidas}} = 137939,76 \text{ kJ/h}$$

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{perdidas}} \times T_{HT} \frac{\text{kJ}}{\text{año}}$$

$$Q_{\text{total}} = 137939,76 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} \times 8304 \frac{\text{h}}{\text{año}}$$

$$Q_{\text{total}} = 1145451767,04 \frac{\text{kJ}}{\text{año}}$$

$$\text{Costo}_{\text{perdida}} = 1145451767,04 \frac{\text{kJ}}{\text{año}} \times 1,585 \times 10^{-5} \frac{\text{USD}}{\text{kJ}}$$

$$\text{Costo}_{\text{perdida}} = 18154,48 \frac{\text{USD}}{\text{año}}$$

En el Anexo XXVI se indica los cálculos de costos pérdidas de energía. La Tabla 2.46 indica los resultados de los cálculos de los costos por pérdidas de energía anuales.

Tabla 2.46 Pérdidas anuales de energía

Pérdidas de calor en:	Pérdidas de calor		Pérdidas de calor anuales [kJ/Año]	Costo de pérdidas anuales [USD/Año]
	[kJ/h]	[W]		
Vapor flash no recuperado	703730,68	195480,90	5843779571,35	\$92.619,14
Tuberías de vapor sin aislamiento	137939,76	38316,60	1145451767,04	\$18.154,48
Tuberías de condensado sin aislamiento	29423,52	8173,20	244332910,08	\$3.872,48
Por fugas en trampas de vapor	18150,43	5041,78	150721132,83	\$2.388,81
Por fugas de vapor en accesorios	8305,95	2307,21	68972615,57	\$1.093,16
Total	897550,34	249319,70	1609478425,52	\$118.128,06

[Fuente: Propia]

## 2.8. Determinar oportunidades de mejora

Con base a las inspecciones realizadas y las pérdidas de energía calculadas en el sistema de generación de vapor, se procede a indicar acciones para reducir o eliminar el desperdicio de energía. Las oportunidades de mejora son las siguientes:

1. Tanque de agua de alimentación.
2. Cambiar la configuración de las conexiones de las derivaciones.
3. Instalar aislamiento en las tuberías de vapor y condensado.
4. Tanque de recuperación de condensado
5. Reparación de fugas de vapor.

### 2.8.1. Tanque de agua de alimentación

La planta cuenta con un solo tanque de agua de alimentación para la caldera que presenta el siguiente inconveniente: la capacidad del tanque es de 1300 litros o 343 galones, esta capacidad resulta insuficiente para la caldera de 250 BHP

La función del tanque es almacenar agua tratada asegurando el abastecimiento para las calderas de vapor.

La producción de vapor en la caldera dependerá del volumen de agua de alimentación. Se debe asegurar un volumen mínimo de agua para garantizar la evaporación en la caldera al menos durante 30 minutos [32].

Mediante experimentación, se obtiene que por cada BHP de la caldera se requiere suministrar 0,069 [GPM] [32]. Se determina la capacidad de evaporación con la siguiente ecuación:

Factor de diseño tomando en cuenta purgas.

$$C_e = F_{diseño} \times 0,069 \times P_{caldera} \text{ GPM} \quad \text{Ec. 2.80}$$

Donde:

$F_{diseño}$ : Factor de diseño. Se considera un valor entre 1,5 y 2.

$P_{caldera}$ : Potencia de la caldera = 250 BHP.

$$C_e = 2 \times 0,069 \times 250$$

$$C_e = 34,5 \text{ GPM}$$

La ecuación para determinar la cantidad de agua mínima para satisfacer la evaporación en la caldera durante 30 minutos, es la siguiente:

$$Reserva_{minima \text{ H}_2\text{O}} = C_e \times t_{evaporacion} \quad \text{Ec. 2.81}$$

Donde:

$$C_e = 34,5 \text{ GPM}$$

$t_{evaporacion}$ : Tiempo de evaporación = 30 min

$$Reserva_{minima \text{ H}_2\text{O}} = 34,5 \text{ GPM} \times 30 \text{ min}$$

$$Reserva_{minima \text{ H}_2\text{O}} = 1035 \text{ Gal}$$

Se recomienda que el nivel de agua del tanque sea el 70 % de la reserva mínima de agua. Entonces, la capacidad del tanque de agua de alimentación es de 724,5 galones o 2742 litros.

Se dimensiona en base al catálogo de ADCA, se indica en el Anexo XXVII. El modelo escogido es el BFT-2500, tiene una capacidad aproximada de 2706 litros. Las longitudes

del tanque son 2,9 m de largo y 1,08 m de diámetro. En el Anexo XXVIII se presenta la cotización para la fabricación del tanque de agua de alimentación para las calderas.

Tabla 2.47 Costo de inversión del tanque de almacenamiento

Item	Descripción	Cantidad	Costo Total
1	Tanque almacenamiento de acero inoxidable 304 de 724 GL.	1	\$8937,60

(Fuente: Propia)

### 2.8.2. Conexiones de las derivaciones

Siempre que la conexión extraiga vapor por la parte superior de la tubería, se reduce la posibilidad de ingreso de condensado al equipo. Este tipo de conexión se denomina cuello de ganso, como se indica en la Figura 2.50.

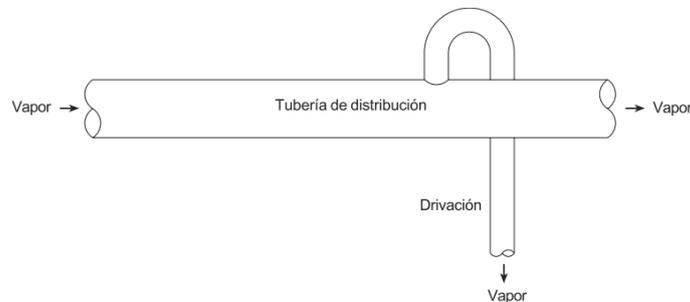


Figura 2.50 Toma de vapor tipo cuello de ganso  
Fuente: [11]

Desde la Figura 2.12 hasta la Figura 2.17, se indica los sitios donde se requiere la instalación de cuellos de ganso

#### 2.8.2.1. Final de línea de vapor

Durante la puesta en marcha es importante evacuar el aire acumulado en una parada de planta. Esta acumulación aumenta el tiempo de calentamiento en los procesos, disminuye el rendimiento de la planta. La instalación de un venteo de aire previene el atrapamiento de aire en la tubería, como se indican en la Figura 2.51.

La instalación de una pierna colectora en el final de línea permite acumulación de condensado y una evacuación eficaz del mismo.

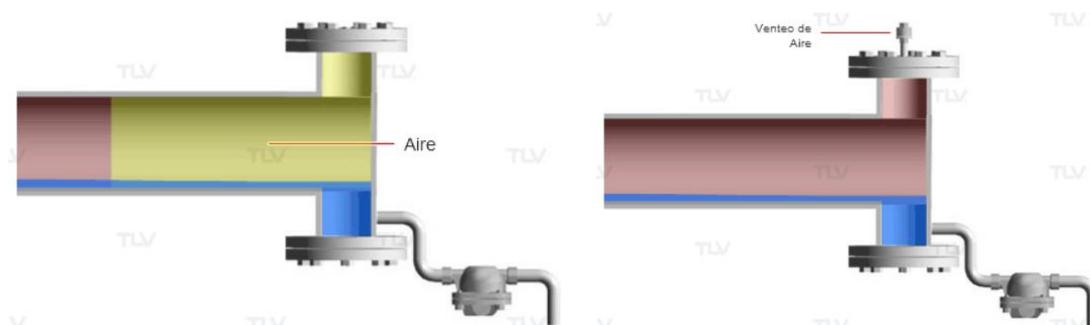


Figura 2.51 Configuración de conexiones para el final de línea

Fuente: [17]

### 2.8.3. Aislamiento térmico de tuberías

Aislar las tuberías evitan la transferencia de calor excesiva a través del material hacia el ambiente. Además, reduce el CO<sub>2</sub>, nivel de ruido y lesiones o accidentes en las personas.

Las pérdidas por falta de aislamiento son de 1389784677 kJ/Año para tuberías de vapor y condensado con pérdidas económicas de 22026,95421 USD/Año. Cuando se instale aislamiento térmico en las tuberías se tendrá un ahorro de 19571,68 USD/Año, como se indica en la Tabla 2.48.

Tabla 2.48 Comparación económica del uso de aislante en tuberías

Tipo de fluido	Perdidas por año			Ahorro anual [USD/Año]
	Sin aislamiento [kJ/Año]	Sin aislamiento [USD/Año]	Con aislamiento [USD/Año]	
Vapor	1,14x10 <sup>9</sup>	18154,47	1947,42	\$16.207,05
Condensado	2,44x10 <sup>8</sup>	3872,47	507,84	\$3.364,63
Total	1,39x10 <sup>9</sup>	22026,95	2455,27	\$19.571,68

(Fuente: Propia)

La selección espesor del aislante es dependiendo del diámetro nominal del tubo y la temperatura de operación del fluido. El tipo de aislante es cañuela lana de vidrio, sus propiedades y espesores recomendados se indica en el Anexo XXX.

El costo de los materiales necesarios para aislar las tuberías de vapor y condensado se basa en los proveedores de la industria local. Los costos de aislamiento se indican en la Tabla 2.49.

Tabla 2.49 Costo de aislamiento de tuberías de vapor y condensado

Diámetro de tubería [pulg]	Espesor de aislante [pulg]	Longitud de cañuela [m]	Longitud de tubería [m]	Cantidad requerida [unidad]	Costo unitario [USD]	Costo total [USD]
3	1 ½	0,91	61,8	68	10,44	709,92
2	1	0,91	29,2	33	8,07	266,31
					Total	976,23

(Fuente: Propia)

### 2.8.4. Tanque de recuperación de revaporizado

El revaporizado no recuperado representa una pérdida de energía anual de 5843779571,35 kJ, que equivale a \$92.619,14 USD/año.

Los tanques flash se instalan en sistemas de retorno de condensado para separar el vapor flash del condensado caliente y neutralizar la presión en las líneas de retorno de condensado, como se indica en la Figura 2.52. El vapor instantáneo se puede usar para aplicaciones de calentamiento a baja presión o se puede ventilar a la atmósfera.

El funcionamiento del sistema de recuperación de revaporizado es el siguiente: ingresa el revaporizado al tanque, se separa, el vapor sale por la abertura en la parte superior, el condensado sobrante, se descarga a través de una trampa de vapor hacia la tubería de retorno de condensado para las calderas.

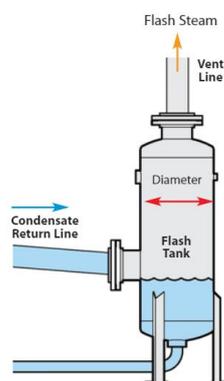


Figura 2.52 Diagrama de funcionamiento de un tanque flash  
(Fuente: [34])

Por la distribución de la planta por áreas de procesos se considera dos tanques flash, un tanque alimentado con el condensado del área de tintorería y el otro tanque alimentado con el condensado del área de acabados. Se considera un factor de seguridad del 30% para el flujo de masa de vapor flash real obtenido anteriormente. Se procede a calcular el vapor flash real de diseño para el dimensionamiento de los tanques de revaporizado, como se indica en la Tabla 2.50.

Tabla 2.50 Flujo de vapor flash para selección de tanque de revaporizado

Área	Vapor Flash Real [kg/h]	Vapor flash real [lbm/h]	Pérdidas [USD/Año]	Factor de seguridad [%]	Vapor Flash Diseño [lbm/h]
Tintorería	245,42	541,15	\$85.527,32	0,3	703,379544
Acabado	20,35	44,87	\$7.091,82	0,3	58,32335653

(Fuente: Propia)

Para el dimensionamiento del diámetro del tanque flash, línea de retorno y línea de ventilación se toma en cuenta las siguientes consideraciones de diseño del fabricante:

- La presión del tanque flash es de 20 psig.
- La velocidad de separación en el tanque flash debe ser inferior a 10 ft/s para obtener vapor seco.
- La velocidad en una tubería de venteo debe ser inferior a 50 ft/sec.

- La velocidad del vapor instantáneo en las líneas de retorno de condensado debe estar entre 100 y 66 ft/sec.

En la Tabla 2.51 se indica los parámetros anteriores mencionados en base al catálogo del fabricante, que se encuentran en el Anexo XXXIII

Tabla 2.51 Dimensionamiento de tanques de revaporizado

Área	Velocidad [ft/s]	Presion en tanque flash [psig]	Diametro tanque [Pulg]	Tuberia de venteo [Pulg]	Retorno de condensado [Pulg]
Tintorería	10	20	8	3	2 1/2
Acabado	10	20	2	3/4	1/2

(Fuente: Propia)

En las Tabla 2.52 y Tabla 2.53 se indican el costo de fabricación y accesorios para la instalación de los tanques flash para recuperación de revaporizado.

Tabla 2.52 Costos para el tanque flash N° 1

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Tanque flash N°1	1	426	426
Válvula de seguridad (3/4" x 3/4" - 110psi)	1	231,8	231,8
Manómetro 0-100 (Con glicerina)	1	15,34	15,34
Tubería sch40 Ø = 3" x120 (Venteo)	20	130,85	2617
Tubería sch40 Ø = 2" x 5 (Condensado)	1	68,26	68,26
Aislamiento térmico Ø = 2 ½, E = 1" x 0,91	132	8,41	1110,12
Aislamiento térmico Ø = 3, E = 1 1/2" x 0,91	132	10,44	1378,08
Aislamiento térmico Ø = 2, E = 1" x 0,91	6	8,07	48,42
		Total	5895,02

(Fuente: Propia)

Tabla 2.53 Costos para el tanque flash N° 2

Descripción	Cantida d	Costo unitario	Costo total
Tanque flash N°2	1	266	266
Válvula de seguridad (3/4" x 3/4" - 110psi)	1	231,8	231,8
Manómetro 0-100 (Con glicerina)	1	15,34	15,34
Tubería sch40 Ø=1/2"x45 (Retorno de condensado)	8	19,04	152,32
Tubería sch40 Ø = 3/4" x 45 (Venteo)	8	24,04	192,32
Tubería sch40 Ø = 1/2" x 45 (Condensado)	8	19,04	152,32
Aislamiento térmico Ø = 2 ½, E = 1" x 0,91	50	8,41	420,5
Aislamiento térmico Ø = 3, E = 1 1/2" x 0,91	50	10,44	522
Aislamiento térmico Ø = 2, E = 1" x 0,91	50	8,07	403,5
		Total	2356,1

(Fuente: Propia)

### 2.8.5. Reemplazo de trampas de vapor

El reemplazo de trampas de vapor fue evaluado por una auditoría externa.

### 2.8.6. Reparación de fugas de vapor

La reparación de fugas de vapor aporta por un lado beneficios de ahorro energético, ya que el vapor tiene un alto valor energético, por otro lado, frena el desperdicio de agua tratada, además de reducir los riesgos laborales. Esta práctica forma parte de las actividades de mantenimiento y mejora de las instalaciones.

La pérdida de energía es de 2,3 kW por fugas en accesorios, con un valor de \$1093 al año.

La fuga por la válvula de pistón fue reparada, mientras que la fuga por la válvula de compuerta será evaluada económicamente. El costo de cambio de válvula de compuerta se indica en la Tabla 2.54.

La fuga de vapor en la válvula neumática fue reparada durante un mantenimiento correctivo.

Tabla 2.54 Costo para la fuga de vapor

Componente	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Válvula de compuerta 3"	1	326,2	326,2

(Fuente: Propia)

## 2.9. Determinar el tiempo de recuperación del capital (TRC)

El tiempo de recuperación del capital (TRC) es el tiempo requerido para que se recupere la inversión inicial en un proyecto [35].

La ecuación para determinar el tiempo de recuperación del capital es la siguiente:

$$TRC = \frac{I_o}{D_a} \quad \text{Ec. 2.82}$$

Donde:

$I_o$ : Inversión inicial del proyecto USD

$D_a$ : Dinero anual ahorrado por implementación del proyecto USD

Se calcula el tiempo de recuperación de capital con los siguientes valores:

$I_o$ : 18491,15 año

$D_a$ : 94760,15 año

$$TRC = \frac{I_o}{D_a}$$

$$TRC = \frac{18491,15 \text{ año}}{94760,15 \text{ año}} = 0,1951 \text{ año} \approx 2,3 \text{ meses}$$

El tiempo de recuperación de capital (TRC) aproximado es de 2 meses.

## 2.10. Determinar el valor actual neto (VAN)

El valor actual neto (VAN) es un indicador de evaluación de proyectos de inversión a largo plazo. Un proyecto se considera factible si el indicador mayor que cero. Cuando el indicador es menor a cero, el proyecto no es factible. Si es igual a cero, el proyecto es indiferente [36]. Los criterios de selección según el VAN se indican en la Tabla 2.55.

Tabla 2.55 Criterios de selección de proyectos según VAN

Valor	Decisión
VAN > 0	El proyecto se acepta
VAN < 0	El proyecto se rechaza
VAN = 0	El proyecto es indiferente

(Fuente: [36])

La ecuación para determinar el valor actual neto es la siguiente:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{FE_t}{(1+k)^t} - FE_0 \text{ USD} \quad \text{Ec. 2.83}$$

Donde:

$FE_0$ : Inversión inicial USD

$FE_t$ : Flujos de efectivo USD/mes

$k$ : Tasa de interés %

$t$ : Tiempo de análisis

Se determina los flujos de entrada de efectivo en función del ahorro anual y la inversión inicial en un periodo de 5 años, como se indica en la Tabla 2.56.

Tabla 2.56 Flujo efectivo del proyecto

Rubro	Descripción	Años					
		0	1	2	3	4	5
Ingresos	Aislamiento de tuberías de vapor	0	16207,05	16207,05	16207,05	16207,05	16207,05
	Aislamiento de tuberías de condensado	0	3364,63	3364,63	3364,63	3364,63	3364,63
	Tanques de recuperación de revaporizado	0	74095,31	74095,31	74095,31	74095,31	74095,31
	Reemplazo de accesorios con fuga	0	1093,16	0,00	0,00	0,00	0,00
	Total de ingresos (A)	0	94760,15	93666,99	93666,99	93666,99	93666,99
Egresos	Aislamiento de tuberías de vapor	709,92	0	0	0	0	0
	Aislamiento de tuberías de condensado	266,31	0	0	0	0	0
	Tanques de recuperación de revaporizado y agua de alimentación	17188,72	0	0	0	0	0
	Reemplazo de accesorios con fuga	326,2	0	0	0	0	0
	Total de egresos (B)	18491,15	0	0	0	0	0
Flujo de efectivo (A-B)		-18491,15	94760,15	93666,99262	93666,99262	93666,99262	93666,99262

(Fuente: Propia)

Para determinar el valor presente (VP) de ingresos y egresos, valor actual neto (VAN), se utiliza la tasa de interés máxima para inversión pública de 9,33 % según el Banco Central del Ecuador del mes de enero del 2022 [52], como se indica en la Tabla 2.57.

Tabla 2.57 Valor presente de ingresos y egresos, VAN y VAN acumulado.

Año	Ingresos Netos	Egresos Netos	Flujo efectivo	FVPSU	VP Ingresos	VP Egresos	VAN	VAN acumulado
0	0,00	18491,15	-18491,15	1,00	0,00	18491,15	-18491,15	-18491,15
1	94760,15	0,00	94760,15	0,91	86673,51	0,00	86673,51	68182,36
2	93666,99	0,00	93666,99	1,75	164036,07	0,00	164036,07	232218,43
3	93666,99	0,00	93666,99	2,52	235711,21	0,00	235711,21	467929,64
4	93666,99	0,00	93666,99	3,22	301269,73	0,00	301269,73	769199,37
5	93666,99	0,00	93666,99	3,86	361233,63	0,00	361233,63	1130433,00
			TIR	511,44%	1148924,15	18491,15	1130433,00	

(Fuente: Propia)

Se considera un proyecto viable porque el VAN es mayor a cero. La inversión inicial del proyecto representa un 5% de la compra anual de combustible (\$ 395.324, 2019). El ahorro de económico representa un 24% de esta compra.

## 2.11. Determinar la tasa interna de retorno (TIR)

La tasa interna de retorno (TIR) es un método de evaluación de proyectos. Es el porcentaje de ganancia o pérdida que presenta la inversión. Los criterios de selección según el TIR se indican en la Tabla 2.58.

Tabla 2.58 Criterios de selección de proyectos según TIR

Valor	Decisión
TIR > k	El proyecto se acepta
TIR < k	El proyecto se rechaza
TIR = k	El proyecto es indiferente

(Fuente: [36])

La ecuación para determinar la tasa interna de retorno es la siguiente:

$$\sum_{t=1}^n \frac{FE_t}{(1 + TIR)^t} = FE_0 \quad \text{Ec. 2.84}$$

Donde:

$FE_0$ : Inversión inicial USD

$FE_t$ : Flujos de efectivo USD/mes

$k$ : Tasa de interés %

$t$ : Tiempo de análisis año

A continuación, se procede a calcular el TIR con los siguientes datos:

$FE_0 = 18491,15$  USD

$k = 8,83$  %

$$\sum_{t=1}^n \frac{FE_t}{(1 + TIR)^t} = FE_0$$
$$-18491,15 + \frac{94760,15}{(1 + TIR)^1} + \frac{93666,99}{(1 + TIR)^2} + \frac{93666,99}{(1 + TIR)^3} + \frac{93666,99}{(1 + TIR)^4} + \frac{93666,99}{(1 + TIR)^5} = 0$$
$$TIR = 511,44 \%$$

El proyecto es aceptable porque el TIR es mayor que la tasa de interés.

## 2.12. Determinar la cantidad de CO<sub>2</sub> no emitidas por las oportunidades de ahorro de energía (OAE's)

La estimación de emisiones de CO<sub>2</sub> depende del tipo y consumo de combustible. Aplicando el método nivel 1 propuesto por Gomez & Watterson [37], primero se transforma el volumen de consumo de combustible en energía, y se expresa en terajulios. A continuación, el valor de energía multiplicado por un factor de emisión de gas será la cantidad de emisiones al ambiente en unidades de masa, kilogramos. Finalmente, la cantidad de emisión de gases se expresa en toneladas.

La ecuación para determina la cantidad de emisión de CO<sub>2</sub> al ambiente es la siguiente:

$$Emisiones_{GEI} = Consumo_{combustible} \times Factor_{GEI} \text{ kg} \quad \text{Ec. 2.85}$$

Donde:

$Consumo_{combustible}$ : Cantidad de combustible quemado TJ

$Emisiones_{GEI}$ : Emisiones de GEI dependiendo del tipo de combustible kg

$Factor_{GEI}$ : Factor de emisión por defecto de un GEI kg CO<sub>2</sub>/TJ

Se utiliza la Ec. 2.85 para el cálculo de la cantidad de emisión de CO<sub>2</sub> con los siguientes datos:

El consumo de combustible anual se consideró del año 2019, según los registros de consumo diario de combustible entregado por el departamento de mantenimiento. Para determinar el factor de emisión de gas se evalúa el sector, tipo combustible y gas emitido, seleccionando las industrias manufactureras y de construcción, diesel oil y CO<sub>2</sub>, respectivamente, los datos se encuentran en el Anexo XXXI.

$Consumo_{combustible}$ : 214850 Gal/Año

$Factor_{GEI}$ : 74100 kg<sub>CO<sub>2</sub></sub>/TJ

$$Consumo_{combustible} = 214850 \text{ Gal} \times \frac{3,785 \times 10^{-3} \text{ m}^3}{1 \text{ Gal}} \times \frac{815 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3} \times 43120 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \times \frac{\text{TJ}}{10^9 \text{ kJ}}$$

$$Consumo_{combustible} = 28,58 \text{ TJ}$$

$$Emisiones_{GEI} = 28,58 \text{ TJ} \times \frac{74100 \text{ kg}_{\text{CO}_2}}{\text{TJ}}$$

$$Emisiones_{GEI} = 2117658 \text{ kg}_{\text{CO}_2} = 2118 \text{ t}_{\text{CO}_2}$$

La cantidad estimada de emisión de CO<sub>2</sub> es de 2118 toneladas en el año 2019

En base a los ahorros económicos que se generan por implementar las propuestas de mejora se estima la cantidad de CO<sub>2</sub> que se deja de emitir al ambiente.

Ahorro económico = 94.760 USD/Año

Costo del kiloJoule de vapor producido =  $1,5849 \times 10^{-5}$  USD/kJ

$$\text{Consumo}_{\text{combustible ahorrado}} = \frac{94760,15 \text{ USD}}{\text{Año}} \times \frac{\text{kJ}}{1,5849 \times 10^{-5} \text{ USD}} \times \frac{\text{TJ}}{10^9 \text{ kJ}}$$

$$\text{Consumo}_{\text{combustible ahorrado}} = 5,9788 \text{ TJ}$$

$$\text{Emisiones}_{\text{GEI}} = 5,9788 \text{ TJ} \times \frac{74100 \text{ kg}_{\text{CO}_2}}{\text{TJ}}$$

$$\text{Emisiones}_{\text{GEI}} = 443033,97 \text{ kg}_{\text{CO}_2} = 443,0339 \text{ t}_{\text{CO}_2}$$

Implementando las propuestas de mejora se dejará de emitir 443 toneladas de CO<sub>2</sub> al ambiente, representa una reducción del 20% de las emisiones de GEI.

### 2.13. Comparar y priorizar las oportunidades de ahorro de energía (OEA's)

Hay varias oportunidades y medidas disponibles para disminuir el consumo y los costos de energía en sistema de vapor, pueden ser de carácter técnico y organizativo que se pueden implementar sin costo o con un costo bajo, y las que implican renovaciones, cambios tecnológicos o la instalación de nuevos equipos y sistemas eficientes que pueden requerir una inversión elevada. Los planes de gestión de energía deben combinar dos tipos de medidas, organizadas en aplicaciones de corto, mediano y largo plazo, comenzando por aplicaciones organizacionales que no requieren inversión [30].

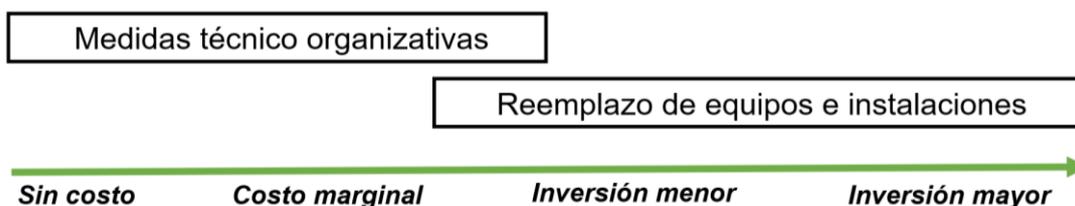


Figura 2.53 Medidas de ahorro de energía  
Fuente: [30]

A continuación, se organizar las propuestas energéticas de la manera siguiente:

Tabla 2.59 Organización de propuestas energéticas

Criterio	Oportunidad de ahorro de energía
Sin costo	Cambio en las configuraciones de las tuberías.
	Revisión de fugas de vapor.
Inversión menor	Aislamiento térmico tuberías de vapor y condensado.
	Reemplazo de accesorios con fuga.

Inversión mayor	Tanques de recuperación de revaporizado y agua de alimentación
-----------------	--

(Fuente: Propia)

## 2.14. Determinar la viabilidad de la propuesta

Los indicadores TRC, VAN y TIR, obtenidos anteriormente, determinar un tiempo de recuperación de la inversión en 2 meses aproximadamente. Además, el VAN obtenido es positivo y el TIR es mayor que la tasa de interés. En referencia al TIR, su valor de 511% es elevado debido al tiempo del proyecto que es 5 años. Entonces, las propuestas de oportunidad de ahorro de energía son viables. En la Tabla 2.60 se resume los indicadores financieros.

Tabla 2.60 Indicadores financieros

Tasa de interés anual [%]	9,33
Inversión inicial [USD]	18.491
TRC [mes]	2
Tiempo de proyecto [año]	5
VAN [USD]	1.130.433

(Fuente: Propia)

### **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En este capítulo se presentan los resultados de la auditoría energética y las oportunidades de mejora encontrados para el sistema de generación de vapor. Adicional, se presenta la viabilidad del proyecto.

#### **3.1. Descripción de la fábrica**

La empresa TEXTIL PADILLA E HIJOS TEXPADILLA CIA. LTDA se dedica a la fabricación, terminado, venta y distribución de telas deportivas. La línea de productos se divide en poliéster, texturizado, tejido spun y polialgodón.

