



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**“ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y  
ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO DE LOS  
CALDEROS PIROTUBULARES DE LA EMPRESA RIOLAC”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**AUTOR:**

**CARLOS ALBERTO HEREDIA BALLADARES**

Riobamba-Ecuador

2022



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**“ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y  
ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO DE LOS  
CALDEROS PIROTUBULARES DE LA EMPRESA RIOLAC”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**AUTOR: CARLOS ALBERTO HEREDIA BALLADARES**

**DIRECTOR: Ing. EDWIN ÁNGEL JÁCOME DOMÍNGUEZ**

Riobamba-Ecuador

2022

© 2022, Carlos Alberto Heredia Balladares

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, CARLOS ALBERTO HEREDIA BALLADARES, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor sumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

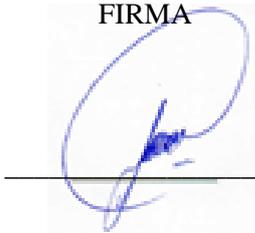
Riobamba, 22 de Diciembre del 2022



**Carlos Alberto Heredia Balladares**  
**060378273-1**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO, DE LOS CALDEROS PIROTUBULARES DE LA EMPRESA RIOLAC**, realizado por el señor: **CARLOS ALBERTO HEREDIA BALLADARES**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Marco Antonio Ordoñez Viñán <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2022-12-22
Ing. Edwin Ángel Jácome Domínguez <b>DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2022-12-22
Ing. Fausto Ulpiano Caicedo Benavides <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>		2022-12-22

## **DEDICATORIA**

A Dios, por guiarme en cada momento, a mis padres Carlos y Mercedes por apoyarme en lo que se me ocurría, a mis hermanas Estefanía y Diana por sus sanos consejos y risas, a mi prima Cumita por su cuidado a la distancia.

Carlos

## **AGRADECIMIENTO**

El agradecimiento infinito a Dios, por bendecirme cada día, por iluminar mi mente de conocimiento y perseverancia. A mis padres por ser los principales gestores de mi formación, por inculcarme el ejemplo de ser una persona de bien ya que con sus consejos, enseñanzas y sustento han logrado guiarme por el duro camino de la vida. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y a la Facultad de Mecánica, por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente.

Carlos

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xv
RESUMEN .....	xvi
SUMMARY .....	xvii
INTRODUCCIÓN. ....	1

### CAPÍTULO I

1. DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Planteamiento del problema .....	2
1.3. Formulación del problema .....	3
1.4. Justificación y Actualidad .....	3
1.5. Objetivos.....	3
1.5.1. <i>Objetivo General</i> .....	3
1.5.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....	4

### CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....	5
2.1. Cadena productiva de la industria láctea del Ecuador .....	5
2.1.1. <i>Procesos de industrialización de la leche</i> .....	5
2.1.1.1. <i>Tratamiento térmico en la industrialización de la leche</i> .....	5
2.2. Mantenimiento .....	6
2.2.1. <i>Tipos de Mantenimiento</i> .....	6
2.2.2. <i>Objetivos del Mantenimiento</i> .....	7

2.2.3.	<i>Ventajas en el mantenimiento industrial</i> .....	7
2.2.4.	<i>Pérdidas por falta de mantenimiento preventivo</i> .....	8
2.3.	<b>Calderas</b> .....	8
2.3.1.	<i>Tipos de Calderas</i> .....	8
2.3.1.1.	<i>Caldera Acuotubular</i> .....	9
2.3.1.2.	<i>Caldera Pirootubular</i> .....	10
2.3.1.3.	<i>Diferencias entre la caldera pirootubular y la acuotubular</i> .....	10
2.3.2.	<b>Generador de Vapor</b> .....	11
2.3.3.	<b>Alimentación de agua</b> .....	12
2.3.3.1.	<i>Ablandamiento por tratamiento químico</i> .....	12
2.3.3.2.	<i>Desmineralización</i> .....	12
2.3.4.	<b>Alimentación de combustible</b> .....	12
2.3.5.	<b>Inspección y diagnóstico de la maquinaria</b> .....	13
2.4.	<b>Eficiencia energética en calderos</b> .....	13
2.4.1.	<i>Método directo</i> .....	13
2.4.2.	<i>Método indirecto</i> .....	14
2.5.	<b>Análisis de aguas</b> .....	15
2.5.1.	<i>Parámetros para el tratamiento de aguas</i> .....	15
2.6.	<b>Análisis de gases de combustión</b> .....	16
2.6.1.	<i>Puntos de muestreo en ductos circulares</i> .....	16
2.7.	<b>Termografía</b> .....	17
2.8.	<b>Trampas de vapor</b> .....	18
2.8.1.	<i>Tipos de trampas de vapor</i> .....	18
2.8.2.	<i>Instalación y montaje de una trampa de vapor</i> .....	19
2.8.3.	<i>Inspección en las trampas de vapor</i> .....	20
2.8.4.	<i>Condiciones de operación</i> .....	20
2.9.	<b>Aislamiento térmico para tuberías</b> .....	20
2.10.	<b>Diagrama Sankey</b> .....	21

2.11.	Documentación Técnica.....	22
2.12.	Plan de mantenimiento .....	22

### CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO.....	24
3.1.	Análisis actual .....	24
3.1.1.	<i>Métodos</i> .....	25
3.1.2.	<i>Ficha técnica</i> .....	25
3.1.3.	<i>Condiciones y recomendaciones del fabricante</i> .....	26
3.1.4.	<i>Combustible de alimentación</i> .....	26
3.1.5.	<i>Estequiometría de la combustión</i> .....	27
3.1.6.	<i>Rendimiento de la caldera</i> .....	27
3.1.7.	<i>Análisis termográfico del caldero</i> .....	29
3.1.8.	<i>Análisis de aguas</i> .....	30
3.1.8.1.	<i>Tratamiento de agua para la caldera</i> .....	31
3.1.8.2.	<i>Productos químicos</i> .....	31
3.1.8.3.	<i>Ciclos de Concentración</i> .....	32
3.1.9.	<i>Análisis de gases de combustión</i> .....	32
3.2.	Eficiencia energética en calderos .....	35
3.2.1.	<i>Cálculos estequiométricos de la combustión</i> .....	37
3.2.2.	<i>Pérdidas</i> .....	37
3.2.3.	<i>Créditos</i> .....	38
3.2.4.	<i>Mejorar la eficiencia energética</i> .....	38
3.3.	Diagramas Sankey .....	39
3.4.	Inspección de las trampas de vapor .....	39
3.4.1.	<i>Inspección visual</i> .....	39
3.4.2.	<i>Inspección termográfica</i> .....	39
3.4.3.	<i>Inspección por sonido</i> .....	40

3.5.	Planeación del mantenimiento .....	40
3.5.1.	<i>Inspección</i> .....	40
3.5.2.	<i>Mantenimiento preventivo</i> .....	41

## CAPÍTULO IV

4.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	46
4.1.	Estado actual del caldero y su eficiencia energética .....	46
4.1.1.	<i>Sistema de alimentación de agua</i> .....	47
4.1.2.	<i>Sistema de alimentación de combustible</i> .....	48
4.1.3.	<i>Estequiometría de la combustión del diésel</i> .....	48
4.1.4.	<i>Reporte de las composiciones medidas de la caldera</i> .....	49
4.1.4.1.	<i>Diagrama psicrométrico</i> .....	50
4.1.5.	<i>Pérdidas</i> .....	51
4.1.6.	<i>Créditos</i> .....	52
4.1.7.	<i>Pérdidas de energía por convección y radiación</i> .....	53
4.1.8.	<i>Balance de Energía</i> .....	56
4.1.9.	<i>Diagrama Sankey</i> .....	56
4.2.	Análisis costo-beneficio.....	56
4.3.	Plan de mantenimiento .....	59
4.3.1.	<i>Inspecciones de mantenimiento</i> .....	59
4.3.2.	<i>Actividades de mantenimiento</i> .....	60

CONCLUSIONES.....	72
-------------------	----

RECOMENDACIONES.....	73
----------------------	----

## GLOSARIO

## BIBLIOGRAFÍA

## ANEXOS

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b> Diferencias entre calderas pirotubulares y acuotubulares.....	11
<b>Tabla 2-2:</b> Requerimientos de agua para caldera.....	15
<b>Tabla 1-3:</b> Ficha técnica del caldero pirotubular horizontal de 3 pasos de 15 [Bhp] .....	26
<b>Tabla 2-3:</b> Valores medidos del análisis de aguas del caldero.....	31
<b>Tabla 3-3:</b> Valores adquiridos del equipo analizador de datos y los ideales según la norma TULSMAN.....	34
<b>Tabla 4-3:</b> Parámetros para el cálculo de pérdidas de energía .....	36
<b>Tabla 5-3:</b> Valores de los parámetros para el cálculo de las pérdidas y créditos, por el método indirecto.....	36
<b>Tabla 1-4:</b> Parámetros del análisis de aguas, relacionados con la norma.....	47
<b>Tabla 2-4:</b> Parámetros del combustible Diesel .....	48
<b>Tabla 3-4:</b> Datos del reporte del análisis de gases de la empresa quiteña, Prodiésel .....	49
<b>Tabla 4-4:</b> Valores del análisis de gases, relacionados con la norma TULSMAN.....	50
<b>Tabla 5-4:</b> Valores de las pérdidas en la eficiencia energética .....	51
<b>Tabla 6-4:</b> Valores de los créditos en la eficiencia energética .....	52
<b>Tabla 8-4:</b> Valores de las pérdidas en la eficiencia energética .....	56
<b>Tabla 9-4:</b> Valores de las pérdidas en la eficiencia energética .....	60
<b>Tabla 10-4:</b> Actividad y procedimiento del cuerpo del caldero .....	61
<b>Tabla 11-4:</b> Actividad y procedimiento del quemador .....	62
<b>Tabla 12-4:</b> Actividad y procedimiento del cuerpo del caldero .....	63
<b>Tabla 13-4:</b> Actividad y procedimiento del cuerpo del caldero.....	64
<b>Tabla 14-4:</b> Actividad y procedimiento del sistema de alimentación de agua .....	65
<b>Tabla 15-4:</b> Actividad y procedimiento del sistema de alimentación de agua .....	66
<b>Tabla 16-4:</b> Actividad y procedimiento del sistema de alimentación de agua .....	67
<b>Tabla 17-4:</b> Actividad y procedimiento del sistema de alimentación de combustible .....	68
<b>Tabla 18-4:</b> Actividad y procedimiento del sistema de alimentación de combustible .....	69

**Tabla 19-4:** Actividad y procedimiento del sistema de alimentación de combustible .....70

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2:</b> Esquema de la caldera acuotubular .....	9
<b>Figura 2-2:</b> Esquema del caldero pirotubular .....	10
<b>Figura 3-2:</b> Método Indirecto de Eficiencia Energética .....	14
<b>Figura 4-2:</b> Rejillas muestra de 20 puntos en 4 sectores .....	17
<b>Figura 5-2:</b> Trampas mecánicas. ....	18
<b>Figura 6-2:</b> Trampa termodinámica.....	19
<b>Figura 7-2:</b> Trampas termostáticas de presión balanceada.....	19
<b>Figura 8-2:</b> Cañuelas de diversos diámetros y espesores.....	21
<b>Figura 1-3:</b> Caldero pirotubular horizontal 3 pasos de 15 [Bhp] .....	24
<b>Figura 2-3:</b> Cámara termográfica HotFind VR .....	29
<b>Figura 3-3:</b> Termograma de la salida a la válvula de seguridad y chimenea .....	29
<b>Figura 4-3:</b> Espectrofotómetro .....	30
<b>Figura 5-3:</b> Caja y sonda analizadora de gases TESTO 350 Box .....	33
<b>Figura 6-3:</b> Diagrama Sankey para un caldero .....	39
<b>Figura 6-3:</b> Presostato y manómetro de control .....	41
<b>Figura 7-3:</b> Purgado del caldero.....	42
<b>Figura 8-3:</b> Limpieza del electrodo .....	42
<b>Figura 9-3:</b> Sistema eléctrico presente en el caldero .....	43
<b>Figura 10-3:</b> Quemador del caldero y su boquilla interna .....	43
<b>Figura 11-3:</b> Limpieza y cambio de empaques del nivelador.....	44
<b>Figura 12-3:</b> Boquilla interna luego de su limpieza .....	44
<b>Figura 13-3:</b> Tapa frontal del caldero colocando la nueva lana de vidrio.....	45
<b>Figura 1-4:</b> Caldero pirotubular de la Empresa RIOLAC.....	46
<b>Figura 2-4:</b> Incrustaciones en los tubos de humo .....	48

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-2:</b> Tipos de Mantenimiento .....	7
<b>Gráfico 1-4:</b> Software para el cálculo de entalpías a temperaturas de bulbo seco y húmedo .....	50
<b>Gráfico 2-4:</b> Representación en un gráfico de Pareto, las pérdidas .....	52
<b>Gráfico 3-4:</b> Diagrama Sankey del balance de energía del caldero de RIOLAC .....	56

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** TERMOGRAMA DEL PANEL DE CONTROL ELÉCTRICO DEL CALDERO

**ANEXO B:** TERMOGRAMA DE LA TAPA DELANTERA DEL CALDERO

**ANEXO C:** TERMOGRAMA DE LA TAPA TRASERA DEL CALDERO

**ANEXO D:** TERMOGRAMA DEL HANDHOIL DEL CALDERO

**ANEXO E:** TERMOGRAMA DEL QUEMADOR DEL CALDERO

**ANEXO F:** TERMOGRAMA DE LA CHIMENEA DEL CALDERO

**ANEXO G:** FACTURA DEL ANÁLISIS DE HUMOS EMITIDA POR PRODIESEL

**ANEXO H:** CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DEL EQUIPO DE ANÁLISIS DE HUMOS

**ANEXO I:** FACTORES DE CONVERSIÓN DE UNIDADES

**ANEXO J:** TABLAS TERMODINÁMICAS DEL AIRE EN CONDICIONES NORMALES

**ANEXO K:** TABLAS TERMODINÁMICAS DEL AGUA SATURADA EN TEMPERATURA

**ANEXO L:** CARTA PSICROMÉTRICA A TEMPERATURA DE BULBO SECO/HÚMEDO

**ANEXO M:** PROPIEDADES DEL DIESEL

## RESUMEN

En el presente trabajo de integración curricular, se realizó el análisis energético del caldero pirotubular de capacidad de 15 [Bhp] de la empresa RIOLAC, determinado estado técnico y funcionamiento del caldero con el mantenimiento preventivo realizado con las consideraciones de la empresa; se mejoró la generación de vapor y su eficiencia energética. Se construyó un plan de mantenimiento basado en la norma ASME Sección VII 2013 por las características del caldero y el análisis de termografía, análisis de agua de alimentación y del caldero, y el análisis de humos de combustión; junto con las recomendaciones y estandarizaciones de la norma inglesa ABMA BS-2486 y la norma ecuatoriana TULSMA 2015. Se logró tomar valores que se utilizaron para el análisis de la eficiencia energética por los métodos directo e indirecto que la norma ASME PTC 4-2013 detalla para el cálculo de rendimiento y balance de energía inmersos en el proceso de generar vapor; para lo cual se utilizó equipos de medición como la cámara termográfica, espectrofotómetro, pHímetro, analizador de gases de combustión y con el software Excel de Microsoft para el cálculo de valores. Fue necesario caracterizar la caldera bajo condiciones actuales de operación, junto con los análisis realizados, se identificó las pérdidas energéticas debido a la dureza del agua de alimentación y falta de tratamiento químico a tiempo y las fallas más significativas dentro de los tubos de fuego que se observó como corrosión y picaduras en su superficie, que provocó un rendimiento del 79,93%. Se aplicó el plan de mantenimiento adecuado, ahorrando costos de mantenimientos correctivos en un período de 3 años, mejorando los procesos de operación y mantenimiento. Se recomienda para un mayor rendimiento, un mejor tratamiento de agua, de mezcla de combustible y la implementación de las trampas de vapor y revestimiento para las cañerías.

**Palabras clave:** <ANÁLISIS ENERGÉTICO> <CALDERO PIROTUBULAR>  
<GENERACIÓN DE VAPOR> <EFICIENCIA ENERGÉTICA> <MANTENIMIENTO PREVENTIVO>

0267-DBRA-UPT-2023



## SUMMARY

The energy analysis of the shell boiler with a capacity of 15 [Bhp] at RIOLAC company was carried out in this curricular integration work. It determined the technical state and operation of the boiler with the preventive maintenance carried out with the considerations of the company. Steam generation and energy efficiency were improved. A maintenance plan was built based on the ASME Section VII 2013 standards for the characteristics of the boiler and the thermography analysis, feed water and boiler analysis, and combustion fumes analysis. Together with the recommendations and standardizations of the English standard ABMA BS-2486 and the Ecuadorian standard TULSMA 2015, amounts were taken that were used for energy efficiency analysis by the direct and indirect methods that the ASME PTC 4-2013 standard gave us, details for the calculation of performance and energy balance immersed in the steam generation process. Measurement equipment such as a thermographic camera, spectrophotometer, pH meter, combustion gas analyzer and Microsoft Excel software for calculating values were obtained. It was necessary to characterize the boiler under current operating conditions, together with the analyzes carried out. The energy losses were identified due to the hardness of the feed water and lack of chemical treatment on time and the most significant failures within the fire tubes that were scarification, corrosion and pitting on its surface; that used a performance of 79,93% where the appropriate maintenance plan was applied, saving corrective maintenance costs in a period of 3 years; improving operation and maintenance processes, recommending better water treatment, better fuel mix, and the implementation of steam traps and pipe linings for higher performance.

**KEYWORDS:** <ENERGY ANALYSIS> <SHELL BOILER> <STEAM GENERATION>  
<ENERGY EFFICIENCY> <PREVENTIVE MAINTENANCE>



---

Lic. Sandra Paulina Porras Pumalema

C.I. 0603357062

## **INTRODUCCIÓN.**

El mantenimiento de la caldera es parte importante para mantener su caldera funcionando de manera eficiente y rentable. Cuando se realiza un correcto mantenimiento, nos aseguramos de que esté funcionando con una eficiencia óptima y tenga las mejores posibilidades de alargar su vida útil el mayor tiempo posible. Hay muchos tipos diferentes de calderas para elegir cuando está buscando comprar una nueva. El tipo de caldera dependerá de las necesidades de su hogar o negocio, pero también hay otros factores a considerar, como la fuente de combustible que desea para su caldera.

La industria láctea es una industria de alta demanda con muchos tipos diferentes de calderas. La caldera de vapor tipo pirotubular, es la más utilizada en esta industria, sobretodo esta caldera generará vapor más eficiente, junto con un correcto uso y mantenimiento prolongando su vida útil.

El mantenimiento de la caldera se divide en dos categorías: el mantenimiento correctivo y el mantenimiento preventivo, el cual puede presentar dos consideraciones: El mantenimiento programado realizado cuando se tiene tiempo planificado para realizar ciertas tareas, como inspeccionar o reemplazar piezas. El mantenimiento no programado, por otro lado, es cuando necesita arreglar algo que salió mal con su caldera antes de que se vuelva catastrófico y cause daños importantes a su sistema o pérdida de propiedad.

Dentro de este plan de mantenimiento está basado en tres tipos de actividades:

- Las actividades rutinarias diarias, que normalmente las realiza el operario.
- Las actividades programadas, realizadas en el transcurso de un año.
- Y las actividades realizadas cuando haya paradas de producción.

# CAPÍTULO I

## 1. DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA

### 1.1. Antecedentes

En el transcurso de los años, junto con la primera revolución tecnológica, la parte del mantenimiento dentro de las empresas al no conocer el alcance que se tiene, dentro de que ahora la industria se encuentra obligada a estándares y normas de calidad para una mayor competencia; el mantenimiento ha sido considerado como una gran inversión, más que un gasto. Con esta propuesta se pretende conseguir que las empresas le den el valor que se merece al mantenimiento de sus equipos y sistemas. Dónde, en la industria alimenticia como parte primordial para varios procesos, este tema se centrará en las calderas de vapor, ya que se consideró un elemento con mucha relevancia dentro de esta industria.

En la industria láctea, dónde en el Ecuador el 72,8 % se desarrolla en la región Sierra; la leche es procesada en una variedad de productos, incluyendo leche pasteurizada, mantequilla, quesos y yogurt; los mismos que para su elaboración se utiliza generadores de vapor en procesos para fomentar reacciones químicas y cambios físicos en la leche en condiciones de limpieza y esterilidad. En el Ecuador estos procesos industriales se encuentran regulados por: La Superintendencia de Control de Poder del Mercado (SCPM), de acuerdo al artículo 38 de la Ley Orgánica de Regulación y Control del Poder de Mercado (LORCPM); busca examinar la estructura y funcionamiento del sector lácteo en Ecuador, su producción y transformación.

La eficiencia energética dentro de la producción industrial está definida como la relación existente entre la energía netamente aprovechada frente a la energía totalmente utilizada, logrando la correcta utilización de materias primas, agua, combustibles, energía eléctrica; uno de los factores primordiales dentro de una producción más limpia (Vanegas & Botero , 2012).

### 1.2. Planteamiento del problema

La Empresa “RIOLAC” desarrolla, crea e innova maquinaria en el sector agroindustrial, la misma que posee una alta demanda de sus equipos dentro del mercado; en el diseño, su instalación con la posterior puesta en marcha de sus equipos destinados a la industria de alimentos; siguiendo estándares de salud para el tratado de la leche en su proceso de

pasteurización y esterilización; previa investigación se evidenció que los calderos de la empresa, no posee una correcta gestión en los procesos de mantenimiento, por lo que no utilizan adecuadamente los recursos que tienen; ya que solo realiza el montaje, mantenimientos preventivos y correctivos de sus equipos si un proceso de efectividad, por tanto; las actividades dentro del proceso de mantenimiento al no poseer un plan definido de mantenimiento conlleva costes de operación, paros de producción, baja disponibilidad operativa, etc.

### **1.3. Formulación del problema**

¿Por qué el elaborar la eficiencia energética e implementar un correcto plan de mantenimiento, de los calderos pirotubulares de la Empresa RIOLAC?

### **1.4. Justificación y Actualidad**

En el mantenimiento preventivo junto con su clasificación y parte de sus objetivos, como una serie de acciones, ejecutadas en un programa basado en el tiempo de vida útil y de servicio del equipo. Estas acciones son para descubrir, evitar, o mitigar la degradación de los mismos, a su vez mantener y alargar el funcionamiento del equipo.

En Ecuador, el mejoramiento de procesos productivos, provocan competencia en los mercados con la finalidad de premiar la calidad, marcando una gran diferencia sobre el total de los ingresos económicos de una empresa. Uno de muchos factores de calidad, en productos alimenticios de una industria de lácteos, están asegurados y respaldados por el buen funcionamiento de sus máquinas y sistemas; al reducir los riesgos de falla en la maquinaria y riesgos laborales; elevando la eficiencia en su proceso, reduciendo el tiempo de fuera de servicio. Minimizar las fallas se traduce disminución del costo de mantenimiento y costo de capital.

### **1.5. Objetivos**

#### ***1.5.1. Objetivo General***

Analizar la eficiencia energética y el plan de mantenimiento, del caldero pirotubular de 15 [Bhp] de la empresa Riolac, para mejorar el funcionamiento del equipo.

### ***1.5.2. Objetivos Específicos***

Determinar, el estado técnico de los calderos de la empresa RIOLAC

Analizar la eficiencia energética en los calderos, para lograr una mayor disponibilidad.

Elaborar un plan de mantenimiento de los calderos pirotubulares.

## CAPÍTULO II

### 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

#### 2.1. Cadena productiva de la industria láctea del Ecuador

Las actividades en el sector lácteo, ha generado un crecimiento económico con la variedad de productos y la cantidad de nuevos empleos; dentro de la economía ecuatoriana dejando a un lado las adversidades socioeconómicas de los últimos años por la pandemia del SARS-CoV-2, la producción láctea, ha ido reactivando el desarrollo productivo del Ecuador.

