

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA



**AUDITORIA ENERGÉTICA DEL SISTEMA TÉRMICO DE LA
EMPRESA PAPELSA-LIMA**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA
OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO EN ENERGÍA**

AUTOR:

BACHILLER: ANGHELO GIANCARLO LIÑAN LUDEÑA

ASESOR:

Mg. GILMER JUAN LUJAN GUEVARA

NUEVO CHIMBOTE – PERÚ

2020



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN
ENERGÍA**

CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR

El presente Trabajo de Suficiencia, ha sido revisado y desarrollado en cumplimiento del objetivo propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando encuadrado dentro de las áreas y líneas de investigación conforme al reglamento general para obtener el título profesional en la universidad nacional del Santa (R: D: N° 471-2014-CU-R-UNS) de acuerdo a la denominación siguiente:

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OBTENER EL
TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN ENERGÍA**

**Título: “AUDITORIA ENERGÉTICA DEL SISTEMA TÉRMICO DE
LA EMPRESA PAPELSA-LIMA”**

AUTOR: Bach. Anghelo Giancarlo Liñan Ludeña

.....
Mg. Gilmer Juan Lujan Guevara

ASESOR



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL EN ENERGÍA

HOJA DE AVAL DEL JURADO EVALUADOR

El siguiente Trabajo de Suficiencia Profesional titulado “AUDITORIA ENERGÉTICA DEL SISTEMA TÉRMICO DE LA EMPRESA PAPELSA-LIMA”, para obtener el título profesional de Ingeniero en Energía; presentado por Bach. ANGHELO GIANCARLO LIÑAN LUDEÑA, que tiene como asesor al docente Mg. Gilmer J. Lujan Guevara designado por resolución N° 713-2019-UNS-FI. Ha sido revisado y aprobado el día 02 de Enero del 2019 por el siguiente jurado evaluador, designado mediante resolución N° 639-2019-UNS-CFI.



Mg. Hector D. Benites Villegas
PRESIDENTE



Mg. Gilmer J. Lujan Guevara
SECRETARIO



Mg. Robert F. Guevara Chinchayán
INTEGRANTE

DEDICATORIA

Con especial consideración

A MIS PADRES, por el esfuerzo realizado en todas las etapas de la vida.

A MI HIJA; Por ser la motivación en todo momento para continuar en el esfuerzo de alcanzar los objetivos y lograr nuevas metas.

A MIS HERMANOS Y FAMILIARES EN GENERAL; Por su constante compañía y a mis familiares en general por su apoyo incondicional durante las etapas de estudiante.

AGRADECIMIENTOS

A MI ASESOR

MG. GILMER LUJAN GUEVARA

Por las sugerencias y orientaciones técnicas y metodológicas dadas para la elaboración y culminación del presente Trabajo de titulación por experiencia profesional.

A MIS COMPAÑEROS DE ESTUDIOS

A todos mis compañeros de estudios con quienes compartí la etapa de estudiantes universitario.

A LOS DOCENTES DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA EN ENERGÍA

Por los conocimientos brindados durante la etapa de formación profesional.

RESUMEN

El presente trabajo de experiencia profesional presenta la información sobre la auditoria térmica aplicada a la empresa Papelsa cuyas actividades se orientan a la elaboración de papel, cartones y otros materiales similares.

El objetivo del trabajo consistió en realizar un diagnóstico de los procesos térmicos e identificar el consumo de vapor para cada equipo de proceso; asimismo determinar las pérdidas y las oportunidades de mejoras estableciendo una propuesta económica de inversión y la proyección de ahorro económico.

La metodología utilizada consistió en el uso de las técnicas y herramientas para una auditoria energética, la cual fue aplicada en los equipos regeneradores, consumidores y auxiliares de la planta. El diagnóstico energético aplicado a los generadores de vapor indican que la eficiencia térmica promedio es 79 % siendo un valor que se puede mejorar hasta 80 %, la planta cuenta con una capacidad instalada de 13 996,67 Kg/h abastecidas por 03 calderas pirotubulares, del total producido se identificó que las pérdidas anuales en vapor se representan de la siguiente forma: Vapor de purgas 76 837,44 Kg(2,61 %), vapor para tanques flash 44 650,41 Kg(1,52%) y en reposición 539 000,00 kg(18,30 %) respectivamente.