Los procesos más importantes son tintura y terminado, porque se da las características finales a la tela. Estos procesos requieren de suministro de vapor.

La empresa cuenta con dos áreas de superficie aproximadamente iguales, separadas por una avenida. El área total de la empresa es de 5000m<sup>2</sup>.

En el predio donde opera la tejeduría, consta de dos infraestructuras con estructura metálica y cubierta de tableros de fibrocemento. En esta sección se sitúa las bodegas de materia prima, tela en crudo, producto terminado y reciclables. Además, están las oficinas administrativas.

En el predio donde opera la tintorería y acabados, consta de dos infraestructuras con estructura metálica y cubierta de tableros de fibrocemento. En esta sección se sitúa las bodegas productos químicos, colorantes y auxiliares. Se ubica el área de calderas, combustibles y planta de tratamiento. Además, están las oficinas del departamento de calidad y el taller de mantenimiento.

La empresa trabaja 24 horas al día durante 5 días a la semana. La jornada de fines de semana depende de la producción.

Se genera vapor saturado a una presión de 125 psig y a una temperatura de 135 °C. El vapor saturado se emplea en las áreas de tintura y acabado. La generación de vapor es mediante dos calderas pirotubulares. Las especificaciones de las calderas se indican en la Tabla 2.1.

Al momento de la auditoría, una caldera se encontraba fuera de servicio por daños en el hogar. Las mediciones y cálculos se realizaron a la caldera N°1

## 3.2. Análisis de eficiencias

### 3.2.1. Consumo energético

El registro de consumo de combustible es de los años 2019, 2020 y 2021. El año 2019 se consideró como referencia para la realización de la auditoría energética. Este año, fue el último año con una producción en condiciones normales. Para el año 2020, en el mes de marzo, la producción fue irregular debido a la pandemia de Covid-19, entonces el consumo de combustible está fuera de lo considerado como operación en condiciones normales. El año 2021, se obtiene datos hasta el mes de mayo.

El consumo de combustible del año 2020 equivale a un 42% con respecto al consumo del 2021, existe una reducción en la compra de combustible, como se indica en la Tabla 3.1,

Tabla 3.1 Compra de combustible

Periodo	Diesel	Precio compra
[Año]	[Gal]	[USD]
2019	214850	410.289
2020	89231	131.643
2021	43820	71.301

(Fuente: Propia)

### 3.2.1. Eficiencia de la caldera

#### 3.2.1.1. Método directo

El método directo relaciona el vapor producido y el combustible. Para este método se realizó la medición del caudal de agua de alimentación de la caldera, aplicando un caudalímetro ultrasónico instalado en la tubería de ingreso de agua a la caldera. También se realizó la medición del caudal de combustible. Estas dos mediciones se realizaron de manera simultánea en un periodo de 8 horas de trabajo continuo.

Adicional, se realizó una inspección del interior de la tubería de ingreso de agua a la caldera, verificando la presencia de suciedad. Esta inspección es para asegurar una correcta medición del caudalímetro ultrasónico.



Figura 3.1 Interior de la tubería de ingreso de agua a la caldera

(Fuente: Propia)

La eficiencia obtenida a través de este método es de 83 %. Existe un buen aprovechamiento del combustible empleado para producir vapor

### 3.2.1.2. Método indirecto

El método indirecto correlaciona la pérdida de calor con el porcentaje de calor disponible y luego determina la eficiencia como el porcentaje restante. Para este caso de auditoría, se obtuvieron las siguientes pérdidas de calor: por calor sensible con los gases de salida, por purga, por radiación y convección, como se indica en la tabla Tabla 3.2.

Para el obtener las pérdidas de calor por radiación y convección se realizó mediciones termográficas de la superficie de la caldera, donde se utilizó una cámara de infrarrojos.

Tabla 3.2 Balance térmico en la caldera N°1

Parámetro	Nomenclatura	Unidad	Valor
Calor disponible	$Q_d$	kJ/kg	43120
Pérdida de calor sensible con los gases de salida	$q_1$	%	10,81
Perdidas por purga	$q_5$	%	0,12
Pérdidas de calor por radiación y convección	$q_6$	%	1,503
Total de perdidas	$\Sigma$ Pérdidas	%	12,43
Eficiencia por método indirecto	$\eta_I$	%	87,57

(Fuente: Propia)

La eficiencia de la caldera obtenida por este método es de 87%.

### 3.2.1.1. Análisis

Es importante destacar el tratamiento químico para el agua de las calderas. Esto evita o elimina la dureza del agua previniendo las incrustaciones y corrosiones. La dureza de la caldera N°1 es de 0 ppm o máximo 5 ppm. Esto mantiene a los tubos internos de la caldera en buen estado y con alta transferencia de calor que se refleja en la eficiencia de la caldera.

Para la estimación de costos por pérdidas de calor y de producción se toma en consideración la eficiencia obtenida por el método directo.

## 3.3. Medidas de ahorro

### 3.3.1. Costo anual de pérdidas en el sistema de vapor

Para las pérdidas anuales se considera un costo de kilo Joule de vapor producido de  $1,58 \times 10^{-05}$  [USD/kJv]. En la Tabla 3.3 Costos de perdida de energía de detalla las pérdidas de calor en el sistema de generación de vapor tanto de manera energética como monetaria.

Tabla 3.3 Costos de pérdida de energía

Perdidas de calor en	Pérdidas de calor		Pérdidas de calor anuales	Costo de pérdidas anuales
	[kJ/h]	{W}	[kJ/Año]	[USD/Año]
Vapor flash no recuperado	703730,68	195480,90	5843779571,35	\$92.619,14
Tuberías de vapor sin aislamiento	137939,76	38316,60	1145451767,04	\$18.154,48
Tuberías de condensado sin aislamiento	29423,52	8173,20	244332910,08	\$3.872,48
Por fugas en trampas de vapor	18150,43	5041,78	150721132,83	\$2.388,81
Por fugas de vapor en accesorios	8305,95	2307,21	68972615,57	\$1.093,16
Total	897550,34	249319,70	1609478425,52	\$118.128,06

(Fuente: Propia)

El vapor flash no recuperado representa la primera causa de pérdida de energía y dinero. A continuación, la segunda causa de pérdidas es la falta de aislamiento en las tuberías de vapor y condensado. Finalmente, las fugas de vapor en las trampas y a través de los accesorios es la última causa de pérdida de calor.

Con base a las pérdidas indicadas anteriormente se realiza una serie de propuestas para reducir o evitar las pérdidas de calor en el sistema de generación de vapor.

Tabla 3.4 Propuestas de ahorro energético

Criterio	Oportunidad de ahorro de energía
Sin costo	Cambio en las configuraciones de las tuberías.
	Revisión de fugas de vapor.
Inversión menor	Aislamiento térmico tuberías de vapor y condensado.
	Reemplazo de accesorios con fuga.
Inversión mayor	Tanques de recuperación de revaporizado y agua de alimentación

(Fuente: Propia)

### 3.4. Evaluación económica

Se determina los costos de implementación para cada una de las propuestas que requieren inversión inicial. Además, se indica las pérdidas económicas anuales generadas actualmente y el ahorro económico anual obtenido después de implementar las propuestas, como se indica en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5 Análisis económico de las propuestas de ahorro

Pérdidas de energía	Inversión inicial [USD]	Ahorro económico anual [USD]
Aislamiento de tuberías de vapor	709,92	16207,05
Aislamiento de tuberías de condensado	266,31	3364,63
Tanques de recuperación de revaporizado y tanque de almacenamiento	17188,72	74095,31
Reemplazo de accesorios con fuga	326,2	1093,16
Total	18491,15	94760,15

(Fuente: Propia)

La implementación de tanques de recuperación de revaporizado tiene un ahorro de \$74.095,31 al año, la propuesta con mayor ahorro, y su inversión inicial es de \$17.188,32, representa un 20% del dinero ahorrado por su implementación. El aislamiento de las tuberías de vapor y condensado presentan ahorros de \$19.571,68 con una inversión de \$ 976,23, representa un 12% de ahorro futuro.

A continuación, se determina los flujos efectivos en función a las propuestas de ahorro de energía, como se indica en la Figura 3.2

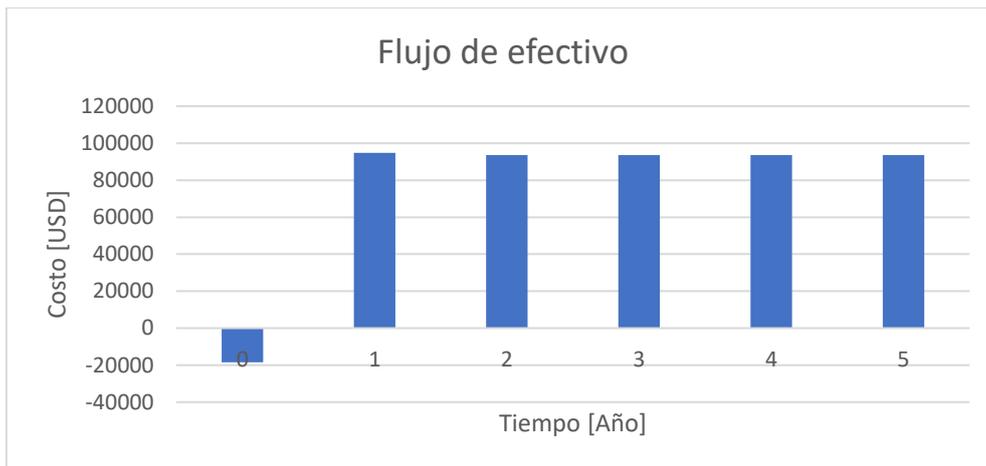


Figura 3.2 Flujo de efectivo  
(Fuente: Propia)

Según los indicadores financieros, se concluye lo siguiente:

El tiempo de recuperación de capital (TRC) es de dos meses entonces, es un proyecto con inmediata recuperación del capital invertido.

Para los indicadores de VAN y TIR se analiza un tiempo de proyecto de 5 años con una tasa de interés de 9,33%. Entonces, se obtiene un VAN mayor a cero, positivo, y un TIR mayor a la tasa de interés. En conclusiones, el proyecto es viable. En la Tabla 2.60 se resume los indicadores financieros.

## **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1. Conclusiones**

La auditoría energética es un proceso sistemático documentado que permite conocer el uso de la energía, identificar desperdicios de energía y proponer oportunidades de mejora, con el objetivo que optimizar el aprovechamiento de la energía y reducir los costos de producción.

En el aspecto ambiental, la auditoría energética propone mejoras para la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero como resultado de la reducción del consumo de combustible.

Se determinó la eficiencia térmica de la caldera N°1 de 83% obtenida por el método directo y tiene un valor de 87% estimada por el método indirecto. El método directo, entrada y salida de energía, es una relación entre la energía utilizada para transformar el agua en vapor y la energía entregada por el combustible. El método indirecto, balance de energía, evalúa las pérdidas de calor. La elección del método para determinar la eficiencia depende de los componentes del generador de vapor, la instrumentación y equipos disponibles.

En la caldera N°1 por el método indirecto, se evidenció que la mayor pérdida de calor es de 10,8%, y se da por la alta temperatura de salida de la chimenea.

No se determinó la eficiencia de la caldera N°2. Esta no estaba en funcionamiento debido a problemas de bajo nivel de agua que ocasionó la deformación de los tubos interiores y daños en la cámara de combustión.

El tratamiento químico de agua de la caldera ha minimizado la presencia de corrosión e incrustaciones en los tubos de la caldera. En el desmontaje de la tubería de ingreso de agua de la caldera, se evidenció la limpieza de estas. Prolongar la vida útil del equipo, aumentar la transferencia de calor y rendimiento son los beneficios del tratamiento del agua.

El monitoreo mensual de la emisión de gases de combustión a la atmósfera permitió controlar la relación aire y combustible. Este procedimiento permite mejorar la eficiencia de combustión, evitar la formación de monóxido de carbono en los gases, evitar la formación de hollín en la cámara de combustión y emisión de este al ambiente.

Se evidenció que las fugas de vapor en trampas o accesorios representan un rubro significativo para la empresa. Identificar, cuantificar y monetizar estas fugas permitió dar relevancia para realizar acciones correctivas y preventivas.

Se evidenció que las tomas de vapor por debajo de la línea de distribución provocan ingreso de vapor con residuos de condensado a los equipos de tintura. Esto tiene efectos adversos en los equipos y disminución de rendimiento en los procesos. Se observó oxidación en las superficies de las tuberías de vapor resultado de la presencia de residuo de condensado.

Las propuestas de ahorro de energía reducen el consumo de combustible en las calderas. Esto tiene por efecto, la reducción de los gases de efecto invernadero emitidos al ambiente, reduciendo un 20% las emisiones en comparación a la operación sin implementación de las propuestas de ahorro.

La viabilidad del proyecto se evalúa en función de los indicadores TRC, VAN y TIR. La inversión inicial de todas las propuestas se recupera a los 2 meses de implementarse. VAN es mayor a cero y el TIR es mayor a la tasa de interés anual, entonces el proyecto es viable.

## **4.2. Recomendaciones**

Se recomienda calibrar el caudalímetro para combustible de la caldera N°1 e instalar uno en la caldera N°2. Esto permite mayor exactitud en la medición del consumo de combustible.

Para un mejor monitoreo del uso de vapor, se recomienda la instalación de caudalímetros de vapor para las máquinas de consumo. Estos instrumentos miden de manera precisa y fiable la cantidad de vapor usado, para evaluar el rendimiento de los procesos.

Con el fin de reducir las pérdidas en las tuberías de vapor y condensando, se sugiere que, al finalizar cada intervención de mantenimiento correctivo en los accesorios o tuberías de vapor, es necesario instalar nuevamente el material aislante retirado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] A. Hasanbeigi and L. Price, "Industrial Energy Audit Guidebook: Guidelines for Conducting an Energy Audit in Industrial Facilities," no. October, p. 85, 2010, [Online]. Available: <http://www.osti.gov/servlets/purl/992484-lqPDj2/>.
- [2] Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, *Plan Nacional de Eficiencia Energética 2016-2035*. 2017.
- [3] Escan, "Procedimiento de auditorías energéticas en el sector industrial de la comunidad de Madrid," *Cons. Econ. y Hacienda*, pp. 1–102, 2008, [Online]. Available: <https://bit.ly/3lcfcYk>.
- [4] J. I. Briano, M. J. Baez, and R. Moya Morales, "Eficiencia energética en Ecuador: Identificación de oportunidades.," *Diseño y Desarro. Prod.*, pp. 1–409, 2003.
- [5] "Textil Padilla." <https://textilpadilla.com.ec/auspicios.html> (accessed Jun. 09, 2021).
- [6] T. Padilla, "MODELO DE GESTIÓN ESTRATÉGICA PARA LA EMPRESA "TEXTIL PADILLA CIA. LTDA." BASADO EN EL BALANCED SCORE CARD," 2012.
- [7] T. Moreno, "Estudio de impacto ambiental expost." 2017.
- [8] F. E. Lockúan, "LA INDUSTRIA TEXTIL Y SU CONTRO DE CALIDAD. II Fibras textiles," 2013, [Online]. Available: [https://books.google.com.ec/books?id=a19HRXxdx6kC&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=a19HRXxdx6kC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false).
- [9] F. E. Lockúan, *LA INDUSTRIA TEXTIL Y SU CONTROL DE CALIDAD. VI Ennoblecimiento textil*. 2012.
- [10] A. Borroto and A. Rubio, "Combustión y Generación de Vapor," no. January 2007. 2007.
- [11] Spirax Sarco, "Distribucion del vapor," *Spiraxsarco*, vol. 03, no. 1, p. 64, 1999.
- [12] Armstrong International, "Guía para la conservación de vapor en el drenado de condensado, Manual N-101."
- [13] F. E. Lockúan, *LA INDUSTRIA TEXTIL Y SU CONTROL DE CALIDAD. V Tintorería*. 2013.
- [14] Dollfus & Muller, "Filtros para compactadoras." [www.dollfus-muller.com](http://www.dollfus-muller.com).
- [15] F. S.P.A, "Ferraro Catalogo de productos," no. 435434, p. 435434, 2019.
- [16] SINTEC TEXTILE, "Compactadora para géneros de punto en tubular," 30, pp. 10–11, 2016, [Online]. Available: <https://www.sintectextile.com/es/productos/compattatrici/compactadora-para-tubular/>.
- [17] TLV Compañía Especialista en Vapor, "Teoría Del Vapor," 2021. <https://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/> (accessed Sep. 07, 2021).
- [18] O. de naciones unidas para el desarrollo industrial. Onudi, M. de minas y energia Min Minas, U. de planeacion minero energetica UPME, and P. de eficiencia energetica industrial EEI, "Manual de Optimización de Sistemas de Vapor Industrial," 2018.

- [19] ISO, "ISO 50002:2014(es) Auditorías energéticas — Requisitos con orientación para su uso," 2014.
- [20] CONAE, "Estimación de pérdidas de energía térmica," *Dir. Enlace y Programas Reg.*, 2007.
- [21] Ç. Yunus A., "Transferencia de Calor y Masa," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 1, no. 9, p. 1699, 2013.
- [22] Spirax-Sarco Limited, *DESIGN OF FLUID SYSTEM STEAM UTILIZATION*. 2010.
- [23] Spirax Sarco, "Design of Fluid Systems," 1992.
- [24] T. L. V Co, "Pocket TrapMan," vol. 03, no. January, 2007.
- [25] A. Dargham, "Inspección de trampas de vapor," Quito, 2021.
- [26] E. E. Osorio, "ANÁLISIS DE LAS TRAMPAS DE VAPOR PARA LA REDUCCIÓN DE COSTOS EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR DE LA EMPRESA TEXTILES DEL SUR INTERNACIONAL," Universidad de San Carlos de Guatemala, 2016.
- [27] Spirax Sarco, "Principios de Ingeniería de Vapor y Transferencia de Calor," 2017, [Online]. Available: [https://drive.google.com/file/d/0BwXI99jt-Hy\\_TDM0WVVFfa2szbFE/view?resourcekey=0-kDwkh0whiaHVp\\_6bBGvdwQ](https://drive.google.com/file/d/0BwXI99jt-Hy_TDM0WVVFfa2szbFE/view?resourcekey=0-kDwkh0whiaHVp_6bBGvdwQ).
- [28] P. de F. de L. Energéticos, *Guía de Eficiencia Energética en Sistemas de vapor*. 2020.
- [29] T. ENGINEERING, "Costo de Generación de Vapor," *Therm. Eng.*, p. 4, 2017, [Online]. Available: [www.thermal.cl](http://www.thermal.cl).
- [30] A. Borroto and S. Sánchez, "Manual de Eficiencia Energética en Edificios Públicos," pp. 11–12, 2008, [Online]. Available: <http://enerpro.com.ec/wp-content/uploads/2019/04/Manual-de-Eficiencia-Energetica-en-Edificios-Publicos.pdf>.
- [31] J. L. Palacios, "TÉCNICAS DE GESTIÓN ENERGÉTICAS EN SISTEMAS DE VAPOR," *Lab. ENERGÍAS Altern. Y Efic. ENERGÉTICA*, 2010.
- [32] M. A. Herrera Ordoñez and Á. Vargas Zúñiga, "Selección de Equipos y Diseño del Sistema para Calentamiento de Agua en un Hotel Cinco Estrellas," *Rev. Tecnológica ESPOL*, vol. xx, 2009, [Online]. Available: [https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/8317/1/Selección de Equipos y Diseño del Sistema para Calentamiento de Agua en un Hotel.pdf](https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/8317/1/Selección%20de%20Equipos%20y%20Diseño%20del%20Sistema%20para%20Calentamiento%20de%20Agua%20en%20un%20Hotel.pdf).
- [33] ADCA, "Adcatherm boiler feed tanks bft."
- [34] W. McDaniel, "Product Catalog," 2015, [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0679&from=PT%0Ahttp://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52012PC0011:pt:NOT>.
- [35] L. Gitman and C. Zutter, *Prinpios de administración financiera*, vol. 12. 2012.
- [36] D. Fernando and M. Duque, "Análisis de decisiones de inversión utilizando el criterio valor presente neto en riesgo ( VPN en riesgo ) Investment decision analysis using net present value at risk ( NPV at Risk )," *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia N.º 49. pp. 199-213. Septiembre, 2009*, pp. 199–213, 2009.
- [37] D. R. Gómez *et al.*, "Combustión estacionaria," *Directrices del IPCC 2006 para*

*los Inventar. Nac. gases Ef. invernadero*, pp. 1–47, 2006, [Online]. Available:  
[http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/2\\_Volume2/V2\\_2\\_Ch2\\_Stationary\\_Combustion.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/2_Volume2/V2_2_Ch2_Stationary_Combustion.pdf)  
<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol2.html>.

## ANEXOS

## Anexo I Registro de consumo diario de combustible de los años 2019, 2020 y 2021



### CONSUMO DIARIO 2019 (GALONES)

DÍA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	0	480	160	310	700	0	620	460	700	530	760	700
2	0	450	640	600	600	0	770	895	710	600	250	400
3	0	575	570	480	660	0	650	800	820	570	0	750
4	0	525	660	430	540	450	780	885	240	430	640	760
5	0	620	670	560	640	570	700	425	680	60	700	670
6	510	640	500	610	510	720	660	825	740	0	730	720
7	580	660	530	480	710	700	840	640	830	640	500	650
8	330	540	580	460	660	820	620	385	750	690	550	830
9	480	645	560	540	640	740	670	695	820	700	500	870
10	540	535	500	570	460	920	780	260	810	840	150	670
11	420	470	450	600	520	720	730	60	650	670	530	730
12	390	480	620	550	710	620	610	380	680	280	570	850
13	580	320	490	670	650	720	760	650	850	0	600	750
14	610	650	540	690	780	740	880	700	800	680	580	600
15	700	490	600	660	640	830	780	615	720	540	570	550
16	510	590	630	565	610	620	670	645	690	770	720	750
17	590	510	580	610	680	600	670	660	660	670	680	510
18	600	480	680	600	570	700	780	640	660	750	570	815
19	630	740	440	540	630	600	750	590	660	750	715	725
20	660	450	640	550	710	700	850	875	690	650	705	720
21	660	680	570	610	280	690	680	630	800	560	750	630
22	470	620	400	600	530	660	730	585	770	435	685	680
23	580	740	390	660	320	580	760	700	510	505	715	705
24	580	620	500	660	640	710	830	810	780	580	720	35
25	700	510	430	620	680	570	770	600	830	650	660	0
26	530	450	610	610	640	640	770	815	740	480	660	740
27	490	510	570	620	700	640	880	750	760	515	680	480
28	630	680	500	680	550	505	750	645	790	0	630	0
29	520	220	720	300	300	700	670	730	660	685	750	0
30	550	160	640	320	320	720	790	640	680	845	640	0
31	480	0	0	0	0	0	740	510	0	735	0	0
Total	14320	15660	15390	17495	17580	18185	22940	19500	21480	16810	18200	17290
Compra	16.000,00	16.000,00	16.000,00	18.000,00	18.000,00	18.000,00	26.000,00	22.000,00	20.000,00	17.000,00	18.000,00	18.000,00
Promedio	550,7692308	559,2857143	513	583,1666667	586	673,5185185	746,6666667	623,5185185	712,962963	532,4074074	636,6666667	571,8518519



### CONSUMO DIARIO 2020 (GALONES)

DÍA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	0	750	590	100	220	540	0	0	No registro	No registro	No registro	No registro
2	0	710	670	80	590	310	0	0	No registro	No registro	No registro	No registro
3	0	640	590	95	300	550	0	0	No registro	No registro	No registro	No registro
4	0	580	650	0	400	450	0	500	No registro	No registro	No registro	No registro
5	0	690	700	175	370	550	0	510	No registro	No registro	No registro	No registro
6	0	400	800	0	290	500	0	270	No registro	No registro	No registro	No registro
7	0	330	710	90	325	380	0	0	No registro	No registro	No registro	No registro
8	0	650	740	150	245	170	375	0	No registro	No registro	No registro	No registro
9	0	800	700	120	410	0	575	0	No registro	No registro	No registro	No registro
10	0	520	700	0	490	0	600	0	No registro	No registro	No registro	No registro
11	0	410	550	150	320	0	490	300	No registro	No registro	No registro	No registro
12	0	690	600	95	340	0	360	300	No registro	No registro	No registro	No registro
13	0	651	450	0	455	0	280	310	No registro	No registro	No registro	No registro
14	0	775	500	0	470	0	120	210	No registro	No registro	No registro	No registro
15	0	765	650	0	345	0	0	0	No registro	No registro	No registro	No registro
16	0	670	360	0	340	0	0	0	No registro	No registro	No registro	No registro
17	300	640	0	0	0	0	0	430	No registro	No registro	No registro	No registro
18	500	455	0	0	0	0	0	450	No registro	No registro	No registro	No registro
19	575	275	0	0	0	0	0	210	No registro	No registro	No registro	No registro
20	625	600	0	0	0	0	490	0	No registro	No registro	No registro	No registro
21	680	630	0	0	0	0	500	0	No registro	No registro	No registro	No registro
22	530	370	0	0	0	0	365	0	No registro	No registro	No registro	No registro
23	470	0	0	0	0	0	235	0	No registro	No registro	No registro	No registro
24	730	640	0	150	0	0	0	0	No registro	No registro	No registro	No registro
25	545	615	0	100	0	0	0	630	No registro	No registro	No registro	No registro
26	750	300	0	0	0	0	0	340	No registro	No registro	No registro	No registro
27	825	550	0	0	0	0	0	160	No registro	No registro	No registro	No registro
28	600	600	0	300	0	0	0	0	No registro	No registro	No registro	No registro
29	620	650	0	385	0	0	0	0	No registro	No registro	No registro	No registro
30	730	0	0	280	0	0	0	0	No registro	No registro	No registro	No registro
31	600	0	0	0	0	0	0	0	No registro	No registro	No registro	No registro
Total	9080	16356	9960	2270	5910	3450	4390	4620	5780	9165	10650	7600
Compra	10.000,00	18.000,00	12.000,00	3.000,00	6.000,00	4.000,00	3.930,00	8.070,00	3.000,00	6.000,00	4.000,00	3.000,00
Promedio	349,230769	569,2857143	332	75,6666667	197	75,9259259	162,592593	171,1111111	No calculado	No calculado	No calculado	No calculado

### CONSUMO DIARIO 2021 (GALONES)

DÍA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	0	500	590	0	0	*	*	*	*	*	*	*
2	0	550	435	0	0	*	*	*	*	*	*	*
3	0	630	675	0	0	*	*	*	*	*	*	*
4	0	620	425	0	0	*	*	*	*	*	*	*
5	0	625	535	300	0	*	*	*	*	*	*	*
6	0	125	140	525	0	*	*	*	*	*	*	*
7	0	0	175	605	0	*	*	*	*	*	*	*
8	0	360	410	0	0	*	*	*	*	*	*	*
9	0	490	585	0	0	*	*	*	*	*	*	*
10	0	490	550	0	475	*	*	*	*	*	*	*
11	0	420	605	0	525	*	*	*	*	*	*	*
12	0	515	495	390	660	*	*	*	*	*	*	*
13	510	525	580	355	540	*	*	*	*	*	*	*
14	520	240	420	525	125	*	*	*	*	*	*	*
15	490	0	530	425	0	*	*	*	*	*	*	*
16	0	0	450	425	0	*	*	*	*	*	*	*
17	0	420	400	0	410	*	*	*	*	*	*	*
18	635	540	230	0	590	*	*	*	*	*	*	*
19	670	325	0	350	535	*	*	*	*	*	*	*
20	675	0	0	530	160	*	*	*	*	*	*	*
21	710	175	0	570	0	*	*	*	*	*	*	*
22	450	575	425	300	0	*	*	*	*	*	*	*
23	0	760	500	240	0	*	*	*	*	*	*	*
24	0	690	610	0	0	*	*	*	*	*	*	*
25	690	205	590	0	270	*	*	*	*	*	*	*
26	640	215	450	330	485	*	*	*	*	*	*	*
27	620	0	0	595	575	*	*	*	*	*	*	*
28	505	205	0	505	275	*	*	*	*	*	*	*
29	535	0	575	220	0	*	*	*	*	*	*	*
30	150	0	650	0	0	*	*	*	*	*	*	*
31	0	0	500	0	475	*	*	*	*	*	*	*
<b>total</b>	<b>7800</b>	<b>10200</b>	<b>12530</b>	<b>7190</b>	<b>6100</b>	<b>0</b>						
<b>Compra</b>	<b>9.500,00</b>	<b>10.000,00</b>	<b>12.000,00</b>	<b>7.000,00</b>	<b>4.500,00</b>	<b>0,00</b>						
<b>Promedio</b>	<b>300</b>	<b>364,2857143</b>	<b>401</b>	<b>239,6666667</b>	<b>187,5</b>	<b>0</b>						

## Anexo II Informes del tratamiento químico de agua de caldera HURST 2017

Quito, 25 de marzo de 2021

SEÑORES: TEXTILES PADILLA  
PRESENTE:

### ALCANCE A LOS INFORMES DEL TRATAMIENTO QUIMICO DE AGUA DE CALDERA HURST 2017

El inicio de tratamiento químico de agua de calderas de TEXTIL PADILLA es en Julio de 2018. El tratamiento químico de la Caldera HURST 2017 se realiza con el producto químico anti incrustante anti corrosivo STEAM DS SL desarrollado para tratar con aguas de alimentación duras. El producto químico STEAM DS SL es dosificado por medio de una bomba dosificadora ubicada aproximadamente 13 metros antes del ingreso del agua a la caldera, donde reacciona con la dureza bajándola de 140 ppm a 0 ppm o máximo de 5 ppm, al ingresar la mezcla de agua más producto químico STEAM DS SL a la caldera inmediatamente empieza a precipitar la dureza en forma de hidroxapatita en forma de lodo gracias a la acción de temperatura alta.