Categorizando la industria láctea como: económica dinámica, dentro de la industria manufacturera, más de un millón de personas trabajan en la cadena productiva de leche, siendo un importante músculo en la reactivación económica del país. De acuerdo con Lácteos Latam (2020, párr. 1) la industria láctea se encuentra representando el 14% del PIB Agroalimentario.

##### 2.1.1. *Procesos de industrialización de la leche*

La producción de leche de calidad inicia desde el establo, la manipulación, almacenamiento, transporte y los tratamientos en la elaboración de productos y derivados lácteos. Estos tratamientos en una planta industrial van desde:

- Clarificación y separación
- Estandarización
- Tratamiento térmico
- Homogenización
- Adición de vitaminas
- Procesado y envasado

##### 2.1.1.1. *Tratamiento térmico en la industrialización de la leche*

Los tratamientos térmicos habitualmente empleados son los siguientes:

- Pausterización: Proceso de utilizado para inhibir la actividad enzimática y reducir la carga microbiológica de la leche, que consiste en calentarla a una temperatura de hasta

85 °C durante unos 15 segundos para eliminar todos los microorganismos patógenos. Es el primer paso antes de los tratamientos para la elaboración de los diferentes productos a los que se someterá la leche.

- Esterilización mediante tratamiento UHT: Proceso en la cual la leche es calentada a alta temperatura (hasta 145 °C) durante un tiempo muy corto (de 2 a 5 segundos).

## **2.2. Mantenimiento**

El mantenimiento tiene como definición:

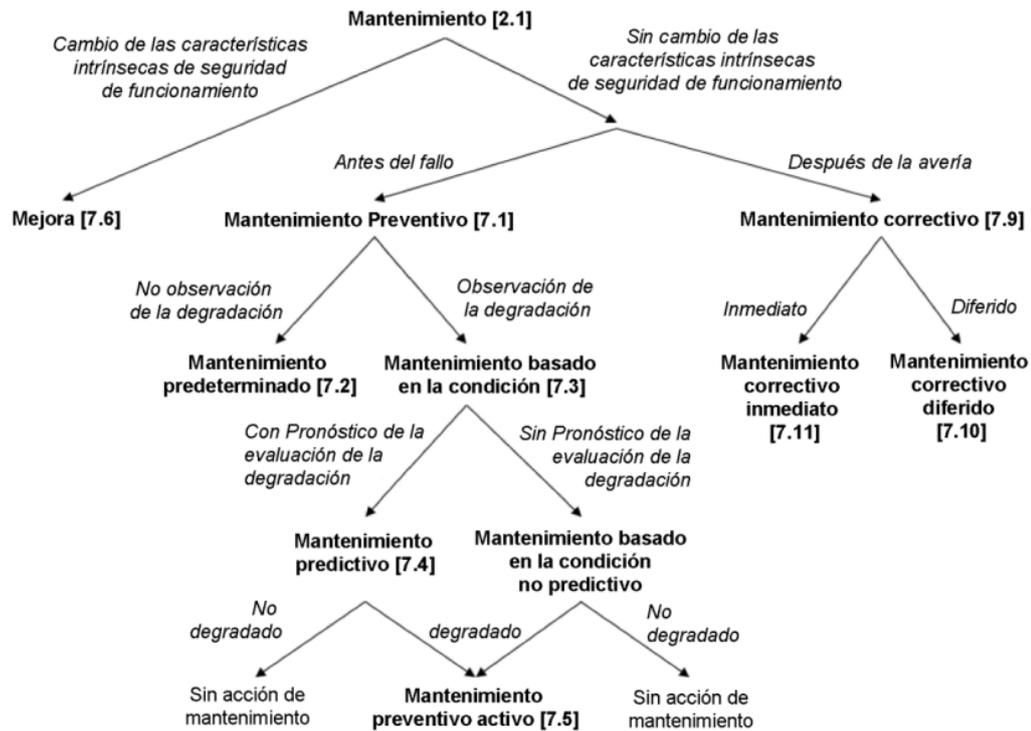
La combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión, realizadas durante el ciclo de vida de un elemento, destinadas a conservarlo o a devolverlo a un estado en el que pueda desempeñar la función requerida (UNE-EN 13306, 2018).

Algunas particularidades del mantenimiento hacen que este sea difícil de programar por la naturaleza de los fallos, que sus actividades tengan complejidad en la elaboración de estándares de trabajo y medición de tiempos ya que inclusive las tareas que se realiza en el mantenimiento de un mismo equipo pueden variar en función de variables pequeñas que hacen necesaria la aplicación de nuevos métodos, con el consecuente cambio en el tiempo de trabajo, sin embargo estas características hacen que el mantenimiento requiera aún más importancia para gestionar la productividad de la empresa.

### **2.2.1. Tipos de Mantenimiento**

La división clásica del mantenimiento indica dos divisiones principales según la norma española EN 13306: 2018

- **Mantenimiento preventivo:** Mantenimiento realizado en intervalos de tiempo predeterminados, o de acuerdo con criterios establecidos; reduciendo la probabilidad de fallo o un mal funcionamiento de un elemento del equipo.
- **Mantenimiento correctivo:** Mantenimiento realizado luego de haber reconocido la avería, con la finalidad que el equipo o maquina pueda realizar su función requerida, tomando acciones de reparar el o los elementos con falla.



**Gráfico 1-2:** Tipos de Mantenimiento

Fuente: UNE EN13306. 2018

### 2.2.2. *Objetivos del Mantenimiento*

Reducción de los costos de mantenimiento y del tiempo libre de trabajadores de mantenimiento y trabajadores generales, causados por paradas. Utilizar eficientemente los recursos para actividades de mantenimiento ya sean herramientas, mano de obra, a más de permitir una correcta coordinación del mismo y mejorar la posibilidad de supervisar las actividades planificadas.

Mejora la capacidad de cumplimiento de la empresa al conseguir un alto índice “Ip”, el cuál es la razón entre: el volumen de producción práctica (en calidad y plazo) y la capacidad de producción teórica (Rey, F. 2002)

### 2.2.3. *Ventajas en el mantenimiento industrial*

- Productos de alta calidad con menor costo.
- Reducción de accidentes laborales, ocasionados por un mal estado y funcionamiento de los equipos.
- Clientes satisfechos con la entrega de mejores productos.
- Disminución de los gastos por paradas imprevistas de producción.

- Detección de fallas a tiempo, permitiendo establecer una correcta programación del plan de mantenimiento.

#### **2.2.4. Pérdidas por falta de mantenimiento preventivo**

- Paros de producción, incumpliendo tiempos de fabricación y entrega de producto
- Averías imprevistas de los equipos.
- Desperdicio y daño en la materia prima.
- Productos defectuosos y de mala calidad.
- Accidentes laborales.

### **2.3. Calderas**

La caldera es un recipiente cerrado que consta de 2 partes principales, como la cámara de agua y la cámara de vapor; principalmente es un equipo de generación de vapor a presión, utilizado en procesos industriales y/o calefacción. El diseño de estos generadores de vapor está diseñado para transferir el calor procedente de la combustión de un combustible a un líquido contenido dentro de este equipo. El líquido contenido en el equipo está sujeto a ciertas condiciones de seguridad. El vapor o agua caliente debe ser suministrado bajo ciertas condiciones requeridas de temperatura, presión y calidad.

#### **2.3.1. Tipos de Calderas**

El principal criterio para clasificar las calderas es por el contenido de los tubos, pirotubular o acuotubular, o por lo menos es una de la clasificación más común en la industria (Sanz, 2000).

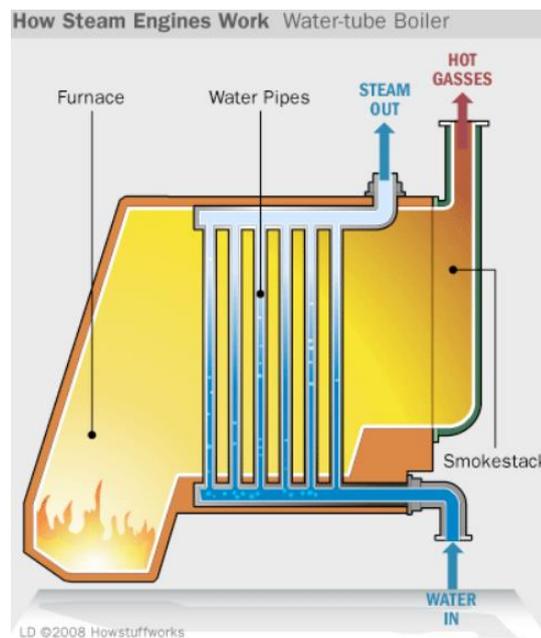
Sin embargo, las calderas pueden clasificarse mediante las siguientes características:

- a) Usos
  - Portátiles
  - Estáticos
- b) Presión
  - mínima presión
  - baja presión

- generación de fuerza
- c) Contenido de los tubos
- Pirotubulares (tubos de humo)
  - Acuotubulares (tubos de agua)
- d) Materiales del que están construidas
- e) Tamaño, forma y posición de los tubos
- f) Sistema del quemador
- g) Fuente de calor
- h) Tipo de combustible
- i) Fluido utilizado
- j) Sistema de circulación
- k) Tipo del fogón
- l) Propiedades especiales

### 2.3.1.1. Caldera Acuotubular

Son aquellas calderas cuyos gases de combustión, recorren la parte exterior de los tubos por donde circula agua en el interior de tubos de pequeño diámetro.

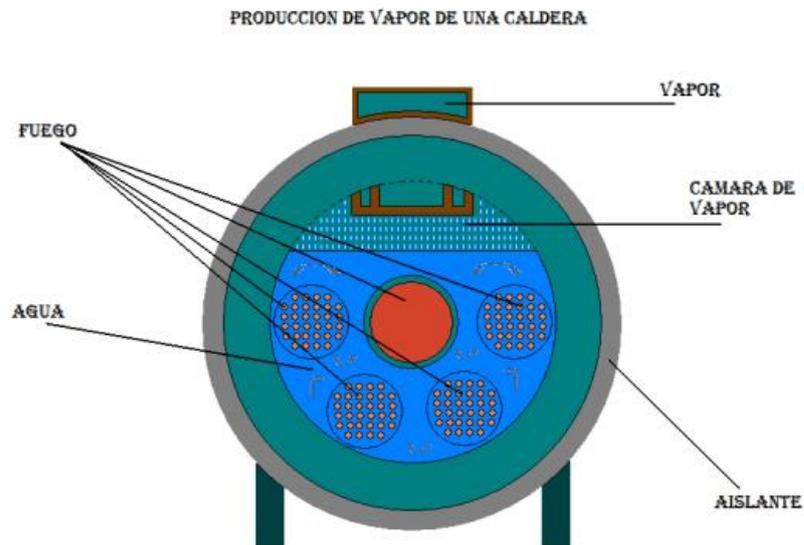


**Figura 1-2:** Esquema de la caldera acuotubular

Fuente: How stuff works. 2008

### 2.3.1.2. Caldera Pirotubular

En este tipo de calderas, los gases de combustión, circulan por el interior de unos tubos, que se encuentran inmersos en una masa de agua; del interior de una carcasa. Los gases calientes, al circular por los tubos en su exterior calientan el agua, generando posteriormente vapor.



**Figura 2-2:** Esquema del caldero pirotubular

Fuente: Macia, E.; Puertas, M. 2008

Ventajas:

- Menor costo inicial debido a su simplicidad de diseño.
- Mayor flexibilidad de operación
- Menores exigencias de pureza en el agua de alimentación.

Desventajas:

- Mayor tamaño y peso.
- Mayor tiempo para subir presión y entrar en funcionamiento.
- No son empleados en altas presiones.

### 2.3.1.3. Diferencias entre la caldera pirotubular y la acuotubular

Entre estos dos tipos de calderas, la siguiente tabla muestra sus diferencias, de acuerdo algunos criterios.

**Tabla 1-2:** Diferencias entre calderas pirotubulares y acuotubulares.

<b>CRITERIOS</b>	<b>CALDERA PIROTUBULAR</b>	<b>CALDERA ACUATUBULAR</b>
Calidad del agua	Menor exigencia	Mayor exigencia, es necesario bajo nivel de salinidad del agua
Mantenimiento	Económico, fácil de limpiar	Más costoso
Revisiones periódicas	Inspección, seguida de una prueba hidrostática, pruebas no destructivas raramente necesarias	Necesarias mediciones con ultrasonidos además de prueba hidrostática, costosa y con demora
Costes y gastos en su fabricación y calidad	Menores	Mayores
Rendimiento	Mayor. de fácil mantenimiento	Menor; difícil realizar el mantenimiento en funcionamiento
Características de la carga parcial	Control del quemador, dependiendo su carga mínima, para un apagado sin problemas	El control del quemador no puede apagarse manualmente
Contenido de agua	Mayor, debido al diseño	Menor
Capacidad de acumulación	No es susceptible, a las fluctuaciones de presión y carga	Susceptible a las fluctuaciones de presión y carga
Plazo de entrega	Más corto	Más largo
Necesidad de espacio	Reducidas	Elevadas
Tiempo, para el montaje y puesta en marcha	Reducido	Más prolongado

Fuente: BOSCH. 2021

Realizado por: Heredia, C. 2022

### **2.3.2. Generador de Vapor**

El generador de vapor, es un recipiente sometido a presión y es un tipo de intercambiador de calor que almacena un fluido que puede ser combustible, aire, agua; para generar vapor de gran cantidad de energía. Estos equipos pueden ser acuotubular y humotubular, siendo fáciles de encontrar a un bajo costo.

La relación de temperatura y presión que se puede obtener con la tecnología actual permite su uso en un amplio rango de temperatura, desde agua calentada a 40 ° C hasta vapor sobrecalentado a más de 370 ° C, (Bizzo, 2013).

### **2.3.3. Alimentación de agua**

El ablandamiento de agua es un proceso químico que busca eliminar, en gran porcentaje la dureza del agua; es decir las sustancias calcáreas y silíceas que posee el agua y que en gran cantidad estas sustancias obstruyen conductos, además como estas se alojan en los tubos estas ayudan a corroerlos. Además que al formar una capa sobre la superficie en contacto, éstas obstruyan la transferencia óptima de calor entre las paredes exteriores del tubo y el agua produciéndose así un deficiente funcionamiento del caldero.

El principio de un ablandador, es un intercambio iónico, que reemplaza los iones de calcio y magnesio, por iones de sodio, previniendo la formación de sarro en la grifería, tanques, cañerías, calderas y maquinarias que se encuentren en contacto con el agua.

#### **2.3.3.1. Ablandamiento por tratamiento químico**

Consiste en la adición de sustancias al agua que reaccionan con los iones calcio y magnesio, transformándolos en compuestos insolubles, que son separados del agua por procedimientos físicos convencionales (decantación y filtración). Existen varios procedimientos para realizar el ablandamiento del agua:

- Con cal.
- Con carbonato sódico y cal.
- Con sosa cáustica (hidróxido sódico)

#### **2.3.3.2. Desmineralización**

La desmineralización, no es específica para la eliminación de dureza, aunque se reduce el contenido de calcio y magnesio conjuntamente con otros iones. Es un proceso mejor que el ablandamiento químico, pero también es mucho más caro. (García, 2015)

### **2.3.4. Alimentación de combustible**

La forma común de obtener la energía necesaria para la generar vapor en las calderas, es quemando un combustible con aire atmosférico. Esta reacción química se llama combustión. Es importante estudiar la combustión por su influencia directa en el rendimiento térmico del equipo y la contaminación ambiental causada por la emisión de gases y partículas durante la combustión.

El proceso de combustión se caracteriza por una reacción química muy rápida entre el combustible y el oxidante acompañada por la liberación de calor (exotérmica) (Lagemann, 2016)

### **2.3.5. Inspección y diagnóstico de la maquinaria**

La termografía es una tecnología moderna en la que se pueden tomar fotografías mediante cámaras que miden radiación infrarroja la que es emitida por los cuerpos analizados, esta inspección permite ver de manera casi precisa la temperatura en cualquier punto de la superficie. Para poder analizar un sistema debemos determinar una rutina para tomar las mediciones y recolectar la información a medida que vaya cambiando la temperatura. En los últimos años estas cámaras han tenido amplia aplicación como en medicina, eficiencia energética, investigación, mantenimiento industrial, seguridad, edificios, entre otros.

### **2.4. Eficiencia energética en calderos**

La eficiencia energética son prioridades en el diseño y operación de la caldera. Para determinar la eficiencia energética debemos considerar la combustión y las pérdidas térmicas que se producen en el caldero, se puede calcular mediante dos métodos.

Por lo tanto, es extremadamente difícil utilizar un procedimiento estandarizado para el control en tiempo real de la eficiencia de la caldera o se requiere una inversión considerable para equipar la caldera con instrumentos adicionales de medición y cálculo computacional, (Pyatalov et al., 2014).

#### **2.4.1. Método directo**

Este método también es conocido como método de entrada y salida ya que se obtiene a partir de la salida de vapor y la entrada de agua y suministro de calor que se emplea. Esta nos indica la variación de estado que ha sufrido el sistema por pérdidas, arranques, paradas y purgas. Usando la siguiente fórmula:

$$\eta_u = \frac{\text{Energía calorífica útil}}{\text{Energía calorífica suministrada}} \times 100$$

$$\eta_u = \frac{\dot{m}_v \times (h_g - h_f)}{\dot{m}_c \times (\text{PCI})} \times 100$$

Donde:

$\dot{m}_v$  = Flujo de vapor generado por hora [kg/h]

$\dot{m}_c$  = Flujo másico de combustible [kg/h]

$(h_g-h_f)$  = Diferencia de entalpías [kJ/kg]

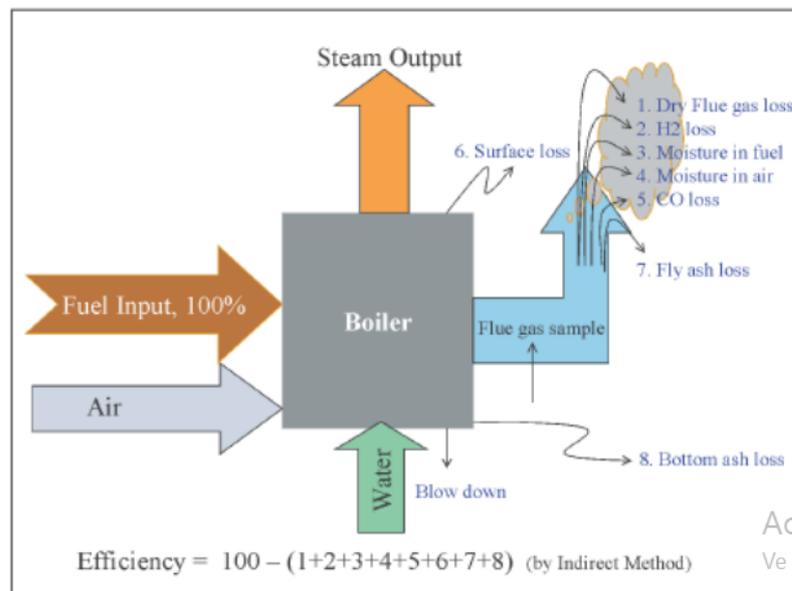
PCI = Poder calorífico inferior del combustible [kcal/m<sup>3</sup>]

#### 2.4.2. Método indirecto

Este método también es conocido como método de pérdidas de calor se obtiene a partir de un balance energético en el intercambio de calor, entre el fluido, el combustible y el medio circundante además del proceso de combustión. La eficiencia se determina restando las pérdidas del 100% que sería una eficiencia ideal. Para calcular la eficiencia global de la caldera en estudio se denomina método del balance inverso

$$\eta = 100 - (q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 + q_7)$$

Donde  $q_1$  es la pérdida de calor por los gases de escape,  $q_2$  es la pérdida de calor por la combustión de hidrógeno,  $q_3$  es la pérdida de calor por la humedad del combustible,  $q_4$  es la pérdida de calor de la humedad del aire,  $q_5$  pérdida de calor de la combustión química incompleta,  $q_6$  es la pérdida por transferencia de calor de la combustión por causas mecánicas y  $q_7$  es la pérdida por la temperatura de las cenizas, etc.



**Figura 3-2:** Método Indirecto de Eficiencia Energética

Fuente: Fundación de la energía de Madrid. 2012

## 2.5. Análisis de aguas

Estos análisis para el posterior tratamiento del agua son esenciales ya que los efectos que se tienen sobre la caldera por falta de un tratamiento adecuado y necesario, son incrustaciones, corrosión y sedimentos en la cámara de agua del caldero, provocando mayor tiempo en generar vapor y mayor consumo de combustible.

Según las recomendaciones de la Norma Británica BS – 2486, la ABMA (American Boiler Manufacturing Association) han realizado la siguiente tabla, dónde se muestran requerimientos que deberá poseer el agua del caldero y alimentación para evitar incrustaciones y corrosión en calderas de baja presión. Dichos valores se muestra en la tabla 1-2

**Tabla 2-2:** Requerimientos de agua para caldera

PARÁMETRO	VALOR RECOMEDADO
pH a 25 °C	10.5 - 11,8
Alcalinidad Total CaCO <sub>3</sub>	< 700 ppm
Alcalinidad Cáustica	> 350 ppm
Secuestrantes de Oxígeno:	
□ Sulfito de Sodio	30 – 70 ppm
□ Hidrazina	0.1 – 10 ppm
□ Taninos	120 – 180 ppm
□ Dietilhidroxilamina	0.1 – 1.0 ppm (en agua alimentación)
Fosfato Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	30 - 60 mg/l
Hierro	< 3.0 ppm
Sílice	150 ppm
Sólidos disueltos	< 3500 ppm
Sólidos en suspensión	< 200 ppm
Conductividad	< 7000 uS/cm
Condición general	Incoloro, claro y libre de agentes insolubles.

Fuente: Oelker. 2010

### 2.5.1. Parámetros para el tratamiento de aguas

Los principales parámetros involucrados son los siguientes:

- **pH.** Medida que representa las características ácidas o alcalinas del agua.
- **Dureza.** Es la cantidad de iones de calcio y magnesio en el agua.
- **Oxígeno.** Favorece la corrosión de las partes metálicos del caldero.
- **Hierro y cobre.** Forman depósitos, impidiendo una buena transferencia de calor.
- **Dióxido de carbono.** Favorece la corrosión de las partes metálicos del caldero.

- **Aceite.** Creación de espuma.
- **Fosfato.** Controla el pH y dureza en el agua.
- **Sólidos disueltos.** Son impurezas que están disueltas en el agua.
- **Sólidos en suspensión.** Son impurezas que no están disueltas en el agua.
- **Secuestrantes de oxígeno.** Son utilizados para remover el oxígeno del agua.
- **Sílice.** Forma silicatos o incrustaciones duras (silicatos de calcio y magnesio).
- **Alcalinidad.** Es la medida de carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos y silicatos o fosfatos en el agua.
- **Conductividad.** Controla la concentración de sales disueltas.

## 2.6. Análisis de gases de combustión

Como métodos de muestreo en gases de combustión, se lo realiza en diferentes puntos en el plano de muestreo para compensar la estratificación y obtener una muestra representativa. Las muestras de gases de combustión deben tomarse de los mismos puntos de medición utilizados para la determinación de la temperatura.

Para minimizar la incertidumbre, los puntos de muestra individuales deben combinarse para formar una muestra compuesta que luego se analiza continuamente durante la prueba. Para compensar la estratificación y obtener un promedio representativo, se deben muestrear múltiples puntos. Un análisis exacto, se lo realiza un analizador de gases, el cual puede obtener el porcentaje de exceso o de insuficiencia de aire.