Las pérdidas evaluadas en las áreas intervenidas durante la auditoria térmica, originan la suma de US\$ 18 7325,42 anuales. Asimismo los ahorros proyectados ascienden a US\$ 201 336,78 con una inversión proyectada de US\$ 195 389,75.

ABSTRACT

The present work of professional experience gathers information on the thermal audit applied to the company Papelsa whose activities are oriented to the elaboration of paper, cardboard and other similar materials.

The objective of the work was to make a diagnosis of thermal processes and identify steam consumption for each process equipment; also determine losses and opportunities for improvement by establishing an economic investment proposal and the projection of economic savings.

The methodology used consisted in the use of the techniques and tools for an energy audit, which was applied in the regenerating, consuming and auxiliary equipment of the plant. The energy diagnosis applied to steam generators indicates that the average thermal efficiency is 79 % being a value that can be improved up to 80 %, the plant has an installed capacity of 13 996,67 Kg / h supplied by 03 pyrotubular boilers, of the total produced it was identified that the annual losses in steam are represented as follows: Purge steam 76 837,44 Kg (2,61 %), steam for flash tanks 44 650,41 Kg (1,52%) and in replacement 539 000,00 kg (18,30%) respectively.

The losses evaluated in the areas intervened during the thermal audit; originate the sum of US\$ 18 775,42 per year. Also, the projected savings amount to US\$ 201 336,78 with a projected investment of US\$ 195 389,75.

INDICE GENERAL

Carta de conformidad del asesor	02
Carta de conformidad del jurado	03
Dedicatoria	04
Agradecimientos	05
Resumen	06
Abstract	07
I. Tema específico abordado	09
II. Contextualización de la experiencia profesional	09
III. Importancia para el ejercicio de la carrera profesional	12
IV. Objetivos planteados y logrados	12
V. Sustento teórico del tema abordado	12
VI. Organización y sistematización de las experiencias logradas	25
VII. Ubicación de las experiencias en el marco del sustento teórico	32
VIII. Aportes logrados para el desarrollo del centro laboral	34
IX. Aportes para la formación profesional	96
X. Conclusiones y recomendaciones	96
XI. Referencias bibliográficas	97
Anexos	99

I.- TEMA ESPECÍFICO ABORDADO

El tema abordado se orienta a la aplicación de una auditoria energética, centrado en los procesos térmicos de la empresa papelera Papelsa.