#### Ilustración de dosificación



BOMBA DOSIFICADORA



INGRESO DE AGUA CON QUIMICO



RESORRIDO ANTES DE LA ALIMENTACION



PUNTO DE DOSIFICACION

Quito: C/. MANUEL VALDIVIESO EE 2010 -EL PINAR ALTO BARRIO OSORIO  
Tel: 3478206 - 098 476 5321  
[ybosmediano@elquim.com](mailto:ybosmediano@elquim.com)  
[info@elquim.com](mailto:info@elquim.com)

**FUNCION DE PRODUCTO QUIMICO CON AGUAS DURAS**

Se realiza el ensayo de como funciona el producto químico de tratamiento de agua de calderas STEAM DS SL.

Para esto es indispensable conocer como se determina dureza total en el agua.

**PROCEDIMIENTO:**

1. Toma la muestra de agua analizar
2. Añade indicadores buffer y negro de eriocromo

Si es de color azul o negro la dureza es 0 ppm

Si la muestra se torna fucsia o rosa

3. Titula con EDTA gota agota hasta conseguir el color azul o negro
4. Cada gota consumida vale 1 ppm

**ENSAYO 1**

**AGUA DE ALIMENTACION DE TEXTIL PADILLA**



MUESTRA DE AGUA



ADICION DE INDICADORES



PRESENCIA DE DUREZA COLOR FUCSIA



TITULACION



DUREZA DE 140 ppm

**DETERMINACION DE DUREZA DE AGUA DE ALIMENTACION DE TEXTIL PADILLA EN PRESENCIA DEL PRODUCTO QUIMICO STEAM DS SL**



STEAM DS SL



ADICION STEAM DS SL AL AGUA DE ALIMENTACION



NO HAY PRESENCIA DE LODOS

**SE EVIDENCIA QUE AL AÑADIR EL PRODUCTO QUIMICO NO HAY PRESENCIA DE LODOS SIN EMBARGO LA DUREZA ES 0 ppm.**



ADICION DE INDICADORES -EVIDENCIA DEL VIRAJE DE COLOR O CAMBIO DE COLOR



DUREZA 0 ppm (COLOR NEGRO)

Con este ensayo se puede verificar que la adición del producto químico STEAM DS SL, el agua de alimentación a la entrada a la caldera ha bajado de 140 ppm a 0 ppm, garantizando que el agua sea propicia para alimentar a la misma.

**REGIMEN DE PURGA PARA EVACUACION DE LODOS:**

**LA ABMA** (Asociación Americana de Constructores de Calderas) RECOMIENDA.  
 Realizar una purga por cada 8 horas de funcionamiento de la siguiente manera:

• PURGA DE FONDO:	15 segundos (3 golpes de 5 segundos) por cada una de las válvulas.
• PURGA LATERAL	8 segundos (continuos)
• PURGA DEL VISOR	8 segundos (continuos 1 vez por semana)

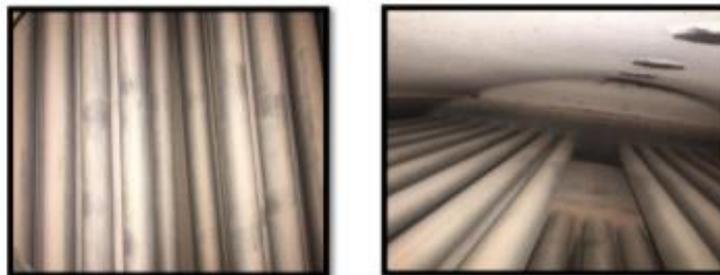
**NOTA:** El régimen de purga se regula de acuerdo al análisis químico del agua de caldera realizado en el sitio.

Esto puede revisar en los análisis de Calderas in situ realizados a lo largo del tratamiento.

**EVIDENCIA FOTOGRAFICA DEL TRATAMIENTO**

La primera apertura de la caldera HURST -2017 para evidenciar el tratamiento recibido se realizó principios de 2019, en donde la caldera HURST -2017 se encontraba libre de incrustación y corrosión pero presentaba una ligera capa de polvo blanquecino pegado, el mismo que suele aparecer cuando se abre el del equipo y el agua esta con temperaturas de entre 40 °C a 50 °C, al no haber lavado inmediatamente con agua a presión, se forma esta capa blanquecida sobre las superficies calientes pero esto **NO ES INCRUSTACIÓN**, como se muestra en las fotografías del informe de apertura del 22 de enero de 2019.

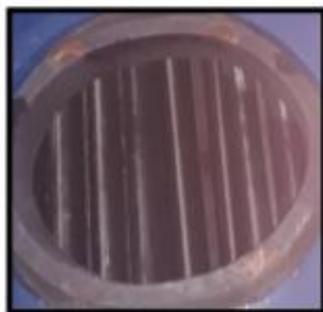
**lustraciones**



APERTURA 2019

Luego de tratar la caldera durante el año 2019 se abrió a inicios de 2020, en donde se nota claramente que la caldera HURST -2017 se encuentra limpia, libre de incrustación y corrosión, como se informa en el informe del 21 de enero de 2020.

**Ilustraciones**



APERTURA 2020

**Seguros de su atención**

**Atentamente,**

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'V. Bosmediano', written over a white background.

**Viviana Bosmediano**

# Anexo III Propiedades termofísicas de vapor saturado

TABLE A.6 Thermophysical Properties of Saturated Water<sup>a</sup>

Temperature, <i>T</i> (K)	Pressure, <i>p</i> (bars) <sup>b</sup>	Specific Volume (m <sup>3</sup> /kg)		Heat of Vaporization, <i>h<sub>fg</sub></i> (kJ/kg)	Specific Heat (kJ/kg · K)		Viscosity (N · s/m <sup>2</sup> )		Thermal Conductivity (W/m · K)		Prandtl Number		Surface Tension, <i>σ<sub>s</sub></i> · 10 <sup>3</sup> (N/m)	Expansion Coefficient, <i>β<sub>f</sub></i> · 10 <sup>6</sup> (K <sup>-1</sup> )	Temperature, <i>T</i> (K)
		<i>v<sub>f</sub></i> · 10 <sup>3</sup>	<i>v<sub>g</sub></i>		<i>c<sub>p,f</sub></i>	<i>c<sub>p,g</sub></i>	<i>μ<sub>f</sub></i> · 10 <sup>6</sup>	<i>μ<sub>g</sub></i> · 10 <sup>6</sup>	<i>k<sub>f</sub></i> · 10 <sup>3</sup>	<i>k<sub>g</sub></i> · 10 <sup>3</sup>	<i>Pr<sub>f</sub></i>	<i>Pr<sub>g</sub></i>			
273.15	0.00611	1.000	206.3	2502	4.217	1.854	1750	8.02	569	18.2	12.99	0.815	75.5	-68.05	273.15
275	0.00697	1.000	181.7	2497	4.211	1.855	1652	8.09	574	18.3	12.22	0.817	75.3	-32.74	275
280	0.00990	1.000	130.4	2485	4.198	1.858	1422	8.29	582	18.6	10.26	0.825	74.8	46.04	280
285	0.01387	1.000	99.4	2473	4.189	1.861	1225	8.49	590	18.9	8.81	0.833	74.3	114.1	285
290	0.01917	1.001	69.7	2461	4.184	1.864	1080	8.69	598	19.3	7.56	0.841	73.7	174.0	290
295	0.02617	1.002	51.94	2449	4.181	1.868	959	8.89	606	19.5	6.62	0.849	72.7	227.5	295
300	0.03531	1.003	39.13	2438	4.179	1.872	855	9.09	613	19.6	5.83	0.857	71.7	276.1	300
305	0.04712	1.005	29.74	2426	4.178	1.877	769	9.29	620	20.1	5.20	0.865	70.9	320.6	305
310	0.06221	1.007	22.93	2414	4.178	1.882	695	9.49	628	20.4	4.62	0.873	70.0	361.9	310
315	0.08132	1.009	17.82	2402	4.179	1.888	631	9.69	634	20.7	4.16	0.883	69.2	400.4	315
320	0.1053	1.011	13.98	2390	4.180	1.895	577	9.89	640	21.0	3.77	0.894	68.3	436.7	320
325	0.1351	1.013	11.06	2378	4.182	1.903	528	10.09	645	21.3	3.42	0.901	67.5	471.2	325
330	0.1719	1.016	8.82	2366	4.184	1.911	489	10.29	650	21.7	3.15	0.908	66.6	504.0	330
335	0.2167	1.018	7.09	2354	4.186	1.920	453	10.49	656	22.0	2.88	0.916	65.8	535.5	335
340	0.2713	1.021	5.74	2342	4.188	1.930	420	10.69	660	22.3	2.66	0.925	64.9	566.0	340
345	0.3372	1.024	4.683	2329	4.191	1.941	389	10.89	664	22.6	2.45	0.933	64.1	595.4	345
350	0.4163	1.027	3.846	2317	4.195	1.954	365	11.09	668	23.0	2.29	0.942	63.2	624.2	350
355	0.5100	1.030	3.180	2304	4.199	1.968	343	11.29	671	23.3	2.14	0.951	62.3	652.3	355
360	0.6209	1.034	2.645	2291	4.203	1.983	324	11.49	674	23.7	2.02	0.960	61.4	679.7	360
365	0.7514	1.038	2.212	2278	4.209	1.999	306	11.69	677	24.1	1.91	0.969	60.5	707.1	365
370	0.9040	1.041	1.861	2265	4.214	2.017	289	11.89	679	24.5	1.80	0.978	59.5	728.7	370
373.15	1.0133	1.044	1.679	2257	4.217	2.029	279	12.02	680	24.8	1.76	0.984	58.9	750.1	373.15
375	1.0815	1.045	1.574	2252	4.220	2.036	274	12.09	681	24.9	1.70	0.987	58.6	761	375
380	1.2869	1.049	1.337	2239	4.226	2.057	260	12.29	683	25.4	1.61	0.999	57.6	788	380
385	1.5233	1.053	1.142	2225	4.232	2.080	248	12.49	685	25.8	1.53	1.004	56.6	814	385
390	1.794	1.058	0.980	2212	4.239	2.104	237	12.69	686	26.3	1.47	1.013	55.6	841	390
400	2.455	1.067	0.731	2183	4.256	2.158	217	13.05	688	27.2	1.34	1.033	53.6	896	400
410	3.302	1.077	0.553	2153	4.278	2.221	200	13.42	688	28.2	1.24	1.054	51.5	952	410
420	4.370	1.088	0.425	2123	4.302	2.291	185	13.79	688	29.8	1.16	1.075	49.4	1010	420
430	5.699	1.099	0.331	2091	4.331	2.369	173	14.14	685	30.4	1.09	1.10	47.2	430	430

Appendix A ■ Thermophysical Properties of Matter

919

TABLE A.6 Continued

Temperature, <i>T</i> (K)	Pressure, <i>p</i> (bars) <sup>b</sup>	Specific Volume (m <sup>3</sup> /kg)		Heat of Vaporization, <i>h<sub>fg</sub></i> (kJ/kg)	Specific Heat (kJ/kg · K)		Viscosity (N · s/m <sup>2</sup> )		Thermal Conductivity (W/m · K)		Prandtl Number		Surface Tension, <i>σ<sub>s</sub></i> · 10 <sup>3</sup> (N/m)	Expansion Coefficient, <i>β<sub>f</sub></i> · 10 <sup>6</sup> (K <sup>-1</sup> )	Temperature, <i>T</i> (K)
		<i>v<sub>f</sub></i> · 10 <sup>3</sup>	<i>v<sub>g</sub></i>		<i>c<sub>p,f</sub></i>	<i>c<sub>p,g</sub></i>	<i>μ<sub>f</sub></i> · 10 <sup>6</sup>	<i>μ<sub>g</sub></i> · 10 <sup>6</sup>	<i>k<sub>f</sub></i> · 10 <sup>3</sup>	<i>k<sub>g</sub></i> · 10 <sup>3</sup>	<i>Pr<sub>f</sub></i>	<i>Pr<sub>g</sub></i>			
440	7.333	1.110	0.261	2059	4.36	2.46	162	14.50	682	31.7	1.04	1.12	45.1	—	440
450	9.319	1.123	0.208	2024	4.40	2.56	152	14.85	678	33.1	0.99	1.14	42.9	—	450
460	11.71	1.137	0.167	1989	4.44	2.68	143	15.19	673	34.6	0.95	1.17	40.7	—	460
470	14.55	1.152	0.136	1951	4.48	2.79	136	15.54	667	36.3	0.92	1.20	38.5	—	470
480	17.90	1.167	0.111	1912	4.53	2.94	129	15.88	660	38.1	0.89	1.23	36.2	—	480
490	21.83	1.184	0.0922	1870	4.59	3.10	124	16.23	651	40.1	0.87	1.25	33.9	—	490
500	26.40	1.203	0.0766	1825	4.66	3.27	118	16.59	642	42.3	0.86	1.28	31.6	—	500
510	31.66	1.222	0.0631	1779	4.74	3.47	113	16.95	631	44.7	0.85	1.31	29.3	—	510
520	37.70	1.244	0.0525	1730	4.84	3.70	108	17.33	621	47.5	0.84	1.35	26.9	—	520
530	44.58	1.268	0.0445	1679	4.95	3.96	104	17.72	608	50.6	0.85	1.39	24.5	—	530
540	52.38	1.294	0.0375	1622	5.08	4.27	101	18.1	594	54.0	0.86	1.43	22.1	—	540
550	61.19	1.323	0.0317	1564	5.24	4.64	97	18.6	580	58.3	0.87	1.47	19.7	—	550
560	71.08	1.355	0.0269	1499	5.43	5.09	94	19.1	563	63.7	0.90	1.52	17.3	—	560
570	82.16	1.392	0.0228	1429	5.68	5.67	91	19.7	548	76.7	0.94	1.59	15.0	—	570
580	94.51	1.433	0.0193	1353	6.00	6.40	88	20.4	528	76.7	0.99	1.68	12.8	—	580
590	108.3	1.482	0.0163	1274	6.41	7.35	84	21.5	513	84.1	1.05	1.84	10.5	—	590
600	123.5	1.541	0.0137	1176	7.00	8.75	81	22.7	497	92.9	1.14	2.15	8.4	—	600
610	137.3	1.612	0.0115	1068	7.85	11.1	77	24.1	467	103	1.30	2.60	6.3	—	610
620	159.1	1.705	0.0094	941	9.35	15.4	72	25.9	444	114	1.52	3.46	4.5	—	620
625	169.1	1.778	0.0085	858	10.6	18.3	70	27.0	430	121	1.65	4.20	3.5	—	625
630	179.7	1.856	0.0075	781	12.6	22.1	67	28.0	412	130	2.0	4.8	2.6	—	630
635	190.9	1.935	0.0066	683	16.4	27.6	64	30.0	392	141	2.7	6.0	1.5	—	635
640	202.7	2.075	0.0057	560	26	42	59	32.0	367	155	4.2	9.6	0.8	—	640
645	215.2	2.351	0.0045	361	90	—	54	37.0	331	178	12	26	0.1	—	645
647.3 <sup>c</sup>	221.2	3.170	0.0032	0	∞	∞	45	45.0	238	238	∞	∞	0.0	—	647.3 <sup>c</sup>

<sup>a</sup>Adapted from Reference 22.

<sup>b</sup>1 bar = 10<sup>5</sup> N/m<sup>2</sup>.

<sup>c</sup>Critical temperature.

920

Appendix A ■ Thermophysical Properties of Matter

## Anexo IV Descripción de equipos

### Caudalímetro ultrasónico

 <p>ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL</p>	<b>LABORATORIO DE TRANSFERENCIA DE CALOR</b>		REVISIÓN: 01
	<b>FORMATO PARA DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS</b>		APROVACIÓN: INICIA
			VERSION: No 01
			PAG: 1/1
		CODIGO: FP-04/01	REG. N°: 6

Fecha:	22/1/2020	Procedencia:	Compra <input checked="" type="checkbox"/> Donación <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/>
Fecha de ingreso:	19/12/2019	Valor:	Compra Inventario Com Actual
Facultad:	Ingeniería Mecánica	Valor:	\$16.912,00
Laboratorio:	Transferencia de calor	Responsable:	
Equipo:	Caudalímetro Ultrasónico Proline	Mantenimiento:	Interna Externa <input checked="" type="checkbox"/>
Marca:	PRONOSONIC FLOW	Calibración:	Interna Externa <input checked="" type="checkbox"/>
Modelo:	93T PROTABLE	Tipo de riesgo:	Riesgo físico, caída sobre un miembro del usuario
N° Serie:	PB104F02000	frecuencia de uso:	Uso semanal dependiendo la demanda
Código de bienes EPN:	Pendiente		
Función del equipo:	Equipo empleado para la medición del caudal, gasto volumetrico, gasto masico de un fluido.		

Tipo de uso:	Docente: <input checked="" type="checkbox"/>	Investigación: <input checked="" type="checkbox"/>	Servicios: <input checked="" type="checkbox"/>
--------------	--	--	--

<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</b>		<b>FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO</b>	
Voltaje	100-240 V AC	Presión(Psi)	
Amperaje		Vel (RPM)	
Potencia		Temp (°C)	22
Frecuencia	47 Hz - 63Hz	Peso (kg)	1,6
Capacidad	4 Gb de almacenamiento	Vida útil	10 años
		3 Meses	<input type="checkbox"/>
		4 Meses	<input type="checkbox"/>
		6 Meses	<input type="checkbox"/>
		12 Meses	<input checked="" type="checkbox"/>
		<b>MANUALES</b>	
		Servicio	<input type="checkbox"/>
		Usuario	<input checked="" type="checkbox"/>
		Componentes	<input type="checkbox"/>
		Manten	<input type="checkbox"/>

COMPONENTES DEL EQUIPO			
Equipo	Marca	N° Serie	Modelo

Fabricante y/o distribuidor:	PRONOSONIC FLOW
Dirección/ Teléfono/Celular:	Av. 12 de Octubre N26-141 y Av. Orellana /2500616
Nombre y correo de contacto:	Romel Lucero/ rlucero@coasin.ec
Observaciones:	PROTECO COASIN S.A. Distribuidor autorizado por la marca dentro del país.

	<b>ELABORADO POR:</b>	<b>REVISADO Y APROBADO POR:</b>
<b>FIRMA</b>		
<b>NOMBRE</b>	Ing. Christian Tapia Arias, MSc.	José Luis Palacios, PhD
<b>CARGO</b>	Técnico Docente	Jefe de Laboratorio
<b>FECHA</b>	22/1/2020	22/1/2020

# Cámara de Infrarrojos

 <p>ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL</p>	<b>LABORATORIO DE TRANSFERENCIA DE CALOR</b>		REVISIÓN: 01					
	<b>FORMATO PARA DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS</b>		APROVACION: INICIAL					
			VERSIÓN: No 01					
			PAG: 1/1					
			CODIGO: FP-04/01					
		REG. N°: 5						
Fecha:	21/1/2020	Procedencia:	Compra	<input checked="" type="checkbox"/>	Donación	<input type="checkbox"/>	Otro	<input type="checkbox"/>
Fecha de ingreso:	19/12/2019		Compra	<input type="checkbox"/>	Inventario	<input type="checkbox"/>	Com Actual	<input type="checkbox"/>
Facultad:	Ingeniería Mecánica	Valor :	\$15.187,20					
Laboratorio:	Transferencia de calor	Responsable:						
Equipo:	Cámara de Infrarrojos	Mantenimiento:						
Marca:	FLUKE	Calibración:						
Modelo:	TI 480 PRO 9Hz	Tipo de riesgo:	Riesgo físico, caída sobre un miembro del usuario					
N° Serie:	TI 480-19110329	frecuencia de uso:	Uso semanal dependiendo de la demanda					
Código de bienes EPN:	Pendiente							
Función del equipo:	Mediante este equipo puede medirse las emisiones infrarrojas de un cuerpo o elemento mecánico o eléctrico, por medio de este equipo se puede conocer las fallas térmicas que puede poseer una máquina sin la necesidad de realizar un desmontaje. También facilita la detección de fugas que pueden estar presentes en una cámara frigorífica y ser empleado en la elaboración de auditorías energéticas.							
Tipo de uso:	Docente:	<input checked="" type="checkbox"/>	Investigación:	<input checked="" type="checkbox"/>	Servicios:	<input checked="" type="checkbox"/>		
<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</b>			<b>FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO</b>					
Voltaje	110-220 V AC	Presión(Psi)		3 Meses		6 Meses		
Amperaje		Vel (RPM)		4 Meses		12 Meses	<input checked="" type="checkbox"/>	
Potencia		Temp (°C)	20	<b>MANUALES</b>				
Frecuencia	2412 MHz -2462 MHz	Peso (kg)	1,04	Servicio		Componentes		
Capacidad	4 Gb de almacenamiento	Vida útil	10 años	Usuario	<input checked="" type="checkbox"/>	Manten		
<b>COMPONENTES DEL EQUIPO</b>								
Equipo	Marca	N° Serie	Modelo					
Lente tele objetivo	FLUKE	41568-03557	LENS/TELE2					
Base para trípode	FLUKE	4E+06	TRIPOD3					
Fabricante y/o distribuidor:	FLUKE							
Dirección/ Teléfono/Celular:	Av. 12 de Octubre N26-141 y Av. Orellana /2500616							
Nombre y correo de contacto:	Romel Lucero/ rlucero@coasin.ec							
Observaciones:	PROTECO COASIN S.A. Distribuidor autorizado por la marca dentro del país.							
	<b>ELABORADO POR:</b>				<b>REVISADO Y APROBADO POR:</b>			
<b>FIRMA</b>								
<b>NOMBRE</b>	Ing. Christian Tapia Arias, MSc.				José Luis Palacios, PhD			
<b>CARGO</b>	Técnico Docente				Jefe de Laboratorio			
<b>FECHA</b>	21/1/2020				21/1/2020			

### Anexo V Medición del volumen de agua de alimentación de la caldera

N° Toma	Ciclo	Hora [hh:mm:ss]	Volumen agua medido [m³]	Volumen de agua acumulado [m³]
1	1	9:05:00	47,6933	0,00
2	1	9:15:00	48,1733	0,48
3	1	9:25:00	48,2521	0,56
4	1	9:36:00	48,2986	0,61
5	1	9:45:00	48,3778	0,68
6	1	9:55:00	48,4384	0,75
7	1	10:05:00	48,5126	0,82
8	1	10:15:00	48,535	0,84
9	1	10:25:00	48,7043	1,01
10	1	10:35:00	48,9631	1,27
11	1	10:45:00	49,3458	1,65
12	1	10:55:00	49,7985	2,11
13	1	10:57:00	49,8494	2,16
14	2	11:05:00	50,1639	2,47
15	2	11:15:00	50,4554	2,76
16	2	11:25:00	50,6047	2,91
17	2	11:35:00	50,722	3,03
18	2	11:45:00	51,2464	3,55
19	2	11:55:00	51,304	3,61
20	2	12:05:00	51,4639	3,77
21	2	12:15:00	51,9147	4,22
22	2	12:25:00	52,0951	4,40
23	2	12:35:00	52,2065	4,51
24	2	12:45:00	52,2544	4,56
25	2	12:55:00	52,3895	4,70
26	3	13:02:00	52,4203	4,73
27	3	13:15:00	52,715	5,02
28	3	13:25:00	53,0977	5,40
29	3	14:25:00	54,0039	6,31
30	3	14:35:00	54,0614	6,37
31	3	14:45:00	54,1279	6,43
32	3	14:55:00	54,3091	6,62
33	4	15:05:00	54,7836	7,09
34	4	15:15:00	55,0306	7,34
35	4	15:25:00	55,299	7,61
36	4	15:35:00	55,6335	7,94
37	4	15:45:00	55,9808	8,29
38	4	15:55:00	56,3719	8,68
39	4	16:05:00	56,8071	9,11
40	4	16:15:00	57,1336	9,44
41	4	16:25:00	57,4067	9,71
42	4	16:45:00	57,8229	10,13
43	4	17:05:00	58,1129	10,42

(Fuente: Propia)

**Anexo VI Medición de combustible de la caldera N°1**

<b>Ciclo</b>	<b>Hora [h:m:s]</b>	<b>Altura medida [cm]</b>	<b>Diesel [gal]</b>
1	9:05:00	144	200,00
	9:15:00	140,5	195,14
	9:25:00	137,9	191,53
	9:36:00	135,9	188,75
	9:45:00	133,7	185,69
	9:55:00	131,5	182,64
	10:05:00	129,1	179,31
	10:15:00	126,5	175,69
	10:25:00	123	170,83
	10:35:00	118,7	164,86
	10:45:00	112,4	156,11
	10:55:00	105	145,83
	10:57:00	100	138,89
	Consumo parcial		44
2	11:05:00	144,5	200,69
	11:15:00	139,7	194,03
	11:25:00	136,5	189,58
	11:35:00	133,7	185,69
	11:45:00	131,2	182,22
	11:55:00	129,1	179,31
	12:05:00	123,8	171,94
	12:15:00	117,6	163,33
	12:25:00	113,3	157,36
	12:35:00	109,7	152,36
	12:45:00	107,3	149,03
	12:55:00	100	138,89
Consumo parcial		44,5	61,806
3	13:02:00	146	202,78
	13:15:00	140,8	195,56
	13:25:00	132,3	183,75
	14:25:00	111,5	154,86
	14:35:00	108,9	151,25
	14:45:00	105,4	146,39
	14:55:00	100	138,89
Consumo parcial		46	63,889
4	15:05:00	144	200,00
	15:15:00	138,5	192,36
	15:25:00	134	186,11
	15:35:00	127,3	176,81
	15:45:00	120,8	167,78
	15:55:00	115,3	160,14
	16:05:00	111,5	154,86
	16:15:00	109,2	151,67
	16:25:00	107,2	148,89

	16:45:00	104,7	145,42
	17:05:00	100	138,89
	Parcial	44	61,11
	Total	178,5	247,917

[Fuente: Propia]