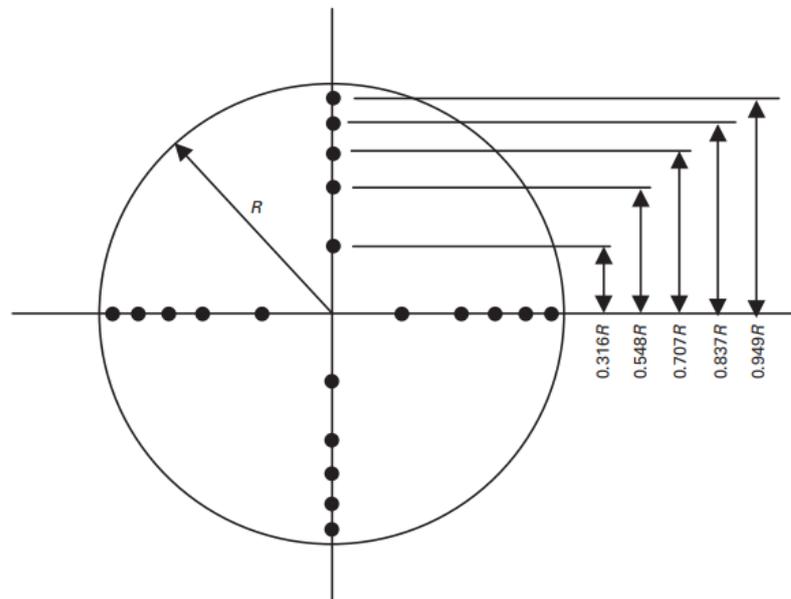
La eficiencia de combustión es una medida de efectividad del contenido del calor de combustible que se convierte en calor utilizable, la temperatura de los gases de combustión y la concentración de oxígeno en los gases son los mejores indicadores de la eficiencia con que se realiza (CONUEE, 2009).

### 2.6.1. Puntos de muestreo en ductos circulares

Requerido para la colocación mínima en los puntos de muestreo

- Los conductos circulares deben dividirse en áreas menores o iguales a 0,84 [m<sup>2</sup>].
- Entre 4 y 36 puntos de muestreo en función del área de la sección transversal del conducto.
- Debe haber al menos un punto por sector.

- La ubicación de estos puntos de muestreo puede determinarse mediante el método que se muestra en la figura (ASTM ACP4. 2013)



**Figura 4-2:** Rejillas muestra de 20 puntos en 4 sectores

Fuente: ASTM. 2013

## 2.7. Termografía

La tecnología de Termografía Infrarroja, en la inspección y análisis de las mediciones, está compuesta por el instrumento de medición y el software para el procesamiento de las imágenes.

- Medidas cualitativas: Estas medidas se obtienen al visualizar en la imagen una variedad de colores a través del cual podemos ver los puntos o áreas que poseen mayor y menor temperatura en un equipo.
- Medidas cuantitativas: Son medidas exactas puntuales, al que se apunta con un láser así determinamos la temperatura exacta que posee dependiendo del rango de operación que tenga la cámara utilizada.

Esta medida se obtiene de la energía que irradia hacia el lente de la cámara por un sensor el mismo que transforma en una señal eléctrica para ser procesada y representar en la pantalla de manera numérica, esta imagen se denomina termograma.

## 2.8. Trampas de vapor

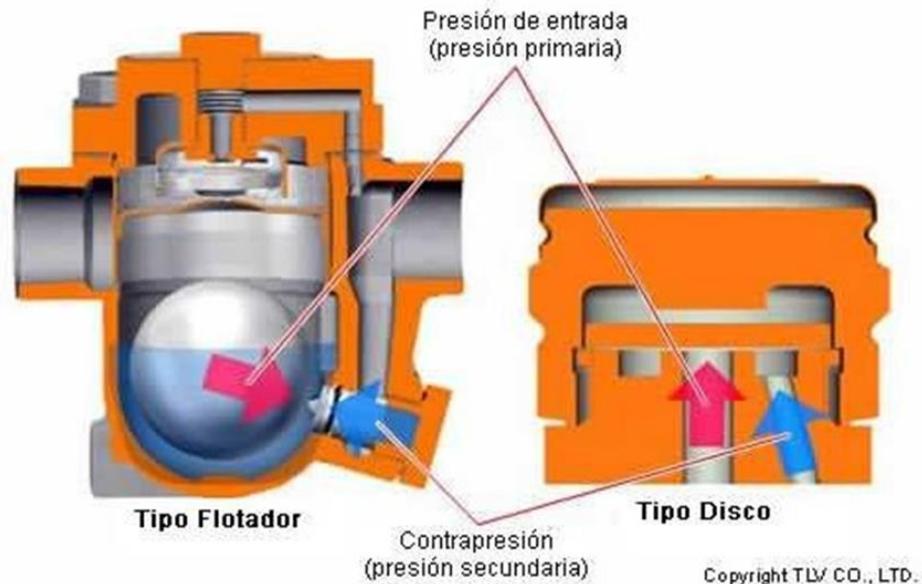
Son válvulas automáticas, que descargan condensado sin escape de vapor; reduciendo el consumo de energía quemando menos combustible y reduciendo emisiones. Sus principales funciones son:

- El drenado de los condensados, permitiendo que el vapor posea condiciones de temperatura y presión requerida.
- Eliminación de aire y otros gases no condensables, ya que estos pueden disminuir la transferencia de calor.
- Previene las pérdidas de vapor con alto contenido energético.

### 2.8.1. Tipos de trampas de vapor

Tomando como base su principio de operación, las trampas de vapor se clasifican en tres tipos básicos:

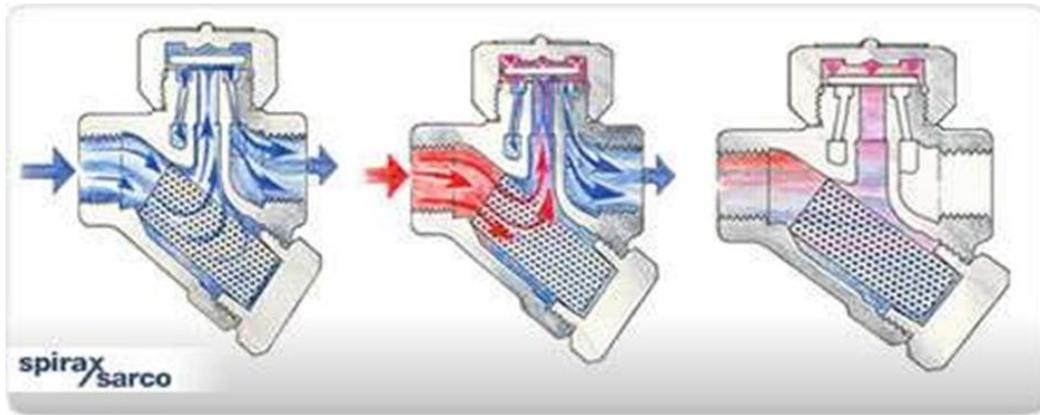
- Mecánica, cuya operación se basa en la diferencia de densidades del vapor y condensado.



**Figura 5-2:** Trampas mecánicas.

Fuente: TLV

- Termodinámica, basada en el cambio de estado que sufre el condensado. Son muy robustas, resistentes y soportan golpes de ariete.



**Figura 6-2:** Trampa termodinámica

Fuente: SPIRAX SARCO

- Termostática, se activan por la diferencia de temperatura entre vapor y condensado. Estas trampas trabajan por un sensor de temperatura. El vapor condensado posee una temperatura menor a la del vapor; cuando dicha temperatura alcanza un valor específico, la trampa se abre para drenar el condensado.



**Figura 7-2:** Trampas termostáticas de presión balanceada

Fuente: SPIRAX SARCO

### 2.8.2. *Instalación y montaje de una trampa de vapor*

Estas trampas se las monta con los siguientes elementos y aditamentos:

- Válvula de cierre antes de la trampa.
- Válvula de cierre en la tubería de descarga de condensado de la trampa.
- Filtro antes de la trampa.
- Colector de suciedad para detener óxidos.

**Tabla 3-2:** Características de las trampas de vapor

Características Tipo de válvula	Presión del proceso	Tipo de descarga	Fuga de vapor vivo en operación	Eliminación de aire y gases NC	Tiempo de vida*	Trabajo con suciedad	Resistencia a golpes de ariete	Trabajo con cambios en flujo de condensado
Balde Invertido	Constante (Flujo real) / casi constante	Intermitente	NO	Baja	Alto 6 a 8 años	Aceptable	Excelente	Malo
Flotador y Termostática	Modulante	Continua	NO	Excelente	Medio 3 a 5 años	Malo	Malo	Excelente
Termo dinámica	Constante / modulante	Intermitente	Probable	Buena	Muy Bajo 6 a 12 meses	Malo	Bueno	Malo
Bimetálica	Constante / modulante	Intermitente	NO	Excelente	Medio 3 a 5 años	Malo	Malo	Malo
Termostática	Constante / modulante	Intermitente	NO	Excelente	Medio 3 a 5 años	Malo	Malo	Malo

Fuente: CONUEE. 2020

### ***Inspección en las trampas de vapor***

Existen cuatro métodos de inspección:

- Visual.
- Acústico
- Térmico
- Electrónico

### ***2.8.3. Condiciones de operación***

Para el proceso de selección es necesario considerar lo siguiente:

- Presión de entrada a la trampa
- Presión de salida de la trampa
- Diferencial de presión de la trampa
- Consumo de vapor o carga

### **2.9. Aislamiento térmico para tuberías**

También llamadas “cañuelas” que tienen como objetivo la conservación de energía que consisten en aislamientos térmicos normalizados para tubería estándar de diversos diámetros nominales, en

medias cañas que se ajustan a lo largo del tubo y que se moldean en forma cilíndrica. Entre sus ventajas se encuentran:

- Poseen un bajo factor K (conductividad térmica) reduciendo drásticamente las pérdidas de calor.
- No pierden sus propiedades físicas cuando están sometidas a intenso calor, se adaptan perfectamente a las tuberías sin dejar ningún escape de calor.
- No se descomponen, no se encogen, no se estiran, tampoco se rompen cuando están sometidas a trabajo intenso y continuo.
- Son fáciles de instalar, se pueden cortar sin perder sus propiedades
- Son totalmente incombustibles, no emanan gases ni humos tóxicos
- Son inertes, no son hábitat de hongos, bacterias y bichos.



**Figura 8-2:** Cañuelas de diversos diámetros y espesores

Fuente: TRATECNI. 2015

## 2.10. Diagrama Sankey

Los diagramas Sankey son representaciones simbólicas formadas por nodos y flujos relacionados entre sí. Este tipo de diagrama posee como característica principal una anchura proporcional de los flujos y de los nodos a los valores que representan. Cada flujo se representa entre dos nodos, mostrando también la estructura y distribución del sistema representado. La representación gráfica generalmente es unidireccional, de izquierda a derecha y horizontal. En algunos casos aparecen realimentaciones, de forma que un flujo parte de un nodo posterior a un nodo anterior o al propio nodo.

Los diagramas de Sankey hacen honor a Matthew Henry Phineas Riall Sankey, un ingeniero que en 1898 fue el primero que los utilizó en una publicación para un caso de eficiencia energética en las máquinas de vapor. Aunque, previamente a su implementación en las máquinas de vapor su uso no sería común, existe algún caso como es el mapa de Charles Joseph Minard que muestra las pérdidas sufridas por el ejército de Napoleón durante la campaña de Rusia, sus características los pueden describir como una representación de Sankey. Tras Riall Sankey, los diagramas han sido una práctica estándar en ciencia e ingeniería

### **2.11. Documentación Técnica**

Es importante disponer de las características de la maquinaria, como de sus características de funcionamiento, como de las recomendaciones del fabricante para tareas de mantenimiento, como un ejemplo de información requerida para una máquina, deberá contener:

1. Descripción del equipo
2. Composición detallada y conexiones
3. Procedimientos de operación del equipo:
  - Puesta en servicio
  - Modos de marcha manual y automático
  - Ciclos de fabricación
  - Paradas del equipo
  - Órdenes de utilización y seguridad

### **2.12. Plan de mantenimiento**

Es un conjunto de actividades planeadas y programadas donde se establecen los métodos y recursos necesarios para realizar una tarea, previo a la puesta en marcha de los equipos, estas actividades se deben ejecutar en un tiempo determinado y con una frecuencia periódica definida, con el objetivo de prevenir que ocurra una falla y de esta manera garantizarla disponibilidad, confiabilidad y seguridad de los equipos.

Dentro de las actividades existen:

- **Actividades de inspección.** Realizadas para chequear el funcionamiento estable, eficiente y económico del equipo.
- **Actividades de conservación.** Actividades que ayudan a reducir la diferencia entre el

estado teórico y el real de la máquina, manteniendo la capacidad de operación y disminuyendo daños y fallas.

- **Actividades de reparación.** Se realizan restaurando el estado teórico del equipo. Se divide en reparación planificada y no planificada.
- **Actividades de cambio.** Se basa en la sustitución y cambio de un elemento que cumplió su de vida útil.
- **Actividades de modificación.** Alteración y/o construcción original del equipo para eliminar fallas recurrentes o para aumentar la capacidad y seguridad de la misma.
- **Actividades de instalación.** Montaje de elementos e instalación de servicios

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Análisis actual

El presente trabajo, primero se encargará de investigar, el análisis de eficiencia energética y se implementará un plan de mantenimiento adecuado para la generación de vapor saturado, que se realiza mediante una caldera pirotubular cilíndrica horizontal, de la “Empresa RIOLAC” de combustión Diésel. El caldero se encuentra ubicado en un cuarto cerrado con suficiente ventilación y que posee un tanque de alimentación de agua donde se le hace el mínimo tratamiento químico y un tanque del combustible con dos filtros antes de ingresar al quemador.

El calentamiento se realiza en tres pasos, el primero por horno y tubo principal, y el segundo y tercero por haces tubulares. El agua de alimentación es suministrada, de un tanque con una temperatura de ambiente. Este modelo tiene una presión máxima de trabajo permitida (PMTP) de 150 [psi], de la cual opera a su nivel óptimo y de diseño a 50 [psi] luego de 30 a 40 minutos al encender el caldero; donde en ese momento se apaga el quemador. La caldera funciona la mayor parte de tiempo controlado por el presostato, con un tiempo de operación de 4 horas antes de la parada, de dos a tres veces por jornada diaria.



**Figura 1-3:** Caldero pirotubular horizontal 3 pasos de 15 [Bhp]

Fuente: RIOLAC. 2020

### **3.1.1. Métodos**

El presente proyecto de integración curricular, se basará en dos etapas que corresponden al 26 método inductivo-deductivo, debido que a partir de la aplicación de las etapas e investigaciones realizadas podremos concluir con el análisis de la eficiencia energética y la propuesta de un plan de mantenimiento en el área de calderas, aportando esta investigación a equipos del mismo modelo que son fabricadas por la Empresa RIOLAC.

- El método inductivo va de lo simple a lo compuesto, observando varios datos y analizando analogías y diferencias, compararlos y tomar nota de sus características comunes para formular la regla que explica el comportamiento de esa clase de datos. (Contreras, 2013)

Luego de realizar el mantenimiento preventivo, determinando el estado actual del equipo; se tomará de referencia inicial y posteriormente implementará un plan de mantenimiento adecuado a la generación de vapor saturado para continuar a la siguiente etapa para desarrollar el método deductivo.

- El método deductivo va de lo general a lo particular y se caracterizan porque contienen un análisis. Parten de generalizaciones ya establecidas, de reglas, leyes o principios destinados a resolver problemas particulares. (Contreras, 2013)

Aquí se centrará, determinar el estado del equipo utilizando instrumentos de medición como son: la cámara termográfica, el anemómetro; análisis de muestras de agua, y gases de combustión. A su vez en esta parte se desarrollará el análisis de la eficiencia energética, basada en la norma ASME PTC 4-2013, correspondientes en la generación de vapor de la caldera pirotubular, con un análisis previo de como esta operando la caldera relacionado a la norma Ecuatoriana TULSMAN (texto unificado de legislación secundaria de medio ambiente) con reforma 2015.

### **3.1.2. Ficha técnica**

Considerando algunos parámetros de construcción, trabajo, funcionamientos nominales y estandarización basada en la norma ASME para calderos, se elaborado una ficha propia basada en los datos obtenidos de los ingenieros que elaboraron el caldero desde el diseño.

**Tabla 1-3:** Ficha técnica del caldero pirotubular horizontal de 3 pasos de 15 [Bhp]

FICHA TÉCNICA			
<b>ELABORADO POR:</b>		CARLOS HEREDIA	
<b>DATOS TÉCNICOS</b>		<b>HISTORIAL DE EQUIPO</b>	
Ref. Equipo	Caldero	Fecha Construcción	01/10/20
Ubicación	Riobamba	Fecha Instalación	07/11/20
Fabricante	RIOLAC	Tiempo de Funcionamiento	1,5 [año]
N° Serie			
Tipo	Pirotubular, Horizontal de 3 Pasos		
<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</b>			
Capacidad	15 [Bhp]	Peso Neto	950 [Kg]
Combustible	Diesel	Peso con agua a nivel	1750 [Kg]
Presión de Trabajo	0 - 60 [psi]	Superficie de Transferencia	2 [m <sup>2</sup> ]
Presión de Diseño	150 [psi]	Manejo	Automático
Consumo de Combustible	4 [gal/h]	Control de Seguridad	Protección alto-bajo nivel de Agua
Producción de Vapor	[Lb/h]		Protección control máx presión (Presostato)
Quemador de Combustión	Baggio		Protección control seguridad de llama (Warrick)
Norma Fabricación	ASME		Válvula de seguridad de máx presión
<b>EQUIPO ADICIONAL</b>		<b>OBSERVACIONES</b>	
Tanque de alimentación de agua			
Tanque de alimentación de combustible			
Chimenea			
Motobomba de alimentación de agua			
<b>Realizado por:</b> Heredia, Carlos. 2022			



### 3.1.3. Condiciones y recomendaciones del fabricante

El mantenimiento general incluye observar las fugas de vapor, agua y combustible y notificar a la empresa para repararlas. La estanqueidad de las conexiones que pertenecen a partes bajo presión o líneas de combustible, válvulas y conexiones similares, incluyendo el control de los aparatos, debería ser parte de este trabajo rutinario. Observar el correcto funcionamiento de manómetros, controles e instrumentos debe observarse en tiempos reducidos evitar cualquier desperfecto. Colocar periódicamente, los químicos para ablandar el agua de alimentación. El número de purgas para este equipo se debe realizar 3 a diario, un por la mañana, por media jornada de trabajo y casi al apagar por completo el caldero.

### 3.1.4. Combustible de alimentación

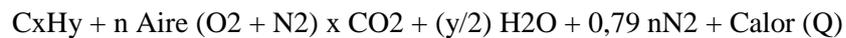
El combustible que se utiliza, es el Diésel, llamado también gasoil que es un derivado del petróleo y está compuesto el 75% de hidrocarburos saturados (parafinas, isoparafinas y cicloparafinas) y

un 25% de hidrocarburos aromáticos. La fórmula química, con intervalos de 10 a 21 carbonos, es C<sub>12</sub>H<sub>23</sub>.

La Empresa Pública de Hidrocarburos del Ecuador EP-Petroecuador, gestiona el sector hidrocarburífero en el alcance nacional, la misma que a partir del 5 de Enero de 2012 empezó a comercializar Diesel Premium de hasta 500 ppm de contenido de azufre, como cumplimiento del Plan de Mejoramiento de la Calidad de Combustibles impulsado por el Gobierno Nacional, finalmente en Octubre de 2012 se comercializó Diesel Premium de hasta 250 ppm de contenido de azufre, disminuyendo la emisión de gases contaminantes mejorando la calidad de aire.

### **3.1.5. Estequiometría de la combustión**

Es la Combustión Completa realizada con la cantidad estricta de oxígeno; es decir, el aire empleado en la combustión es el mínimo necesario para contener la cantidad de oxígeno correspondiente a la oxidación completa de todos los componentes del combustible (García, R. 2001)



Donde:

- $n = x + (y/4)$

### **3.1.6. Rendimiento de la caldera**

Para determinar la eficiencia del generador de vapor mediante una relación de mediciones de entrada (energía química total disponible en el combustible); con las de salida (energía total absorbida por el fluido de trabajo, no recuperada dentro de la envolvente del generador de vapor).

$$EF = \eta = \frac{P_u}{P_c} \times 100[\%]$$

$$\eta = \frac{126519,78}{10277,258 \times 12,886} \times 100$$

$$\eta = 95,535\%$$

Donde:

- Pu: Potencia útil de la caldera [kcal/h], la cual depende del caudal de agua Q [l/h] que circula a través de ella y del salto térmico del agua que existe a la entrada Te [°C] y salida Ts [°C] de la caldera. Pu no es más que la capacidad del caldero

$$Pu = Q \times (Ts - Te)$$

- Pc: Potencia combustionada (potencia nominal de la caldera) [kcal/h], obtenida al quemar el combustible depende del poder calorífico inferior.

$$Pc = PCI \times C$$

C: Consumo combustible [kg/h]

PCI: Poder Calorífico Inferior del combustible:

También se denomina a este enfoque de cálculo como “método directo” según la norma ASME PTC 4-2013. El cual irá calculando el rendimiento útil de la caldera, con la fórmula:

$$\eta_u = \frac{\dot{m}_v \times (h_g - h_f)}{\dot{m}_c \times (PCI)} \times 100$$

1. Consumo real de combustible (diésel liviano) es 4 [gal/h]  
d = 0,85 [Kg/L]  
PCI: Gasóleo/Diesel 10277.258 [kcal/kg]

$$\dot{m}_c = \frac{4 \text{ gal}}{\text{h}} \times \frac{3,79 \text{ L}}{1 \text{ gal}} \times \frac{0,85 \text{ Kg}}{\text{L}}$$

$$\dot{m}_c = 12,886 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

2. Flujo nominal de vapor  
Capacidad = 15 [Bhp]

$$\dot{m}_v = \frac{\text{Capacidad}}{hg - hf}$$

$$\dot{m}_v = \frac{529713 \left[ \frac{\text{KJ}}{\text{h}} \right]}{(2675.8 - 762.51) [\text{KJ/Kg}]}$$

$$\dot{m}_v = 276,86 \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \right]$$

Por lo tanto:

$$\eta = \frac{276,86 \times (457,276 \text{ [kcal/h]})}{12,886 \times (10277,258 \text{ [kcal/h]})} \times 100\%$$

$$\eta = 95,6\%$$

### 3.1.7. Análisis termográfico del caldero

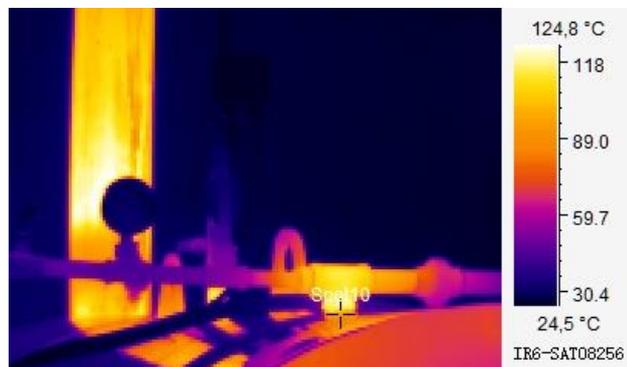
El instrumento de medición con lo que se realizó el análisis se lo realizó la cámara infrarroja portátil SATIR, que contiene una cámara digital integrada con certificaciones de trabajo en ambientes de alta vibración, polvo y agua.



**Figura 2-3:** Cámara termográfica HotFind VR

Realizado por: Heredia, Carlos. 2022

Utilizando el Software SATIR, se procede analizar los termogramas sacados de la memoria de la cámara termográfica, para detectar valores de temperatura en los sistemas que componen la caldera; en cada toma realizada y con la ayuda del anemómetro medimos la humedad, temperatura ambiente y la velocidad del viento. Se evidencia en la siguiente imagen la temperatura de escape al momento de empezar a generar vapor que es de 100,7 °C



**Figura 3-3:** Termograma de la salida a la válvula de seguridad

Realizado por: Heredia Carlos, 2022

Temp Range: 125,4 - 20,7

Unit: °C

Emissivity : 0,95

Distance : 1 m

Relative Humidity : 52%

Ambient Temp: 24,5 °C

Temp Correction: 0,0 °C

Temp Sensor: 24,5 °C

### 3.1.8. *Análisis de aguas*

El objetivo principal dentro del tratamiento de aguas, es reducir problemas de corrosión e incrustaciones, mejorando la calidad del agua de alimentación y del agua contenida en la caldera que se consigue mediante el cumplimiento en los límites y parámetros recomendados, basados en normas de para el tratamiento del agua. Este análisis se lo realizó en la ESPOCH, en el Laboratorio de calidad del agua, de la Facultad de Ciencias; utilizando métodos para cada parámetro de cálculo, con la ayuda varios equipos, como el “Espectrofotómetro” y de varios reactivos químicos, en las muestras tomadas del agua de alimentación y el agua del caldero.