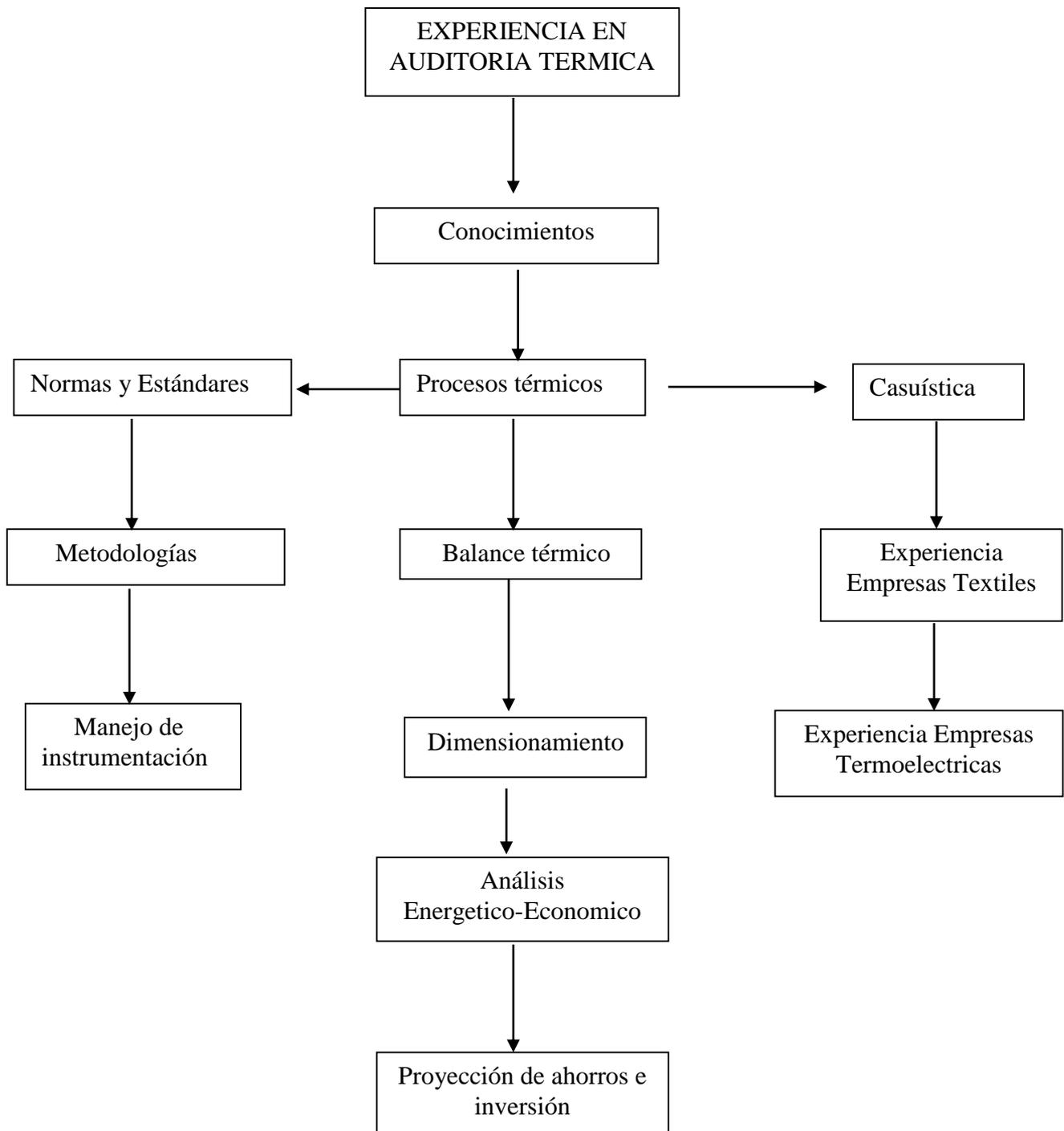
II.- CONTEXTUALIZACION DE LA EXPERIENCIA PROFESIONAL

La experiencia profesional se contextualiza en las múltiples actividades desarrolladas durante los servicios realizados a diversas empresas del sector industrial, entre ellas empresas textiles, papeleras, centrales termoeléctricas, etc. Donde se orientaron los trabajos a la mejora de sus procesos, en el manejo de la energía térmica y recursos como combustible, agua e insumos químicos.

Las actividades se inician con la visita técnica a las empresas donde requieren de servicios de ingeniería, orientada a los procesos térmicos que realizan según los requerimientos, necesidades y mejoras en planta.