## Anexo VII Cálculos del consumo de combustible

- Consumo de combustible parcial N°2

$$CC_{pn} = V_{ccn}^{inicial} - V_{ccn}^{final} [Gal]$$

$$CC_{P2} = (200,69 - 138,89) [Gal]$$

$$CC_{P2} = 61,806 [Gal]$$

- Consumo de combustible parcial N°3

$$CC_{pn} = V_{ccn}^{inicial} - V_{ccn}^{final} [Gal]$$

$$CC_{P2} = (202,78 - 138,89) [Gal]$$

$$CC_{P2} = 61,889 [Gal]$$

- Consumo de combustible parcial N°3

$$CC_{pn} = V_{ccn}^{inicial} - V_{ccn}^{final} [Gal]$$

$$CC_{P2} = (200 - 138,89) [Gal]$$

$$CC_{P2} = 61,111 [Gal]$$

## Anexo VIII Tiempo y temperatura de la máquina en el proceso de tintura

Proceso de teñido	Hora [h:m:s]	Temperatura [°C]	Proceso en el intercambiador
Ingreso de químicos auxiliares	8:54:00	25,5	Ninguna
Ingreso de químicos auxiliares	8:55:45	25,5	Ninguna
Ingreso de químicos auxiliares	8:57:30	22,5	Inyección de vapor
Descrude	8:59:15	25,5	Inyección de vapor
Descrude	9:01:00	35	Inyección de vapor
Descrude	9:02:45	31,25	Inyección de vapor
Descrude	9:04:30	32,5	Inyección de vapor
Descrude	9:06:15	33	Inyección de vapor
Descrude	9:08:00	33,75	Inyección de vapor
Descrude	9:09:45	34,5	Inyección de vapor
Descrude	9:11:30	34,5	Inyección de vapor
Descrude	9:13:15	39	Inyección de vapor
Descrude	9:15:00	43,75	Inyección de vapor
Descrude	9:16:45	37,5	Inyección de vapor
Descrude	9:18:30	43,75	Inyección de vapor
Descrude	9:20:15	45	Inyección de vapor
Descrude	9:22:00	53,75	Inyección de vapor
Descrude	9:23:45	58,75	Inyección de vapor
Descrude	9:25:30	68,75	Inyección de vapor
Descrude	9:27:15	69	Inyección de vapor
Descrude	9:29:00	69,25	Inyección de vapor
Descrude	9:30:45	69,5	Inyección de vapor
Descrude	9:32:30	69,75	Inyección de vapor
Descrude	9:34:15	69,8	Inyección de vapor
Descrude	9:36:00	70	Inyección de vapor
Descrude	9:37:45	70	Inyección de vapor
Descrude	9:39:30	70	Inyección de vapor
Descarga	9:41:15	35	Ingreso de agua de enfriamiento
Ingreso de químicos auxiliares y colorante	9:43:00	41,25	Ingreso de agua de enfriamiento
Ingreso de químicos auxiliares y colorante	9:44:45	41,39	Ingreso de agua de enfriamiento
Ingreso de químicos auxiliares y colorante	9:46:30	41,53	Ingreso de agua de enfriamiento
Ingreso de químicos auxiliares y colorante	9:48:15	41,67	Ingreso de agua de enfriamiento
Ingreso de químicos auxiliares y colorante	9:50:00	41,81	Ingreso de agua de enfriamiento
Ingreso de químicos auxiliares y colorante	9:51:45	41,95	Ingreso de agua de enfriamiento
Ingreso de químicos auxiliares y colorante	9:53:30	42,09	Ingreso de agua de enfriamiento
Ingreso de químicos auxiliares y colorante	9:55:15	42,23	Ingreso de agua de enfriamiento
Tintura	9:57:00	42,37	Inyección de vapor
Tintura	9:58:45	42,5	Inyección de vapor
Tintura	10:00:30	45	Inyección de vapor
Tintura	10:02:15	50	Inyección de vapor
Tintura	10:04:00	55	Inyección de vapor
Tintura	10:05:45	60	Inyección de vapor
Tintura	10:07:30	65	Inyección de vapor
Tintura	10:09:15	70	Inyección de vapor
Tintura	10:11:00	75	Inyección de vapor
Tintura	10:12:45	81,25	Inyección de vapor

Tintura	10:14:30	85,2	Inyección de vapor
Tintura	10:16:15	91,5	Inyección de vapor
Tintura	10:18:00	97,5	Inyección de vapor
Tintura	10:19:45	99	Inyección de vapor
Tintura	10:21:30	106,25	Inyección de vapor
Tintura	10:23:15	110	Inyección de vapor
Tintura	10:25:00	112,5	Inyección de vapor
Tintura	10:26:45	113,13	Inyección de vapor
Tintura	10:28:30	113,75	Inyección de vapor
Tintura	10:30:15	114,375	Inyección de vapor
Tintura	10:32:00	115	Inyección de vapor
Tintura	10:33:45	115	Inyección de vapor
Tintura	10:35:30	115	Inyección de vapor
Descarga	10:37:15	108,75	Ingreso de agua de enfriamiento
Enjuage	10:39:00	100	Ingreso de agua de enfriamiento
Enjuage	10:40:45	95	Ingreso de agua de enfriamiento
Enjuage	10:42:30	91,25	Ingreso de agua de enfriamiento
Enjuage	10:44:15	86,25	Ingreso de agua de enfriamiento
Enjuage	10:46:00	82,5	Ingreso de agua de enfriamiento
Enjuage	10:47:45	78,75	Ingreso de agua de enfriamiento
Enjuage	10:49:30	75	Ingreso de agua de enfriamiento
Enjuage	10:51:15	72,25	Ingreso de agua de enfriamiento
Enjuage	10:53:00	73,25	Ingreso de agua de enfriamiento
Enjuage	10:54:45	72,5	Ingreso de agua de enfriamiento
Enjuage	10:56:30	22,5	Ingreso de agua de enfriamiento
Enjuage	10:58:15	35	Inyección de vapor
Enjuage	11:00:00	42,5	Inyección de vapor
Enjuage	11:01:45	42,6	Inyección de vapor
Enjuage	11:03:30	42,7	Inyección de vapor
Descarga	11:05:15	20	Ingreso de agua de enfriamiento
Descarga	11:07:00	27,5	Ingreso de agua de enfriamiento
Descarga	11:08:45	28,75	Ingreso de agua de enfriamiento
Descarga	11:10:30	28,85	Ingreso de agua de enfriamiento
Descarga	11:12:15	29	Ingreso de agua de enfriamiento
Descarga	11:14:00	29,1	Ingreso de agua de enfriamiento

[Fuente: Propia]

## Anexo IX Calculo de flujo másico de condensado

Se utilizan las Ec. 2.11 y Ec. 2.12 para el cálculo de caudal y flujo masico condensado de la TRD4 con los siguientes datos

$$V_{cond} = 0,33 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$\Delta T = 1,46 \text{ [h]}$$

$$\rho_{cond} = 965 \text{ [kg/ m}^3\text{]} @ 90^\circ\text{C}$$

- Caudal de condensado

$$Q_{cond(TRD4)} = \frac{V_{cond}}{\Delta T} \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

$$Q_{cond(TRD4)} = \frac{0,33 \text{ [m}^3\text{]}}{1,46 \text{ [h]}}$$

$$Q_{cond(TRD4)} = 0,2263 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

- Flujo másico del condensado

$$\dot{m}_{cond(TRD4)} = Q_{cond} \times \rho_{cond} \left[ \frac{kg}{h} \right]$$

$$\dot{m}_{cond(TRD4)} = 0,2263 \left[ \frac{m^3}{h} \right] \times 965 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

$$\dot{m}_{cond(TRD4)} = 218,3942 \left[ \frac{kg}{h} \right]$$

## Anexo X Cálculos del volumen de condensado

- Volumen de condensado para el proceso de tintura expresado en  $[m^3]$

$$V_{cond} = \pi \times r^2 \times h [m^3]$$

$$V_{condensado} = \pi \times (0,28 m)^2 \times 0,72[m]$$

$$V_{condensado} = 0,1773 [m^3]$$

- Volumen de condensado para el proceso de descrude expresado en  $[Gal]$

$$V_{condensado} = 0,1773 [m^3] \times \frac{264,172 [Gal]}{1 [m^3]}$$

$$V_{condensado} = 46,8473 [Gal]$$

- Volumen de condensado para el proceso de enjuague

$$V_{cond} = \pi \times r^2 \times h [m^3]$$

$$V_{condensado} = \pi \times (0,28 m)^2 \times 0,10[m]$$

$$V_{condensado} = 0,0246 [m^3]$$

- Volumen de condensado para el proceso de descrude expresado en  $[Gal]$

$$V_{condensado} = 0,0246 [m^3] \times \frac{264,172 [Gal]}{1 [m^3]}$$

$$V_{condensado} = 6,5065 [Gal]$$



# Anexo XII Monitoreo de emisiones de combustión

Equipo: Caldero N°1

Fecha: 13/02/20



**REPORTE DE CARACTERIZACIÓN DE EMISIONES A LA ATMÓSFERA**

N° 0002778

Fecha: 30-01-20

CIUDAD: CONTACTO:

**1. DATOS GENERALES**

1.1 TIPO DE COMBUSTIBLE: DIESEL

1.2 AÑO DE CONSTRUCCIÓN: 2009

1.3 AÑO DE CONSTRUCCIÓN: 2009

1.4 CAPACIDAD DE LA FUENTE (HP o kW): 250 BHP

1.5 MODELO O No. DE SERIE: 15922

1.6 MODELO O No. DE SERIE: 2009

1.7 DOSIFICACIÓN ADDIMAX: 1:2000

1.8 TIPO DE COMBUSTIBLE: DIESEL

1.9 FOGUEO DE OPERACIÓN: 24

1.10 CONSUMO COMBUSTIBLE (gal/mes):

**2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DE LAS EMISIONES DE COMBUSTIÓN**

PARÁMETROS DE EMISIÓN	UNIDAD	FUEGO BAJO	FUEGO MEDIO	FUEGO ALTO
TEMPERATURA GASES DE CHIMENEA	°C	16.9	224	245
TEMPERATURA AMBIENTE	°C	27.0	24.5	25.4
EXCESO DE AIRE	%	86.8	63.0	33.0
EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN	%	81.1	82.4	83.4
PORCENTAJE DE OXÍGENO	%	10.1	8.5	5.5
PORCENTAJE DE DIÓXIDO DE CARBONO	%	8.1	9.3	11.5
MONÓXIDO DE CARBONO	ppm	0	0	0
DIÓXIDO DE AZUFRE	ppm	72	61	85
ÓXIDOS DE NITRÓGENO	ppm	42	87	111
NÚMERO DE HUMO	-	1	0	0

**3. PARÁMETROS OPERACIONALES:**

PARÁMETROS	UNIDAD	FUEGO BAJO	FUEGO MEDIO	FUEGO ALTO
PRESIÓN DE VAPOR	psi			
PRESIÓN AIRE ATOMIZACIÓN	psi			
PRESIÓN INGRESO COMBUSTIBLE	psi			
PRESIÓN RETORNO DE COMBUSTIBLE	psi			
TEMPERATURA INGRESO DE COMBUSTIBLE	°C/°F			
PRESIÓN DE BOMBA DE COMBUSTIBLE	psi			

**4. TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN:**

4.1 NORMATIVA AMBIENTAL APLICADA: ORDENANZA Nº 138

4.2 OXÍGENO DE REFERENCIA: 72

PARÁMETROS DE EMISIÓN	UNIDAD	VALORES NORMA	FUEGO BAJO	FUEGO MEDIO	FUEGO ALTO
MONÓXIDO DE CARBONO	mg/m3 gas seco	200	0	0	0
DIÓXIDO DE AZUFRE	mg/m3 gas seco	1200	264	195	219
ÓXIDOS DE NITRÓGENO	mg/m3 gas seco	500	276	199	205

**5. COMENTARIOS:** Nota: Los resultados se comparan con valores norma detallados en los informes respectivos

SELLO / FIRMA RESPONSABLE TÉCNICO SOLINEC

SELLO / FIRMA CLIENTE

Dirección : Coreo E2-17 e Iñaquito, edificio Coreo Park 6to piso, oficina 607 Quito - Ecuador / Teléfono: 02 604 3165 / www.solinec.com

Equipo: Caldero N°1

Fecha: 13/02/20

SOLINEC

**BACHARACH**

BACHARACH, INC.  
PCA 400  
SN: 19051054

Hora: 09:08:55  
Fecha: 13/03/20

Combustible  
AC32

T-Stk 189 °C  
T-Air 36.8 °C  
SA 32.7 %  
YT 87.0 %  
Z 5.5 %  
11.5 %  
0 ppm  
69 ppm  
122 ppm  
122 ppm  
0 ppm  
76 ppm  
134 ppm  
134 ppm  
0.45 LPM

**ADDIMAX**  
Aditivos para combustibles, aceites y gases

**FORMULARIO DE CARACTERIZACIÓN DE EMISIONES A LA ATMÓSFERA**

N° 0002795

13-02-20 CIUDAD CONTACTO

*Textiles Radial*

1.3 AÑO DE CONSTRUCCIÓN: 2009 1.4 CAPACIDAD DE LA FUENTE (HP o kW) 230 BHP

1.5 MODELO O No. DE SERIE 15922 1.7 DOSIFICACIÓN ADDIMAX J12000

1.9 FOGUEO DE OPERACIÓN: 1.10 CONSUMO COMBUSTIBLE (gal/mes):

ANÁLISIS QUÍMICAS DE LAS EMISIONES DE COMBUSTIÓN

EMISIÓN	UNIDAD	FUEGO BAJO	FUEGO MEDIO	FUEGO ALTO
	°C	119	221	228
	°C	41.5	41.6	42.3
	%	74.7	32.8	13.2
	%	89.7	85.8	86.6
	%	4.3	5.5	2.6
	%	8.6	11.5	13.7
	ppm	0	0	4
	ppm	72	42	104
	ppm	81	144	172
	-	0	0	0

**3. PARAMETROS OPERACIONALES:**

PARÁMETROS	UNIDAD	FUEGO BAJO	FUEGO MEDIO	FUEGO ALTO
PRESION DE VAPOR	psi			
PRESION AIRE ATOMIZACION	psi			
PRESION INGRESO COMBUSTIBLE	psi			
PRESION RETORNO DE COMBUSTIBLE	psi			
TEMPERATURA INGRESO DE COMBUSTIBLE	°C/F			
PRESION DE BOMBA DE COMBUSTIBLE	psi			

**4. TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN:**

1. NORMATIVA AMBIENTAL APLICADA	2. OXÍGENO DE REFERENCIA				
ORDENADO No 138	78				
PARÁMETROS DE EMISIÓN	UNIDAD	VALORES NORMA	FUEGO BAJO	FUEGO MEDIO	FUEGO ALTO
DIOXIDO DE CARBONO	mg/m3 gas seco	200	0	0	4
DIOXIDO DE AZUFRE	mg/m3 gas seco	1200	246	237	226
OXIDOS DE NITRÓGENO	mg/m3 gas seco	500	198	275	268

**COMENTARIOS:** Nota: Los resultados se comparan con valores norma detallados en los informes respectivos

FEBRERO 2020

\_\_\_\_\_  
FIRMA  
ANALISTA TÉCNICO SOLINEC

\_\_\_\_\_  
SELLO / FIRMA

Equipo: Caldero N°1

Fecha: 13/03/20

Nº 0002839

REPORTE DE CARACTERIZACIÓN DE EMISIONES A LA ATMÓSFERA

Nº REPORTE		CIUDAD		CONTACTO		
FECHA		13-03-20				
<b>1. DATOS GENERALES</b>						
1.1 RAZÓN SOCIAL:		TEXTILES PADILLA		1.4 CAPACIDAD DE LA FUENTE (HP o kW)		
1.2 TIPO DE FUENTE:		1.3 AÑO DE CONSTRUCCIÓN:		250 DHP		
CALDERO #1				1.7 DOSIFICACIÓN ADDIMAX		
1.5 FUNCIONAMIENTO FUENTE (h/día):		1.6 MODELO O No. DE SERIE		1:2000		
24				1.10 CONSUMO COMBUSTIBLE (gal/mes):		
1.8 TIPO DE COMBUSTIBLE:		1.9 FOGUEO DE OPERACIÓN:				
DIESEL		Bajo - Medio - Alto				
<b>2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DE LAS EMISIONES DE COMBUSTIÓN</b>						
PARÁMETROS DE EMISIÓN		UNIDAD	FUEGO BAJO	FUEGO MEDIO	FUEGO ALTO	
TEMPERATURA GASES DE CHIMENEA		°C	189	220	228	
TEMPERATURA AMBIENTE		°C	36.6	34.6	32.3	
HUMEDAD DE AIRE		%	32.7	26.2	14.1	
EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN		%	87.0	85.4	86.2	
PORCENTAJE DE OXÍGENO		%	5.5	4.6	2.8	
PORCENTAJE DE DIÓXIDO DE CARBONO		%	11.5	12.2	13.5	
MONÓXIDO DE CARBONO		ppm	0	0	0	
DIÓXIDO DE AZUFRE		ppm	69	65	63	
ÓXIDOS DE NITRÓGENO		ppm	122	111	125	
NÚMERO DE HUMO		-	0	0	0	
<b>3. PARÁMETROS OPERACIONALES:</b>						
PARÁMETROS		UNIDAD	FUEGO BAJO	FUEGO MEDIO	FUEGO ALTO	
PRESION DE VAPOR		psi				
PRESION AIRE ATOMIZACION		psi				
PRESION INGRESO COMBUSTIBLE		psi				
PRESION RETORNO DE COMBUSTIBLE		psi				
TEMPERATURA INGRESO DE COMBUSTIBLE		°C/°F				
PRESION DE BOMBA DE COMBUSTIBLE		psi				
<b>4. TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN:</b>						
4.1 NORMATIVA AMBIENTAL APLICADA		ORDENANZA N° 108			4.2 OXÍGENO DE REFERENCIA	
PARÁMETROS DE EMISIÓN		UNIDAD	VALORES NORMA	FUEGO BAJO	FUEGO MEDIO	FUEGO ALTO
MONÓXIDO DE CARBONO		mg/m3 gas seco	200	0	0	0
DIÓXIDO DE AZUFRE		mg/m3 gas seco	1200	178	142	138
ÓXIDOS DE NITRÓGENO		mg/m3 gas seco	500	225	144	197
<b>5. COMENTARIOS:</b>						
Nota: Los resultados se comparan con valores norma detallados en los informes respectivos						
SELO / FIRMA			SELO / FIRMA			
RESPONSABLE TÉCNICO SOLINEC			CLIENTE			

Equipo: Caldero N°1

Fecha: 23/06/2021

**MONITOREO DE EMISIONES DE COMBUSTION**



FECHA: 23-06-2021		HORA:		
<b>1. DATOS CLIENTE</b>				
RAZÓN SOCIAL: TEXTILES ADRIANA		DIRECCION: LANGAS		
PERSONA DE CONTACTO: FERNANDO HERNANDEZ		CORREO ELECTRONICO:		
TELEFONOS:		ACTIVIDAD PROD.: TEXTIL		
<b>2. DATOS TECNICOS</b>				
TIPO DE FUENTE: CALDERO		MARCA: KURST	SERIE: FS 345-150-3	
POTENCIA (HP o kW): 250 BH?		TIPO DE COMBUSTIBLE: DIESEL	CONSUMO DE COMBUSTIBLE / MES (gal o m³):	
FECHA DE INICIO OPERACIONES: 2009		FUNCIONAMIENTO DE LA FUENTE (h/día): 1	COORDENADAS UTM (WGS 84):	
DIAMETRO CHIMENEA (m):		DISTANCIA A (m) ↑:	DISTANCIA B (m) ↓:	
NEPLO (m):		PRESION (mmHg):	TEMPERATURA °C:	
<b>3. CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DE LAS EMISIONES DE COMBUSTIÓN</b>				
PARÁMETROS DE EMISIÓN	UNIDAD	LLAMA BAJA	LLAMA MEDIA	LLAMA ALTA
TEMPERATURA GASES DE CHIMENEA	°C	147	212	227
TEMPERATURA AMBIENTE	°C	20.2	30.6	31.7
EXCESO DE AIRE	λ	1.41	1.59	1.49
EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN	%	88.5	84.1	83.9
PORCENTAJE DE OXÍGENO	%	6.1	7.8	6.9
PORCENTAJE DE DIÓXIDO DE CARBONO	%	10.9	9.7	10.3
MONÓXIDO DE CARBONO	ppm	0	0	0
DIÓXIDO DE AZUFRE	ppm	75	127	142
MONOXIDO DE NITROGENO	ppm	123	82	86
ÓXIDOS DE NITRÓGENO	ppm	124	87	90
NÚMERO DE HUMO	n	0	0	0
<b>4. PARÁMETROS OPERACIONALES</b>				
PARÁMETROS	UNIDAD			
PRESION DE VAPOR	psi /bar			
PRESION AIRE ATOMIZACION	psi /bar			
PRESION INGRESO COMBUSTIBLE	psi /bar			
PRESION RETORNO DE COMBUSTIBLE	psi /bar			
TEMPERATURA INGRESO DE COMBUSTIBLE	°C/F			
PRESION DE BOMBA DE COMBUSTIBLE	psi /bar			
<b>5. TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN</b>				
NORMATIVA AMBIENTAL APLICADA: CODIGO MUNICIPAL		OXÍGENO DE REFERENCIA: 7%		
PARÁMETROS DE EMISIÓN	UNIDAD	VALOR NORMA		
MONÓXIDO DE CARBONO	mg/m3 gas seco	200	0	
DIÓXIDO DE AZUFRE	mg/m3 gas seco	1800	255	
ÓXIDOS DE NITRÓGENO	mg/m3 gas seco	500	248	
<b>6. RANGOS DE OPERACIÓN</b>				
NÚMERO DE HUMO	MONOXIDO DE CARBONO% CO2	EXCESO DE HOLLIN EN mm		
0-2 EXCELENTE	13,8 % CO2 EXCELENTE	0,5 mm aumento 28 °C perdida de rendimiento 1,4%		
3-4 BUENA	12,5 % CO2 BUENO	1 mm aumento 61 °C perdida de rendimiento 3 %		
5-9 INACEPTABLE	12,0 % CO2 o menos REGULAR	1,5 mm aumento 86 °C perdida de rendimiento 4,5 %		
<b>COMENTARIOS:</b>				

### Anexo XIII Cálculos de pérdidas de calor sensible

- Llama media

$$k_1 = 0,57$$

$$\%CO_2 = 9,7 \text{ [%]}$$

$$T_g = 212 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$T_{amb} = 30,6 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$CO = 0 \text{ [%]}$$

$$q_1 = k_1 \times \left( \frac{T_g - T_{amb}}{\%CO_2 + \%CO} \right)$$

$$q_1 = (0,57) \times \frac{(212 - 30,6) \text{ [}^\circ\text{C]}}{(9,7 - 0) \text{ [%]}}$$

$$q_{1(\text{media})} = 10,66 \text{ [%]}$$

- Llama baja

$$k_1 = 0,57$$

$$\%CO_2 = 10,9 \text{ [%]}$$

$$T_g = 147 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$T_{amb} = 28,2 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$CO = 0 \text{ [%]}$$

$$q_1 = k_1 \times \left( \frac{T_g - T_{amb}}{\%CO_2 + \%CO} \right)$$

$$q_1 = (0,57) \times \frac{(147 - 28,2) \text{ [}^\circ\text{C]}}{(10,9 - 0) \text{ [%]}}$$

$$q_{1(\text{baja})} = 6,21 \text{ [%]}$$

## Anexo XIV Fotografías termográficas de la superficie de la caldera

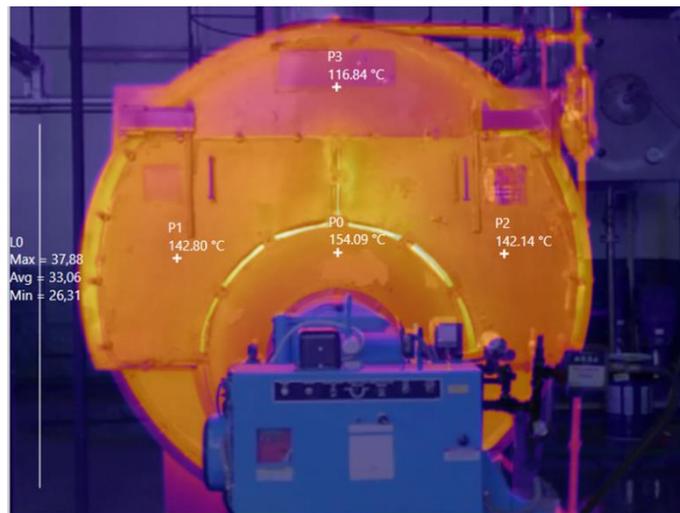


Figura 0.1 Sección tapa frontal de la caldera N°1.  
(Fuente: Propia)

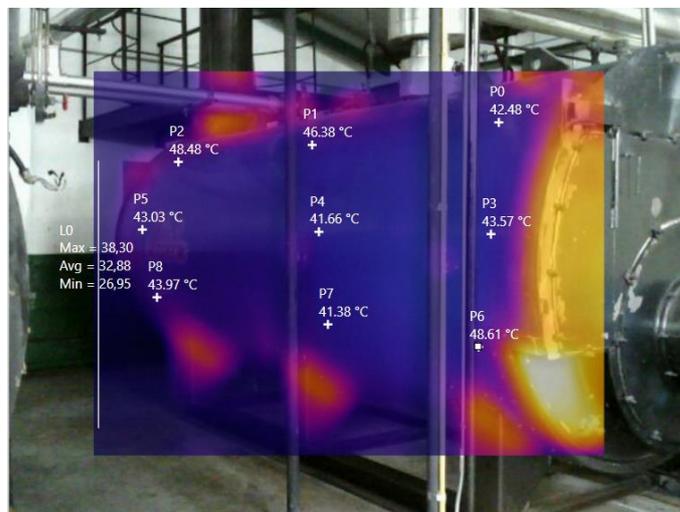


Figura 0.2 Sección izquierda de la caldera N°1.  
(Fuente: Propia)

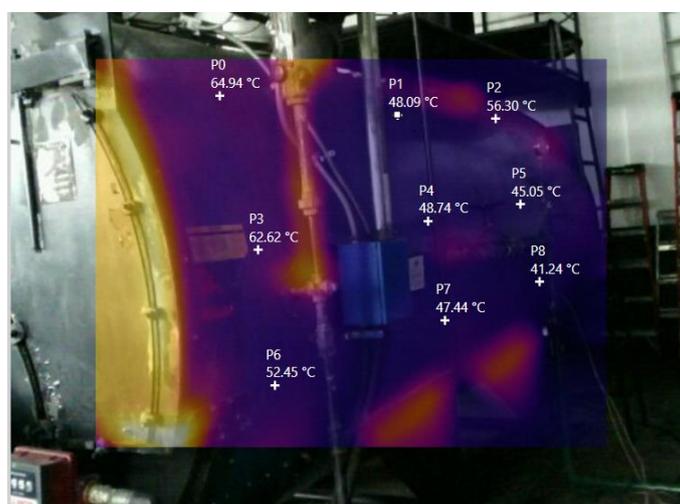


Figura 0.3 Sección derecha de la caldera N°1.  
(Fuente: Propia)

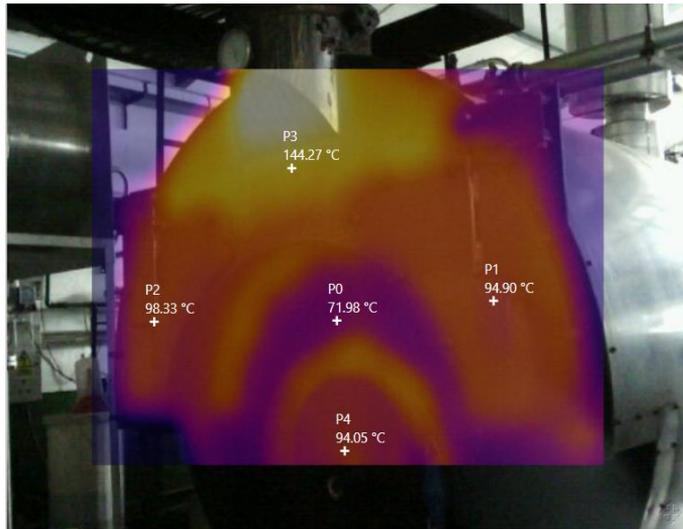


Figura 0.4 Sección tapa posterior de la caldera N°1.  
(Fuente: Propia)

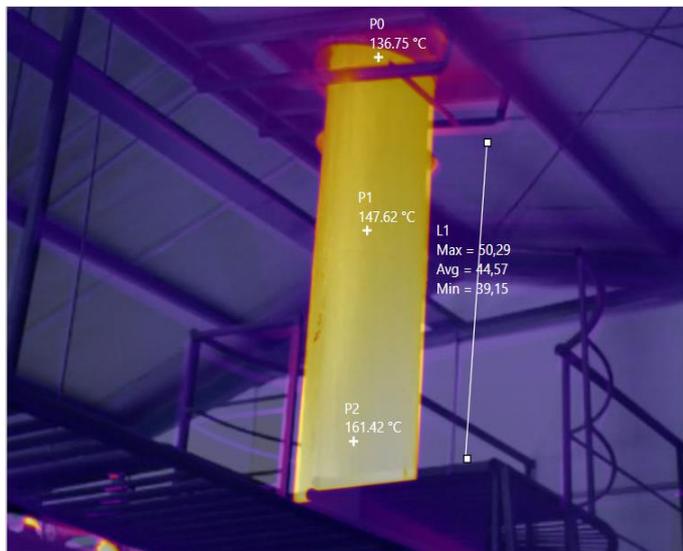


Figura 0.5 Sección frontal de la chimenea de la caldera N°1.  
(Fuente: Propia)