**Figura 4-3:** Espectrofotómetro

Fuente: HACH. 2013

El procedimiento para el análisis de aguas, se debe realizar en recipientes de vidrio, con las muestras homogenizadas en vasos plásticos, para cada valor se detalla lo siguiente:

1. Utilizando el método potenciométrico se colocan las muestras de los vasos plásticos, en un equipo multiparámetros, los cuales son Phímetro, Conductivímetro y el detector de sólidos totales disueltos (STD).
2. Se colocan las muestras en suspensión para ser utilizadas en el espectrofotómetro con sus respectivos reactivos, para cada parámetro a analizar.

Los datos obtenidos de las muestras de agua se encuentran detallados en la siguiente tabla:

**Tabla 2-3:** Valores medidos del análisis de aguas del caldero

PARÁMETROS	VALORES EXPERIMENTALES	
	Agua de Alimentación	Agua de la Caldera
<b>pH</b>	8,22	10,19
<b>Conductividad</b>	902,7 [μS]	1,227 [mS]
<b>STD</b>	551,9 [ppm]	745,5 [ppm]
<b>Alcalinidad</b>	P = 0 M = 4,5 Incoloro	P = 1,5 M = 3,45 Color Rosado
<b>Fosfatos</b>	0,53 [mg/l]	0,29 [mg/l]
<b>Hierro</b>	0,08 [mg/l]	0,17 [mg/l]
<b>Sílice</b>	40,2 [mg/l]	34,4 [mg/l]
<b>Sólidos en suspensión</b>	2 [mg/l]	171 [mg/l]
<b>Dureza</b>	5,7 [ml]	1,25 [ml]

Realizado por: Heredia Carlos, 2022

### 3.1.8.1. Tratamiento de agua para la caldera

El tratamiento de agua, es un proceso crítico e importante en la producción de vapor. En términos generales consiste en una variedad de procesos químicos cuya finalidad es remover o reducir a niveles aceptables las impurezas en el agua y el constante proceso de purgas, con el fin de disminuir los efectos adversos producidos por estas en la caldera. El tratamiento consiste:

- En un suavizador para reacciones de intercambio, en donde el agua proveniente del pozo se lleva a ablandamiento en el suavizador, a continuación el agua pasa a través de una resina sintética en donde se remueve los iones de magnesio y calcio a menos de 1 ppm, los cuales forman depósitos, siendo estos remplazados con una cantidad equivalente de otros iones.

### 3.1.8.2. Productos químicos

Los más utilizados para calderas son los secuestrantes de oxígeno, dispersantes, anti-incrustantes, protectores y neutralizantes. La dosificación es realizada en el tanque de almacenamiento de agua

### 3.1.8.3. Ciclos de Concentración

Los ciclos de concentración, determinan los requerimientos de purga necesarios; evitando corrosión y/o incrustaciones. Los ciclos de concentración, son calculados mediante la fórmula:

$$N_c = \frac{C_c}{C_a}$$

Donde:

$N_c$  : Ciclos de concentración.

$C_a$  : Concentración impurezas en agua de alimentación.

$C_c$  : Concentración impureza en caldera.

Entre las impurezas para las que deben determinarse los ciclos de concentración figuran las siguientes:

- Sólidos disueltos
- Sílice
- Alcalinidad
- Hierro

Con los datos calculados dentro del análisis de aguas:

$$C_a = 45 + 0,08 + 40,2 + 551,9 = 637,18 \text{ [mg/l]}$$

$$C_c = 345 + 0,17 + 34,4 + 745,5 = 1125,07 \text{ [mg/l]} \quad ; \text{ por lo tanto}$$

$$N_c = 1,77$$

Se necesitara alrededor de 2 mínimas purgas diarias, para el tratamiento de agua inicial de alimentación ya que esta se extrae incluso, del agua de riego.

### 3.1.9. Análisis de gases de combustión

Se puede determinar visualmente si la combustión esta correcta siguiendo las siguientes directrices cuando los gases de la combustión salen por la chimenea:

- Insuficiente aire, humo denso de color negro
- Demasiado aire, humo denso de color blanco.
- Un humo transparente, ligeramente gris, saliendo de una chimenea, es signo de una

relación razonablemente buena aire/combustible.

Dentro de este proceso con la ayuda del equipo analizador de gases electroquímico, TESTO 350 Box, nos mostrará con valores porcentuales que tan eficiente está el proceso de quemado del combustible, que en este caso es diésel para el caldero con un consumo de 4 [gal/h] hasta que se prenda la llama en el quemador. Este equipo nos entrega automáticamente los valores de exceso de aire, temperatura de gases de combustión, eficiencia en la combustión, %O<sub>2</sub>, %CO<sub>2</sub>, entre otros. Con este equipo se realiza un análisis de la combustión inicial de la caldera para establecer parámetros iniciales de configuración del quemador.



**Figura 5-3:** Caja y sonda analizadora de gases TESTO350 Box

Fuente: TESTO, 2021

Descripción del procedimiento, para medir la composición de gases de escape (IDAE, 2007)

1. Verificar que se dispone de todos los elementos de protección personal. Se deberá contar con gafas y guantes para alta temperatura, entre otros. Casco, protección auditiva, arnés, botas de seguridad y camisa manga larga, serán de uso obligatorio.
2. Verificar que las condiciones sean seguras para realizar el monitoreo, con poca probabilidad de lluvia, sujetar el arnés adecuadamente, conexiones eléctricas seguras, y disponiendo de todos los elementos necesarios.
3. Alistamiento de los elementos a saber, tubo pitot y analizador de gases. Realizar las conexiones de mangueras tanto del pitot como del analizador de gases.
4. Verificar que se dispone de una extensión eléctrica conectada con tensión de 110 V para alimentación del analizador de gases.
5. Verificar que se dispone de herramienta para acceder al puerto de la unidad generadora
6. Encender los equipos, tanto el manómetro diferencial como el analizador de gases. Para este último equipo inicialmente se deberá esperar que realice adecuadamente su

maniobra de encendido, tales como barrido, puesta a cero, y puesta a punto. Todo esto deberá realizarse con la sonda al aire libre.

7. Una vez el analizador haya realizado toda su maniobra de arranque, se deberá garantizar que la conexión con el computador portátil este activa y se le dará la orden de registro de datos.
8. Insertar la sonda al ducto de la chimenea garantizando que quede en la posición central. El registro de datos no superará los 5 minutos en forma continua
9. Realizar la medición de la presión diferencial en cuatro puntos a lo largo del diámetro del tubo y la temperatura de los gases en dichos puntos.
10. Realizar el procedimiento anterior dos veces más y registrar los valores en el formato diseñado.
11. Terminar de registrar los valores de emisiones por cinco minutos y retirar la sonda. Permitir al analizador succionar aire ambiente por un periodo de al menos 3 minutos.

Los valores tomados se detallan a continuación, los que fueron tomados de la bitácora del equipo TESTO 350 Box, con la asistencia técnica de la Empresa PRODIESEL de Quito. Durante el análisis el caldero trabajaba con una presión de trabajo de 48 a 50 [psi], justo cuando empiezan a generar vapor. Las medidas realizadas se encuentran comparadas con los parámetros ideales según la norma TULSMAN.

**Tabla 3-3:** Valores adquiridos del equipo analizador de datos y los ideales según la norma TULSMAN

PARÁMETROS	MEDICIONES						PARÁMETROS IDEALES
O <sub>2</sub> %	4,03	3,97	3,89	3,95	4,08	3,98	Variable
CO <sub>2</sub> %	12,43	12,95	12,98	12,98	12,90	12,98	11 – 14 %
Eficiencia Combustión	87,1	87,0	86,9	86,8	86,7	86,9	80 – 92 %
Inquemados (qA)	12,4	13,0	13,1	13,2	13,3	13,2	12 – 14 %
Temp. Chimenea	173,2	176,5	177,61	179,6	181,2	181,6	Variable
Temp. Ambiente	23,6	23,8	23,8	24,0	24,1	24,1	Variable
Exceso de Aire (λ)	23,9	23,5	22,9	23,3	24,3	23,5	16,7 – 24,5 %
CO [ppm]	0	0	0	0	0	0	Máx 225
NO <sub>x</sub> [ppm]	58	58	57	58	59	59	Máx 275
SO <sub>2</sub> [ppm]	2	1	1	1	1	1	Máx 720
Opacidad	0	0	0	0	0	0	Máx 3

Realizado por: Heredia Carlos, 2022

### 3.2. Eficiencia energética en calderos

Para desarrollar la eficiencia energética se basa en métodos de la norma ASME PTC 4 porque es el que se ajusta en cuanto al tipo de caldera, rango de presiones de operación y tamaño de las mismas. Este método tiene en cuenta las pérdidas de calor que se presentan en el proceso de combustión y de la generación de vapor, así como las condiciones de entrada de agua y del combustible. Las pérdidas más representativas son:

- Pérdida por gases secos de combustión
- Pérdida por hidrogeno en el combustible
- Pérdidas por humedad en el combustible
- Pérdidas por humedad en el aire
- Pérdidas por monóxido de carbono
- Pérdidas por radiación y convección

La etapa para determinar el comportamiento de la caldera será mediante el análisis de gases.

Mediante dos procesos se puede detectar la eficiencia energética en el caldero:

1. Proceso del Método Directo: el cual es el de rendimiento anteriormente detallado, definido por el calor producido en la caldera y la energía del combustible con que se alimenta. Calculado en el Capítulo 3.1.6.
- Proceso del Método Indirecto: Al ser un método indirecto lo que tiene en cuenta son las pérdidas, por lo cual la eficiencia es calculada partiendo de un 100% como condición ideal y a este valor se le resta las pérdidas asociadas a la humedad, gases de escape entre otros conceptos. Las pérdidas contempladas por este método son pérdidas por gas seco de combustión, por hidrogeno en el combustible, por humedad en el combustible, humedad en el aire, pérdida por monóxido de carbono y tiene la particularidad de despreciar las pérdidas por radiación y convección por la dificultad que presenta medir estas variables de cálculo. Como en este caso el combustible que se está manejando es líquido no aplican las pérdidas por cenizas.

$$\eta=100-\text{PÉRDIDAS}$$

$$\eta=100-20,0663$$

$$\eta=79,934 \%$$

Para conocer las pérdidas producidas se deben realizar cálculos, donde es necesario conocer los siguientes parámetros:

**Tabla 4-3:** Parámetros para el cálculo de pérdidas de energía

Composición del combustible	% en peso
Porcentaje en peso del carbono	C
Porcentaje en peso del hidrógeno	H <sub>2</sub>
Porcentaje en peso de azufre	S
Porcentaje en peso del oxígeno	O <sub>2</sub>
Porcentaje en peso del nitrógeno	N <sub>2</sub>
Porcentaje en peso de agua	H <sub>2</sub> O
Porcentaje en peso de las cenizas	cen

Realizado por: Heredia Carlos, 2022

**Tabla 5-3:** Valores de los parámetros para el cálculo de las pérdidas y créditos, método indirecto

PARAMETROS	ppm	mg/L	mg/m <sup>3</sup>	Kg/L	ml/m <sup>3</sup>	g/L	%
		0	0	0	0	0	
CO <sub>2</sub>	12,95		21,591	2,1591E-08	21,591	2,1591E-05	
O <sub>2</sub>	3,98		5,208	5,208E-09	5,208	5,208E-06	
C		0,005892	5,892	5,892E-09	0,005892	5,892E-06	
S		0,0015015	1,5015	1,5015E-09	0,001502	1,5015E-06	
CO	0	0	0	0	0	0	
NO <sub>x</sub>	58		119	0,000000119	119	0,000119	
SO <sub>2</sub>	1		3	0,000000003	3	0,000003	
H <sub>2</sub>			1,063	1,063E-09	1,063	1,063E-06	
N <sub>2</sub>			16,73	1,673E-08	16,73	0,00001673	
H <sub>2</sub> O			9,5667	9,5667E-09	9,5667	9,5667E-06	
N	58	0,033776	33,776	3,3776E-08	0,033776	3,3776E-05	
O <sub>x</sub>		0,085224	85,224	8,5224E-08	0,085224	8,5224E-05	
S	1	0,0015015	1,5015	1,5015E-09	0,001502	1,5015E-06	
O <sub>2</sub>		0,0014985	1,4985	1,4985E-09	0,001499	1,4985E-06	
EXCESO AIRE							23,567
<b>TEMPERATURAS</b>							
T <sub>g</sub> [°C]	178,3						
T <sub>a</sub> [°C]	22,6667	[°K]	295,8167				

Realizado por: Heredia Carlos, 2022

### 3.2.1. Cálculos estequiométricos de la combustión

Partiendo de la fórmula del Diesel Premium C<sub>12</sub>H<sub>26</sub>, que se utiliza en la combustión del caldero y partiendo de una combustión completa; el valor de la concentración molar se tiene por, la fórmula:



### 3.2.2. Pérdidas

El cálculo de las pérdidas se divide en dos categorías, de acuerdo con el método en que se midan y calculen convenientemente.

- En la primera categoría son pérdidas, en función de la entrada del combustible y pueden expresarse fácilmente en términos de pérdida por unidad de entrada del combustible, expresado como porcentaje. Pérdidas por productos de la combustión (gas seco, agua del combustible, etc.)

1. Pérdida debida al constituyente k:

$$Q_{pLk} = 100 \times M_{qk} \times (HL_{vk} - H_{Re})$$

$$Q_{pLk} = 100 \times M_{qk} \times M_{nCpk} \times (TL_{vk} - T_{Re})$$

$$Q_{pLk} = 100 \times 1,9 \times (1/41275,627) \times (451,45 - 297,15)$$

$$Q_{pLk} = 0,7103 \%$$

Donde:

$M_{nCpk}$  = Calor específico medio del constituyente k, [Btu/lbm °F], [J/Kg °K].

Siempre que sea práctico, la entalpía es utilizada en lugar del calor específico medio y la diferencia de temperatura

$M_{qk}$  = Masa del constituyente k por entrada de [Btu] ó [KJ] en combustible.

$TL_{vk}$  = Temperatura del constituyente k que sale del generador de vapor, [°C]

$T_{Re}$  = Temperatura de referencia es 24 [°C]

2. Pérdida de gas seco, porcentaje:

$$Q_{pLDFg} = 100 \times M_{qDFg} \times H_{DFgLvCr}$$

Donde:

HDFgLvCr = Entalpía del gas seco a la temperatura dejando el límite corregido para Fugas

MqDFg = Flujo másico de gas seco que sale del vapor generado, basado en el exceso de aire [Kg/KJ]. Es diferencia entre el húmedo gas de combustión y la humedad total en el gas de combustión en la ubicación z.

- En la segunda categoría están las pérdidas no relacionadas con la entrada de combustible, que se calculan más fácilmente sobre una energía por unidad de tiempo, como la pérdida debida a la radiación superficial y convección.

### 3.2.3. *Créditos*

Al igual que en la sección de pérdida, el cálculo de los créditos cae en dos categorías de acuerdo con el método en que se miden y calculan convenientemente.

En la primera categoría están aquellos créditos que pueden expresarse fácilmente como un porcentaje de la entrada de combustible, como energía en el aire entrante; y segundo, los que son más calculado fácilmente sobre una base de energía por unidad de tiempo, como la energía suministrada por la alimentación de equipos auxiliares. Los créditos están ordenados en orden aproximado de importancia y aplicabilidad universal.

### 3.2.4. *Mejorar la eficiencia energética*

Lo ideal que se requiere en estos equipos generadores de vapor es obtener la mayor cantidad de vapor con el menor suministro de energía, que en este caso es aportada por el combustible. Los siguientes son algunos factores que de ser tenidos en cuenta permitirán aumentar la eficiencia de las calderas.

- Limpiar periódicamente el haz de tubos, donde se genera la transferencia de calor.
- Usar el combustible a la temperatura de ignición, es decir que se requiere de un precalentamiento para el combustible al igual que para el agua
- Manejar el correcto porcentaje de aire en exceso para garantizar una combustión completa.
- Pre calentar el aire de la combustión que puede ser con un economizador, así como se hace con el agua caliente.
- Optimizar el tratamiento de agua de la caldera.
- Reciclar el vapor condensado

### 3.3. Diagramas Sankey

En este capítulo se va a realizar la interpretación de las corrientes energéticas por medio de los diagramas de Sankey, para lograr así, una cuantificación de los indicadores termoenergéticos como, calor demandado en el proceso, pérdidas de calor totales en el proceso, eficiencia de la caldera y eficiencia en el proceso. Se tratará acerca del balance energía el cual es un punto importante para realizar la descripción de energía que es requerida en el funcionamiento del caldero, además de los mecanismo de transferencia de calor como es la convección y radiación, lo cual es muy importante para calcular las pérdidas de calor en los generadores de vapor, permitiendo comparar los resultados obtenidos en la eficiencia energética.



**Figura 6-3:** Diagrama Sankey para un caldero

Fuente: Fowler, S. 2004

### 3.4. Inspección de las trampas de vapor

#### 3.4.1. Inspección visual

Realizado como análisis de partida, pero es un proceso muy limitado, para detectar fugas por ejemplo. En la mayoría de los casos, el diagnóstico correcto sería acompañándolo con una inspección de ultrasonido y temperatura o termografía.

#### 3.4.2. Inspección termográfica

Medir la temperatura o realizar un análisis con una cámara termográfica, del condensado a la entrada de la trampa es el primer paso para inspeccionar si hay una falla en la trampa. Si la temperatura es significativamente baja y la aplicación está "en servicio", la baja lectura indica una trampa subdimensionada, bloqueadas o que no descarga tenga que ver con la presión diferencial negativa Stall.

### **3.4.3. Inspección por sonido**

Cuando una trampa ya no funciona como es, el sonido normalmente cambia. La fuga de vapor por una trampa tiene un sonido específico de un silbido y una ola. Un silbido es un sonido agudo causado por la fuga de vapor, incluso si ésta es moderada. Esta prueba se la realiza con el estetoscopio en la trampa

## **3.5. Planeación del mantenimiento**

Para elaborar el plan de mantenimiento del caldero, de la empresa RIOLAC, dentro del programa de mantenimiento bien enfocado ayudara a evitar paros innecesarios y reparaciones costosas, promoverá la seguridad y ayudara al personal encargado de la sala de caldera. Debe establecerse un plan de inspección calendarizado. También se recomienda que se mantenga una bitácora o registro de la sala de caldera. El registrar parámetros de funcionamiento, actividades rutinarias y de mantenimiento diarias, semanales, mensuales, semestrales y anuales proveerán una guía valiosa que ayudará a obtener información de cualquier anomalía o novedad en la caldera, lo cual permitirá un mejor cuidado y por ende un correcto funcionamiento a largo plazo. Dentro de las actividades a realizar, como el examen visual comprende la búsqueda de pequeñas fugas, coloración o decoloración de algunas áreas; acumulación de óxidos o de otros compuestos, leves deformaciones y/o sonidos extraños. Algunos de estos procedimientos se los tiene que realizar en el momento que el caldero esta en operación, mientras que las otras en necesario sacarlas fuera de servicio y dejar que se enfríen en un tiempo de 2 horas en caso de que hubiera una limpieza de los tubos de fuego; y de 24 horas para la revisión total y cambio de tubos de fuego.

### **3.5.1. Inspección**

Dentro de los procedimientos de inspección y revisión recomendado por la ASME Sección VII, recomienda que se lo debe realizar en tres etapas:

- Equipo en servicio antes de la inspección
- Equipo fuera de servicio
- Equipo en servicio después de una revisión

Cuando las interrupciones de la caldera lo permitan, las inspecciones serán de todas las partes internas de la caldera, para notar la presencia de corrosión en cualquier forma y permitir análisis de aguas y de depósitos; para determinar causas y sugerir cambios correctivos con el tratamiento y operación del agua. Se debe revisar y realizar análisis de dureza de muestras de agua de caldera

y condensado por lo menos una vez al año..

### 3.5.2. *Mantenimiento preventivo*

El mantenimiento preventivo elimina muchas interrupciones no programadas de los equipos que provocan pérdidas de producción y un aumento en el costo de mantener la energía. Una revisión minuciosa de los elementos en los sistemas de la caldera, asegura de que el equipo se encuentre en un buen estado técnico y funcione efectivamente, eliminando las causas de las interrupciones no programadas. Este mantenimiento además nos permite reconocer los síntomas de una falla en la máquina e identificar un daño a futuro, por lo que se realiza rutinariamente. La norma ASME Sección VII recomienda que para el cuidado de una caldera no obligatoria los siguientes procedimientos:

- Limpieza del entorno, junto con los equipos, elementos y filtros.
- Cuidado de la alimentación eléctrica al caldero y de los motores.

Diariamente: Se llevará a cabo una rutina de inspección de parámetros de los niveles de agua, de manómetros y de controles de ignición de la caldera.

- Revisión de los sistemas de seguridad.



**Figura 6-3:** Presostato y manómetro de control

**Realizado por:** Heredia Carlos, 2022

- Control de la bombas de alimentación.
- Necesario revisar periódicamente los controles de nivel de agua. En la mayoría de los casos se da por operar con bajo nivel de agua, para reducir daños graves al caldero.
- Chequeo nivel de combustible mediante el aforo del tanque de combustible.
- Purgado de la caldera y nivel de columna de agua.



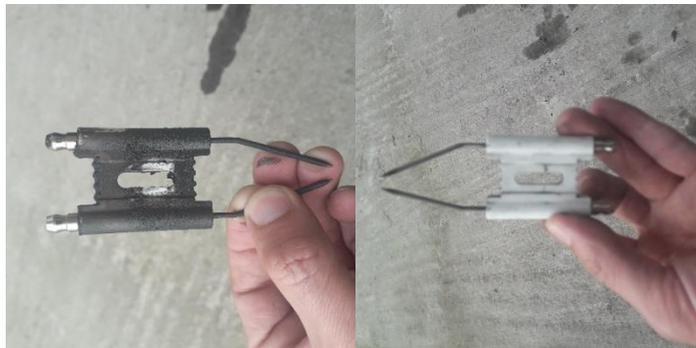
**Figura 7-3:** Purgado del caldero

**Realizado por:** Heredia Carlos, 2022

- Llevar un registro de presiones, que se debe llevar cuando la caldera esté en funcionamiento.
- Chequeo general de las condiciones físicas.

Semanalmente: Se revisarán los resultados de las rutinas, si dado caso que presente muestras de cualquier anomalía, se tomarán las medidas pertinentes para mantener la caldera en óptimas condiciones de funcionamiento y seguridad.

- Limpieza del electrodo de cualquier depósito de carbón



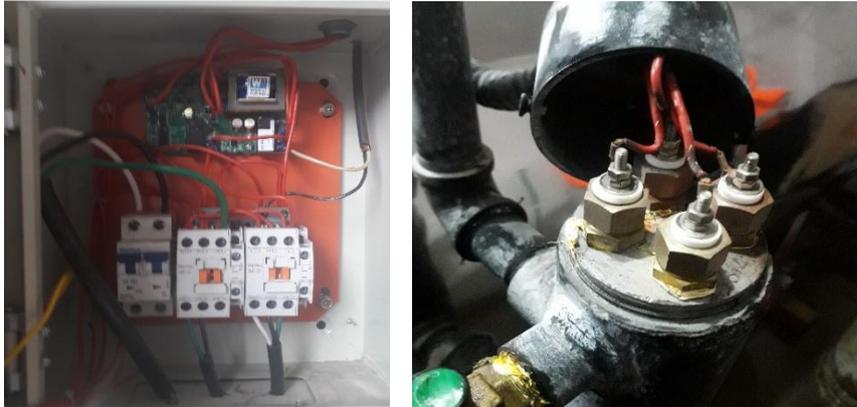
**Figura 8-3:** Limpieza del electrodo

**Realizado por:** Heredia Carlos, 2022

- Limpieza de la unidad, para evitar que las partes se acumulen de polvo y aceite.
- Se realizara el cierre del manifold de las tuberías de circulación y recirculación de agua lo cual nos permitirá realizar la inyección de químicos secuestrantes de oxígeno, aminas neutralizantes, anti-incrustantes, antiespumantes, limpiadores para que circule por todas las tuberías y equipos necesarios en la ayuda del buen funcionamiento
- Luego de realizar la inyección de químicos se procederá a purgar la caldera.