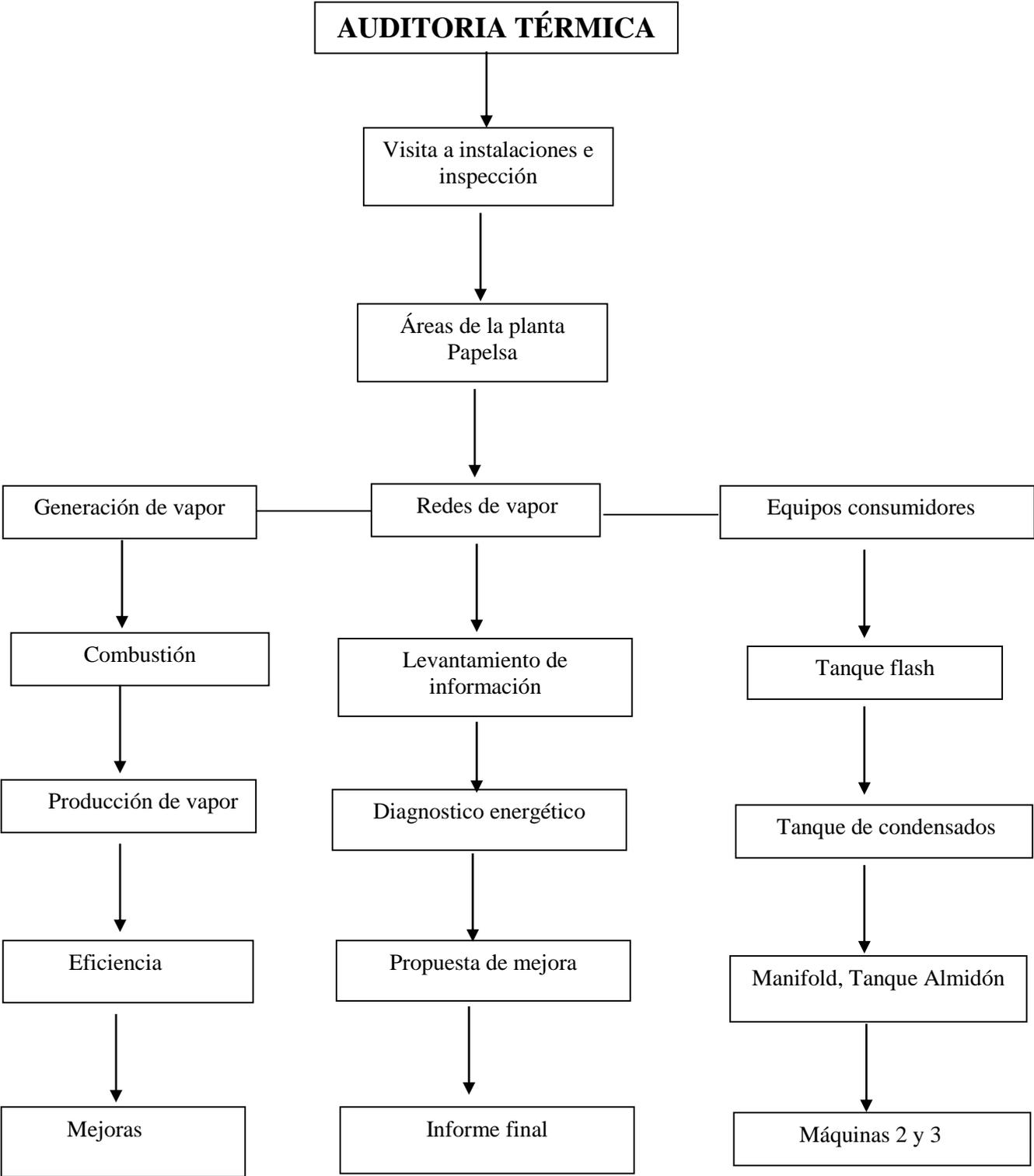
El servicio de ingeniería contempla la inspección, toma datos, diseño, instalación, puesta en marcha, realización de informe técnico y finalmente presentación de propuestas económicas que brindan mejoras en procesos térmicos. Orientado al manejo adecuado de la energía bajo el concepto de sostenibilidad y ahorro de la energía en el proceso productivo de las empresas.

CONTEXTO DE LA EXPERIENCIA PROFESIONAL



Fuente: Elaboración propia

CONTEXTO DE LA METODOLOGÍA PARA AUDITORÍA TÉRMICA



Fuente: Elaboración propia

III.- IMPORTANCIA PARA EL EJERCICIOS DE LA CARRERA PROFESIONAL

Las auditorías energéticas son herramientas que integran todos los procedimientos y etapas de un estudio general en el manejo de la energía centrado en los recursos que dispone la planta y los procesos que sostiene a partir del uso de estos, mediante una fuente energética como el vapor. En ese contexto el presente informe de titulación por experiencia profesional presenta toda la información, las técnicas y los procedimientos realizados en una auditoria energética, siendo importante para el ejercicio d la carrera profesional ya que las auditorías energéticas permiten analizar todos los escenarios posibles que involucra el manejo de la energía térmica en la industria, además de que le permite al ingeniero en energía formarse en la línea directa de carrera ya que manejara fuentes energéticas combustibles, electricidad, y se relaciona con los procesos como generación de energía térmica a través de calderos, distribución de vapor , análisis de consumo de equipos , ratios de consumo y producción y sobretodo los costos energéticos y su proyección de ahorro en el tiempo con un grado de ahorro, inversión y ahorro económico.

IV. OBJETIVOS PLANTEADOS Y LOGRADOS

Realizar una auditoria energética del sistema térmico de la empresa Papelsa -lima.

4.1 Objetivos específicos

- Identificar los procesos térmicos, equipos y sus parámetros de operación en planta.
- Realizar el diagnostico energético y establecer las condiciones actuales de consumos y costos.
- Obtener las pérdidas económicas, ahorros e inversión requerida para mejorar los indicadores de productividad en la planta.
- Proponer un plan de mejora energética y económica para toda la planta.