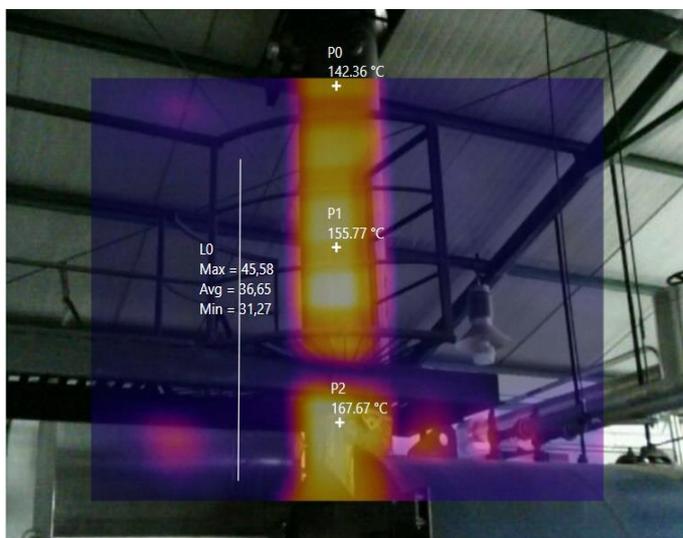


Figura 0.6 Sección posterior de la chimenea de la caldera N°1.  
(Fuente: Propia)

Temperaturas superficial y ambiental de la caldera

Sección	Punto	Temperatura superficial [°C]	Temperatura ambiental [°C]
Tapa frontal	P0	154,09	33,06
Tapa frontal	P1	142,8	33,06
Tapa frontal	P2	142,14	33,06
Tapa frontal	P3	116,84	33,06
Cuerpo izquierdo	P0	42,48	32,88
Cuerpo izquierdo	P1	46,38	32,88
Cuerpo izquierdo	P2	48,48	32,88
Cuerpo izquierdo	P3	43,57	32,88
Cuerpo izquierdo	P4	41,66	32,88
Cuerpo izquierdo	P5	43,03	32,88
Cuerpo izquierdo	P6	48,61	32,88
Cuerpo izquierdo	P7	41,38	32,88
Cuerpo izquierdo	P8	43,97	32,88
Cuerpo derecho	P0	64,94	31,5
Cuerpo derecho	P1	48,09	31,5
Cuerpo derecho	P2	56,3	31,5
Cuerpo derecho	P3	62,62	31,5
Cuerpo derecho	P4	48,74	31,5
Cuerpo derecho	P5	45,05	31,5
Cuerpo derecho	P6	52,45	31,5
Cuerpo derecho	P7	47,44	31,5
Cuerpo derecho	P8	41,24	31,5
Tapa posterior	P0	71,98	33,12
Tapa posterior	P1	94,9	33,12
Tapa posterior	P2	98,33	33,12
Tapa posterior	P3	144,27	33,12
Tapa posterior	P4	94,05	33,12
Chimenea frontal	P0	136,75	44,57
Chimenea frontal	P1	147,62	44,57
Chimenea frontal	P2	161,42	44,57
Chimenea posterior	P0	142,36	36,65
Chimenea posterior	P1	155,77	36,65
Chimenea posterior	P2	167,67	36,65

(Fuente: Propia)

## Anexo XV Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por radiación

- Cálculo para la sección cuerpo.

$$T_s: 321,29 \text{ [K]}$$

$$T_{alr}: 305,34 \text{ [K]}$$

$$h_{rad} = 0,95 \times (5,68 \times e^{-8}) \left[ \frac{W}{m^2 K^4} \right] \times \frac{((321,29)^4 - (305,34)^4)[K^4]}{(321,29 - 305,34)[K]}$$

$$h_{rad} = 6,64 \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$$

- Cálculo para la sección tapa posterior.

$$T_s: 373,86 \text{ [K]}$$

$$T_{alr}: 306,27 \text{ [K]}$$

$$h_{rad} = 0,95 \times (5,68 \times e^{-8}) \left[ \frac{W}{m^2 K^4} \right] \times \frac{((373,86)^4 - (306,27)^4)[K^4]}{(373,86 - 306,27)[K]}$$

$$h_{rad} = 8,57 \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$$

- Cálculo para la sección chimenea.

$$T_s: 425,08 \text{ [K]}$$

$$T_{alr}: 313,76 \text{ [K]}$$

$$h_{rad} = 0,95 \times (5,68 \times e^{-8}) \left[ \frac{W}{m^2 K^4} \right] \times \frac{((425,08)^4 - (313,76)^4)[K^4]}{(425,08 - 313,76)[K]}$$

$$h_{rad} = 11,12 \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$$

## Anexo XVI Cálculo de coeficiente de transferencia de calor por convección

B) Cálculo para la sección cuerpo.

$$T_s = 321,29 \text{ [K]}$$

$$T_{alr} = 305,34 \text{ [K]}$$

$$g = 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

$$v = 1,92 \times 10^{-5} \text{ [m}^2\text{/s]} \text{ @313,31 [K]}$$

$$D = 1,98 \text{ [m]}$$

$$Pr = 0,7254 \text{ @313,31 [K]}$$

$$k = 0,0266 \text{ [W/m}\cdot\text{K]} \text{ @313,31 [K]}$$

- Temperatura de película

$$T_f = \frac{1}{2}(T_s + T_{alr}) \text{ [K]}$$

$$T_f = \frac{1}{2}(321,29 + 305,34) \text{ [K]}$$

$$T_f = 313,31 \text{ [K]}$$

- Coeficiente de expansión volumétrica

$$\beta = \frac{1}{T_f}$$

$$\beta = \frac{1}{313,31 \text{ [K]}}$$

$$\beta = 0,003191 \text{ [K}^{-1}\text{]}$$

- Número de Grashof

$$Gr = \frac{g\beta(T_s - T_{alr})D^3}{v^2}$$

$$Gr = \frac{(9,81) \left[ \frac{m}{s^2} \right] \times (0,003191) \text{ [K}^{-1}\text{]} \times (321,29 - 305,34) \text{ [K]} \times (1,98 \text{ [m]})^3}{\left( 1,92 \times 10^{-5} \left[ \frac{m^2}{s} \right] \right)^2}$$

$$Gr = 1,05 \times 10^{10}$$

- Número de Rayleigh

$$Ra = Gr \times Pr$$

$$Ra = (1,05 \times e^{10}) \times (0,7254)$$

$$Ra = 7,64 \times e^9$$

- Número de Nusselt

$$Nu = 0,525 \times Ra^{1/4}$$

$$Nu = 0,525 \times (7,64 \times e^9)^{1/4}$$

$$Nu = 155,196$$

- Coeficiente de transferencia de calor por convección

$$h_{conv} = \frac{Nu \times k}{D} \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$$

$$h_{conv} = \frac{155,196 \times 0,0266 \left[ \frac{W}{m \cdot K} \right]}{1,98 [m]}$$

$$h_{conv} = 2,0875 \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$$

C) Cálculo para la sección tapa posterior.

$$T_s = 373,86 [K]$$

$$T_{alr} = 306,27 [K]$$

$$g = 9,81 [m/s^2]$$

$$v = 1,95 \times e^{-5} [m^2/s] @ 340,06 [K]$$

$$D = 1,98 [m]$$

$$Pr = 0,7189 @ 340,06 [K]$$

$$k = 0,0285 [W/m \cdot K] @ 340,06 [K]$$

- Temperatura de película

$$T_f = \frac{1}{2} (T_s + T_{alr}) [K]$$

$$T_f = \frac{1}{2} (373,86 + 306,27) [K]$$

$$T_f = 340,06 [K]$$

- Coeficiente de expansión volumétrica

$$\beta = \frac{1}{T_f}$$

$$\beta = \frac{1}{340,06 [K]}$$

$$\beta = 0,00294 [K^{-1}]$$

- Número de Grashof

$$Gr = \frac{g\beta(T_s - T_{atr})D^3}{\nu^2}$$

$$Gr = \frac{(9,81) \left[ \frac{m}{s^2} \right] \times (0,00294) [K^{-1}] \times (373,86 - 306,27) [K] \times (1,98 [m])^3}{\left( 1,95 \times e^{-5} \left[ \frac{m^2}{s} \right] \right)^2}$$

$$Gr = 3,99 \times e^{10}$$

- Número de Rayleigh

$$Ra = Gr \times Pr$$

$$Ra = (3,99 \times e^{10}) \times (0,7189)$$

$$Ra = 2,87 \times e^{10}$$

- Número de Nusselt

$$Nu = 0,525 \times Ra^{1/4}$$

$$Nu = 0,525 \times (2,87 \times e^{10})^{1/4}$$

$$Nu = 216,06$$

- Coeficiente de transferencia de calor por convección

$$h_{conv} = \frac{Nu \times k}{D} \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$$

$$h_{conv} = \frac{216,06 \times 0,0285 \left[ \frac{W}{m \cdot K} \right]}{1,98 [m]}$$

$$h_{conv} = 3,11 \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$$

D) Cálculo para la sección chimenea.

$$T_s = 425,08 \text{ [K]}$$

$$T_{alr} = 313,76 \text{ [K]}$$

$$g = 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

$$v = 2,26 \times 10^{-5} \text{ [m}^2\text{/s]} @ 369,42 \text{ [K]}$$

$$D = 1,98 \text{ [m]}$$

$$Pr = 0,7118 @ 369,42 \text{ [K]}$$

$$k = 0,0307 \text{ [W/m}\cdot\text{K]} @ 369,42 \text{ [K]}$$

- Temperatura de película

$$T_f = \frac{1}{2}(T_s + T_{alr}) \text{ [K]}$$

$$T_f = \frac{1}{2}(425,08 + 313,76) \text{ [K]}$$

$$T_f = 369,42 \text{ [K]}$$

- Coeficiente de expansión volumétrica

$$\beta = \frac{1}{T_f}$$

$$\beta = \frac{1}{369,42 \text{ [K]}}$$

$$\beta = 0,002706 \text{ [K}^{-1}\text{]}$$

- Número de Grashof

$$Gr = \frac{g\beta(T_s - T_{alr})D^3}{v^2}$$

$$Gr = \frac{(9,81) \left[ \frac{m}{s^2} \right] \times (0,002706) \text{ [K}^{-1}\text{]} \times (425,08 - 313,76) \text{ [K]} \times (0,5 \text{ [m]})^3}{\left( 2,26 \times 10^{-5} \left[ \frac{m^2}{s} \right] \right)^2}$$

$$Gr = 7,19 \times 10^8$$

- Número de Rayleigh

$$Ra = Gr \times Pr$$

$$Ra = (7,19 \times e^8) \times (0,7119)$$

$$Ra = 5,12 \times e^8$$

- Número de Nusselt

$$Nu = 0,525 \times Ra^n$$

$$Nu = 0,525 \times (5,12 \times e^8)^{1/4}$$

$$Nu = 78,96$$

- Coeficiente de transferencia de calor por convección

$$h_{conv} = \frac{Nu \times k}{D} \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$$

$$h_{conv} = \frac{78,96 \times 0,0307 \left[ \frac{W}{m \cdot K} \right]}{0,5 [m]}$$

$$h_{conv} = 4,85 \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$$

## Anexo XVII Cálculos del flujo de calor en la superficie de la caldera

B) Cálculo para la sección cuerpo.

$$h_{\text{rad}} = 6,64 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$$

$$h_{\text{conv}} = 2,09 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$$

$$D = 1,98 \text{ [m]}$$

$$H = 4,36 \text{ [m]}$$

$$T_s = 321,29 \text{ [K]}$$

$$T_{\text{alr}} = 305,34 \text{ [K]}$$

- Coeficiente combinado de transferencia de calor

$$h_{\text{combinado}} = h_{\text{conv}} + h_{\text{rad}} \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$$

$$h_{\text{combinado}} = (6,64 + 2,09) \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$$

$$h_{\text{combinado}} = 8,73 \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$$

- Área superficial de transferencia de calor

$$A_s = \pi \times D \times H \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_s = \pi \times 1,98[m] \times 4,36[m]$$

$$A_s = 27,12 \text{ [m}^2\text{]}$$

- Flujo de calor por convección y radiación en la superficie de la caldera

$$q_{cr} = h_{\text{combinado}} A_s (T_s - T_{\text{alr}}) \text{ [W]}$$

$$q_{cr} = (8,73) \left[ \frac{W}{m^2 K} \right] \times (27,12) \text{ [m}^2\text{]} \times (321,29 - 305,34) \text{ [K]}$$

$$q_{cr} = 3774,27 \text{ [W]} \approx 13587,39 \left[ \frac{kJ}{h} \right]$$

C) Cálculo para la sección tapa posterior.

$$h_{\text{rad}} = 8,56 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$$

$$h_{\text{conv}} = 3,11 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$$

$$D = 1,98 \text{ [m]}$$

$$T_s = 373,86 \text{ [K]}$$

$$T_{alr} = 306,27 \text{ [K]}$$

- Coeficiente combinado de transferencia de calor

$$h_{combinado} = h_{conv} + h_{rad} \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$$

$$h_{combinado} = (8,56 + 3,11) \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$$

$$h_{combinado} = 11,67 \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$$

- Área superficial de transferencia de calor

$$A_s = \pi \times \frac{D^2}{4} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_s = \pi \times \frac{(1,98)^2 \text{ [m}^2\text{]}}{4}$$

$$A_s = 3,08 \text{ [m}^2\text{]}$$

- Flujo de calor por convección y radiación en la superficie de la caldera

$$q_{cr} = h_{combinado} A_s (T_s - T_{alr}) \text{ [W]}$$

$$q_{cr} = (11,67) \left[ \frac{W}{m^2 K} \right] \times (3,08) \text{ [m}^2\text{]} \times (373,86 - 306,27) \text{ [K]}$$

$$q_{cr} = 2429,49 \text{ [W]} \approx 8746,15 \left[ \frac{kJ}{h} \right]$$

D) Cálculo para la sección chimenea.

$$h_{rad} = 11,12 \text{ [W/m}^2\text{·K]}$$

$$h_{conv} = 4,85 \text{ [W/m}^2\text{·K]}$$

$$D = 0,5 \text{ [m]}$$

$$H = 2,35 \text{ [m]}$$

$$T_s = 425,08 \text{ [K]}$$

$$T_{alr} = 313,76 \text{ [K]}$$

- Coeficiente combinado de transferencia de calor

$$h_{combinado} = h_{conv} + h_{rad} \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$$

$$h_{combinado} = (11,12 + 4,85) \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$$

$$h_{combinado} = 15,97 \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$$

- Área superficial de transferencia de calor

$$A_s = \pi \times D \times H [m^2]$$

$$A_s = \pi \times 0,5[m] \times 2,35[m]$$

$$A_s = 3,69 [m^2]$$

- Flujo de calor por convección y radiación en la superficie de la caldera

$$q_{cr} = h_{combinado} A_s (T_s - T_{alr}) [W]$$

$$q_{cr} = (15,97) \left[ \frac{W}{m^2K} \right] \times (3,69) [m^2] \times (425,08 - 313,76)[K]$$

$$q_{cr} = 6563,04 [W] \approx 23626,94 \left[ \frac{kJ}{h} \right]$$

## Anexo XVIII Calculo de pérdidas por radiación y convección

B) Cálculo para la sección tapa frontal.

$$q_{cr} = 13587,39 \text{ [kJ/h]}$$

$$B_c = 95,61 \text{ [kg/h]}$$

$$Q_d = 43120 \text{ [kJ/kg]}$$

- Pérdidas de calor por convección y radiación

$$q'_6 = \frac{q_{cr}}{B_c} \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

$$q'_6 = \frac{(13587,39) \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{h}} \right]}{(95,61) \left[ \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]}$$

$$q'_6 = 142,12 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

- Porcentaje de pérdidas de calor por convección y radiación

$$q_6 = \frac{q'_6}{Q_d} \times 100 \text{ [%]}$$

$$q_6 = \frac{142,12 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]}{43120 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]} \times 100 \text{ [%]}$$

$$q_6 = 0,3296 \text{ [%]}$$

C) Cálculo para la sección cuerpo.

$$q_{cr} = 8746,15 \text{ [kJ/h]}$$

$$B_c = 95,61 \text{ [kg/h]}$$

$$Q_d = 43120 \text{ [kJ/kg]}$$

- Perdidas de calor por convección y radiación

$$q'_6 = \frac{q_{cr}}{B_c} \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

$$q'_6 = \frac{(8746,15) \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{h}} \right]}{(95,61) \left[ \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]}$$

$$q'_6 = 91,48 \left[ \frac{kJ}{kg} \right]$$

- Porcentaje de pérdidas de calor por convección y radiación

$$q_6 = \frac{q'_6}{Q_d} \times 100 \text{ [%]}$$

$$q_6 = \frac{91,48 \left[ \frac{kJ}{kg} \right]}{43120 \left[ \frac{kJ}{kg} \right]} \times 100 \text{ [%]}$$

$$q_6 = 0,2122 \text{ [%]}$$

D) Cálculo para la sección chimenea.

$$q_{cr} = 23626,94 \text{ [kJ/h]}$$

$$B_c = 95,61 \text{ [kg/h]}$$

$$Q_d = 43120 \text{ [kJ/kg]}$$

- Pérdidas de calor por convección y radiación

$$q'_6 = \frac{q_{cr}}{B_c} \left[ \frac{kJ}{kg} \right]$$

$$q'_6 = \frac{(23626,94) \left[ \frac{kJ}{h} \right]}{(95,61) \left[ \frac{kg}{h} \right]}$$

$$q'_6 = 247,13 \left[ \frac{kJ}{kg} \right]$$

- Porcentaje de pérdidas de calor por convección y radiación

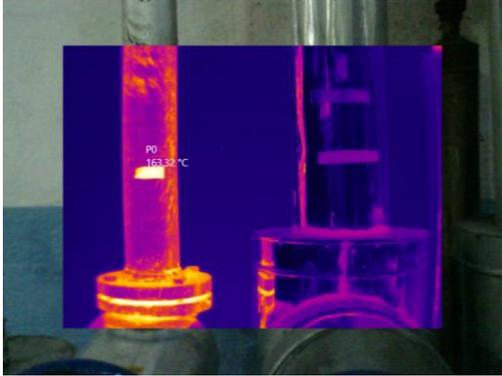
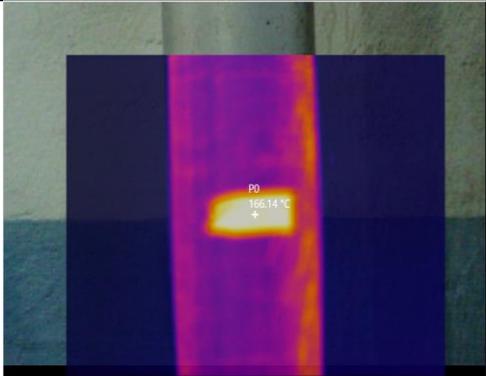
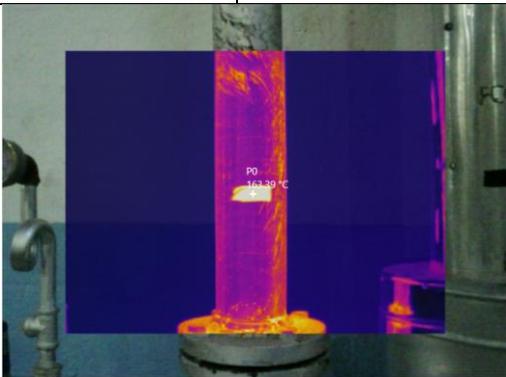
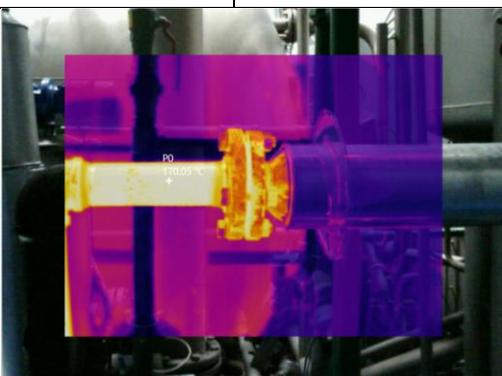
$$q_6 = \frac{q'_6}{Q_d} \times 100 \text{ [%]}$$

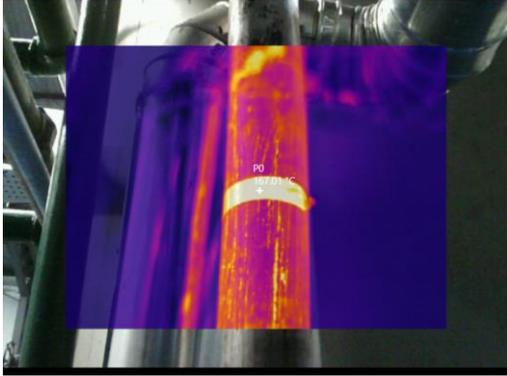
$$q_6 = \frac{247,13 \left[ \frac{kJ}{kg} \right]}{43120 \left[ \frac{kJ}{kg} \right]} \times 100 \text{ [%]}$$

$$q_6 = 0,5731 \text{ [%]}$$

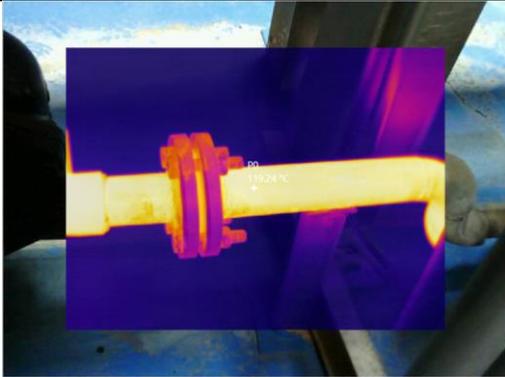
## Anexo XIX Mediciones de temperatura para tuberías sin aislamiento

Tubería de vapor sin aislamiento
----------------------------------

			
Equipo:	MCS 300	Temperatura:	163,32 [°C]
			
Equipo:	MCS 300	Temperatura:	166,14 [°C]
			
Equipo:	MCS 300	Temperatura:	163,39 [°C]
			
Equipo:	iMaster	Temperatura:	170,05 [°C]

			
Equipo:	TRD 4	Temperatura:	167,01 [°C]

Tubería de condensado sin aislamiento			
			
Equipo:	iMaster	Temperatura:	137,36 [°C]
			
Equipo:	iMaster	Temperatura:	112,55 [°C]
			

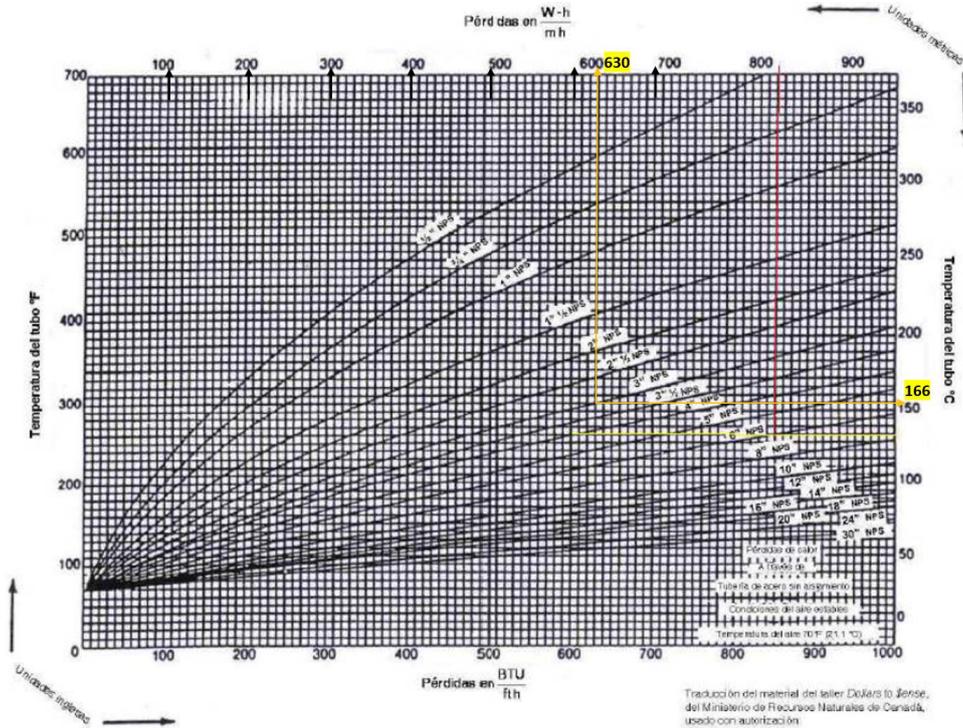
Equipo:	TRD3	Temperatura:	114,6 [°C]
			
Equipo:	TRD4	Temperatura:	119,24 [°C]

## Anexo XX Cálculos de pérdidas de calor por tuberías sin aislamiento

### Tuberías de vapor

Temperatura del tubo = 166 [°C]

NPS = 3 [pulg]



Pérdidas de calor para tuberías de acero, vapor, sin aislante  
(Fuente: [20])

$$F_{\text{perdidas}} = 630 \text{ [W/m]}$$

#### B) Cálculo para la máquina MCS 300

$$L_{\text{sin aislamiento}} = 9,2 \text{ [m]}$$

$$Q_{\text{sin aislamiento}} = F_{\text{perdidas}} \times L_{\text{sin aislamiento}} \text{ [W]}$$

$$Q_{\text{sin aislamiento}} = 630 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}} \right] \times 9,2 \text{ [m]}$$

$$Q_{\text{sin aislamiento}} = 5796 \text{ [W]} \approx 5,796 \text{ [kW]}$$

#### C) Cálculo para la máquina iMaster

$$L_{\text{sin aislamiento}} = 1,42 \text{ [m]}$$

$$Q_{\text{sin aislamiento}} = F_{\text{perdidas}} \times L_{\text{sin aislamiento}} \text{ [W]}$$

$$Q_{\text{sin aislamiento}} = 630 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}} \right] \times 1,42 \text{ [m]}$$

$$Q_{\text{sin aislamiento}} = 894,6[\text{W}] \approx 0,8946 [\text{kW}]$$

D) Cálculo para la máquina TRD1

$$L_{\text{sin aislamiento}} = 1,5 [\text{m}]$$

$$Q_{\text{sin aislamiento}} = F_{\text{perdidas}} \times L_{\text{sin aislamiento}}[\text{W}]$$

$$Q_{\text{sin aislamiento}} = 630 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}} \right] \times 1,5[\text{m}]$$

$$Q_{\text{sin aislamiento}} = 945 [\text{W}] \approx 0,945 [\text{kW}]$$

E) Cálculo para la máquina TRD3

$$L_{\text{sin aislamiento}} = 1,05 [\text{m}]$$

$$Q_{\text{sin aislamiento}} = F_{\text{perdidas}} \times L_{\text{sin aislamiento}}[\text{W}]$$

$$Q_{\text{sin aislamiento}} = 630 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}} \right] \times 1,05[\text{m}]$$

$$Q_{\text{sin aislamiento}} = 661,5 [\text{W}] \approx 0,6615 [\text{kW}]$$

F) Cálculo para la máquina TRD4

$$L_{\text{sin aislamiento}} = 2,2 [\text{m}]$$

$$Q_{\text{sin aislamiento}} = F_{\text{perdidas}} \times L_{\text{sin aislamiento}}[\text{W}]$$