Mensualmente: Se los realiza una vez al mes, además de las actividades semanales y diarias.

- Limpieza de polvo en controles eléctricos y revisión de contactos.



**Figura 9-3:** Sistema eléctrico presente en el caldero

Realizado por: Heredia Carlos, 2022

- Limpieza de filtros de las líneas de combustible, agua y vapor.
- Mantenimiento a todo el sistema de agua: filtros, tanques, válvulas, bombas.
- Limpieza de las boquillas de combustible.
- Desmonte y limpieza del sistema de combustión.



**Figura 10-3:** Quemador del caldero y su boquilla interna

Realizado por: Heredia Carlos, 2022

- Verificar estado de la cámara de combustión.
- Limpieza cuidadosa de columna de agua del tubo de cristal.



**Figura 11-3:** Limpieza y cambio de empaques del nivelador

**Realizado por:** Heredia Carlos, 2022

- Verificar acoples y motores.
- Verificar válvulas y grifos.
- Verificar bloqueos las protecciones en el programador en el tablero de control.
- Limpieza de la boquilla de pulverización del combustible diésel.
- Verificaron el estado de las tuberías de vapor.
- Verificar si existe roturas en los aislamientos de las tuberías de vapor, si tuviere.
- Abra e inspeccione el flotador de nivel

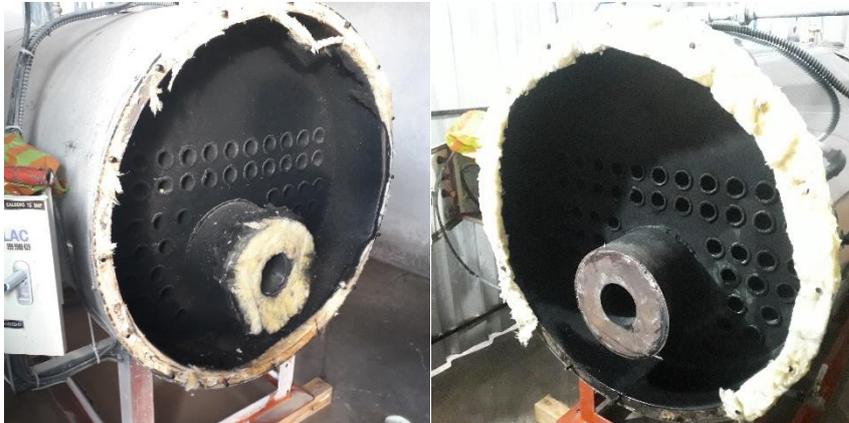


**Figura 12-3:** Boquilla interna luego de su limpieza

**Realizado por:** Heredia Carlos, 2022

Semestralmente: Se comprobará el funcionamiento de todos los controles elevando el nivel del agua en la caldera; se observará como responden los controles de la ignición elevando y reduciendo la presión; se comprobará el estado de las válvulas de seguridad, además de:

- Lavado interior al lado del agua, removiendo incrustaciones y sedimentos.
- Verificar si hay corrosión, picaduras o incrustaciones.
- Utilizar empaques nuevos en tapas del caldero



**Figura 13-3:** Tapa frontal del caldero colocando la nueva lana de vidrio

**Realizado por:** Heredia Carlos, 2022

- Limpiar los tubos del lado de fuego y tubo central.
- Inspección del filtro de combustible.
- Verificar hermeticidad de las tapas del caldero.

Anualmente:

- Cambio de empaques de la bomba de alimentación si es necesario.
- Mantenimiento de motores.
- De acuerdo a un análisis del agua y las condiciones superficiales internas del caldero, se determina si es necesario realizar una limpieza química del caldero.
- Inspección del motor del quemador.
- Revisión y control del tablero eléctrico.

## CAPÍTULO IV

### 4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Estado actual del caldero y su eficiencia energética

El caldero se encuentra en óptimas condiciones técnicas, físicas y de funcionamiento, ya sea por su construcción con normas ASME y las indicaciones junto con los tratamientos que RIOLAC asesora. En el análisis termográfico con el caldero en funcionamiento, se evidenció que no presenta fugas ni daños considerables en sus componentes en el sistema de generador de vapor, esto se lo observa en los ANEXOS A-F.

La eficiencia energética basado en la norma “ASME PTC 4-2013 Fired Steam Generators” que se encuentra relacionada al tipo de combustible con que opera la caldera, como petróleo o gas; donde el caldero de la empresa RIOLAC opera con diésel. En esta sección de tomará en cuenta los análisis de gases de combustión. Para optimizar la eficiencia energética se toma en cuenta:

- Temperatura de gases de combustión
- Operación y purgas
- Detección de temperaturas superficiales
- Reducción de consumo de combustible
- Reducción de Pérdidas



**Figura 1-4:** Caldero pirotubular de la Empresa RIOLAC

Realizado por: Heredia Carlos, 2022

#### 4.1.1. Sistema de alimentación de agua

Los resultados obtenidos de los análisis de agua de alimentación y la del caldero, se los correlaciona con la Norma BS-2486, obteniendo que el agua de alimentación contiene en sus valores experimentales para los parámetros de la alcalinidad, el contenido de hierro y sobretodo la dureza, son mayores al rango establecido.

Por lo tanto el agua de alimentación debe ser tratada, mientras que el agua de caldera se encuentra entro los parámetros con excepción de la alcalinidad, debido a la presencia de hidróxidos y menos cantidad de carbonatos; esto nos dá como resultado incrustaciones en los tubos de humo.

**Tabla 1-4:** Parámetros del análisis de aguas, relacionados con la norma

PARÁMETROS	VALORES EXPERIMENTALES		NORMA BS 2486	
	Alimentación	Caldera	Alimentación	Caldera
<b>pH</b>	8.22	10,19	8,5 – 9,5	10,5 – 11,8
<b>Conductividad</b>	902,7 [μS]	1,227 [mS]	-	< 7 [mS]
<b>STD</b>	551,9 [ppm]	745,5 [ppm]	-	< 3500 [ppm]
<b>Alcalinidad</b>	P = 0 M = 4,5 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Incoloro</li> <li>• Bicarbonatos 45 [ppm]</li> </ul>	P = 1,5 M = 3,45 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Color Rosado</li> <li>• Hidróxidos y Carbonatos 300 [ppm]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incoloro &lt;25 [ppm]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incoloro &lt;700 [ppm]</li> <li>• &gt; 350 [ppm]</li> </ul>
<b>Fosfatos</b>	0,53 [mg/l]	0,29 [mg/l]	-	30 – 60 [mg/l]
<b>Hierro</b>	0,08 [mg/l]	0,17 [mg/l]	< 0,05 [mg/l]	< 3 [mg/l]
<b>Sílice</b>	40,2 [mg/l]	34,4 [mg/l]	-	150 [mg/l]
<b>Sólidos en suspensión</b>	2 [mg/l]	171 [mg/l]	-	< 200 [mg/l]
<b>Dureza</b>	5,7 [ml]	1,25 [ml]	< 2[mg/l]	

Realizado por: Heredia Carlos, 2022



**Figura 2-4:** Incrustaciones en los tubos de humo

Realizado por: Heredia Carlos, 2022

#### 4.1.2. Sistema de alimentación de combustible

El combustible utilizado para la alimentación al caldero es el Diesel Premium, con una densidad relativa de 0,847 [g/cm<sup>3</sup>] (Laboratorio de Petróleos y Termodinámica de la Facultad de Ingeniería Química EPN. 2017). Que se basan en la norma NTE INEN 1489 (octava revisión) del año 2017, PRODUCTOS DERIVADOS DE PETRÓLEO. DIÉSEL. REQUISITOS.

**Tabla 2-4:** Parámetros del combustible Diesel

<b>COMBUSTIBLE: DIÉSEL PREMIUM</b>		
<b>DENSIDAD [g/cm<sup>3</sup>]</b>	<b>CONSUMO [Kg/h]</b>	<b>uso [h]</b>
0,847	12,8236	4
		1460 año
<b>HHVF [KJ/Kg comb]</b>	<b>MrF [Kg comb/h]</b>	
45600	12,8236	
<b>HHVCRs [KJ/Kg]</b>	<b>PRECIO [\$/gal]</b>	
32800	1,749	

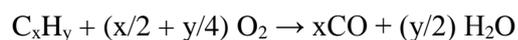
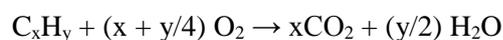
Realizado por: Heredia Carlos, 2022

#### 4.1.3. Estequiometría de la combustión del diésel

Partiendo de la fórmula del Diésel de C<sub>12</sub>H<sub>26</sub> y su fórmula de estequiometría de combustión completa:



- Para conocer las composiciones molares del CO y CO<sub>2</sub> y las composiciones molares del H<sub>2</sub>O; la reacción se representa algebraicamente por:



Obteniendo como resultado 12 moles de CO<sub>2</sub>, con 13 moles de H<sub>2</sub>O

- En el caso del gas N<sub>2</sub> luego de la combustión es de 14,615 moles

#### 4.1.4. Reporte de las composiciones medidas de la caldera

Los valores medidos, son los resultados del análisis de gases de combustión presentados por la Empresa Prodiésel.

**Tabla 3-4:** Datos del reporte del análisis de gases de la empresa quiteña, Prodiésel

PARÁMETROS	CALDERA RIOLAC N ° 1, AÑO 2020							
	CARACTERIZACIONES TOMADAS						MEDICIONES PROMEDIOS	CONVERSIÓN A MG/M3
	1	2	3	4	5	6		
O <sub>2</sub> : Oxígeno [%]	4,03	3,97	3,89	3,95	4,08	3,98	<b>3,98</b>	
CO <sub>2</sub> : Dióxido de Carbono (%)	12,93	12,95	12,98	12,98	12,90	12,98	<b>12,95</b>	
Eficiencia de Combustión (%)	87,1	87,0	86,9	86,8	86,7	86,8	<b>86,9</b>	
Temp. De Chimenea (°C)	173,2	176,5	177,6	179,6	181,2	181,6	<b>178,3</b>	
CO: Monóxido de carbono [ppm]	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	<b>0</b>
NO <sub>x</sub> : Óxidos de nitrógeno [ppm]	58	58	57	58	59	59	<b>58</b>	<b>119</b>
SO <sub>2</sub> : Dióxidos de Azufre [ppm]	2	1	1	1	1	1	<b>1</b>	<b>3</b>
Numero de Humo [---]	0	0	0	0	0	0	0	

Fuente: Prodiésel. 2022

**Tabla 4-4:** Valores del análisis de gases, relacionados con la norma TULSMAN

PARÁMETROS	MEDICIONES	PARÁMETROS TULSMAN
O <sub>2</sub> %	3,98	Variable
CO <sub>2</sub> %	12,95	11 – 14 %
<b>Eficiencia Combustión</b>	86,9	80 – 92 %
Inquemados (qA)	13,03	12 – 14 %
Temp. Chimenea	178,3 [°C]	Variable
Temp. Ambiente	22,667 [°C]	Variable
Exceso de Aire (λ)	23,567	16,7 – 24,5 %
CO [ppm]	0	Máx 225
NO <sub>x</sub> [ppm]	58	Máx 275
SO <sub>2</sub> [ppm]	3	Máx 720
Opacidad	0	Máx 3

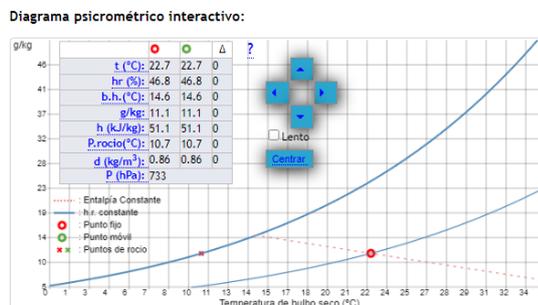
Realizado por: Heredia Carlos, 2022

#### 4.1.4.1. Diagrama psicrométrico

Dentro de las variables que se debe conocer y con la ayuda online de un diagrama psicrométrico, conoceremos esos valores, para remplazarlas en las fórmulas de pérdidas y créditos de la Norma ASME PTC 4-2013. Utilizando los datos de temperatura ambiente promedio, la altura del lugar donde se encuentra el caldero y la humedad relativa.

Introducir temperatura y altitud:  
 Temperatura:  °C  
 Altitud:  m

Introducir el parámetro conocido:  
 Temperatura Bulbo Húmedo  
 Humedad Relativa  
 Valor:



**Gráfico 1-4:** Software online para el cálculo de entalpías a temperaturas de bulbo seco y húmedo

Realizado por: Heredia Carlos, 2022

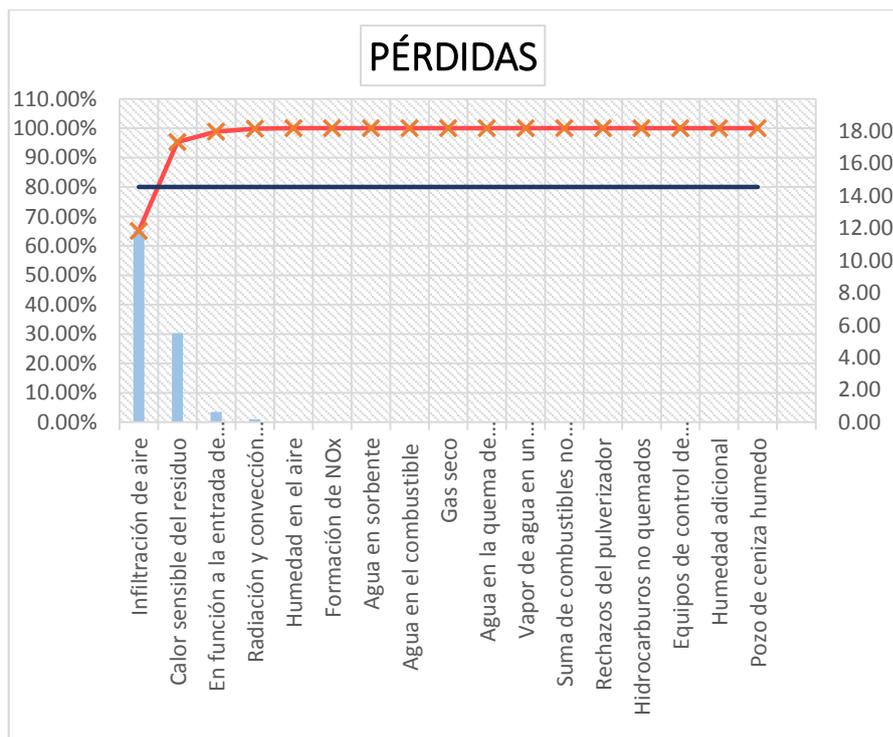
#### 4.1.5. Pérdidas

Al tener los resultados de las fórmulas y variables que la norma ASME PTC-4, la pérdida más significativa es por “Infiltración de aire”

**Tabla 5-4:** Valores de las pérdidas en la eficiencia energética

<b>PÉRDIDAS</b>			
<b>QpLH2F</b>	1,60E-07		Gas seco
<b>QpLWF</b>	1,79E-08		Agua en la quema de Hidrógeno
<b>QpLWvF</b>	0,00000		Agua en el combustible
<b>QpLSmUb</b>	0,00000		Vapor de agua en un combustible gaseoso
<b>QpLWA</b>	0,03832		Humedad en el aire
<b>QpLPr</b>	0		Suma de combustibles no quemados
<b>QpLUbHc</b>	0E+00		Rechazos del pulverizador
<b>QpLRs</b>	0		Hidrocarburos no quemados
<b>QpLDFg</b>	6,1314		Calor sensible del residuo
<b>QpLAq</b>	0		Equipos de control de calidad de aire caliente
<b>QpLALg</b>	13,1796		Infiltración de aire
<b>QpLNOx</b>	0,0007		Formación de NOx
<b>QrLSrc [W]</b>	4505,804	0,1926363	Radiación y convección superficial
<b>QrLWAd [W]</b>	0	0	Humedad adicional
<b>QrLWSb [W]</b>	0,026102	1,116E-06	Agua en sorbente
<b>QrLAp [W]</b>	0	0	Pozo de ceniza humedo
<b>QpLk %</b>	0,7163		En función a la entrada de combustible
<b>QrL</b>	20,06632		

Realizado por: Heredia Carlos, 2022



**Gráfico 2-4:** Representación en un gráfico de Pareto, las pérdidas

Realizado por: Heredia Carlos, 2022

#### 4.1.6. Créditos

Al tener los resultados de las fórmulas y variables que **Realizado por:** Heredia Carlos, 2022 la norma ASME PTC-4, la pérdida más significativa es de “Créditos del calor sensible del combustible”

**Tabla 6-4:** Valores de los créditos en la eficiencia energética

CRÉDITOS		
<b>QpBDA</b>	0,01402037	Entrada de aire seco
<b>QpBWA</b>	3,91304E-05	Humedad en el aire entrante
<b>QpBF</b>	96,2013037	Calor sensible del combustible
<b>QoBSlf</b>	3,044E-11	Sulfatación
<b>QrBX [W]</b>	0	Equipo, auxiliar de poder
<b>QrBSb [W]</b>	0	Calor Sensible en sorbente
<b>QrBWAd [W]</b>	0	Energía suministrada por humedad adicional
<b>QrB</b>	96,2153632	

Realizado por: Heredia Carlos, 2022

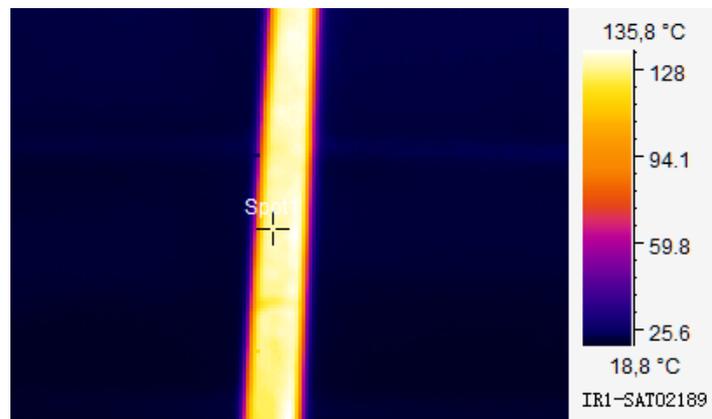
#### 4.1.7. Pérdidas de energía por convección y radiación

Para el cálculo de esta pérdida, en los datos para el cálculo de la AFz, se necesita saber la longitud y diámetro de la tubería de transporte del vapor de agua.

Valores para L1, con temperatura ambiente medida entre 2 a 5 [pies] de la superficie:

$$TMnAz = 73,76 \text{ [}^\circ\text{F]}$$

$$TMnAfz = 276,44 \text{ [}^\circ\text{F]}$$



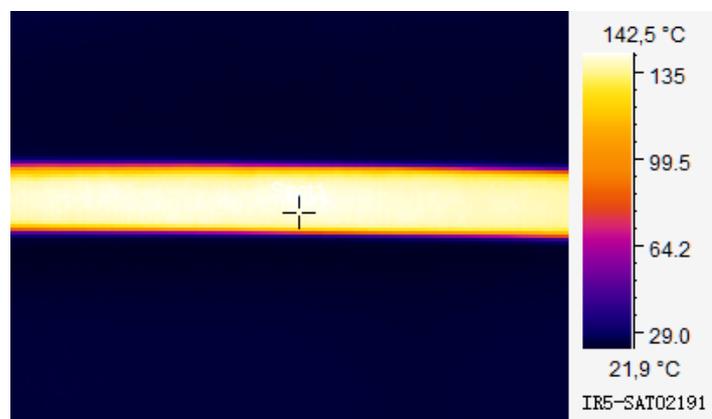
**Figura 3-4:** Termograma de tubería L1

Realizado por: Heredia Carlos, 2022

Valores para L2, con temperatura ambiente medida entre 2 a 5 [pies] de la superficie:

$$TMnAz = 73,76 \text{ [}^\circ\text{F]}$$

$$TMnAfz = 288,5 \text{ [}^\circ\text{F]}$$



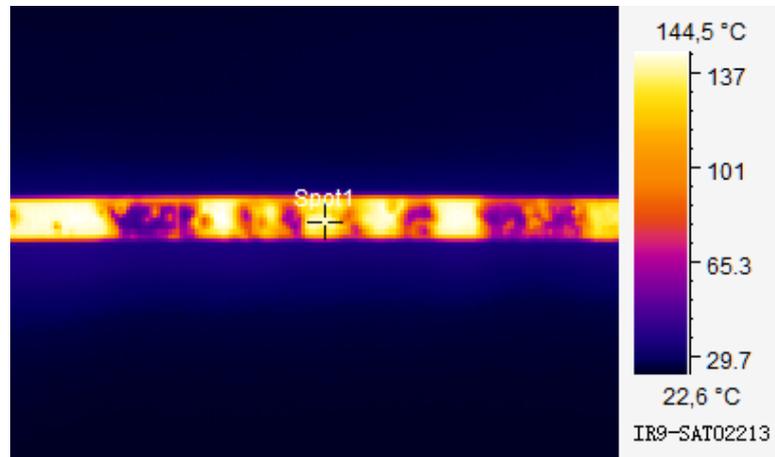
**Figura 4-4:** Termograma de tubería L2

Realizado por: Heredia Carlos, 2022

Valores para L3, con temperatura ambiente medida entre 2 a 5 [pies] de la superficie:

TMnAz = 71,42 [°F]

TMnAfz = 292,1 [°F]



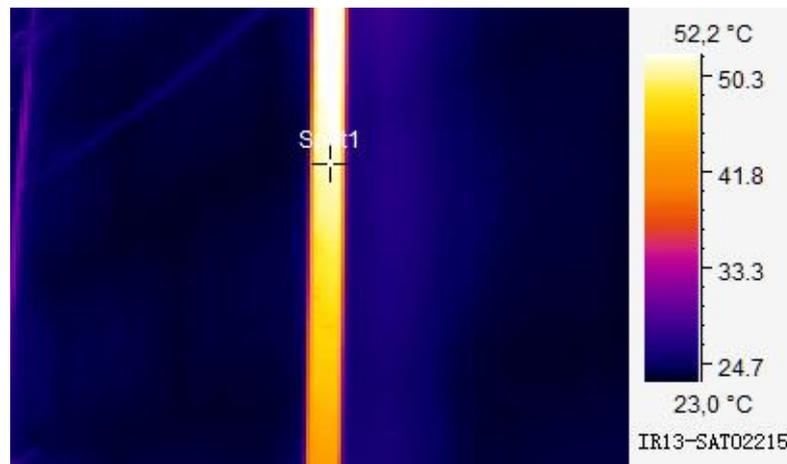
**Figura 5-4:** Termograma de tubería L3

Realizado por: Heredia Carlos, 2022

Valores para L4, con temperatura ambiente medida entre 2 a 5 [pies] de la superficie:

TMnAz = 71,42 [°F]

TMnAfz = 125,96 [°F]



**Figura 6-4:** Termograma de tubería L4

Realizado por: Heredia Carlos, 2022

**Tabla 7-4:** Pérdidas en el largo de tuberías por convección y radiación, de 4 tramos de tubería de ¾ pulgadas de diámetro

L1	T superficial pr T amb prom	C1 [J/m3.Pa] = 1 [BTU/h] TMnAfz = 276,44 TMnAz = 73,76 Vaz [ft/s] = 1,67 ASME PTC	Hcaz = 1,154190755 Hraz = 1,403177841	QrLsrc [W] = 280,3799
	Tafz [°C] = 135,8 Taz [°C] = 23,2	Tdi = 112,6 = 234,68	Afz [ft2] = 0,5409	
L2	T superficial pr T amb prom	C1 [J/m3.Pa] = 1 [BTU/h] TMnAfz = 288,5 TMnAz = 73,76 Vaz [ft/s] = 1,67 ASME PTC	Hcaz = 1,176416938 Hraz = 1,431723861	QrLsrc [W] = 631,1686
	Tafz [°C] = 142,5 Taz [°C] = 23,2	Tdi = 119,3 = 246,74	Afz [ft2] = 1,1269	
L3	T superficial pr T amb prom	C1 [J/m3.Pa] = 1 [BTU/h] TMnAfz = 292,1 TMnAz = 71,42 Vaz [ft/s] = 1,67 ASME PTC	Hcaz = 1,187057558 Hraz = 1,445783841	QrLsrc [W] = 3423,5143
	Tafz [°C] = 144,5 Taz [°C] = 21,9	Tdi = 122,6 = 252,68	Afz [ft2] = 5,8923	
L4	T superficial pr T amb prom	C1 [J/m3.Pa] = 1 [BTU/h] TMnAfz = 125,96 TMnAz = 71,42 Vaz [ft/s] = 1,67 ASME PTC	Hcaz = 0,748421043 Hraz = 1,052094726	QrLsrc [W] = 170,7415
	Tafz [°C] = 52,2 Taz [°C] = 21,9	Tdi = 30,3 = 86,54	Afz [ft2] = 1,7387	
				QrLsrc [W] = SUMATORIA 4505,8

Realizado por: Heredia Carlos, 2022

#### 4.1.8. Balance de Energía

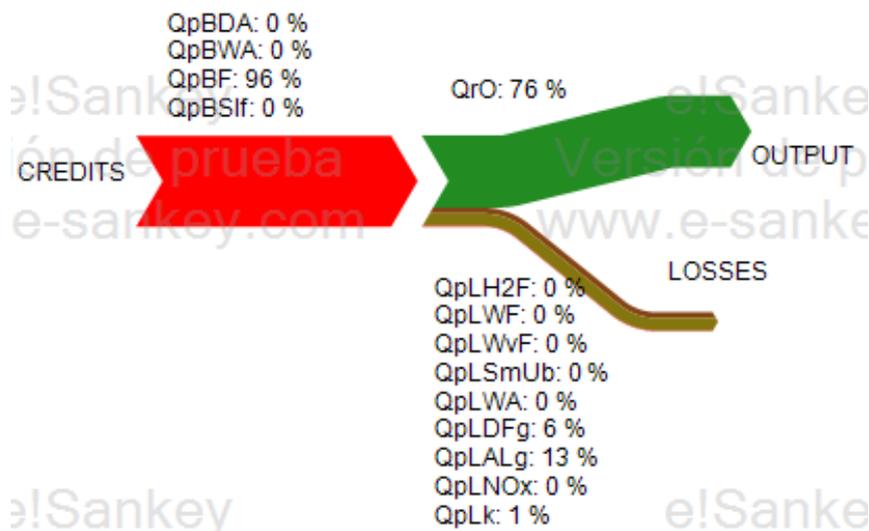
**Tabla 8-4:** Valores de las pérdidas en la eficiencia energética

<b>INPUT</b>	=	QrI	=	584755,248	[KJ/h]
<b>OUTPUT</b>	=	QrO	=	76,1490	[%]
<b>LOSSES</b>	=	QrL	=	20,066	[%]
<b>CREDITS</b>	=	QrB	=	96,2154	[%]
<b>CAPACIDAD</b>	=	QrF	=	11.178,968	[W]
<b>RENDIMIENTO</b>			n =	79,934	

Realizado por: Heredia Carlos, 2022

#### 4.1.9. Diagrama Sankey

Este diagrama ha sido diseñado para representar los niveles de las pérdidas que generalmente se obtienen en los generadores de vapor.