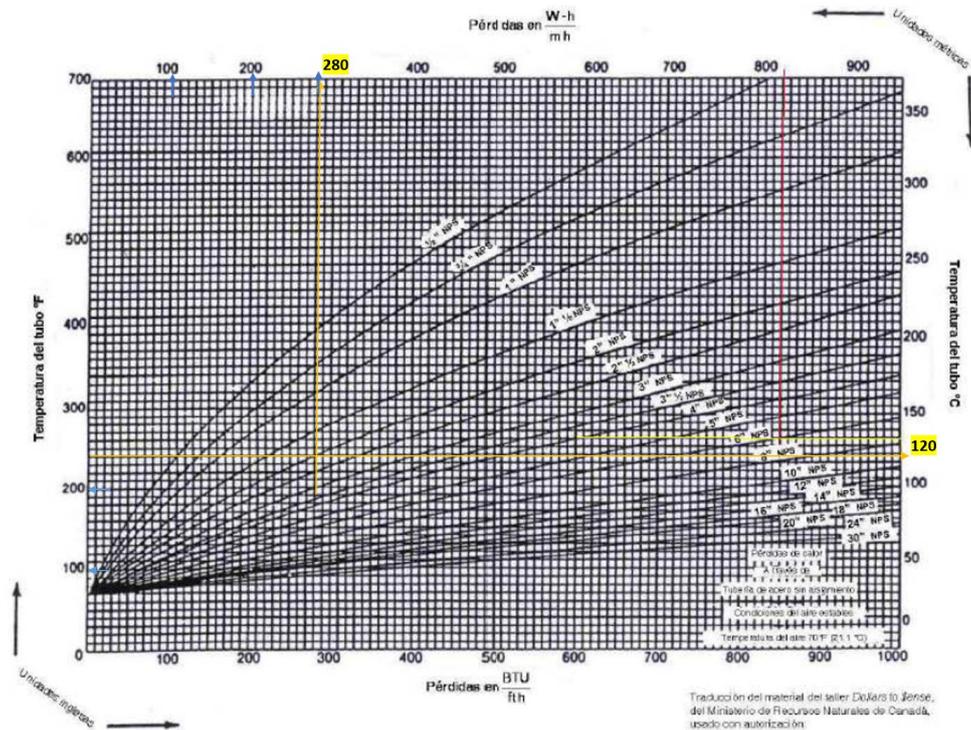
$$Q_{\text{sin aislamiento}} = 630 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}} \right] \times 2,2[\text{m}]$$

$$Q_{\text{sin aislamiento}} = 1386 [\text{W}] \approx 1,386 [\text{kW}]$$

Tuberías de condensado

Temperatura del tubo = 120 [°C]

NPS = 2 [pulg]



Pérdidas de calor para tuberías de acero, vapor, sin aislante  
(Fuente: [20])

$$F_{\text{perdidas}} = 280 \text{ [W/m]}$$

A) Cálculo para la máquina MCS 300

$$L_{\text{sin aislamiento}} = 11,05 \text{ [m]}$$

$$Q_{\text{sin aislamiento}} = F_{\text{perdidas}} \times L_{\text{sin aislamiento}} \text{ [W]}$$

$$Q_{\text{sin aislamiento}} = 280 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}} \right] \times 11,05 \text{ [m]}$$

$$Q_{\text{sin aislamiento}} = 3094 \text{ [W]} \approx 3,094 \text{ [kW]}$$

B) Cálculo para la máquina IMASTER

$$L_{\text{sin aislamiento}} = 1 \text{ [m]}$$

$$Q_{\text{sin aislamiento}} = F_{\text{perdidas}} \times L_{\text{sin aislamiento}} \text{ [W]}$$

$$Q_{\text{sin aislamiento}} = 280 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}} \right] \times 1 \text{ [m]}$$

$$Q_{\text{sin aislamiento}} = 280 \text{ [W]} \approx 0,28 \text{ [kW]}$$

C) Cálculo para la máquina TRD1

$$L_{\text{sin aislamiento}} = 4,7 \text{ [m]}$$

$$Q_{\text{sin aislamiento}} = F_{\text{perdidas}} \times L_{\text{sin aislamiento}} [\text{W}]$$

$$Q_{\text{sin aislamiento}} = 280 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}} \right] \times 4,7 [\text{m}]$$

$$Q_{\text{sin aislamiento}} = 1316 [\text{W}] \approx 1,316 [\text{kW}]$$

D) Cálculo para la máquina TRD3

$$L_{\text{sin aislamiento}} = 6,3 [\text{m}]$$

$$Q_{\text{sin aislamiento}} = F_{\text{perdidas}} \times L_{\text{sin aislamiento}} [\text{W}]$$

$$Q_{\text{sin aislamiento}} = 280 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}} \right] \times 6,3 [\text{m}]$$

$$Q_{\text{sin aislamiento}} = 1764 [\text{W}] \approx 1,764 [\text{kW}]$$

E) Cálculo para la máquina TRD3

$$L_{\text{sin aislamiento}} = 1,35 [\text{m}]$$

$$Q_{\text{sin aislamiento}} = F_{\text{perdidas}} \times L_{\text{sin aislamiento}} [\text{W}]$$

$$Q_{\text{sin aislamiento}} = 280 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}} \right] \times 1,35 [\text{m}]$$

$$Q_{\text{sin aislamiento}} = 378 [\text{W}] \approx 0,378 [\text{kW}]$$

## Anexo XXI Calculo de pérdidas de calor por tuberías sin aislamiento por resistencias termicas

### Perdidas de calor en las tuberías de vapor sin aislante

Equipo	Área superficial interior [m <sup>2</sup> ]	Área superficial exterior [m <sup>2</sup> ]	Resistencia 1 [k/W]	Resistencia 2 [k/W]	Coefficiente radiación [W/m <sup>2</sup> K]	Coefficiente de convección [W/m <sup>2</sup> K]	Coefficiente total [W/m <sup>2</sup> K]	Resistencia 3 [k/W]	Resistencia total [k/W]	Pérdidas térmicas [W]
MCS 180	11,1258	12,6936	2,92E-04	9,19E-06	9,8914	5	14,89	0,00529	0,005592	27165,36
MCS 300	2,2521	2,5694	1,44E-03	4,54E-05	9,8914	5	14,89	0,02614	0,027626	5498,81
IMASTER	0,3476	0,3965	9,36E-03	2,94E-04	9,8914	5	14,89	0,16933	0,178986	848,73
TRD 1	0,3671	0,4189	8,86E-03	2,78E-04	9,8914	5	14,89	0,16030	0,169440	896,54
TRD 3	0,257	0,2932	1,26E-02	3,98E-04	9,8914	5	14,89	0,22899	0,242057	627,58
TRD 4	0,5385	0,6144	6,04E-03	1,89E-04	9,8914	5	14,89	0,10929	0,115527	1314,93

(Fuente: Propia)

### Porcentaje de error entre la perdida de calor tabuladas y calculadas

Equipo	Pérdidas Tabulado [W]	Pérdidas Calculadas [W]	Error [%]
MCS 180	28633,5	27165,36	5,4
MCS 300	5796	5498,81	5,4
IMASTER	894,6	848,73	5,4
TRD 1	945	896,54	5,4
TRD 3	661,5	627,58	5,4
TRD 4	1386	1314,93	5,4

(Fuente: Propia)

## Anexo XXII Pérdidas de calor en las trampas de vapor

P: 9,33 [bar]

T: 135 [°C]

B) Trampa de vapor 6 y 26.

D: 25,4 [mm]

- Flujo de calor

$$W_{vf} = \frac{\left(\frac{0,8 \times 0,4118 \times \pi}{4}\right) \times \left(\frac{D}{25,4}\right)^2 \times (P \times 14,502) \times 0,4536}{[1,8 \times (T + 273,15)]^{0,5}} \left[\frac{kg}{s}\right]$$

$$W_{vf} = \frac{\left(\frac{0,8 \times 0,4118 \times \pi}{4}\right) \times \left(\frac{25,4}{25,4}\right)^2 \times (9,33 \times 14,502) \times 0,4536}{[1,8 \times (135 + 273,15)]^{0,5}} \left[\frac{kg}{s}\right]$$

$$W_{vf} = 0,5858 \left[\frac{kg}{s}\right] \approx 2109,1387 \left[\frac{kg}{h}\right]$$

- Calor perdido en la trampa de vapor

$W_{vf}$ : 0,5858 [kg/s]

$h_v$ : 2774,47 @135,37 psia [kJ/kg]

$h_{aa}$ : 126,59 @30°C [kJ/kg]

$$Q_{vf} = W_{vf} \times (h_v - h_{aa}) [W]$$

$$Q_{vf} = 0,5858 \left[\frac{kg}{s}\right] \times (2774,47 - 126,59) \left[\frac{kJ}{kg}\right]$$

$$Q_{vf} = 1,5513 [kW]$$

C) Trampa de vapor 13

D: 12,7 [mm]

- Flujo de calor

$$W_{vf} = \frac{\left(\frac{0,8 \times 0,4118 \times \pi}{4}\right) \times \left(\frac{D}{25,4}\right)^2 \times (P \times 14,502) \times 0,4536}{[1,8 \times (T + 273,15)]^{0,5}} \left[\frac{kg}{s}\right]$$

$$W_{vf} = \frac{\left(\frac{0,8 \times 0,4118 \times \pi}{4}\right) \times \left(\frac{12,7}{25,4}\right)^2 \times (9,33 \times 14,502) \times 0,4536}{[1,8 \times (135 + 273,15)]^{0,5}} \left[\frac{kg}{s}\right]$$

$$W_{vf} = 0,1464 \left[\frac{kg}{s}\right] \approx 527,2846 \left[\frac{kg}{h}\right]$$

- Calor perdido en la trampa de vapor

$$W_{vf}: 0,1464 \text{ [kg/s]}$$

$$h_v: 2774,47 \text{ @ } 135,37 \text{ psia [kJ/kg]}$$

$$h_{aa}: 126,59 \text{ @ } 30^\circ\text{C [kJ/kg]}$$

$$Q_{vf} = W_{vf} \times (h_v - h_{aa})[\text{W}]$$

$$Q_{vf} = 0,1464 \left[\frac{kg}{s}\right] \times (2774,47 - 126,59) \left[\frac{kJ}{kg}\right]$$

$$Q_{vf} = 0,3878 \text{ [kW]}$$

**Anexo XXIII Tablas para determinar el flujo de condensado de cada trampa.**

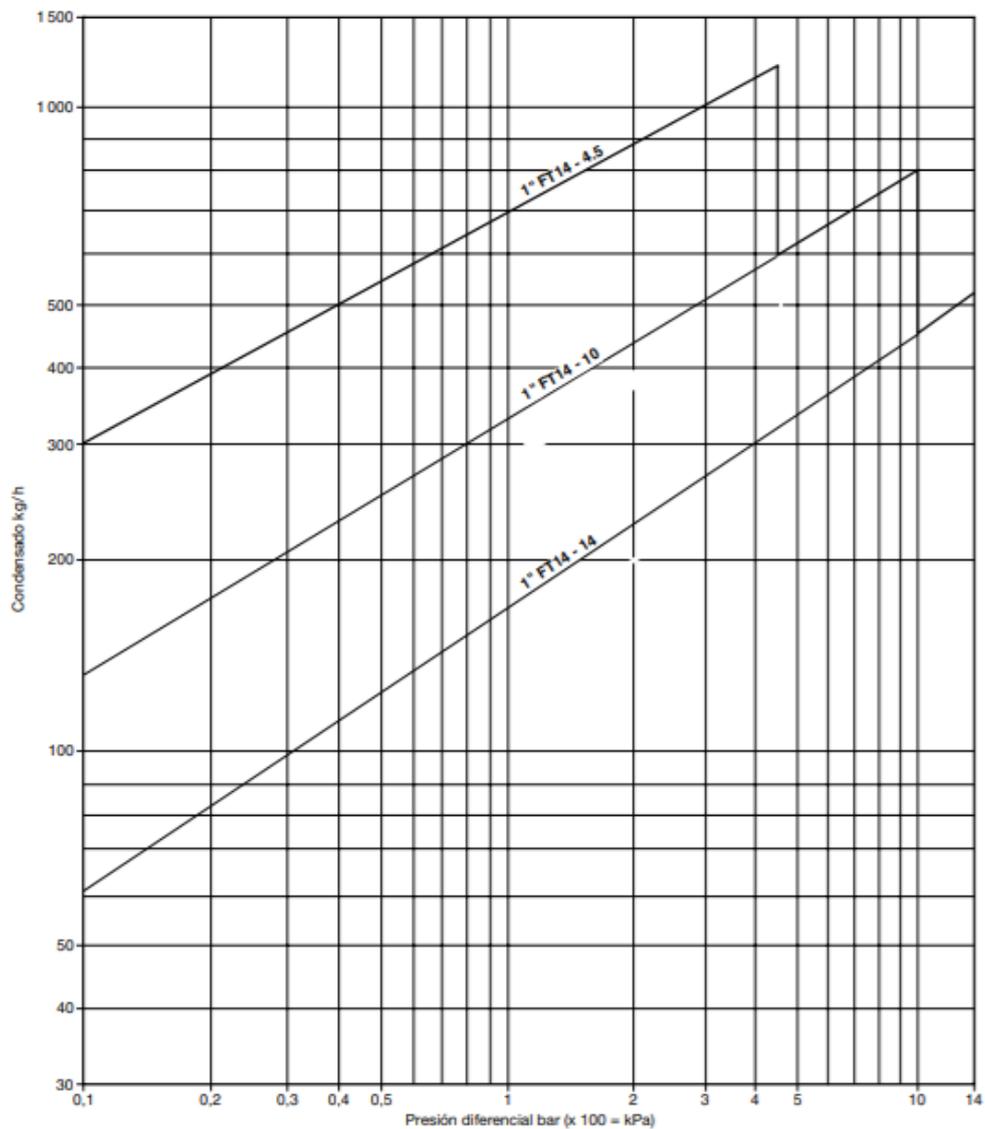
Modelo de trampa	FLT17HC-10/DN-25/1"			
Código Trampa	Presión ingreso [bar]	Presión descarga [bar]	Presión Diferencial [bar]	Condensado nominal [kg/h]
T1	7	0,5	6,5	1250
T7	7	0,5	6,5	1250
T9	7	0,5	6,5	1250
T14	7	0,5	6,5	1250
T20	7	0,5	6,5	1250
T21	7	0,5	6,5	1250
T23	7	0,5	6,5	1250
T25	8,1	0,5	8,5	1350

**FLOW RATE CAPACITY IN Kg/h**

MODEL	SIZE	DIFFERENTIAL PRESSURE (bar)												
		0.5	1	1.5	2	3	4.5	6	7	8	9	10	12	14
FLT17HC-4.5	1"	900	1250	1450	1700	2010	2400							
FLT17HC-10	1"	390	550	675	790	900	1000	1200	1300	1400	1500	1590		
FLT17HC-14	1"	250	350	430	500	590	680	800	850	900	950	1000	1000	1150

Modelo de trampa	FT14-10/PN-16/1"			
Código Trampa	Presión ingreso [bar]	Presión descarga [bar]	Presión Diferencial [bar]	Condensado nominal [kg/h]
T2	8,6	0,5	8,1	750
T3	8,6	0,5	8,1	750
T4	8,6	0,5	8,1	750
T5	8,6	0,5	8,1	750
T6	8,6	0,5	8,1	750
T8	8,6	0,5	8,1	750

**Capacidades FT14AC**



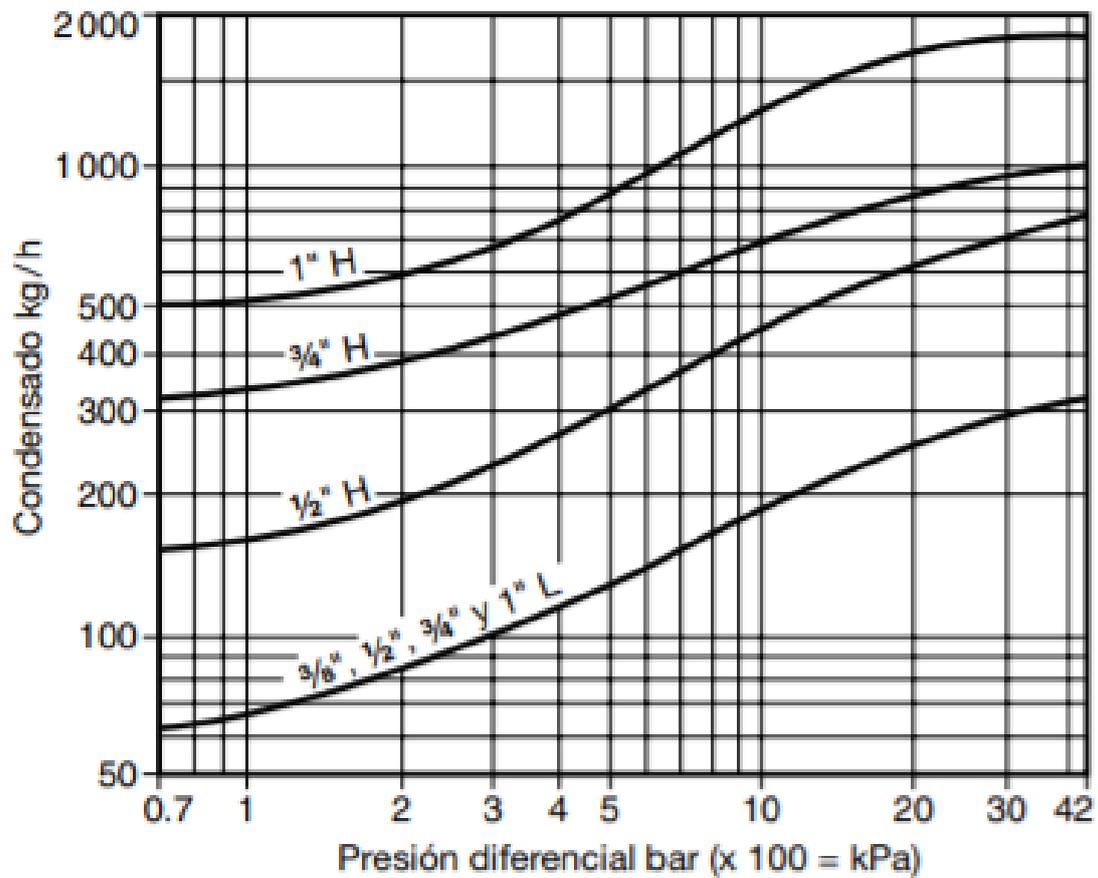
Modelo de trampa	PENNANT PT22 / 1/2"				
Código Trampa	Presión ingreso [psi]	Presión descarga [psi]	Presión Diferencial [psi]	Condensado nominal [lbs/h]	Condensado nominal [kg/h]
T10	125	7,25	117,75	650	295
T15	125	7,25	117,75	650	295

#### TRAP DISCHARGE CAPACITY IN lbs/hr

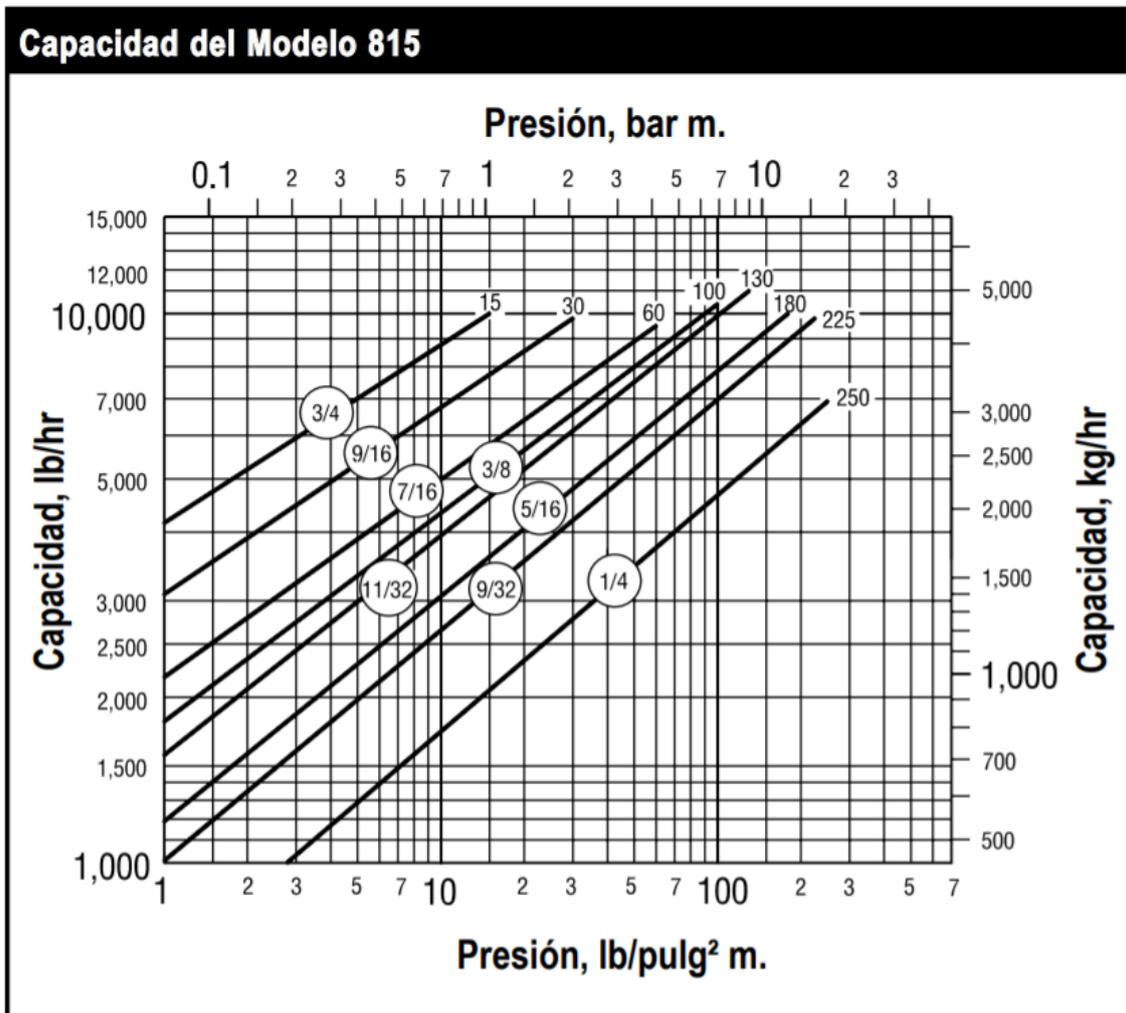
MODEL	TRAP SIZE	ORIFICE SIZE	DIFFERENTIAL PRESSURE (psi)										
			7	14	30	43	57	70	85	100	125	142	150
PT22	1/2" 3/4"	3/32"	90	175	275	310	400	420	465	500	540	575	585
		7/64"	145	255	400	475	550	585	620	640	660	-	-
		1/8"	245	355	465	550	620	-	-	-	-	-	-

Modelo de trampa	SPIRAX SARCO / TD42H / 1/2"			
Código Trampa	Presión ingreso [bar]	Presión descarga [psi]	Presión Diferencial [psi]	Condensado nominal [kg/h]
T11	8,6	0,5	8,1	400
T13	8,6	0,5	8,1	400
T17	8,6	0,5	8,1	400

## Capacidades



Modelo de trampa	AMSTRONG 815			
Código Trampa	Presión ingreso [bar]	Presión descarga [psi]	Presión Diferencial [psi]	Condensado nominal [kg/h]
T12	8,6	0,5	8,1	2250
T16	8,6	0,5	8,1	2250
T19	8,6	0,5	8,1	2250
T26	8,6	0,5	8,1	2250
T27	8,6	0,5	8,1	2250



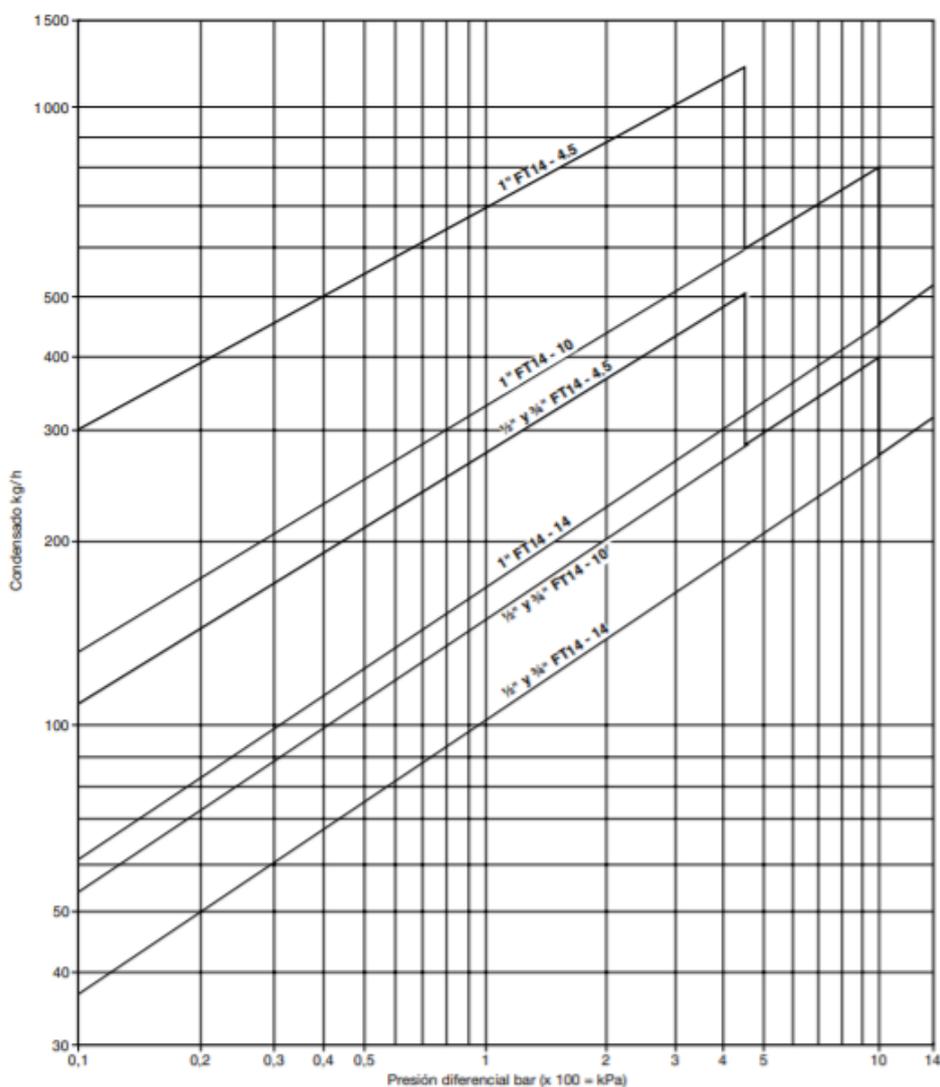
Modelo de trampa	ADCA FLT17			
Código Trampa	Presión ingreso [bar]	Presión descarga [psi]	Presión Diferencial [psi]	Condensado nominal [kg/h]
T18	8,6	0,5	8,1	520

### TASA DE CAUDAL (Kgs/h)

Modelo	Tamaño	Presión diferencial (bar)												
		0,5	1	1,5	2	3	4,5	6	7	8	9	10	12	14
FLT17-4,5	15-25	230	330	400	440	535	630							
FLT17-10	15-25	150	200	250	280	340	400	460	495	520	550	595		
FLT17-14	15-25	120	150	190	220	260	320	380	400	425	440	480	510	550

Modelo de trampa	ADCA FLT17			
Código Trampa	Presión ingreso [bar]	Presión descarga [psi]	Presión Diferencial [psi]	Condensado nominal [kg/h]
T18	7	0,5	6,5	320

#### Capacidades





Anexo XXV Orden de fabricación

	<b>Orden de Fabricación</b>  125631.00	TEXPADILLA CIA. LTDA COLET - Control de Producción 20/09/2021 17:05																									
<b>Prodct.: TCPESMICRPRO PROCESO TINTURA PES MICROFIBRA BLANCO</b>																											
<b>CTD: 287,31 KG Máq.TINTURAR: JET THIES TRD N4 300 KG</b> <span style="float: right;">BLANCO OPTICO.</span>																											
F/Emission:	Color: BLANCO OPTICO	Litros Maq.: 1.436,55																									
Relacion de Baño: 1 Kg p/ 5 L																											
Formula: PAAUXPOLIEST114 - DESCRUDE Y TINTURA POLIESTER BLANCO / TINT BLANCO 003 - OPTICO MICROFIBRA Generación de orden segun estructura de ingeniería de producto (Depto. Producción)																											
Item	Descripción	Piezas	Peso	Costo	Costo Total	Rend.	Long. Total	Long. Cuerda	Vel (3)																		
TCPMSEVILLA75	MICROFIBRA CRUDO SEVILLA 75M-75T	14	287,31	2,40	689,54	0	0	0	0																		
Totals:		14	287,31				0	0	0																		
<b>DESCRUDE POLIESTER</b>																											
Valor	Artículo	Descripción	Costo	Gramos p/ Litro	Costo Total																						
1,2 GR	AUXI0136	DETERGENTE ECOJET	2,65	1.723,9	4,57																						
<b>TINTURA POLIESTER</b>																											
Valor	Artículo	Descripción	Costo	Gramos p/ Litro	Costo Total																						
0,4 GR	AUXI0006	ANTIQUIEBRE AV LUB N10	0,80	574,6	0,46																						
0,25 GR	AUXI0090	DISPERSANTE WWA	2,50	359,1	0,90																						
0,3 GR	AUXI0108	BASE ASUTOL JET	4,07	431	1,75																						
0,5 GR	AUXI0120	SECUESTRANTE SEYQUEST MF02	0,95	718,3	0,68																						
1 GR	AUXI0136	DETERGENTE ECOJET	2,65	1.436,5	3,81																						
0,9 GR	AUXI0143	ACIDULANTE ACID SYQ - 73	0,00	1.292,9	0,00																						
0,21 %	CPDS0001	CECOLITE PRN NEW BLANCO OPTICO POLIESTER	15,09	603,4	9,10																						
<b>JABONADO POSTERIOR TINTURA POLIESTER</b>																											
Valor	Artículo	Descripción	Costo	Gramos p/ Litro	Costo Total																						
0,5 GR	AUXI0120	SECUESTRANTE SEYQUEST MF02	0,95	718,3	0,68																						
Tipo Acción	Recurso	Tiempo Total (hh:mm:ss)	Finalización																								
PLEGADO	TINT.ALTA TEMP.	1:00:01	1600																								
TINTURAR	TINT.ALTA TEMP.	3:25:03																									
HIDROEXPRIMIDO	HIDROEXTRACION	0:40:01																									
SECADO	SECADO	0:40:01																									
PLANCHADO	CALANDRADORAS	1:00:01																									
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2">COSTO MOD</th> <th colspan="2">COSTO CIF</th> <th colspan="3">COSTO AGUA</th> </tr> <tr> <td>Setor</td> <td>Costo</td> <td colspan="2">Costo</td> <td>Litros</td> <td>Costo</td> <td>Total</td> </tr> <tr> <td>Tinturado</td> <td>0</td> <td colspan="2">0</td> <td>4.309,65</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </table>			COSTO MOD		COSTO CIF		COSTO AGUA			Setor	Costo	Costo		Litros	Costo	Total	Tinturado	0	0		4.309,65	0	0	Costo Total: US\$ 711,49 Costo Unitario: US\$ 2,48 Costo Tintura: US\$ 0,08 Costo Colorantes: US\$ 0,03 Costo Auxiliares: US\$ 0,04			
COSTO MOD		COSTO CIF		COSTO AGUA																							
Setor	Costo	Costo		Litros	Costo	Total																					
Tinturado	0	0		4.309,65	0	0																					
Elaborado por: ANA GABRIELA VERA PINSAG Revisado por: 																											

## Anexo XXVI Cálculos de los costos de pérdida de energía

$$T_{HT} = 8304 \text{ [h/año]}$$

$$P_5 = 1,5849e^{-5} \text{ [USD/kJ]}$$

B) Tuberías de vapor sin aislamiento

$$Q_{perdidas} = 137939,76 \text{ [kJ/h]}$$

$$Q_{total} = Q_{perdidas} \times T_{HT} \left[ \frac{kJ}{año} \right]$$

$$Q_{total} = 137939,76 \left[ \frac{kJ}{h} \right] \times 8304 \left[ \frac{h}{año} \right]$$

$$Q_{total} = 1145451767,04 \left[ \frac{kJ}{año} \right]$$

$$Costo_{perdida} = 1145451767,04 \left[ \frac{kJ}{año} \right] \times 1,585 \times 10^{-5} \left[ \frac{USD}{kJ} \right]$$

$$Costo_{perdida} = \$18.154,48 \left[ \frac{USD}{año} \right]$$

C) Tubería de condensado sin aislamiento

$$Q_{perdidas} = 29423,52 \text{ [kJ/h]}$$

$$Q_{total} = Q_{perdidas} \times T_{HT} \left[ \frac{kJ}{año} \right]$$

$$Q_{total} = 29423,52 \left[ \frac{kJ}{h} \right] \times 8304 \left[ \frac{h}{año} \right]$$

$$Q_{total} = 244332910,08 \left[ \frac{kJ}{año} \right]$$

$$Costo_{perdida} = 244332910,08 \left[ \frac{kJ}{año} \right] \times 1,585 \times 10^{-5} \left[ \frac{USD}{kJ} \right]$$

$$Costo_{perdida} = \$3.872,48 \left[ \frac{USD}{año} \right]$$

D) Por fugas de vapor en accesorios

$$Q_{perdidas} = 8305,95 \text{ [kJ/h]}$$

$$Q_{total} = Q_{perdidas} \times T_{HT} \left[ \frac{kJ}{año} \right]$$

$$Q_{total} = 8305,95 \left[ \frac{kJ}{h} \right] \times 8304 \left[ \frac{h}{año} \right]$$

$$Q_{total} = 68972615,57 \left[ \frac{kJ}{año} \right]$$

$$Costo_{perdida} = 68972615,57 \left[ \frac{kJ}{año} \right] \times 1,585 \times 10^{-5} \left[ \frac{USD}{kJ} \right]$$

$$Costo_{perdida} = \$1.093,16 \left[ \frac{USD}{año} \right]$$

E) Por fugas en trampas de vapor

$$Q_{perdidas} = 703730,68 \text{ [kJ/h]}$$

$$Q_{total} = Q_{perdidas} \times T_{HT} \left[ \frac{kJ}{año} \right]$$

$$Q_{total} = 703730,68 \left[ \frac{kJ}{h} \right] \times 8304 \left[ \frac{h}{año} \right]$$

$$Q_{total} = 5843779571,35 \left[ \frac{kJ}{año} \right]$$

$$Costo_{perdida} = 5843779571,35 \left[ \frac{kJ}{año} \right] \times 1,585 \times 10^{-5} \left[ \frac{USD}{kJ} \right]$$

$$Costo_{perdida} = \$92.619,14 \left[ \frac{USD}{año} \right]$$

## Anexo XXVII Catalogo del tanque de alimentación

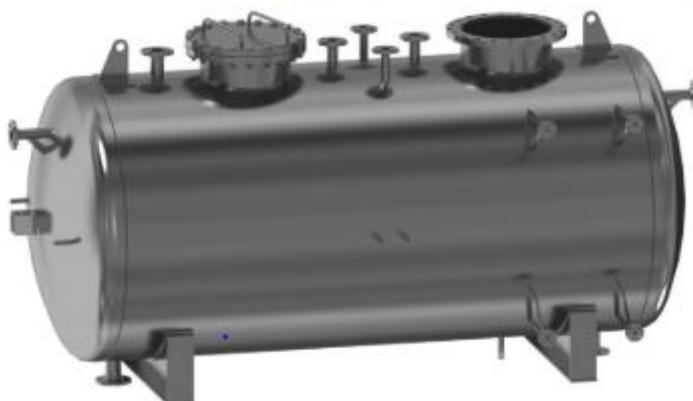


Válvulas de control  
Válvulas industriales  
Válvulas asépticas y sanitarias  
Purgadores y especialidades para vapor  
Inspecciones de instalaciones de vapor



### ESPECIALIDADES PARA VAPOR TANQUE DE ALIMENTACIÓN DE CALDERAS

#### SERIE BFT



El tanque de alimentación de calderas BFT es uno de los dispositivos más importantes en una sala de calderas. Su función principal es almacenar el agua de relleno y el condensado, asegurando una reserva de agua tratada para abastecer las calderas de vapor.

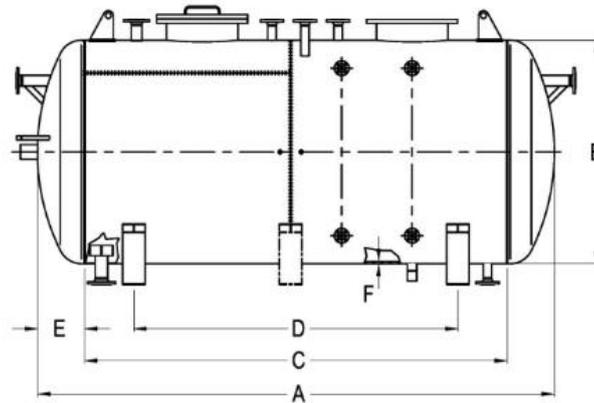
El agua de relleno tiene que ser ablandada para prevenir la formación de incrustaciones en la caldera y también debe ser eliminado el oxígeno de manera que se evite la corrosión en la caldera y en el sistema de vapor (esta situación es normalmente realizada por especialistas).

El consumo de los productos químicos usados para eliminar el oxígeno se puede reducir drásticamente si se utiliza uno de variados los procesos térmicos de desaireación ADCATherm (ADG, TDG, FCD) para la eliminación del oxígeno y otros gases no condensables (principalmente dióxido de carbono).

Incluso si se decide no utilizar uno de los sistemas mencionados, los tanques de alimentación de calderas ADCATherm siempre estarán optimizados de acuerdo a las necesidades existentes, por lo que son capaces de incluir precalentamiento del agua, así como otras características de un auténtico sistema especializado de vapor.

**InstyValve S.L.**  
Parque Industrial Los Llanos C/ Extremadura, 145 41909 Salteras (Sevilla)  
Tfno. 954 711 244 [www.instyvalve.es](http://www.instyvalve.es)

DIMENSIONES (mm)



Modelo	Capacidad	A	B	C	D	E	F	Peso
	Litros*							
BFT-500	537	1800	640	1500	900	150	4	180
BFT-750	856	1860	800	1500	900	180	5	290
BFT-1000	1107	2360	800	2000	1200	180	5	350
BFT-1250	1336	1920	960	1500	900	210	5	360
BFT-1500	1698	2420	960	2000	1200	210	5	410
BFT-2000	2248	2480	1080	2000	1200	240	6	570
BFT-2500	2706	2980	1080	2500	1500	240	6	665
BFT-3000	3068	2560	1280	2000	1200	280	7	795
BFT-3500	3711	3060	1280	2500	1500	280	7	920
BFT-4000	4176	2660	1500	2000	1200	330	8	1160
BFT-5000	5060	3160	1500	2500	1500	330	8	1335
BFT-6000	5943	3660	1500	3000	1800	330	8	1510

\* Aproximado

Conexiones a tubería y localización aprobadas tras confirmación del pedido.  
Consultar para dimensiones certificadas. Dimensiones sujetas a cambios sin previo aviso.

## Anexo XXVIII Costos de fabricación de tanque de agua de alimentación



OFERTA ECONÓMICA  
ANDES-AES-21-OTE-006-0  
TANQUE ATMOSFÉRICO DE ACERO INOXIDABLE 304 DE 724 GL



DATOS ANDESUPPLY S.A., LA CONTRATISTA:			
CONTACTO:	OSWALDO VILLAMARIN	E-MAIL:	<a href="mailto:oswaldo.villamarin@andesupply.com">oswaldo.villamarin@andesupply.com</a>
DIRECCIÓN:	Purumbes S/N y Av. El Inca, Sangolquí-Ecuador	CELULAR:	+593(2) 994728811
TELÉFONO:	+593(2) 3183333		
PÁGINA WEB:	<a href="http://www.andesupply.com">www.andesupply.com</a>		
E-MAIL:	<a href="mailto:info@andesupply.com">info@andesupply.com</a>		

DATOS CLIENTE, LA COMPAÑÍA:			
CLIENTE:	Textil Padilla Cía. Ltda.	E-MAIL:	<a href="mailto:cristian.uvillius@gmail.com">cristian.uvillius@gmail.com</a>
CONTACTO:	Cristian Uvillius	CELULAR:	0968144384
DIRECCIÓN:	Dirección: Av. Puerto Rico 52-16 y Av. Argentina		
TELÉFONO:			
FECHA:	viernes 11 de febrero de 2022		
REFERENCIA:	CAMBIO DE TANQUE DE AGUA DE ALIMENTACIÓN PARA LAS CALDERAS		



AGRADECEMOS SU GENTIL INVITACIÓN AL PRESENTE PROCESO DE LICITACIÓN, NOS COMPLACE PRESENTAR LA SIGUIENTE OFERTA:

### 1.- ANÁLISIS DE PRECIOS

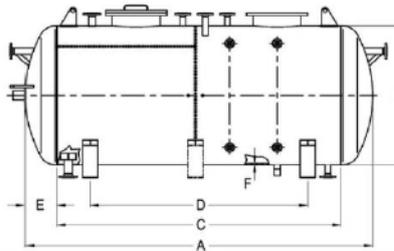
ITEM	DESCRIPCIÓN	NOTAS	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	TANQUE ATMOSFÉRICO DE ACERO INOXIDABLE 304 DE 724 GL		UNIDAD	1	\$ 7.980.00	\$ 7.980.00

SUBTOTAL \$ 7.980.00

IVA [12%] \$ 957.60

TOTAL \$ 8.937.60

### DIMENSIONES (mm)



Modelo	Capacidad Litros	A	B	C	D	E	F	Peso Kg
BFT-500	537	1800	640	1500	900	150	4	180
BFT-750	856	1860	800	1600	900	180	5	290
BFT-1000	1107	2360	800	2000	1200	180	5	350
BFT-1250	1336	1920	960	1500	900	210	5	360
BFT-1500	1698	2420	960	2000	1200	210	5	410
BFT-2000	2248	2480	1080	2000	1200	240	6	570
BFT-2500	2706	2980	1080	2500	1500	240	6	665
BFT-3000	3068	2560	1280	2000	1200	280	7	795
BFT-3500	3711	3080	1280	2500	1500	280	7	920
BFT-4000	4176	2660	1500	2000	1200	330	8	1160
BFT-5000	5060	3160	1500	2500	1500	330	8	1335
BFT-6000	6943	3660	1500	3000	1800	330	8	1510

FIG. No. 1: TANQUE ATMOSFÉRICO DE ACERO INOXIDABLE 304 DE 724 GL

## Anexo XXIX Pérdidas de energía para tuberías sin aislamiento

Para el vapor saturado a una presión de 135 [psia]:

$T_{sat}$ : Temperatura de saturación = 176,91 [°C]

Comparación de pérdida de energía en tuberías de vapor

Ø Nominal del tubo [Pulg]		3				
Temperatura del fluido [°C]		135				
Espesor recomendado del aislante [Pulg]		1 1/2				
Equipo	Sin aislamiento		Con aislamiento		Ahorro de energía [kJ/h]	Ahorro de energía anual [kJ/Año]
	Perdida de calor [kJ/h]	Perdida de calor anual [kJ/Año]	Perdida de calor [kJ/h]	Perdida de calor anual [kJ/Año]		
MCS 180	103080,60	855981302,40	11057,44	91820978,44	92023,16	764160323,96
MCS 300	20865,60	173267942,40	2238,25	18586424,68	18627,35	154681517,72
IMASTER	3220,56	26743530,24	345,47	2868774,24	2875,09	23874756,00
TRD 1	3402,00	28250208,00	364,93	3030395,33	3037,07	25219812,67
TRD 3	2381,40	19775145,60	255,45	2121276,73	2125,95	17653868,87
TRD 4	4989,60	41433638,40	535,23	4444579,81	4454,37	36989058,59
Total	137939,76	1145451767,04	14796,78	122872429,23	123142,98	1022579338

(Fuente: Propia)

Comparación de pérdida de energía en tuberías de condensado

Ø Nominal del tubo [Pulg]		2				
Temperatura del fluido [°C]		120				
Espesor recomendado del aislante [Pulg]		1				
Equipo	Sin aislamiento		Con aislamiento		Ahorro de energía [kJ/h]	Ahorro de energía anual [kJ/Año]
	Perdida de calor [kJ/h]	Perdida de calor anual [kJ/Año]	Perdida de calor [kJ/h]	Perdida de calor anual [kJ/Año]		
MCS 180	4828,32	40094369,28	633,20	5258090,14	4195,12	34836279,14
MCS 300	11138,40	92493273,60	1460,72	12129832,17	9677,68	80363441,43
IMASTER	1008,00	8370432,00	132,19	1097722,37	875,81	7272709,63
TRD 1	4737,60	39341030,40	621,30	5159295,13	4116,30	34181735,27
TRD 3	6350,40	52733721,60	832,81	6915650,92	5517,59	45818070,68
TRD 4	1360,80	11300083,20	178,46	1481925,20	1182,34	9818158,00
Total	29423,52	244332910,08	3858,68	32042515,92	25564,84	212290394,16

(Fuente: Propia)

# Anexo XXX Espesores recomendados de aislante térmico

## Espesores Recomendados Aislamiento para Tubería Fiberglas® Tuberías Calientes Ta= 25 °C (77 °F)<sup>1</sup>

TEMP. OPERACION DIAMETRO NOMINAL DEL TUBO	HASTA 65°C (150°F)						HASTA 121°C (250°F)						HASTA 177°C (350°F)						HASTA 232°C (450°F)									
	E.S.		P.C.		T.S.		E.S.		P.C.		T.S.		E.S.		P.C.		T.S.		E.S.		P.C.		T.S.					
	pulg.	mm	pulg.	mm	W/m	°C	°F	pulg.	mm	W/m	°C	°F	pulg.	mm	W/m	°C	°F	pulg.	mm	W/m	°C	°F	pulg.	mm	W/m	°C	°F	
1/2	12.7	1	25.4	7.44	7.15	28.7	83.6	1	25.4	20.0	19.23	33.8	92.9	1	25.4	36.2	34.80	40	104.0	1	1/2	38.0	45.9	44.13	38.9	102.0		
3/4	19.1	1	25.4	8.95	8.60	29.4	84.9	1	25.4	24.2	23.27	35.4	95.8	1	25.4	43.7	42.01	42.2	108.0	1	1/2	38.0	53.3	51.24	41.1	106.0		
1	25.4	1	25.4	9.28	8.92	28.8	83.9	1	25.4	25.0	24.03	34.2	93.5	1	1/2	38.0	45.2	43.45	40.6	105.0	2	50.8	49.7	47.78	36.4	97.5		
1 1/2	38.0	1	25.4	12.1	11.63	29.3	84.8	1	25.4	32.5	31.24	35.3	95.6	1	1/2	38.0	46.5	44.70	36.8	98.2	2	50.8	57.6	55.37	36.2	97.2		
2	51.0	1	25.4	14.1	13.56	29.5	85.1	1	25.4	38.2	36.72	35.8	96.5	1	1/2	38.0	53.0	50.95	37.1	98.7	2	50.8	70.2	67.49	38.3	101.0		
3	76.0	1	25.4	19.1	18.36	29.9	85.9	1	25.4	51.6	49.61	36.8	98.2	1	1/2	38.0	70.3	67.58	38.3	101.0	2	50.8	91.6	88.06	40.0	104.0		
4	102.0	1	25.4	22.9	22.02	30.3	86.5	1	25.4	62.1	59.70	37.0	98.6	2	50.8	69.7	67.01	35.7	96.2	2	50.8	109.3	105.08	40.5	105.0			
6	152.0	1	25.4	33.9	32.59	30.6	87.1	1	1/2	38.0	66.6	64.03	34.3	93.8	2	50.8	94.4	90.75	36.6	97.8	2	50.8	148.0	142.28	42.2	108.0		
8	203.0	1	25.4	42.3	40.67	30.7	87.3	1	1/2	38.0	80.4	77.29	34.3	93.8	2	50.8	116.0	111.52	37	98.6	2	1/2	63.5	149.0	143.24	38.9	102.0	
10	254.0	1	25.4	54.6	52.49	31.2	88.2	1	1/2	38.0	94.2	90.96	34.2	93.6	2	50.8	137.0	131.71	37.1	98.7	2	1/2	63.5	181.0	174.01	39.4	103.0	
12	304.0	1	1/2	38.0	40.6	39.03	28.9	84.0	1	1/2	38.0	109.0	104.79	34.4	93.9	2	50.8	158.0	151.90	37.3	99.1	2	1/2	63.5	208.0	199.96	40.0	104.0
14	356.0	1	1/2	38.0	46.8	44.99	29.2	84.6	2	50.8	99.0	95.18	32.8	91.0	2	1/2	63.5	149.0	143.24	35.6	96.1	2	1/2	63.5	233.0	224.00	40.6	105.0
16	406.0	1	1/2	38.0	52.8	50.76	29.3	84.7	2	50.8	110.0	105.75	32.9	91.2	2	1/2	63.5	167.0	160.55	35.8	96.4	3	76.0	225.0	216.31	38.3	101.0	
18	457.0	1	1/2	38.0	58.8	56.53	29.1	84.4	2	50.8	124.0	119.21	33.0	91.4	2	1/2	63.5	185.0	177.85	35.9	96.7	3	76.0	249.0	239.38	38.9	102.0	
20	508.0	1	1/2	38.0	64.9	62.39	29.3	84.8	2	50.8	136.0	130.75	33.1	91.5	2	1/2	63.5	203.0	195.16	36.1	96.9	3	76.0	273.0	262.45	38.9	102.0	
24	610.0	1	1/2	38.0	76.9	73.93	29.4	84.9	2	50.8	161.0	154.76	33.2	91.7	2	1/2	63.5	239.0	229.77	36.2	97.2	3	76.0	320.0	307.64	38.9	102.0	
26	660.0	1	1/2	38.0	81.0	77.87	29.3	84.8	2	50.8	170.4	163.82	33.1	91.5	2	1/2	63.5	254.7	244.86	36.2	97.1	3	76.0	340.0	326.87	38.9	102.0	
28	711.0	1	1/2	38.0	86.9	83.54	29.3	84.8	2	50.8	182.5	175.45	33.1	91.6	2	1/2	63.5	271.5	261.01	36.2	97.2	3	76.0	364.0	349.94	38.9	102.0	
30	762.0	2	50.8	73.6	70.76	28.4	83.2	2	1/2	63.5	163.0	156.70	31.8	89.2	3	76.0	250.0	240.34	34.7	94.4	3	1/2	89.0	342.0	328.79	37.4	99.4	

TEMP. OPERACION DIAMETRO NOMINAL DEL TUBO	HASTA 287°C (550°F)						HASTA 343°C (650°F)						HASTA 399°C (750°F)						HASTA 454°C (850°F)									
	E.S.		P.C.		T.S.		E.S.		P.C.		T.S.		E.S.		P.C.		T.S.		E.S.		P.C.		T.S.					
	pulg.	mm	pulg.	mm	W/m	°C	°F	pulg.	mm	W/m	°C	°F	pulg.	mm	W/m	°C	°F	pulg.	mm	W/m	°C	°F	pulg.	mm	W/m	°C	°F	
1/2	12.7	2	50.8	67.0	64.41	44.4	112.0	2	50.8	82.2	79.02	44.4	112.0	2	50.8	110.0	105.75	50	122.0	2	1/2	63.5	126.0	121.13	47.2	117.0		
3/4	19.1	2	50.8	77.7	74.70	47.2	117.0	2	50.8	93.6	89.98	46.7	116.0	2	50.8	126.0	121.13	52.8	127.0	2	1/2	63.5	140.0	134.59	49.4	121.0		
1	25.4	2	50.8	72.5	69.70	44.1	108.0	2	50.8	100.7	96.81	46.1	115.0	2	1/2	63.5	122.0	117.29	46.7	116.0	3	76.0	147.0	141.32	47.8	118.0		
1 1/2	38.0	2	50.8	83.9	80.66	40.6	105.0	2	50.8	116.6	112.10	45.6	114.0	2	1/2	63.5	142.0	136.51	46.7	116.0	3	76.0	171.0	164.39	48.3	119.0		
2	51.0	2	50.8	102.0	98.06	43.3	110.0	2	1/2	63.5	142.1	136.61	49.4	121.0	2	1/2	63.5	169.0	162.47	50.6	123.0	3	76.0	201.0	193.23	51.7	125.0	
3	76.0	2	50.8	134.0	128.82	45.6	114.0	2	1/2	63.5	161.5	155.26	47.2	117.0	3	76.0	194.0	186.51	48.3	119.0	3	1/2	89.0	230.0	221.11	50.0	122.0	
4	102.0	2	50.8	159.4	153.24	46.7	116.0	2	1/2	63.5	191.1	183.72	46.3	119.0	3	76.0	225.0	216.31	49.4	121.0	3	1/2	89.0	268.0	257.65	51.1	124.0	
6	152.0	2	1/2	63.5	184.0	176.89	43.9	111.0	3	76.0	224.4	215.73	46.1	115.0	3	76.0	302.0	290.33	52.2	126.0	3	1/2	89.0	346.0	332.63	53.3	128.0	
8	203.0	2	1/2	63.5	217.0	208.62	43.9	111.0	3	76.0	164.7	158.34	46.1	115.0	3	1/2	89.0	319.0	306.88	66.7	120.0	4	102.0	382.0	367.24	51.1	124.0	
10	254.0	2	1/2	63.5	264.0	253.80	45.0	113.0	3	76.0	319.5	307.16	47.8	118.0	3	1/2	89.0	383.0	368.20	50	122.0	4	102.0	454.0	436.46	52.8	127.0	
12	304.0	2	1/2	63.5	304.0	292.26	45.6	114.0	3	76.0	366.6	352.44	48.3	119.0	3	1/2	89.0	438.0	421.08	50.6	123.0	4	102.0	518.0	497.96	53.3	128.0	
14	356.0	3	76.0	293.0	281.68	43.3	110.0	3	76.0	406.8	391.08	49.4	121.0	3	1/2	89.0	483.0	464.34	51.7	125.0	4	102.0	555.0	533.56	53.9	129.0		
16	406.0	3	76.0	328.0	315.33	43.9	111.0	3	1/2	89.0	401.1	385.80	46.1	115.0	4	102.0	472.0	453.77	48.3	119.0	4	1/2	114.3	578.0	555.67	52.2	126.0	
18	457.0	3	76.0	362.0	348.02	43.9	111.0	3	1/2	89.0	443.0	425.89	46.7	116.0	4	102.0	520.0	499.91	48.9	120.0	4	1/2	114.3	636.0	611.43	52.8	127.0	
20	508.0	3	1/2	89.0	349.0	335.52	41.7	107.0	3	1/2	89.0	484.7	465.98	47.2	117.0	4	102.0	568.0	546.06	48.9	120.0	4	1/2	114.3	694.0	667.19	53.3	128.0
24	610.0	3	1/2	89.0	409.0	393.20	41.7	107.0	4	102.0	494.4	475.30	44.4	112.0	4	102.0	664.0	638.35	50.6	122.0	4	1/2	114.3	810.0	778.71	53.9	129.0	
26	660.0	3	1/2	89.0	434.0	417.23	41.7	107.0	4	102.0	538.9	518.08	42.8	109.0	4	102.0	724.0	696.03	50.6	123.0	4	1/2	114.3	858.0	824.85	53.9	129.0	
28	711.0	3	1/2	89.0	464.0	446.07	42.2	108.0	4	102.0	575.9	552.88	45.0	113.0	4	102.0	773.0	743.14	50.6	123.0	4	1/2	114.3	915.0	879.65	53.9	129.0	
30	762.0	4	102.0	432.0	415.31	40.0	104.0	4	1/2	114.3	559.0	537.40	43.3	110.0	4	1/2	114.3	751.00	721.99	48.3	119.0	5	127.0	897.0	862.35	51.7	125.0	

E.R.: ESPESOR RECOMENDADO  
T.S.: TEMPERATURA DE SUPERFICIE APROXIMADA

P.C.: PÉRDIDA DE CALOR  
Ta.: TEMPERATURA AMBIENTE

<sup>1</sup> Estos valores son una referencia para cálculos específicos con los valores indicados. Para mayor información, favor de consultar a su representante de ventas, que con gusto responderá a todas sus preguntas.