**Gráfico 3-4:** Diagrama Sankey del balance de energía del caldero de RIOLAC

Realizado por: Heredia Carlos, 2022

#### 4.2. Análisis costo-beneficio

El análisis costo-beneficio determina si el proyecto es viable mediante la valoración posterior de las pérdidas más representativas y tomar acción para que exista un incremento en el rendimiento del caldero. Este análisis está basado en obtener mejores resultados a menor precio, es así que, para reducir los gastos se lo realiza en dos aspectos: la pérdida por infiltración de aire y la pérdida por radiación y convección. Utilizando la fórmula de pérdidas de energía, para poder calcular el

flujo másico de combustible desperdiciado por unidad de tiempo en el año.:

$$M_c = \frac{Q}{\eta_k * PCI}$$

1. La pérdida más significativa mostrada en el diagrama de Pareto, en el Gráfico 2-4; es la pérdida por infiltración de aire

$$\begin{aligned} nK &= 79,934 \\ &0,7993 \text{ [%]} \\ M_c &= 0,0008 \text{ [Kg/s]} \\ &3,04469818 \text{ [kg/h]} = 0,00359 \text{ [m}^3\text{/h]} \\ &0,94972 \text{ [gal/h]} \quad 1386,5892 \text{ [gal año]} \\ \text{Gasto} &= 2425,14 \text{ [USD]} \end{aligned}$$

Del consumo anual de combustible de 10,215 [USD] hay un gasto de 2425,14 [USD]. Si se coloca trampas de vapor de tipo mecánico de flotador o de tipo termostático, por su efectividad en el tipo de proceso del caldero, eliminará el aire y otros gases no condensables, incrementando la eficiencia térmica, lo que significa que se quema menos combustible y se reducen las emisiones de gases de efecto invernadero. La inversión de la implementación se condiciona a su precio y tamaño, ya que su función sería la misma, dependiendo de su capacidad de presión y temperatura. La trampa de vapor tipo mecánico en precios que oscilan desde los 80 y 500 [USD] por su larga vida útil, flujo intermitente y no muy costos; la trampa de balde invertido, se podría colocar a la salida de la máquina, para que pueda recircular al sistema de alimentación de agua, ya que posee propiedades de más pureza y acumulada de calor. Con inversión de 600[USD], habrá un ahorro significativo al reducir el consumo de combustible, entre un 15 y 30%

2. Pérdidas de radiación y convección superficial: con la fórmula del rendimiento y conociendo la cantidad de energía perdida, se calcula el flujo másico de combustible corresponde a esta pérdida.

$$\begin{aligned} nK &= 79,934 \\ &0,7993 \text{ [%]} \\ M_c &= 0,0001 \text{ [Kg/s]} \\ &0,44502069 \text{ [kg/h]} = 0,00053 \text{ [m}^3\text{/h]} \\ &0,13881 \text{ [gal/h]} \quad 202,6673 \text{ [gal año]} \\ \text{Consumo} &= 354,47 \text{ [USD]} \end{aligned}$$

Aplicando:  $Q_p = VA (T_s - T_a)$

Donde:

$$\frac{1}{VA} = \frac{\ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)}{2\pi * K * l} + \frac{1}{hex * A_{ext}}$$

Espesor	=	0,5 [inch]	
		0,04165 [ft]	
Dext	=	0,145775 [ft]	
		0,04443 [m]	1/VA = 0,2621
Aext	=	21,697 [ft <sup>2</sup> ]	
		2,0158 [m <sup>2</sup> ]	
k	=	0,04 [W/m <sup>o</sup> K]	
hex	=	17,33 [W/m <sup>2</sup> °K]	Qp = 367,04 [W]
ts	=	391,9	
ta	=	295,7	

Por lo tanto:

nK	=	79,934	
		0,7993 [%]	
Mc	=	1,007E-05 [Kg/s]	
		0,03625141 [kg/h]	= 4,3E-05 [m <sup>3</sup> /h]
			0,01131 [gal/h]
			16,51 [gal año]
Gasto Anual	=	28,87 [USD]	

Si se coloca revestimiento a la tubería (cañuelas de fibra de vidrio con protección exterior de papel aluminio) con tramos de longitud de 0,91 [m] y diámetro para recubrir la tubería de diámetro 3/4" a un precio de \$ 14; incluido IVA, se necesitara una inversión de \$ 231,04 para cubrir el largo de la tubería; mostrando un ahorro a comparación de los \$ 354,47 de consumo sin cañuelas, a tener un total de gasto anual de \$ 259,91.

Inversión	=	231,04 [USD]
Gasto Anual	=	28,87 [USD]
TOTAL	=	259,91 [USD]
<b>AHORRO</b>	=	<b>94,55 [USD]</b>

### 4.3. Plan de mantenimiento

Siguiendo los lineamientos, recomendaciones y estándares de la Norma ASME SECCIÓN VII. “Reglas y recomendaciones para el mantenimiento y operación de calderas y calentadores”, se estableció un plan de mantenimiento de acuerdo al proceso que el caldero desarrolla.

#### 4.3.1. Orden de trabajo

Para realizar las actividades de mantenimiento, es necesario este documento, para su realización y constancia, la cual a futuro, esta información nos ayude a elaborar historiales de mantenimiento.

**Tabla 9-4:** Formato de una orden de trabajo

	ORDEN DE TRABAJO N°		FECHA			
	1		Día	Mes	Año	
AREA						
EQUIPO			FECHA DE TERMINACION			
CODIGO			Hora	Día	Mes	
SOLICITADO POR	Departamento de Manteniminto					
MANTENIMIENTO	MECANICO		COSTOS		TIPO DE MTTTO	
	ELECTRICO				PREVENTIVO	
	OPERACIONAL				CORRECTIVO	
	CIVIL					
DESCRIPCION DE TRABAJO						
REPUESTOS MATERIALES Y HERRAMIENTA		CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA			
PERSONAL UTILIZADO/CANT		FECHA	H.INICIO	H.FIN	H.Totales	H.H
			am	am	0	0
REPORTE						
EMITE	APRUEBA	CIERRA	ANULA			

Realizado por: Heredia Carlos, 2022

#### 4.3.2. *Inspecciones de mantenimiento*

**Tabla 10-4:** Inspección de los elementos del caldero

<b>Componente</b>	<b>Inspección</b>
Tapas	Estado del refractario y empaques Corrosión
Haz de tubos y hogar	Incrustaciones Corrosión y fisuras
McDonnell	Incrustaciones, Empaques Límites electrónicos
Visor de nivel de agua	Limpieza del visor Posibles fugas de agua por el visor
Manómetro	Limpieza del visor Metrología Posibles fugas del manómetro
Válvulas de seguridad, purga, check y compuerta	Componentes Internos Posibles fugas o ruidos extraños Lubricación
Quemador	Bomba de combustible Boquillas y ventilador
Recubrimiento aislante	Estado del material
Empaques de Handhoil	Estado del material
Cuerpo del caldero	Estado de la soldadura Corrosión y fisuras Limpieza general

**Realizado por:** Heredia Carlos, 2022

#### 4.3.3. *Actividades de mantenimiento*

Estas actividades se encuentran dentro del plan que se elaboró para el mantenimiento preventivo.

Organizado por sistemas el procedimiento de cada actividad se muestra en tablas:

1. Sistema generador de vapor:

- Cuerpo de la caldera

**Tabla 11-4:** Actividad y procedimiento del cuerpo del caldero



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**  
**ESCUELA DE INGENIERA MANTENIMIENTO INDUST**



**POR:** CARLOS HEREDIA

<b>PROCEDIMIENTO:</b>	Actividad 2		<b>ACTIVIDAD A REALIZAR:</b>	Mantenimiento Preventivo	
<b>FRECUENCIA:</b>	Diaria			<b>HORAS</b>	<b>MINUTOS</b>
	Semanal		<b>TIEMPO PROGRAMADO:</b>	2	0
	Mensual		<b>TIEMPO REAL:</b>		
	Semestral	X	<b>MÁQUINA:</b>	Caldero Piro tubular	
	Anual		<b>EQUIPO:</b>	CUERPO DE LA CALDERA.	

<b>HERRAMIENTAS:</b>	Cepillo de Alambre, escoba
<b>MATERIALES:</b>	Lana de vidrio, Cemento refractario
<b>SEGURIDAD:</b>	

<b>PROCEDIMIENTO:</b>
<p>Apagar el equipo  Colocarse el equipo de protección personal (EPP)  Inspección de la válvula de seguridad.  Inspección del aislamiento de la caldera.  Inspección del cono refractario.  Limpieza de la tubería de gases de combustión.  Suministro y cambio del cemento refractario de las tapas delanteras y traseras. Si es necesario  Lavado con agua a presión para desalojo de los lodos existentes  Limpieza general del cuerpo de la caldera</p>

<b>OBSERVACIONES:</b>	
-----------------------	--

Realizado por: Heredia Carlos, 2022

- Quemador.

**Tabla 12-4:** Actividad y procedimiento del quemador



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZ**  
**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**  
**ESCUELA DE INGENIERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**



**POR:** CARLOS HEREDIA

<b>PROCEDIMIENTO:</b>	Actividad 1	<b>ACTIVIDAD A REALIZAR:</b>	Mantenimiento Preventivo	
<b>FRECUENCIA:</b>	Diaria		HORAS	MINUTOS
	Semanal		0	30
	Mensual		<b>TIEMPO PROGRAMADO:</b>	
	Semestral	X	<b>TIEMPO REAL:</b>	
	Anual		<b>MÁQUINA:</b>	Caldero Piro tubular
		<b>EQUIPO:</b>	QUEMADOR	

<b>HERRAMIENTAS:</b>	
<b>MATERIALES:</b>	
<b>SEGURIDAD:</b>	

<b>PROCEDIMIENTO:</b>
<p>Apagar el equipo          Colocarse el equipo de protección personal (EPP)          Desmonte y limpieza de electrodo de ignición.          Limpieza de la boquilla de filtro, que se encuentra cerca del difusor          Inspección de cables de conexión y terminales          Limpieza de la mirilla          Revisión y limpieza de la fotocelda          Limpieza del regulador de aire          Limpieza general del conjunto quemador.</p>

<b>OBSERVACIONES:</b>	Colocar los electrodos cerca de la boquilla al instalarlo
-----------------------	---

Realizado por: Heredia Carlos, 2022

- Control del nivel del agua

**Tabla 13-4:** Actividad y procedimiento del cuerpo del caldero



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZ**  
**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**  
**ESCUELA DE INGENIERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**



**POR:** CARLOS HEREDIA

<b>PROCEDIMIENTO:</b>	Actividad 3	<b>ACTIVIDAD A REALIZAR:</b>	Mantenimiento Preventivo
<b>FRECUENCIA:</b>	Diaria		HORAS MINUTOS
	Semanal		
	Mensual		<b>TIEMPO PROGRAMADO:</b> 0 45
	Semestral	2	<b>TIEMPO REAL:</b>
	Anual		<b>MÁQUINA:</b> Caldero Piro tubular
		<b>EQUIPO:</b> CONTROL DEL NIVEL DE AGUA	

<b>HERRAMIENTAS:</b>	Cepillo de acero
<b>MATERIALES:</b>	Empaquetaduras
<b>SEGURIDAD:</b>	

<b>PROCEDIMIENTO:</b>
<p>Apagar el equipo</p> <p>Colocarse el equipo de protección personal (EPP)</p> <p>Desmonte y limpieza del control de nivel tipo varilla</p> <p>Cambio de empaquetadura del flanche del control de nivel de agua</p> <p>Limpieza mecánica del interior del control de nivel de agua</p> <p>Inspección de cables de conexión y terminales</p> <p>Limpieza general del conjunto quemador.</p>

<b>OBSERVACIONES:</b>	Limpiar con cuidado el tubo de vidrio del control de nivel
-----------------------	--

Realizado por: Heredia Carlos, 2022

- Tablero de control

**Tabla 14-4:** Actividad y procedimiento del cuerpo del caldero



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZ**  
**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**  
**ESCUELA DE INGENIERA MANTENIMIENTO INDUST**



**POR:** CARLOS HEREDIA

<b>PROCEDIMIENTO:</b>	Actividad 4		<b>ACTIVIDAD A REALIZAR:</b>	Mantenimiento Preventivo	
<b>FRECUENCIA:</b>	Diaria			<b>HORAS</b>	<b>MINUTOS</b>
	Semanal		<b>TIEMPO PROGRAMADO:</b>	0	30
	Mensual		<b>TIEMPO REAL:</b>		
	Semestral		<b>MÁQUINA:</b>	Caldero Piro tubular	
	Anual	X	<b>EQUIPO:</b>	TABLERO DE CONTROL	

<b>HERRAMIENTAS:</b>	Multímetro
<b>MATERIALES:</b>	
<b>SEGURIDAD:</b>	

<b>PROCEDIMIENTO:</b>
<p>Apagar el equipo          Colocarse el equipo de protección personal (EPP)          Inspección de los contactos de los contactores          Inspección del anclaje del cableado de control          Inspección de los pulsadores y pilotos          Inspección de los anclajes del programador.          Limpieza seca general del tablero</p>

<b>OBSERVACIONES:</b>	
-----------------------	--

Realizado por: Heredia Carlos, 2022

1. Sistema de alimentación de agua

**Tabla 15-4:** Actividad y procedimiento del sistema de alimentación de agua



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**



**POR:** CARLOS HEREDIA

<b>PROCEDIMIENTO:</b>	Actividad 5		<b>ACTIVIDAD A REALIZAR:</b>	Mantenimiento Preventivo	
	Diaria	X		<b>HORAS</b>	<b>MINUTOS</b>
<b>FRECUENCIA:</b>	Semanal		<b>TIEMPO PROGRAMADO:</b>	0	20
	Mensual		<b>TIEMPO REAL:</b>		
	Semestral		<b>MÁQUINA:</b>	Caldero Piro tubular	
	Anual		<b>SISTEMA:</b>	Alimentación de Agua	

<b>HERRAMIENTAS:</b>	
<b>MATERIALES:</b>	
<b>SEGURIDAD:</b>	

<b>PROCEDIMIENTO:</b>
<p>Apagar el equipo</p> <p>Colocarse el equipo de protección personal (EPP)</p> <p>Realice la purga del tanque de condensado para eliminar los sedimentos depositados</p> <p>Inspección de la bomba de alimentación de agua</p>

<b>OBSERVACIONES:</b>	
-----------------------	--

--	--

Realizado por: Heredia Carlos, 2022

**Tabla 16-4:** Actividad y procedimiento del sistema de alimentación de agua



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**



**POR:** CARLOS HEREDIA

<b>PROCEDIMIENTO:</b>	Actividad 5		<b>ACTIVIDAD A REALIZAR:</b>	Mantenimiento Preventivo	
	Diaria			<b>HORAS</b>	<b>MINUTOS</b>
<b>FRECUENCIA:</b>	Semanal		<b>TIEMPO PROGRAMADO:</b>	0	45
	Mensual	X	<b>TIEMPO REAL:</b>		
	Semestral		<b>MÁQUINA:</b>	Caldero Piro tubular	
	Anual		<b>SISTEMA:</b>	Alimentación de Agua	

<b>HERRAMIENTAS:</b>	
<b>MATERIALES:</b>	
<b>SEGURIDAD:</b>	

<b>PROCEDIMIENTO:</b>
<p>Apagar el equipo</p> <p>Colocarse el equipo de protección personal (EPP)</p> <p>Realice el retro lavado de la resina que se encuentra dentro del tanque de ablandamiento agua</p> <p>Limpie los filtros del ablandador del agua de alimentación</p>

<b>OBSERVACIONES:</b>	
-----------------------	--

Realizado por: Heredia Carlos, 2022

**Tabla 17-4:** Actividad y procedimiento del sistema de alimentación de agua



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**



**POR:** CARLOS HEREDIA

<b>PROCEDIMIENTO:</b>	Actividad 5		<b>ACTIVIDAD A REALIZAR:</b>	Mantenimiento Preventivo	
	Diaria			<b>HORAS</b>	<b>MINUTOS</b>
<b>FRECUENCIA:</b>	Semanal		<b>TIEMPO PROGRAMADO:</b>	1	0
	Mensual		<b>TIEMPO REAL:</b>		
	Semestral		<b>MÁQUINA:</b>	Caldero Piro tubular	
	Anual	X	<b>SISTEMA:</b>	Alimentación de Agua	

<b>HERRAMIENTAS:</b>	
<b>MATERIALES:</b>	
<b>SEGURIDAD:</b>	

<b>PROCEDIMIENTO:</b>
<p>Apagar el equipo</p> <p>Colocarse el equipo de protección personal (EPP)</p> <p>Realice la limpieza y revisión de los sellos mecánicos de las bombas.</p> <p>Lubrique y limpie los rodamientos y cojinetes de las bombas</p> <p>Revise la válvula check.</p>

--

<b>OBSERVACIONES:</b>	
-----------------------	--

Realizado por: Heredia Carlos, 2022

**Tabla 18-4:** Actividad y procedimiento del sistema de alimentación de combustible



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZ**  
**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**  
**ESCUELA DE INGENIERA MANTENIMIENTO INDUSTRI**



**POR:** CARLOS HEREDIA

<b>PROCEDIMIENTO:</b>	Actividad 5		<b>ACTIVIDAD A REALIZAR:</b>	Mantenimiento Preventivo	
	Diaria	X		HORAS	MINUTOS
<b>FRECUENCIA:</b>	Semanal		<b>TIEMPO PROGRAMADO:</b>	0	30
	Mensual		<b>TIEMPO REAL:</b>		
	Semestral		<b>MÁQUINA:</b>	Caldero Piro tubular	
	Anual		<b>SISTEMA:</b>	Alimentación de Combustible	

<b>HERRAMIENTAS:</b>	
<b>MATERIALES:</b>	
<b>SEGURIDAD:</b>	

<b>PROCEDIMIENTO:</b>
<p>Apagar el equipo</p> <p>Colocarse el equipo de protección personal (EPP)</p> <p>Verifique el nivel de combustible en el tanque de alimentación de combustible</p> <p>Inspección de la bomba de alimentación de combustible</p>

--

<b>OBSERVACIONES:</b>	
-----------------------	--

Realizado por: Heredia Carlos, 2022

**Tabla 19-4:** Actividad y procedimiento del sistema de alimentación de combustible



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**



**POR: CARLOS HEREDIA**

<b>PROCEDIMIENTO:</b>	Actividad 5		<b>ACTIVIDAD A REALIZAR:</b>		Mantenimiento Preventivo		
	<b>FRECUENCIA:</b>	Diaria				HORAS	MINUTOS
		Semanal				0	45
		Mensual	X				
		Semestral					
		Anual					
			<b>TIEMPO PROGRAMADO:</b>				
			<b>TIEMPO REAL:</b>				
			<b>MÁQUINA:</b>		Caldero Piro-tubular		
			<b>SISTEMA:</b>		Alimentación de Combustible		

<b>HERRAMIENTAS:</b>	
<b>MATERIALES:</b>	
<b>SEGURIDAD:</b>	

<b>PROCEDIMIENTO:</b>
<p>Apagar el equipo</p> <p>Colocarse el equipo de protección personal (EPP)</p> <p>Limpiar o Cambiar los filtros de combustible</p> <p>Revise el estado de las conexiones eléctricas del quemador.</p>

--

<b>OBSERVACIONES:</b>	
-----------------------	--

Realizado por: Heredia Carlos, 2022

**Tabla 20-4:** Actividad y procedimiento del sistema de alimentación de combustible



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**



**POR: CARLOS HEREDIA**

<b>PROCEDIMIENTO:</b>	Actividad 5		<b>ACTIVIDAD A REALIZAR:</b>	Mantenimiento Preventivo		
	Diaria				HORAS	MINUTOS
	<b>FRECUENCIA:</b>	Semanal		<b>TIEMPO PROGRAMADO:</b>	1	0
		Mensual			<b>TIEMPO REAL:</b>	
		Semestral		<b>MÁQUINA:</b>	Caldero Piro tubular	
		Anual	X	<b>SISTEMA:</b>	Alimentación de Combustible	

<b>HERRAMIENTAS:</b>	
<b>MATERIALES:</b>	
<b>SEGURIDAD:</b>	

<b>PROCEDIMIENTO:</b>
<p>Apagar el equipo</p> <p>Colocarse el equipo de protección personal (EPP)</p> <p>Limpie los shiglores con gasolina y aire a presión.</p> <p>Revise el estado de las mangueras de alimentación de combustible hacia el quemador.</p>

Revise el apriete de los tornillos y pernos. Vuelva apretar si es necesario  
Revise la válvula check.