## Anexo XXXI Factor de emisión por defecto de un gas de efecto invernadero

<b>CUADRO 2.3</b>										
<b>FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO PARA LA COMBUSTIÓN ESTACIONARIA EN LAS INDUSTRIAS MANUFACTURERAS Y DE LA CONSTRUCCIÓN (kg de gas de efecto invernadero por TJ sobre una base calórica neta)</b>										
Combustible	CO <sub>2</sub>			CH <sub>4</sub>			N <sub>2</sub> O			
	Factor de emisión por defecto	Inferior	Superior	Factor de emisión por defecto	Inferior	Superior	Factor de emisión por defecto	Inferior	Superior	
Petróleo crudo	r73 300	71 100	75 500	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Orimulsión	r77 000	69 300	85 400	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Gas natural licuado	r64 200	58 300	70 400	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Gasolina	Gasolina para motores	r69 300	67 500	73 000	r 3	1	10	0,6	0,2	2
	Gasolina para la aviación	r 70 000	67 500	73 000	r 3	1	10	0,6	0,2	2
	Gasolina para motor a reacción	r70 000	67 500	73 000	r 3	1	10	0,6	0,2	2
Queroseno para motor a reacción	r71 500	69 700	74 400	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Otro queroseno	71 900	70 800	73 700	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Esquisto bituminoso	73 300	67 800	79 200	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Gas/Diesel Oil	74 100	72 600	74 800	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Fuelóleo residual	77 400	75 500	78 800	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Gases licuados de petróleo	63 100	61 600	65 600	r 1	0,3	3	0,1	0,03	0,3	
Etano	61 600	56 500	68 600	r 1	0,3	3	0,1	0,03	0,3	
Nafta	73 300	69 300	76 300	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Bitumen	80 700	73 000	89 900	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Lubricantes	73 300	71 900	75 200	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Coque de petróleo	r97 500	82 900	115000	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Alimentación a procesos de refinarias	73 300	68 900	76 600	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Otros petróleo	Gas de refinería	n57 600	48 200	69 000	r 1	0,3	3	0,1	0,03	0,3
	Ceras de parafina	73 300	72 200	74 400	r 3	1	10	0,6	0,2	2
	Espiritu blanco y SBP	73 300	72 200	74 400	r 3	1	10	0,6	0,2	2
	Otros productos del petróleo	73 300	72 200	74 400	r 3	1	10	0,6	0,2	2
Antracita	98 300	94 600	101000	10	3	30	r 1,5	0,5	5	
Carbón de coque	94 600	87 300	101000	10	3	30	r 1,5	0,5	5	
Otro carbón bituminoso	94 600	89 500	99 700	10	3	30	r 1,5	0,5	5	
Carbón sub-bituminoso	96 100	92 800	100 000	10	3	30	r 1,5	0,5	5	
Lignito	101 000	90 900	115 000	10	3	30	r 1,5	0,5	5	
Esquisto bituminoso y alquitrán	107 000	90 200	125 000	10	3	30	r 1,5	0,5	5	
Briquetas de carbón de lignito	n 97 500	87 300	109 000	n 10	3	30	r 1,5	0,5	5	
Combustible evidente	97 500	87 300	109 000	10	3	30	r 1,5	0,5	5	
Coque	Coque para horno de coque y coque de lignito	r107 000	95 700	119 000	10	3	30	r 1,5	0,5	5
	Coque de gas	r107 000	95 700	119 000	r 1	0,3	3	0,1	0,03	0,3

(Fuente: [37])

## Anexo XXXII Propiedades del aire a la presión de 1 atm

884  
APÉNDICE 1

**TABLA A-15**

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., $T, ^\circ\text{C}$	Densidad, $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor específico, $c_p, \text{J/kg} \cdot \text{K}$	Conductividad térmica, $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Difusividad térmica, $\alpha, \text{m}^2/\text{s}^2$	Viscosidad dinámica, $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática, $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	$4.158 \times 10^{-6}$	$8.636 \times 10^{-6}$	$3.013 \times 10^{-6}$	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	$8.036 \times 10^{-6}$	$1.189 \times 10^{-5}$	$5.837 \times 10^{-6}$	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	$1.252 \times 10^{-5}$	$1.474 \times 10^{-5}$	$9.319 \times 10^{-6}$	0.7440
-40	1.514	1 002	0.02057	$1.356 \times 10^{-5}$	$1.527 \times 10^{-5}$	$1.008 \times 10^{-5}$	0.7436
-30	1.451	1 004	0.02134	$1.465 \times 10^{-5}$	$1.579 \times 10^{-5}$	$1.087 \times 10^{-5}$	0.7425
-20	1.394	1 005	0.02211	$1.578 \times 10^{-5}$	$1.630 \times 10^{-5}$	$1.169 \times 10^{-5}$	0.7408
-10	1.341	1 006	0.02288	$1.696 \times 10^{-5}$	$1.680 \times 10^{-5}$	$1.252 \times 10^{-5}$	0.7387
0	1.292	1 006	0.02364	$1.818 \times 10^{-5}$	$1.729 \times 10^{-5}$	$1.338 \times 10^{-5}$	0.7362
5	1.269	1 006	0.02401	$1.880 \times 10^{-5}$	$1.754 \times 10^{-5}$	$1.382 \times 10^{-5}$	0.7350
10	1.246	1 006	0.02439	$1.944 \times 10^{-5}$	$1.778 \times 10^{-5}$	$1.426 \times 10^{-5}$	0.7336
15	1.225	1 007	0.02476	$2.009 \times 10^{-5}$	$1.802 \times 10^{-5}$	$1.470 \times 10^{-5}$	0.7323
20	1.204	1 007	0.02514	$2.074 \times 10^{-5}$	$1.825 \times 10^{-5}$	$1.516 \times 10^{-5}$	0.7309
25	1.184	1 007	0.02551	$2.141 \times 10^{-5}$	$1.849 \times 10^{-5}$	$1.562 \times 10^{-5}$	0.7296
30	1.164	1 007	0.02588	$2.208 \times 10^{-5}$	$1.872 \times 10^{-5}$	$1.608 \times 10^{-5}$	0.7282
35	1.145	1 007	0.02625	$2.277 \times 10^{-5}$	$1.895 \times 10^{-5}$	$1.655 \times 10^{-5}$	0.7268
40	1.127	1 007	0.02662	$2.346 \times 10^{-5}$	$1.918 \times 10^{-5}$	$1.702 \times 10^{-5}$	0.7255
45	1.109	1 007	0.02699	$2.416 \times 10^{-5}$	$1.941 \times 10^{-5}$	$1.750 \times 10^{-5}$	0.7241
50	1.092	1 007	0.02735	$2.487 \times 10^{-5}$	$1.963 \times 10^{-5}$	$1.798 \times 10^{-5}$	0.7228
60	1.059	1 007	0.02808	$2.632 \times 10^{-5}$	$2.008 \times 10^{-5}$	$1.896 \times 10^{-5}$	0.7202
70	1.028	1 007	0.02881	$2.780 \times 10^{-5}$	$2.052 \times 10^{-5}$	$1.995 \times 10^{-5}$	0.7177
80	0.9994	1 008	0.02953	$2.931 \times 10^{-5}$	$2.096 \times 10^{-5}$	$2.097 \times 10^{-5}$	0.7154
90	0.9718	1 008	0.03024	$3.086 \times 10^{-5}$	$2.139 \times 10^{-5}$	$2.201 \times 10^{-5}$	0.7132
100	0.9458	1 009	0.03095	$3.243 \times 10^{-5}$	$2.181 \times 10^{-5}$	$2.306 \times 10^{-5}$	0.7111
120	0.8977	1 011	0.03235	$3.565 \times 10^{-5}$	$2.264 \times 10^{-5}$	$2.522 \times 10^{-5}$	0.7073
140	0.8542	1 013	0.03374	$3.898 \times 10^{-5}$	$2.345 \times 10^{-5}$	$2.745 \times 10^{-5}$	0.7041
160	0.8148	1 016	0.03511	$4.241 \times 10^{-5}$	$2.420 \times 10^{-5}$	$2.975 \times 10^{-5}$	0.7014
180	0.7788	1 019	0.03646	$4.593 \times 10^{-5}$	$2.504 \times 10^{-5}$	$3.212 \times 10^{-5}$	0.6992
200	0.7459	1 023	0.03779	$4.954 \times 10^{-5}$	$2.577 \times 10^{-5}$	$3.455 \times 10^{-5}$	0.6974
250	0.6746	1 033	0.04104	$5.890 \times 10^{-5}$	$2.760 \times 10^{-5}$	$4.091 \times 10^{-5}$	0.6946
300	0.6158	1 044	0.04418	$6.871 \times 10^{-5}$	$2.934 \times 10^{-5}$	$4.765 \times 10^{-5}$	0.6935
350	0.5664	1 056	0.04721	$7.892 \times 10^{-5}$	$3.101 \times 10^{-5}$	$5.475 \times 10^{-5}$	0.6937
400	0.5243	1 069	0.05015	$8.951 \times 10^{-5}$	$3.261 \times 10^{-5}$	$6.219 \times 10^{-5}$	0.6948
450	0.4880	1 081	0.05298	$1.004 \times 10^{-4}$	$3.415 \times 10^{-5}$	$6.997 \times 10^{-5}$	0.6965
500	0.4565	1 093	0.05572	$1.117 \times 10^{-4}$	$3.563 \times 10^{-5}$	$7.806 \times 10^{-5}$	0.6986
600	0.4042	1 115	0.06093	$1.352 \times 10^{-4}$	$3.846 \times 10^{-5}$	$9.515 \times 10^{-5}$	0.7037
700	0.3627	1 135	0.06581	$1.598 \times 10^{-4}$	$4.111 \times 10^{-5}$	$1.133 \times 10^{-4}$	0.7092
800	0.3289	1 153	0.07037	$1.855 \times 10^{-4}$	$4.362 \times 10^{-5}$	$1.326 \times 10^{-4}$	0.7149
900	0.3008	1 169	0.07465	$2.122 \times 10^{-4}$	$4.600 \times 10^{-5}$	$1.529 \times 10^{-4}$	0.7206
1 000	0.2772	1 184	0.07868	$2.398 \times 10^{-4}$	$4.826 \times 10^{-5}$	$1.741 \times 10^{-4}$	0.7260
1 500	0.1990	1 234	0.09599	$3.908 \times 10^{-4}$	$5.817 \times 10^{-5}$	$2.922 \times 10^{-4}$	0.7478
2 000	0.1553	1 264	0.11113	$5.664 \times 10^{-4}$	$6.630 \times 10^{-5}$	$4.270 \times 10^{-4}$	0.7539

Pipeline Accessories  
Flash Steam Recovery Vessel

WFLV Series

Carbon Steel

Model	WFLV
Sizes	6", 8", 12", 16"
Connections	150# RF
Body Material	Carbon Steel
PMO Max. Operating Pressure	150 PSIG
TMO Max. Operating Temperature	366°F
PMA Max. Allowable Pressure	150 PSIG @ 562°F

Note: 250 PSIG unit available. Consult factory.

Typical Applications

The WFLV Flash tanks are installed in condensate return systems to separate off flash steam from hot condensate and neutralize pressure in condensate return lines. The flash steam may be used for low pressure heating applications or vented to atmosphere.

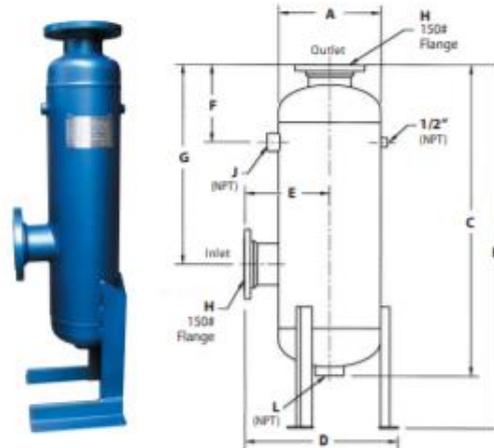
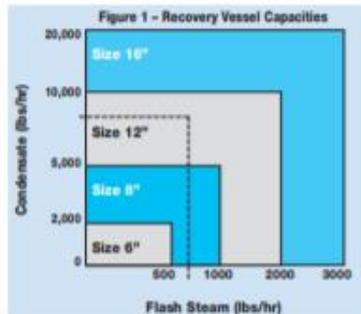
How to Size / Order

Use Table 1 to determine amount of Flash Steam that will be generated by the hot pressurized condensate. The percentage of Flash Steam formed is found where Condensate Pressure and Flash Tank Pressure intersect.

Multiply your Condensate Load by the decimal equivalent of the Flash Steam Percent to determine the amount of Flash Steam in lbs/hr. Then, use Figure 1 to determine Flash Tank Size required:

**Example:** Condensate Pressure: 100 PSIG  
Flash Tank Pressure: 20 PSIG  
Condensate Load: 8,000 lbs/hr  
% Flash Steam: 8.7% from chart  
Decimal Equivalent % Flash Steam = .087  
**.087 x 8000 = 696 lbs/hr of flash steam**

Therefore Choose: 12" FLASH TANK



Note: All Watson McDaniel flash steam recovery vessels are supplied with ASME Section VIII Code Stamp.

Table 1 - PERCENT (%) FLASH STEAM  
Produced when condensate is discharged to atmosphere (0 PSIG) or into a flash tank controlled at various pressures

Condensate Pressure (PSIG)	Flash Tank Pressure (PSIG)								
	0	5	10	20	30	40	60	80	100
5	1.6	0.0							
10	2.9	1.3	0.0						
15	3.9	2.4	1.1						
20	4.9	3.3	2.1	0.0					
30	6.5	5.0	3.7	1.7	0.0				
40	7.8	6.3	5.1	3.0	1.4	0.0			
60	10.0	8.5	7.3	5.3	3.7	2.3	0.0		
80	11.8	10.3	9.1	7.1	5.5	4.2	1.9	0.0	
100	13.3	11.8	10.6	8.7	7.1	5.8	3.5	1.8	0.0
125	14.9	13.5	12.3	10.4	8.8	7.5	5.3	3.4	1.8
150	16.3	14.9	13.7	11.8	10.3	9.0	6.8	4.9	3.3
200	18.7	17.3	16.2	14.3	12.8	11.5	9.4	7.6	6.0
250	20.8	19.4	18.2	16.4	14.9	13.7	11.5	9.8	8.2
300	22.5	21.2	20.0	18.2	16.8	15.5	13.4	11.7	10.2
350	24.1	22.8	21.7	19.9	18.4	17.2	15.1	13.4	11.9
400	25.6	24.2	23.1	21.4	19.9	18.7	16.7	15.0	13.5

DIMENSIONS & WEIGHTS - inches												
Tank Diameter	Model Code	Side In/Top Out 150#FLG (H)	A	B	C	D	E	F	G	J	L	Weight (lbs)
6"	WFLV-6-16-F150	2 1/2"	6 1/2	47	38 1/2	12	8	9	25 1/2	3/4	1 1/2	105
8"	WFLV-8-20-F150	4"	8 3/8	48	39 1/4	13	8 1/2	9 1/2	25 3/8	3/4	2	172
12"	WFLV-12-21-F150	5"	12 3/4	49 1/2	41 1/4	21	11 3/4	11 1/2	26	1 1/2	3	210
16"	WFLV-16-22-F150	6"	16	58	50	24	13 3/8	12 1/2	32	2	3	300

Tel: 610-495-5131 • Pottstown PA • USA • www.watsonmcdaniel.com

PIPELINE ACCESSORIES

341

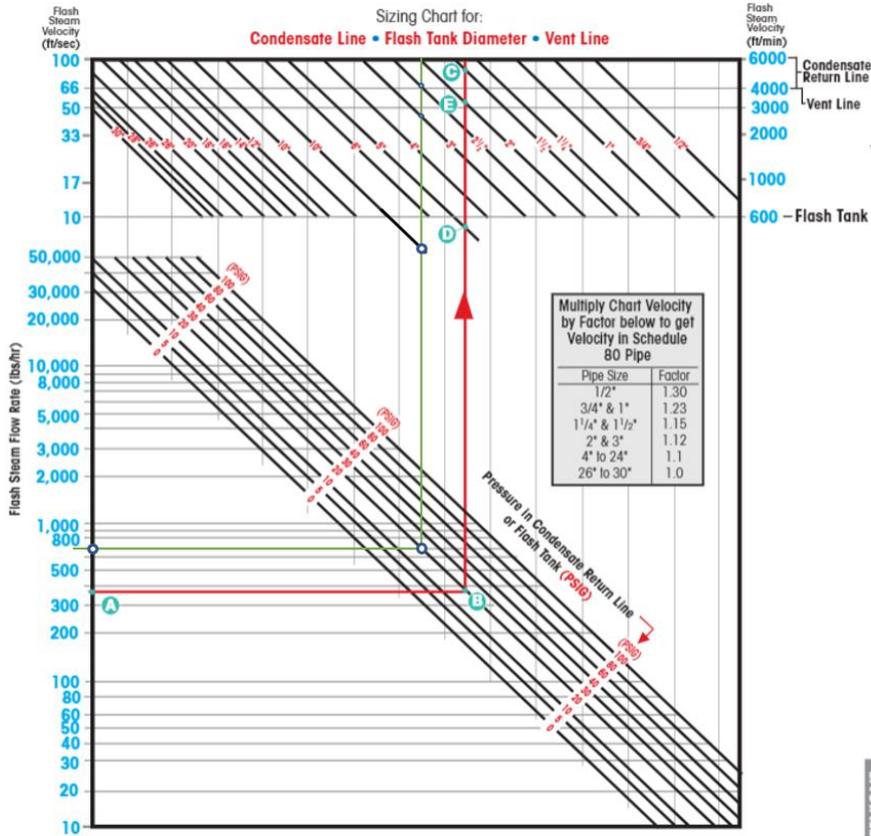
### Anexo XXXIII Dimensionamiento de tanques flash

Flujo de vapor flash del área de tintorería

Área	ID. Trampa	Máquina	Vapor flash real [kg/h]
Tintorería	T1	MSC 180	14,90
Tintorería	T2	MSC 180	2,53
Tintorería	T3	MSC 180	2,53
Tintorería	T4	MSC 180	2,53
Tintorería	T5	MSC 300	2,53
Tintorería	T6	MSC 300	2,53
Tintorería	T7	MSC 300	14,90
Tintorería	T8	MSC 300	2,53
Tintorería	T9	IMASTER	14,90
Tintorería	T10	IMASTER	1,00
Tintorería	T11	IMASTER	1,35
Tintorería	T12	IMASTER	7,60
Tintorería	T13	TRD4	1,35
Tintorería	T14	TRD4	14,90
Tintorería	T15	TRD4	1,00
Tintorería	T16	TRD4	7,60
Tintorería	T17	TRD3	1,35
Tintorería	T18	TRD3	1,76
Tintorería	T19	TRD3	7,60
Tintorería	T20	TRD1	14,90
Tintorería	T21	TRD1	4,22
Tintorería	T22	TRD1	0,00
Tintorería	T23	TRD2	14,90
Tintorería	T24	TRD2	0,00
Tintorería	T25	TRD2	4,56
Tintorería	T26	Distribuidor tintorería	50,69
Tintorería	T27	Distribuidor principal	50,69
Total [kg/h]			245,42
Total [lbm/h]			541,15
Factor seguridad			30%
Vapor flash [lbm/h]			703,3795

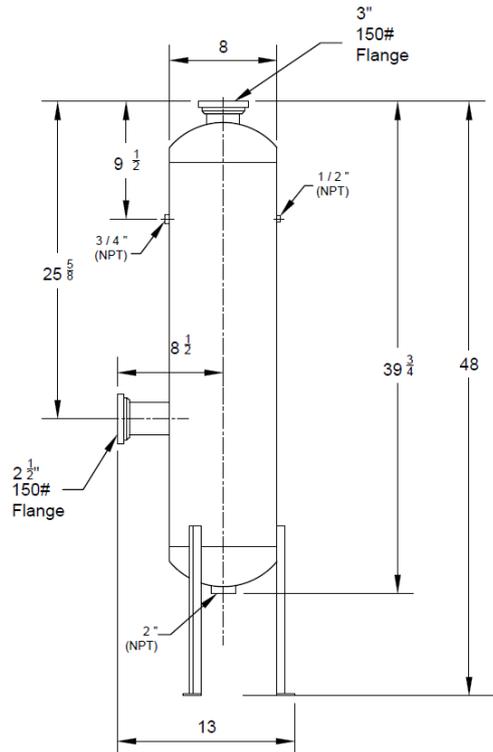
### SIZING OF CONDENSATE RETURN LINE, FLASH TANK DIAMETER & VENT LINE

- Velocity of Flash Steam in Condensate Return Lines should be between 4000 and 6000 ft/min.
- Velocity in Flash Tank should be less than 600 ft/min.
- Velocity in a Vent Pipe should be less than 4000 ft/min.



Dimensionamiento del tanque flash

Tanque N°	Procedencia de condensado y vapor flash	Diámetro [pulg]	Tubería de venteo [pulg]	Retorno de condensado [pulg]
1	Condensado de tintorería	8	3	2 1/2

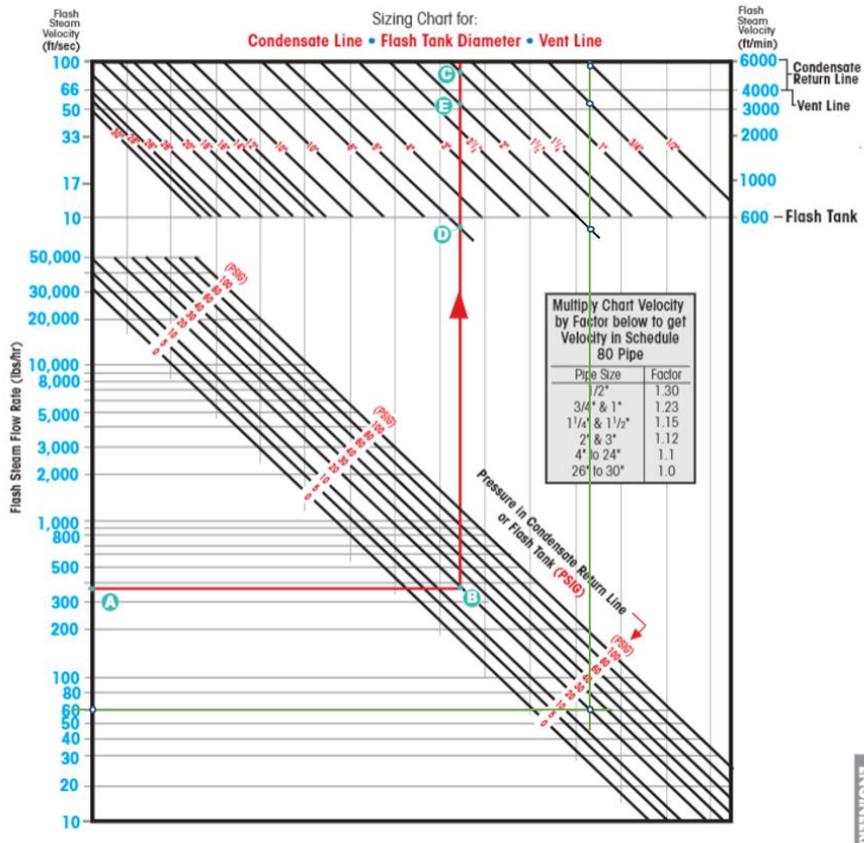


Flujo de vapor flash del área de acabados

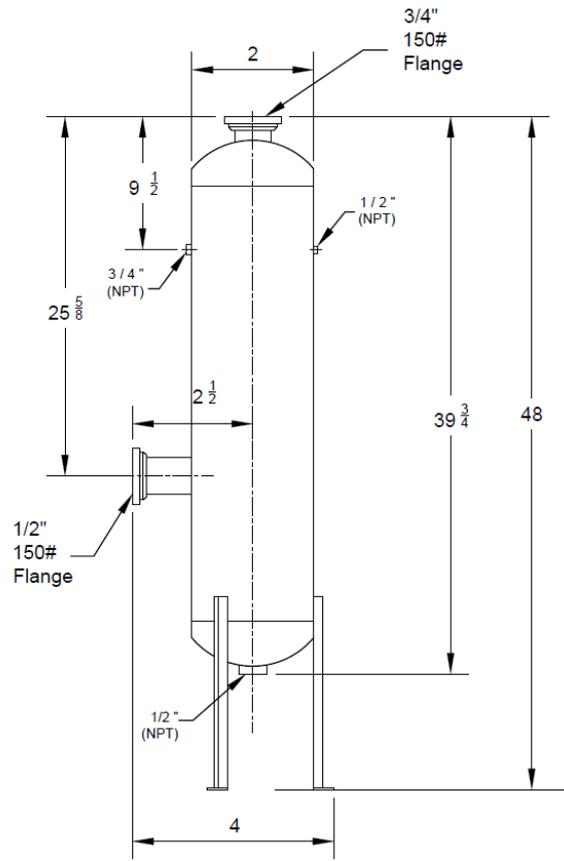
Área	ID. Trampa	Máquina	Vapor flash real [kg/h]
Acabado	T28	LAFER 2015	2,54
Acabado	T29	LAFER 2015	2,54
Acabado	T30	LAFER 2015	2,54
Acabado	T31	LAFER 2015	2,54
Acabado	T32	LAFER 2019	2,54
Acabado	T33	LAFER 2019	2,54
Acabado	T34	LAFER 2019	2,54
Acabado	T35	LAFER 2019	2,54
Total [kg/h]			20,35
Total [lbm/h]			44,87
Factor seguridad			30%
Vapor flash [lbm/h]			58,3233

**SIZING OF CONDENSATE RETURN LINE, FLASH TANK DIAMETER & VENT LINE**

- Velocity of Flash Steam in Condensate Return Lines should be between 4000 and 6000 ft/min.
- Velocity in Flash Tank should be less than 600 ft/min.
- Velocity in a Vent Pipe should be less than 4000 ft/min.



Tanque N°	Procedencia de condensado y vapor flash	Diámetro [pulg]	Tubería de venteo [pulg]	Retorno de condensado [pulg]
2	Condensado de acabado	2	3/4	1/2



## Anexo XXXIV Cotización de fabricación de tanques de recuperación de revaporizado



SAURUS ECUADOR SOLUCIONES INDUSTRIALES CIA. LTDA.  
RUC: 1792228271001

Oficinas: Calle Lugo No. N24-407 y Av. Coruña, la Floresta  
Planta: Panamericana Sur Km 14, Matilde Álvarez 558 y E2B  
Quito, Pichincha  
[www.saurusecuador.com.ec](http://www.saurusecuador.com.ec)  
Teléfono: 0223070646  
Vendedor: Ing. Daniel Romero  
Contacto Asesor: 0998351272

# COTIZACIÓN

Referencia:	P4684-0222-00
Fecha:	16/02/22
Valido hasta:	18/02/22

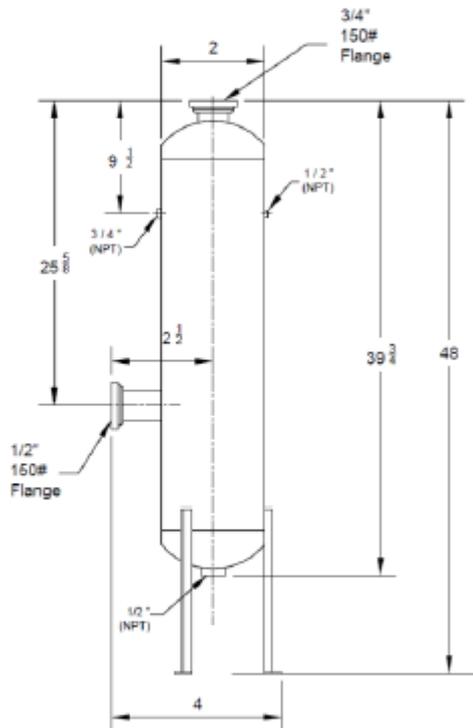
### CLIENTE

Sres. Textil Padilla Cía Ltda

DESCRIPCIÓN	CANT	UNIDAD	UNITARIO	TOTAL
<p>Provisión de materiales y Fabricación de Tanque flash N°1 de acuerdo con las especificaciones indicadas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Tanque acero al carbono, fabricado con componentes SCH40 Clase 150 lbs.</li> <li>Incluye ensayos de tintas penetrantes al 100%</li> <li>Ensayo de prueba de presión a 200% de especificación 40 psi.</li> <li>No incluyen accesorios adicionales a los indicados en planos</li> <li>No se requiere recubrimientos internos ni externos.</li> <li>Medidas en pulgadas</li> </ul>	1	GLB	426.00	426.00

Provisión de materiales y Fabricación de Tanque flash N°2 de acuerdo con las especificaciones indicadas:

- Tanque acero al carbono, fabricado con componentes SCH40 Clase 150 lbs.
- Incluye ensayos de tintas penetrantes al 100%
- Ensayo de prueba de presión a 200% de especificación 40 psi.
- No incluyen accesorios adicionales a los indicados en planos
- No se requiere recubrimientos internos ni externos.
- Medidas en pulgadas



1

GLB

266.00

266.00

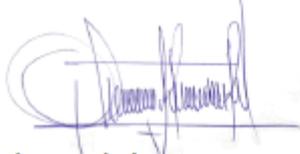
**TERMINOS Y CONDICIONES**

Fecha de Entrega	Para cualquiera 7 días laborables
Forma de Pago	Transferencia / Cheque
Términos de Pago	50% anticipo y 50% contra entrega

**CONSIDERACIONES**

Lugar de entrega y retiro, talleres de SAURUS en Quito, a cargo y responsabilidad del cliente.

Quedamos siempre a su disposición y prestos para apoyarle.



Firma Autorizada  
Nombre: Ing. Daniel Romero

Subtotal 692.00

Imponible 692.00

IVA 12%

Impuestos 83.04

**TOTAL 775.04**