<b>OBSERVACIONES:</b>	El shiglor debe ser el de la capacidad de 4[gal/h] y 60 [°C]
-----------------------	--

Realizado por: Heredia Carlos, 2022

#### 4.3.4. *Costos de mantenimiento*

El mantenimiento de una vez por año realizado por la Empresa RIOLAC con todas las actividades realizadas en el Capítulo 3, tiene un costo de 500[USD]. Teniendo en cuenta el estado de desgaste de los elementos que conforman el caldero en especial la condición observada de los tubos de fuego, los mismos que se encontraban con picaduras en año y medio de vida útil; la solución a este modo de falla a menos de otro año y medio, sería el reemplazo de los mismos.

Los tubos de fuego son 46, de 2" de diámetro y longitud 1,42 [m] y tendrían un costo en el mercado en 6 tubos ASTM A192 con longitud estándar de 1,8 [m] de 528 [USD] sin la mano de obra. En el supuesto caso de que se reemplacen los tubos de fuego con las condiciones de trabajo y mantenimiento actual, desde su puesta en marcha a 3 años el costo de mantenimiento preventivo proporcionado por la empresa y el correctivo solo de reemplazo de los tubos, serían sobre los 2500[USD].

Al elaborar el plan de mantenimiento partiendo de su estado técnico, eficiencia energética, costos de mantenimiento proporcionados por la empresa y actividades que se realizarán durante un año, la inversión es de 700[USD] anuales. Por lo tanto en los 3 años que tomará realizar el plan de mantenimiento propuesto son 2100[USD], alargando más tiempo el reemplazo de los tubos de fuego y otros fallos que puedan suscitarse en todo el caldero; previniendo menor cantidad de mantenimientos correctivos y gastos que pudieron evitarse, con una ganancia de 400 [USD] a los 3 años.

## **CONCLUSIONES**

Se ha determinado el estado técnico del caldero, mediante el análisis de aguas, análisis de gases de combustión, termografías; en relación a parámetros de las normas, ABMA BS-2486, TULSMAN 2015, al mismo tiempo con el mantenimiento preventivo realizado, basados en las recomendaciones de la empresa. Se evidenció que el agua de alimentación es muy dura y con pH de 8,2, lo que ha ocasionado incrustaciones, oxidación y picadura en los tubos de fuego.

Se analizó la eficiencia energética en el caldero pirotubular horizontal, de tres pasos y capacidad de 15 [Bhp] de la Empresa RIOLAC; con los datos obtenidos del análisis termográfico, análisis de gases de combustión y aplicando la metodología de la norma ASME PTC-4 2013; para mejorar el balance energético y la mejora del rendimiento calculado de 79,94% por el método indirecto.

Se elaboró un plan de mantenimiento para el caldero pirotubular de la Empresa RIOLAC, basado en las recomendaciones y estándares de la Norma ASME Sección VII 2013, para aplicar actividades y procedimientos estratégicos, con periodicidad de un año para los sistemas de generación de vapor, alimentación de agua y alimentación de combustible; invirtiendo 700[USD] anuales para los mantenimientos preventivos; reduciendo los gastos en mantenimientos correctivos, paros imprevistos y un correcto funcionamiento del caldero a largo plazo.

## **RECOMENDACIONES**

Seguir las indicaciones de la Empresa RIOLAC en el tratamiento del agua, ya que al no hacerlo y en el tiempo sugerido, para la dureza del agua de alimentación; provocará mayor presencia de incrustaciones en los tubos de humo debido a su alcalinidad, afectando el rendimiento del equipo.

Si se desea mantener una confiabilidad alta del caldero, es necesario realizar la inversión en el plan de mantenimiento anual; ya que un mantenimiento preventivo al año como se lo viene realizando, provocará fallos inesperados en sus sistemas y provocará mayores pérdidas energéticas en su funcionamiento.

Para mejorar la calidad de vapor generado y sobretodo reducir el consumo de diésel, se recomienda: Adicionar trampas de vapor termostáticas o mecánicas de flotador; una mejor regulación o calibración en la mezcla aire/combustible, colocar cañuelas en las tuberías de transporte de vapor. Incrementando la eficiencia del caldero ya que reduciría la pérdida por infiltración de aire y por conducción y radiación de tuberías.

Asegurarse que luego de la limpieza de los tubos de fuego, se encuentren secos antes de colocar la lana de vidrio, a su vez ser minucioso al inspeccionar fisuras en el cemento refractario de las tapas del caldero, ya que estos factores provocan humedad y posteriormente corrosión

Colocar aditivos al combustible diésel, que eliminan el agua presente; para obtener una mejor calidad de llama.

Para un mayor aprovechamiento de la energía, reduciendo la perdida en forma de calor por convección en el sistema, los gases de combustión, se pueden utilizar para un pre-calentamiento

de alguno de los flujos de masa entrantes a la caldera.

El personal de operación y mantenimiento del caldero, debe tener el conocimiento de la importancia de ejecutar un buen plan de mantenimiento preventivo y las ventajas de hacerlo.

Se utilizará siempre EPPs durante la ejecución del plan de mantenimiento, debido al manejo de equipos, herramientas y accesorios; que se encuentran en los sistemas del caldero evitando accidentes laborales y de salud.

## **GLOSARIO**

**ASME:** American Society of Mechanical Engineers

**ABMA:** American Boiler Manufacturing Association

**Código ASME:** Código de Calderas y Recipientes a Presión de la ASME

**CO:** Monóxido de carbono

**CO<sub>2</sub>:** Dióxido de carbono

**CONAE:** Comisión Nacional de Actividades Espaciales

**EPP:** Equipo de protección personal

**NO<sub>x</sub>:** Óxidos de nitrógeno

**TULSMAN:** Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente

## BIBLIOGRAFÍA

**COSANATAN, A.** *Plan de mantenimiento de la sala de calderas del Hospital de Apoyo Chepen* (Trabajo de titulación). Universidad Nacional de Trujillo, Facultad Ingeniería, Escuela Ingeniería Mecánica. Trujillo-Perú. 2018. Disponible en: <https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/9274/COSANATAN%20FLORES%2C%20ADOLFO%20ENRIQUE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**GARCÍA, F. & REDROBÁN, C.** *Puesta en marcha y mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) del caldero pirotubular de la facultad de mecánica.* (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad Mecánica, Escuela Mecánica, Riobamba, Ecuador. 2015. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4201/1/25T00264.pdf>

**ARJONA, A.** *Revisión de métodos para la determinación de pérdidas y eficiencia energética en generadores de vapor,* (Trabajo de Maestría). Universidad de Sevilla, Dpto. Ingeniería Energética, Sevilla, España. 2019. Disponible en: <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/71396/fichero/TFM-1396-ARJONA.pdf>

**ÁLVAREZ, N.** *Eficiencia Energética en la Red de Distribución de Vapor A Través de la Recuperación del Condensado en una Industria de Alimentos.* (Trabajo de Titulación). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. 2016. Disponible en: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/4576/1/Nery%20Rafael%20Alvarez%20Gonz%C3%A1lez.pdf>, pp.249

**MORALES, A.** *Evaluación de la eficiencia energética en calderas operativas de Campo Rubiales.* (Trabajo de titulación). Fundación Universidad de América, Facultad de Ingenierías, Ingeniería Química, Bogota, Colombia. 2021. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.11839/8677>

**BIZZO, W.** *Geração, distribuição e utilização de vapor.* [s.l.] Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil. 2003. pp.01-128. Disponible en: <https://azdoc.tips/documents/geraaodistribuiao-e-utilizaao-de-vapor-5c144799c1f11>

**ALBA, M.** *Análisis de riesgos del tratamiento del agua para calderas* [En Línea]. Editorial México, México D.F. 2013 [consultado 06 Mayo 2022]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/esPOCH/73257?page=19>

**RIVERA, F.** *Mejoramiento del sistema de abastecimiento de vapor para la planta Ferrero del Ecuador utilizando PLC.* [En línea] (Trabajo de titulación). Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Ingeniería en Electrónica y Control, Quito, Ecuador. 2006. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/325>

**COLCHA, A.** *Diseño de un sistema para el tratamiento del agua de Alimentación a la caldera para Prevenir la corrosión en la Planta de lácteos de Tunshi.* (Trabajo de titulación) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química, Riobamba, Ecuador. 2013. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/3213/1/96T00216.pdf>

**GÓMEZ, J.** *Programa de Mantenimiento a equipo e inspección a calderas.* (Trabajo de titulación). Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz, Ingeniería en Mantenimiento Industrial, Veracruz, México. 2018.

**LAGEMANN, V.** *Combustão em Caldeiras Industriais: óleos & gás combustível.* 1ra . Ed. Rio de Janeiro: Interciência, Río de Janeiro, Brazil. 2016. pp. 01-304.

**LÁCTEOS LATAM.** *Industria láctea clave para la reactivación económica del Ecuador.* 2020. Disponible en: <https://www.lacteoslatam.com/sectores/36-leches/4064-industria-1%C3%A1lctea-clave-para-reactivaci%C3%B3n-econ%C3%B3mica-en-ecuador.html>

**OELKER, A.** *Tratamiento de Agua para Calderas.* Thermal Engineering Ltda. Chile. Disponible en: [http://www.thermal.cl/docs/articulos\\_tecnicos/articulo\\_\\_\\_tratamiento\\_de\\_agua\\_en\\_calderas.pdf](http://www.thermal.cl/docs/articulos_tecnicos/articulo___tratamiento_de_agua_en_calderas.pdf)

**UNE-EN 13306 : 2018.** *Mantenimiento. Terminología de Mantenimiento*

**ASME PTC 4-2013.** *Fired Steam Generators.* Sección 5: Cómputo de resultados

**ASME sección VII-2013.** *Guía recomendada para el cuidado y mantenimiento de calderas*

**ABMA BS 2486:1997.** *Recommendations for treatment of water for steam boilers and water heaters*

**REY, F.** *Mantenimiento Total de la Producción (TPM): proceso de implantación y desarrollo.* Fundación Cofemental. Madrid-España. 2002.

**BOSCH.** *Evaluación de calderas.* Disponible en: [https://www.bosch-industrial.com/files/fb013\\_sp.pdf](https://www.bosch-industrial.com/files/fb013_sp.pdf).

**SCHMIDT, M.** *The Sankey Diagram in Energy and Material Flow Management*, Journal of Industrial Ecology, vol. 12, no. 1 2008. pp. 82–94. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/J.1530-9290.2008.00004.X>.

<https://www.flessner.ch/toolbox/toolpages/mgppm.htm>

<https://www.herramientasingeneria.com/onlinecalc/spa/AirEnthalpy/AirEnthalpy.html>

<https://www.herramientasingeneria.com/onlinecalc/spa/matematicas/interpolacion-extrapolacion/interpolacion-extrapolacion.html>

<https://www.unitsconverters.com/es/Btu/Lb-A-J/Kg/Utu-4763-4748?MeasurementId=88&From=4763&To=4748&UtoU=true>

[https://www.engineeringtoolbox.com/fuels-higher-calorific-values-d\\_169.html](https://www.engineeringtoolbox.com/fuels-higher-calorific-values-d_169.html)

# ANEXOS

## ANEXO A: Termograma del panel de control eléctrico del caldero

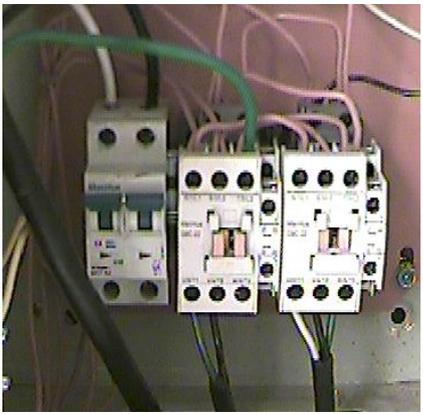
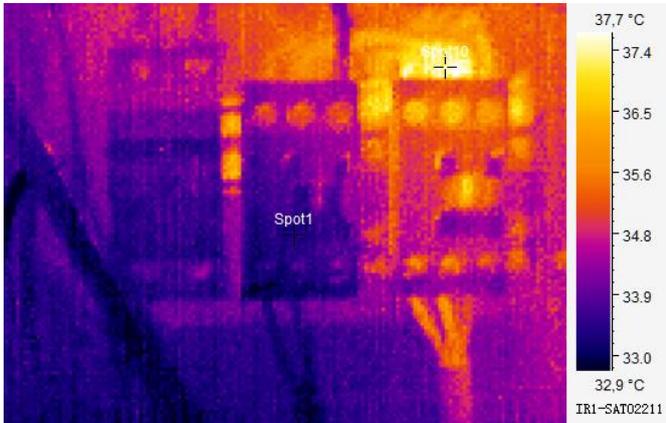


ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO  
 FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
 ESCUELA DE INGENIERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL



POR:

CARLOS HEREDIA

<b>EMPRESA:</b>	RIOLAC	<b>FECHA INSPECCIÓN:</b>	
<b>ÁREA:</b>	Caldera	<b>HORA INSPECCIÓN:</b>	
<b>EQUIPO:</b>	Panel de Control		
			
<p>Temp Range 38,3 -- 32,4 Unit °C                  Emissivity : 0,95                  Distance : 1 m                  Relative Humidity : 47%                  Ambient Temp: 22,4 °C                  Temp Correction: 0,0 °C                  Temp Sensor: 22,4 °C                  Spot1: 38,3 °C</p>			

**ANEXO B:** Termograma de la tapa delantera del caldero

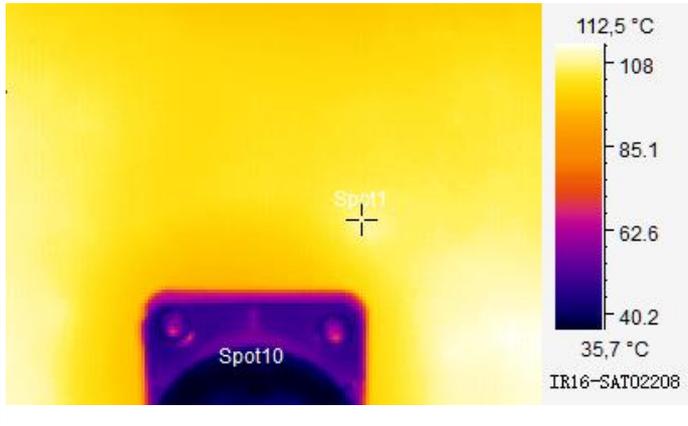


**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
ESCUELA DE INGENIERIA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**



**POR:**

**CARLOS HEREDIA**

<b>EMPRESA:</b>	RIOLAC		
<b>ÁREA:</b>	Caldera	<b>FECHA INSPECCIÓN:</b>	
<b>EQUIPO:</b>	Tapa delantera del caldero	<b>HORA INSPECCIÓN:</b>	
			
<p>Temp Range 112,6 -- 34,2 Unit °C                  Emissivity : 0,95                  Distance : 1 m                  Relative Humidity : 47%                  Ambient Temp: 22,4 °C                  Temp Correction: 0,0 °C                  Temp Sensor: 22,4 °C                  Spot1: 109,3 °C</p>			

**ANEXO C: Termograma de la tapa trasera del caldero**

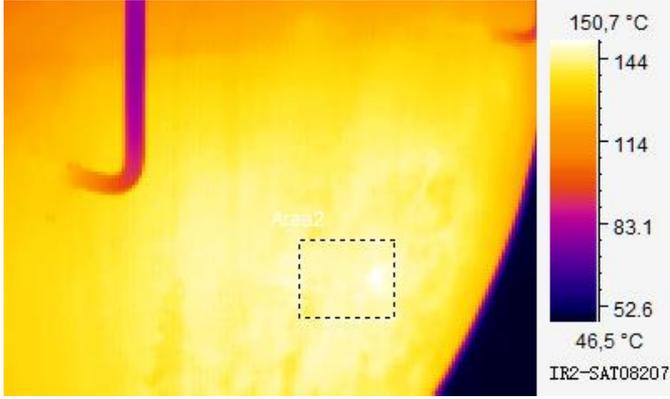


**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
ESCUELA DE INGENIERIA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**



**POR:**

**CARLOS HEREDIA**

<b>EMPRESA:</b>	RIOLAC		
<b>ÁREA:</b>	Caldera	<b>FECHA INSPECCIÓN:</b>	
<b>EQUIPO:</b>	Tapa dtrasera del caldero	<b>HORA INSPECCIÓN:</b>	
			
<p>Temp Range 152,0 -- 45,5 Unit °C                  Emissivity : 0,95                  Distance : 1 m                  Relative Humidity : 52%                  Ambient Temp: 24,5 °C                  Temp Correction: 0,0 °C                  Temp Sensor: 24,5 °C                  Area1: 152,2 °C</p>			

**ANEXO D:** Termograma del handhoil del caldero

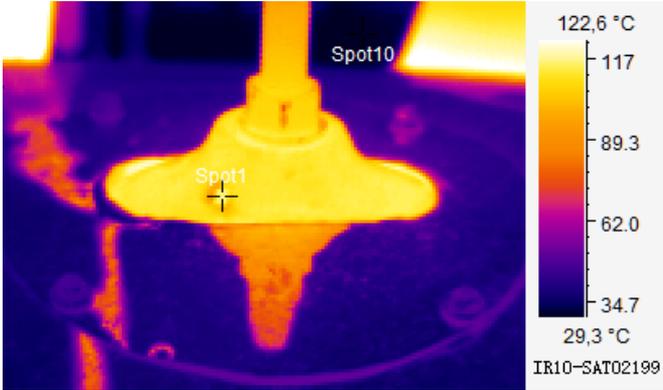


**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
ESCUELA DE INGENIERIA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**



**POR:**

**CARLOS HEREDIA**

<b>EMPRESA:</b>	RIOLAC	<b>FECHA INSPECCIÓN:</b>	
<b>ÁREA:</b>	Caldera	<b>HORA INSPECCIÓN:</b>	
<b>EQUIPO:</b>	Handhoil (Cuello de tortuga)		
			
<p>Temp Range 142,0 -- 28,2 Unit °C                  Emissivity : 0,95                  Distance : 1 m                  Relative Humidity : 47%                  Ambient Temp: 22,4 °C                  Temp Correction: 0,0 °C                  Temp Sensor: 22,4 °C                  Spot1: 116,9 °C</p>			

**ANEXO E:** Termograma del quemador del caldero



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
ESCUELA DE INGENIERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**



**POR:**

**CARLOS HEREDIA**

<b>EMPRESA:</b>	RIOLAC	<b>FECHA INSPECCIÓN:</b>	
<b>ÁREA:</b>	Caldera	<b>HORA INSPECCIÓN:</b>	
<b>EQUIPO:</b>	Quemador		
			
<p>Temp Range 63,3 -- 33,2 Unit °C                  Emissivity : 0,95                  Distance : 1 m                  Relative Humidity : 52%                  Ambient Temp: 24,5 °C                  Temp Correction: 0,0 °C                  Temp Sensor: 24,5 °C                  Spot1: 56,9 °C</p>			

**ANEXO F: Termograma de la chimenea del caldero**

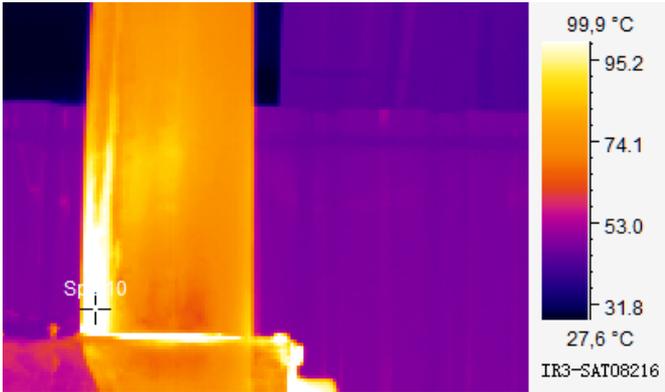


**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
ESCUELA DE INGENIERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**



**POR:**

**CARLOS HEREDIA**

<b>EMPRESA:</b>	RIOLAC		<b>FECHA INSPECCIÓN:</b>	
<b>ÁREA:</b>	Caldera	<b>HORA INSPECCIÓN:</b>		
<b>EQUIPO:</b>	Tapa delantera del caldero	<b>HORA INSPECCIÓN:</b>		
				
<p>Temp Range 125,5 -- 26,7 Unit °C                  Emissivity : 0,95                  Distance : 1 m                  Relative Humidity : 52%                  Ambient Temp: 24,5 °C                  Temp Correction: 0,0 °C                  Temp Sensor: 24,5 °C                  Spot1: 117,0 °C</p>				

ANEXO G: Factura del análisis de humos de combustión emitida por PRODIESEL

		<b>FACTURA</b> 001-010-000001576													
<b>RUC: 1791310160001</b> <b>PRODIESEL CIA LTDA</b> <b>PRODIESEL PROFESIONALES DEL DIESEL CIA LTDA</b> Dirección: El Carmen, El Progreso OE1-199 Y Llacao Teléfonos: 2679-607 / 0995600010 drivera@prodieselcorp.com.ec		<b>AUTORIZACION</b> 1006202201179131016000120010100000015760000000011  <b>AGENTE DE RETENCIÓN</b> <b>RESOLUCIÓN: NAC-DNCRASC20-00000001</b> Ambiente: PRODUCCION Obligado a llevar contabilidad: SI													
<b>RAZON SOCIAL:</b> CARLOS ALBERTO HEREDIA BALLADARES <b>RUC o CI:</b> 0603782731 <b>TELEFONO:</b> <b>DIRECCION:</b>		<b>FECHA EMISION:</b> 2022.06.10 <b>REFERENCIA:</b> FTQ01576 carlos.heredia@epoch.edu.ec													
<b>O. DE COMPRA:</b>		<b>G. REMISION:</b> GRT1576													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">CANTIDAD</th> <th style="text-align: left;">DESCRIPCION</th> <th style="text-align: left;">UNIDAD</th> <th style="text-align: left;">VALOR UNITARIO</th> <th style="text-align: left;">DSCTO</th> <th style="text-align: left;">SUBTOTAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left;">1.00</td> <td style="text-align: left;">SERVICIOS Medición y calibración de Gases Contaminantes</td> <td></td> <td style="text-align: left;">312.50</td> <td style="text-align: left;">0.00</td> <td style="text-align: left;">312.50</td> </tr> </tbody> </table>	CANTIDAD	DESCRIPCION	UNIDAD	VALOR UNITARIO	DSCTO	SUBTOTAL	1.00	SERVICIOS Medición y calibración de Gases Contaminantes		312.50	0.00	312.50			
CANTIDAD	DESCRIPCION	UNIDAD	VALOR UNITARIO	DSCTO	SUBTOTAL										
1.00	SERVICIOS Medición y calibración de Gases Contaminantes		312.50	0.00	312.50										
<b>OBSERVACIONES:</b>  <b>FORMA DE PAGO:</b> [20] OTROS CON UTILIZACION DEL SISTEMA FINANCIERO x \$350.00 <b>CLAVE DE ACCESO:</b> 1006202201179131016000120010100000015760000000011 		<b>SUBTOTAL:</b> 312.50 <b>DESCUENTO:</b> 0.00 <b>SUBTOTAL 0%:</b> 0.00 <b>SUBTOTAL 12 :</b> 312.50 <b>VALOR IVA:</b> 37.50 <b>VALOR TOTAL:</b> 350.00													

ANEXO H: Certificado de calibración del equipo de análisis de humos en Alemania



**Kalibrier-Zertifikat** Calibration certificate

4304771

Gegenstand Object	Bedienteil t350	Analysebox testo 350
Hersteller Manufacturer	TESTO SE & Co. KGaA	TESTO SE & Co. KGaA
Typ Type description	0632 3511	0632 3510
Serien Nr. Serial no.	03580251	62984952
Inventar Nr. Inventory no.	---	---
Prüfmittel Nr. Test equipment no.	---	---
Equipment Nr. Equipment no.	14663940	14668232
Standort Location	---	---
Auftraggeber Customer	José Jallil & Hijos Representaciones Y Comercio Cia. Ltda. DE-170102 QUITO	
Kunden Nr. Customer ID no.	1031892	
Auftrags Nr. Order no.	10804873 / 0520 0055	
Datum der Kalibrierung Date of calibration	29.11.2021	
Datum der empfohlenen Rekalibrierung Date of the recommended re-calibration	29.11.2022	

Hiermit bestätigen wir, dass das durchführende Kalibrierlabor ein Managementsystem nach ISO 9001:2015, sowie ISO/IEC 17025:2018 eingeführt hat. Die Urkunden finden Sie auf [www.testotis.de](http://www.testotis.de). Die für die Kalibrierung verwendeten Messeinrichtungen werden regelmäßig kalibriert und sind rückführbar auf die nationalen Normale der Physikalisch Technischen Bundesanstalt (PTB) Deutschlands oder auf andere nationale Normale. Wo keine nationalen Normale existieren, entspricht das Messverfahren den derzeit gültigen technischen Regeln und Normen. Die für diesen Vorgang angefertigte Dokumentation kann eingesehen werden. Alle erforderlichen Messdaten sind in diesem Kalibrier-Zertifikat aufgelistet.

Hereby we confirm that the performing calibration laboratory is working with a management system according to ISO 9001:2015 and ISO/IEC 17025:2018. Accreditation certificates can be found under [www.testotis.de](http://www.testotis.de). The measuring installations used for calibration are regularly calibrated and traceable to the national standards of the German Federal Physical Technical Institute (PTB) or other national standards. Should no national standards exist, the measuring procedure corresponds with the technical regulations and norms valid at the time of the measurement. The documents established for this procedure are available for viewing. All the necessary measured data can be found on this calibration certificate.

**Konformitätsaussage** Conformity statement

- Messwert(e) innerhalb der zulässigen Abweichung<sup>1</sup>. Measured value(s) within the allowable deviation<sup>1</sup>.
- Messwert(e) außerhalb der zulässigen Abweichung<sup>1</sup>. Measured value(s) outside of the allowable deviation<sup>1</sup>.

---  
---

<sup>1</sup> Die erweiterte Messunsicherheit wurde nach EA-4-02 M:2013 mit einer Überdeckungswahrscheinlichkeit von etwa 95% berechnet und enthält die Unsicherheit der Referenz, des Verfahrens sowie die Unsicherheit des Prüfings. Die Konformitätsaussage erfolgt nach der Entscheidungsregel "Vertrauensniveau 50".  
<sup>1</sup> The expanded measurement uncertainty was calculated according to EA-4-02 M:2013 with a coverage probability of approx. 95% and contains the uncertainty of the reference, the method and the uncertainty of the unit under test. The statement of conformity is based on the decision rule "Vertrauensniveau 50" (confidence level 50).

Dieser Kalibrierschein darf nur vollständig weiterverbreitet werden. Auszüge oder Änderungen bedürfen der Genehmigung des ausstellenden Kalibrierlaboratoriums. Kalibrierscheine ohne Unterschrift und Stempel haben keine Gültigkeit.  
 This calibration certificate may not be reproduced other than in full, except with the permission of the issuing laboratory. Calibration certificates without signature and seal are not valid.

Stempel Seal



Fachverantwortlicher Supervisor

*Martin Förderer*  
Martin Förderer

Bearbeiter Technician

*Johannes Wängler*  
Johannes Wängler

## ANEXO I: Factores de conversión de unidades

### Factores de conversión

DIMENSIÓN	MÉTRICO	MÉTRICO/INGLÉS
Aceleración	1 m/s <sup>2</sup> = 100 cm/s <sup>2</sup>	1 m/s <sup>2</sup> = 3.2808 ft/s <sup>2</sup> 1 ft/s <sup>2</sup> = 0.3048* m/s <sup>2</sup>
Área	1 m <sup>2</sup> = 10 <sup>4</sup> cm <sup>2</sup> = 10 <sup>6</sup> mm <sup>2</sup> = 10 <sup>-6</sup> km <sup>2</sup>	1 m <sup>2</sup> = 1 550 in <sup>2</sup> = 10.764 ft <sup>2</sup> 1 ft <sup>2</sup> = 144 in <sup>2</sup> = 0.09290304* m <sup>2</sup>
Densidad	1 g/cm <sup>3</sup> = 1 kg/L = 1 000 kg/m <sup>3</sup>	1 g/cm <sup>3</sup> = 62.428 lbm/ft <sup>3</sup> = 0.036127 lbm/in <sup>3</sup> 1 lbm/in <sup>3</sup> = 1 728 lbm/ft <sup>3</sup> 1 kg/m <sup>3</sup> = 0.062428 lbm/ft <sup>3</sup>
Energía, calor, trabajo, energía interna, entalpía	1 kJ = 1 000 J = 1 000 N · m = 1 kPa · m <sup>3</sup> 1 kJ/kg = 1 000 m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> 1 kWh = 3 600 kJ 1 cal* = 4.184 J 1 IT cal* = 4.1868 J 1 Cal* = 4.1868 kJ	1 kJ = 0.94782 Btu 1 Btu = 1.055056 kJ = 5.40395 psia · ft <sup>3</sup> = 778.169 lbf · ft 1 Btu/lbm = 25 037 ft <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> = 2.326* kJ/kg 1 kJ/kg = 0.430 Btu/lbm 1 kWh = 3 412.14 Btu 1 termia = 10 <sup>6</sup> Btu = 1.055 × 10 <sup>6</sup> kJ (gas natural)
Fuerza	1 N = 1 kg · m/s <sup>2</sup> = 10 <sup>5</sup> dina 1 kgf = 9.80665 N	1 N = 0.22481 lbf 1 lbf = 32.174 lbm · ft/s <sup>2</sup> = 4.44822 N
Flujo de calor	1 W/cm <sup>2</sup> = 10 <sup>4</sup> W/m <sup>2</sup>	1 W/m <sup>2</sup> = 0.3171 Btu/h · ft <sup>2</sup>
Coefficiente de transferencia de calor	1 W/m <sup>2</sup> · °C = 1 W/m <sup>2</sup> · K	1 W/m <sup>2</sup> · °C = 0.17612 Btu/h · ft <sup>2</sup> · °F
Longitud	1 m = 100 cm = 1 000 mm = 10 <sup>6</sup> μm 1 km = 1 000 m	1 m = 39.370 in = 3.2808 ft = 1.0926 yd 1 ft = 12 in = 0.3048* m 1 milla = 5 280 ft = 1.6093 km 1 in = 2.54* cm
Masa	1 kg = 1 000 g 1 tonelada métrica = 1 000 kg	1 kg = 2.2046226 lbm 1 lbm = 0.45359237* kg 1 onza = 28.3495 g 1 slug = 32.174 lbm = 14.5939 kg 1 ton corta = 2 000 lbm = 907.1847 kg
Potencia, velocidad de transferencia de calor	1 W = 1 J/s 1 kW = 1 000 W = 1.341 hp 1 hp† = 745.7 W	1 kW = 3 412.14 Btu/h = 737.56 lbf · ft/s 1 hp = 550 lbf · ft/s = 0.7068 Btu/s = 42.41 Btu/min = 2544.5 Btu/h = 0.74570 kW 1 hp de caldera = 33 475 Btu/h 1 Btu/h = 1.055056 kJ/h 1 ton de refrigeración = 200 Btu/min
Presión	1 Pa = 1 N/m <sup>2</sup> 1 kPa = 10 <sup>3</sup> Pa = 10 <sup>-3</sup> MPa 1 atm = 101.325 kPa = 1.01325 bars = 760 mm Hg a 0°C = 1.03323 kgf/cm <sup>2</sup> 1 mm Hg = 0.1333 kPa	1 Pa = 1.4504 × 10 <sup>-4</sup> psia = 0.020886 lbf/ft <sup>2</sup> 1 psi = 144 lbf/ft <sup>2</sup> = 6.894757 kPa 1 atm = 14.696 psia = 29.92 in Hg a 30°F 1 in Hg = 3.387 kPa
Calor específico	1 kJ/kg · °C = 1 kJ/kg · K = 1 J/g · °C	1 Btu/lbm · °F = 4.1868 kJ/kg · °C 1 Btu/lbmol · R = 4.1868 kJ/kmol · K 1 kJ/kg · °C = 0.23885 Btu/lbm · °F = 0.23885 Btu/lbm · R

\* Factores de conversión exactos entre las unidades métricas e inglesas.

† La caloría se define originalmente como la cantidad de calor requirida para aumentar 1°C la temperatura de 1 g de agua, pero ésta varía con la temperatura. La caloría de la tabla de vapor internacional (IT), generalmente preferida por los ingenieros, es exactamente 4.1868 J por definición y corresponde al calor específico del agua a 15°C. La caloría termoquímica, por lo general preferida por los físicos, es exactamente 4.184 J por definición y corresponde al calor específico del agua a temperatura ambiente. La diferencia entre las dos es aproximadamente 0.06 por ciento, lo cual es despreciable. La Caloría con inicial mayúscula utilizada por los nutricionistas en realidad es una kilocaloría (1 000 calorías IT).

DIMENSIÓN	MÉTRICO	MÉTRICO/INGLÉS
Volumen específico	$1 \text{ m}^3/\text{kg} = 1\,000 \text{ L}/\text{kg} = 1\,000 \text{ cm}^3/\text{g}$	$1 \text{ m}^3/\text{kg} = 16.02 \text{ ft}^3/\text{lbm}$ $1 \text{ ft}^3/\text{lbm} = 0.062428 \text{ m}^3/\text{kg}$
Temperatura	$T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273.15$ $\Delta T(\text{K}) = \Delta T(^{\circ}\text{C})$	$T(\text{R}) = T(^{\circ}\text{F}) + 459.67 = 1.8T(\text{K})$ $T(^{\circ}\text{F}) = 1.8 T(^{\circ}\text{C}) + 32$ $\Delta T(^{\circ}\text{F}) = \Delta T(\text{R}) = 1.8 \Delta T(\text{K})$
Conductividad térmica	$1 \text{ W}/\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C} = 1 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K}$	$1 \text{ W}/\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C} = 0.57782 \text{ Btu}/\text{h} \cdot \text{ft} \cdot ^{\circ}\text{F}$
Velocidad	$1 \text{ m}/\text{s} = 3.60 \text{ km}/\text{h}$	$1 \text{ m}/\text{s} = 3.2808 \text{ ft}/\text{s} = 2.237 \text{ mi}/\text{h}$ $1 \text{ mi}/\text{h} = 1.46667 \text{ ft}/\text{s}$ $1 \text{ mi}/\text{h} = 1.6093 \text{ km}/\text{h}$
Volumen	$1 \text{ m}^3 = 1\,000 \text{ L} = 10^6 \text{ cm}^3 (\text{cc})$	$1 \text{ m}^3 = 6.1024 \times 10^4 \text{ in}^3 = 35.315 \text{ ft}^3$ $= 264.17 \text{ gal (U.S.)}$ $1 \text{ U.S. galón} = 231 \text{ in}^3 = 3.7854 \text{ L}$ $1 \text{ fl onza} = 29.5735 \text{ cm}^3 = 0.0295735 \text{ L}$ $1 \text{ U.S. galón} = 128 \text{ fl onzas}$
Tasa de flujo volumétrico	$1 \text{ m}^3/\text{s} = 60\,000 \text{ L}/\text{min} = 10^6 \text{ cm}^3/\text{s}$	$1 \text{ m}^3/\text{s} = 15\,850 \text{ gal}/\text{min} (\text{gpm}) = 35.315 \text{ ft}^3/\text{s}$ $= 2\,118.9 \text{ ft}^3/\text{min} (\text{cfm})$

\*Ceballos de fuerza mecánico. El caballo de vapor eléctrico se toma para que sea exactamente igual a 746 W.

### Algunas constantes físicas

Constante universal de los gases	$R_u = 8.31447 \text{ kJ}/\text{kmol} \cdot \text{K}$ $= 8.31447 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3/\text{kmol} \cdot \text{K}$ $= 0.0831447 \text{ bar} \cdot \text{m}^3/\text{kmol} \cdot \text{K}$ $= 82.05 \text{ L} \cdot \text{atm}/\text{kmol} \cdot \text{K}$ $= 1.9858 \text{ Btu}/\text{lbmol} \cdot \text{R}$ $= 1\,545.37 \text{ ft} \cdot \text{lb}/\text{lbmol} \cdot \text{R}$ $= 10.73 \text{ psia} \cdot \text{ft}^3/\text{lbmol} \cdot \text{R}$
Aceleración de la gravedad estándar	$g = 9.80665 \text{ m}/\text{s}^2$ $= 32.174 \text{ ft}/\text{s}^2$
Presión atmosférica estándar	$1 \text{ atm} = 101.325 \text{ kPa}$ $= 1.01325 \text{ bar}$ $= 14.696 \text{ psia}$ $= 760 \text{ mm Hg } (0^{\circ}\text{C})$ $= 29.9213 \text{ in Hg } (32^{\circ}\text{F})$ $= 10.3323 \text{ m H}_2\text{O } (4^{\circ}\text{C})$
Constante de Stefan-Boltzmann	$\sigma = 5.6704 \times 10^{-8} \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^4$ $= 0.1714 \times 10^{-8} \text{ Btu}/\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{R}^4$
Constante de Boltzmann	$k = 1.380650 \times 10^{-23} \text{ J}/\text{K}$
Velocidad de la luz en el vacío	$c_o = 2.9979 \times 10^8 \text{ m}/\text{s}$ $= 9.836 \times 10^8 \text{ ft}/\text{s}$
Velocidad del sonido en aire seco a 0°C y 1 atm	$c = 331.36 \text{ m}/\text{s}$ $= 1089 \text{ ft}/\text{s}$
Calor de fusión del agua a 1 atm	$h_{if} = 333.7 \text{ kJ}/\text{kg}$ $= 143.5 \text{ Btu}/\text{lbm}$
Entalpía de vaporización del agua a 1 atm	$h_{fg} = 2\,256.5 \text{ kJ}/\text{kg}$ $= 970.12 \text{ Btu}/\text{lbm}$

ANEXO J: Tablas termodinámicas del aire a presión en condiciones normales

**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, $\alpha, \text{m}^2/\text{s}$	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

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

Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 1981, y Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3: Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11: Viscosity, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena y P. Hestermann, IFI/Plenum, NY, ISBN 0-306067020-8.

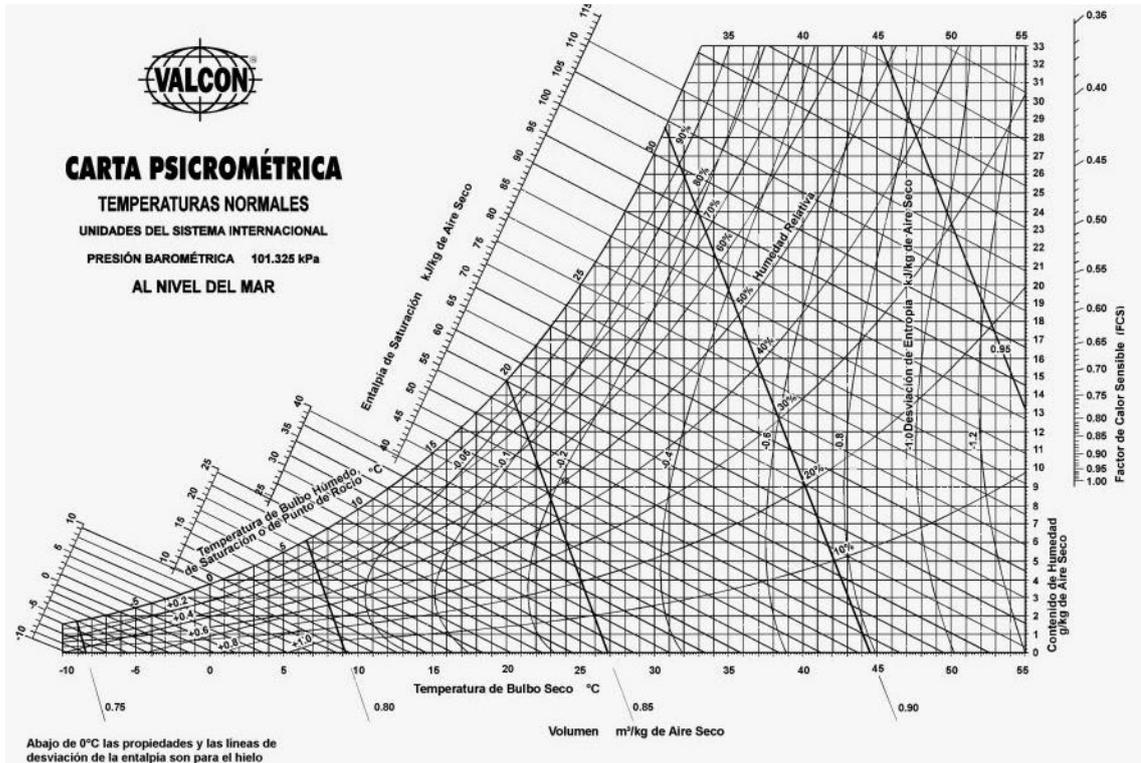
ANEXO K: Tablas termodinámicas del agua saturada por temperatura

**TABLA A-4**

Agua saturada. Tabla de temperaturas

Temp., $T$ °C	Pres. sat., $P_{sat}$ kPa	Volumen específico, $m^3/kg$		Energía interna, $kJ/kg$			Entalpía, $kJ/kg$			Entropía, $kJ/kg \cdot K$		
		Liq. sat., $v_f$	Vapor sat., $v_g$	Liq. sat., $u_f$	Evap., $u_{fg}$	Vapor sat., $u_g$	Liq. sat., $h_f$	Evap., $h_{fg}$	Vapor sat., $h_g$	Liq. sat., $s_f$	Evap., $s_{fg}$	Vapor sat., $s_g$
0.01	0.6117	0.001000	206.00	0.000	2374.9	2374.9	0.001	2500.9	2500.9	0.0000	9.1556	9.1556
5	0.8725	0.001000	147.03	21.019	2360.8	2381.8	21.020	2489.1	2510.1	0.0763	8.9487	9.0249
10	1.2281	0.001000	106.32	42.020	2346.6	2388.7	42.022	2477.2	2519.2	0.1511	8.7488	8.8999
15	1.7057	0.001001	77.885	62.980	2332.5	2395.5	62.982	2465.4	2528.3	0.2245	8.5559	8.7803
20	2.3392	0.001002	57.762	83.913	2318.4	2402.3	83.915	2453.5	2537.4	0.2965	8.3696	8.6661
25	3.1698	0.001003	43.340	104.83	2304.3	2409.1	104.83	2441.7	2546.5	0.3672	8.1895	8.5567
30	4.2469	0.001004	32.879	125.73	2290.2	2415.9	125.74	2429.8	2555.6	0.4368	8.0152	8.4520
35	5.6291	0.001006	25.205	146.63	2276.0	2422.7	146.64	2417.9	2564.6	0.5051	7.8466	8.3517
40	7.3851	0.001008	19.515	167.53	2261.9	2429.4	167.53	2406.0	2573.5	0.5724	7.6832	8.2556
45	9.5953	0.001010	15.251	188.43	2247.7	2436.1	188.44	2394.0	2582.4	0.6386	7.5247	8.1633
50	12.352	0.001012	12.026	209.33	2233.4	2442.7	209.34	2382.0	2591.3	0.7038	7.3710	8.0748
55	15.763	0.001015	9.5639	230.24	2219.1	2449.3	230.26	2369.8	2600.1	0.7680	7.2218	7.9898
60	19.947	0.001017	7.6670	251.16	2204.7	2455.9	251.18	2357.7	2608.8	0.8313	7.0769	7.9082
65	25.043	0.001020	6.1935	272.09	2190.3	2462.4	272.12	2345.4	2617.5	0.8937	6.9360	7.8296
70	31.202	0.001023	5.0396	293.04	2175.8	2468.9	293.07	2333.0	2626.1	0.9551	6.7989	7.7540
75	38.597	0.001026	4.1291	313.99	2161.3	2475.3	314.03	2320.6	2634.6	1.0158	6.6655	7.6812
80	47.416	0.001029	3.4053	334.97	2146.6	2481.6	335.02	2308.0	2643.0	1.0756	6.5356	7.6111
85	57.868	0.001032	2.8261	355.96	2131.9	2487.8	356.02	2295.3	2651.4	1.1346	6.4089	7.5435
90	70.183	0.001036	2.3593	376.97	2117.0	2494.0	377.04	2282.5	2659.6	1.1929	6.2853	7.4782
95	84.609	0.001040	1.9808	398.00	2102.0	2500.1	398.09	2269.6	2667.6	1.2504	6.1647	7.4151
100	101.42	0.001043	1.6720	419.06	2087.0	2506.0	419.17	2256.4	2675.6	1.3072	6.0470	7.3542
105	120.90	0.001047	1.4186	440.15	2071.8	2511.9	440.28	2243.1	2683.4	1.3634	5.9319	7.2952
110	143.38	0.001052	1.2094	461.27	2056.4	2517.7	461.42	2229.7	2691.1	1.4188	5.8193	7.2382
115	169.18	0.001056	1.0360	482.42	2040.9	2523.3	482.59	2216.0	2698.6	1.4737	5.7092	7.1829
120	198.67	0.001060	0.89133	503.60	2025.3	2528.9	503.81	2202.1	2706.0	1.5279	5.6013	7.1292
125	232.23	0.001065	0.77012	524.83	2009.5	2534.3	525.07	2188.1	2713.1	1.5816	5.4956	7.0771
130	270.28	0.001070	0.66808	546.10	1993.4	2539.5	546.38	2173.7	2720.1	1.6346	5.3919	7.0265
135	313.22	0.001075	0.58179	567.41	1977.3	2544.7	567.75	2159.1	2726.9	1.6872	5.2901	6.9773
140	361.53	0.001080	0.50850	588.77	1960.9	2549.6	589.16	2144.3	2733.5	1.7392	5.1901	6.9294
145	415.68	0.001085	0.44600	610.19	1944.2	2554.4	610.64	2129.2	2739.8	1.7908	5.0919	6.8827
150	476.16	0.001091	0.39248	631.66	1927.4	2559.1	632.18	2113.8	2745.9	1.8418	4.9953	6.8371
155	543.49	0.001096	0.34648	653.19	1910.3	2563.5	653.79	2098.0	2751.8	1.8924	4.9002	6.7927
160	618.23	0.001102	0.30680	674.79	1893.0	2567.8	675.47	2082.0	2757.5	1.9426	4.8066	6.7492
165	700.93	0.001108	0.27244	696.46	1875.4	2571.9	697.24	2065.6	2762.8	1.9923	4.7143	6.7067
170	792.18	0.001114	0.24260	718.20	1857.5	2575.7	719.08	2048.8	2767.9	2.0417	4.6233	6.6650
175	892.60	0.001121	0.21659	740.02	1839.4	2579.4	741.02	2031.7	2772.7	2.0906	4.5335	6.6242
180	1002.8	0.001127	0.19384	761.92	1820.9	2582.8	763.05	2014.2	2777.2	2.1392	4.4448	6.5841
185	1123.5	0.001134	0.17390	783.91	1802.1	2586.0	785.19	1996.2	2781.4	2.1875	4.3572	6.5447
190	1255.2	0.001141	0.15636	806.00	1783.0	2589.0	807.43	1977.9	2785.3	2.2355	4.2705	6.5059
195	1398.8	0.001149	0.14089	828.18	1763.6	2591.7	829.78	1959.0	2788.8	2.2831	4.1847	6.4678
200	1554.9	0.001157	0.12721	850.46	1743.7	2594.2	852.26	1939.8	2792.0	2.3305	4.0997	6.4302

## ANEXO L: Carta psicrométrica a temperatura de bulbo seco y húmedo



## ANEXO M: Propiedades del Diesel

Requisitos	Unidad	Mínimo*	Máximo	Método Ensayo
Punto de Inflamación	°C	40	--	INEN 1047
Corrosión Lámina de Cobre	--	--	Nº 2	INEN 927
Temperatura de Destilación 90%	°C	--	288	INEN 926
Agua y Sedimentos	% en V	--	0.15	INEN 1494
Índice de Cetano Calculado	--	40	--	INEN 1495
Residuo Carbonoso sobre el 10% del residuo	% en peso	--	0.15	INEN 1491
Cenizas	% en peso	--	0.01	INEN 1492
Viscosidad Cinemática 38°C	cSt	1.3	3.00	INEN 810
Contenido de Azufre	% en peso	--	0.30	INEN 1049
Calor de Combustión	KJul/Kg.	--	45914	ESTIMADO