V.- SUSTENTO TEÓRICO DEL TEMA ABORDADO

5.1 Auditoria energética térmica

Procedimiento a través del cual es posible obtener información fiable y objetiva sobre el consumo de energía térmica de un determinado equipo o proceso, con el objetivo de poder detectar aquellos factores que afectan al consumo y eficiencia de los equipos consumidores de energía. De este modo podemos entender de qué

forma se está empleando la energía térmica del vapor e identificar donde no se aprovecha de manera adecuada y poder establecer las posibles estrategias de ahorro energético.

Una auditoría energética térmica, es un estudio completo de los factores de tipo técnico y económico de todos los procesos y/o equipos que consumen vapor.

5.2 Diagnóstico energético

Niveles de Diagnósticos energéticos

- **Diagnósticos de primer grado:** Mediante los diagnósticos energéticos de primer grado se detectan medidas de ahorro cuya aplicación es inmediata y con inversiones marginales o bajas. Consiste en la inspección visual del estado de conservación de las instalaciones, en el análisis de los registros de operación y mantenimiento que rutinariamente se llevan en cada instalación, así mismo como el análisis de información estadística de consumo y pagos por concepto de energía térmica y combustibles, Guevara, R (2014).
- **Diagnóstico de segundo grado:** Comprende la evaluación de la eficiencia energética en áreas y equipos intensivos en su uso, como son los motores eléctricos y los equipos que éstos accionan, “así” como aquellos para comprensión y bombeo, los que integran el área de servicios auxiliares entre otros. La aplicación de este tipo de diagnósticos requiere de un análisis detallado de los registros históricos de las condiciones de operación de los equipos, lo que incluye la información sobre volúmenes manejados o procesados y consumos específicos de energía. La información obtenida directamente en campo se compara con la de diseño, con objeto de obtener las variaciones de eficiencia.

El primer paso, es detectar las desviaciones entre las condiciones de operación actuales con las del diseño, para así, jerarquizar el orden de análisis de cada equipo proceso. El paso siguiente es conocer el flujo de energía, servicio o producto perdido por el equipo en estudios. Los balances de materia y energía, los planos unifilares, actualizados, así como la disposición de los índices energéticos reales y de diseño complementan el diagnóstico, ya que permiten establecer claramente la distribución de la energía en las instalaciones, las

pérdidas y desperdicios globales y así determinar la eficiencia con la que es utilizada la energía. Finalmente, se debe evaluar, desde el punto de vista económico, las medidas que se recomienden llevar a cabo, tomando en consideración que se deben pagar con los ahorros que se tengan y en ningún momento deben poner en riesgo la liquidez de la empresa.

- **Diagnósticos de tercer grado:** Consiste en un análisis exhaustivo de las condiciones de operación y las bases de diseño de una instalación, mediante el uso de equipo especializado de medición y control. Debe realizarse con la participación de especialistas de cada área, auxiliados por el personal de ingeniería. En estos diagnósticos, es común el uso de técnicas de simulación de procesos, con la finalidad de estudiar diferentes esquemas de interrelación de equipos y procesos. Además de que facilitan la evaluación de los efectos de cambio de condiciones de operación y modificaciones del consumo específico de energía, por lo que se requiere información completa de los flujos de materiales, combustibles, energía eléctrica, así como de las variables de presión, temperatura y las propiedades de las diferentes sustancias o corrientes. Las recomendaciones derivadas de estos diagnósticos generalmente son de aplicación a mediano plazo e implican modificaciones a los equipos, procesos e incluso de las tecnologías utilizadas. Además, debido a que las inversiones de estos diagnósticos son altas, la evaluación económica debe ser rigurosa, en cuanto al período de recuperación de la inversión.

5.3 PRINCIPALES EQUIPOS CONSUMIDORES DE ENERGIA

El consumo de energía térmica (combustible) de una planta papelera se distribuye según sus usos tal como se señala en la figura, donde se puede apreciar que en promedio el 62% corresponde al sistema de calderas para generación de vapor principalmente para ser usado en la máquina papelera, 32% en procesos de calentamiento, 4% al accionamiento de máquinas y 2% a otros.



Figura 01: Distribución de energía térmica y eléctrica en planta papelera.
Fuente: Adaptación de estudio de industria Papelera FONAM.

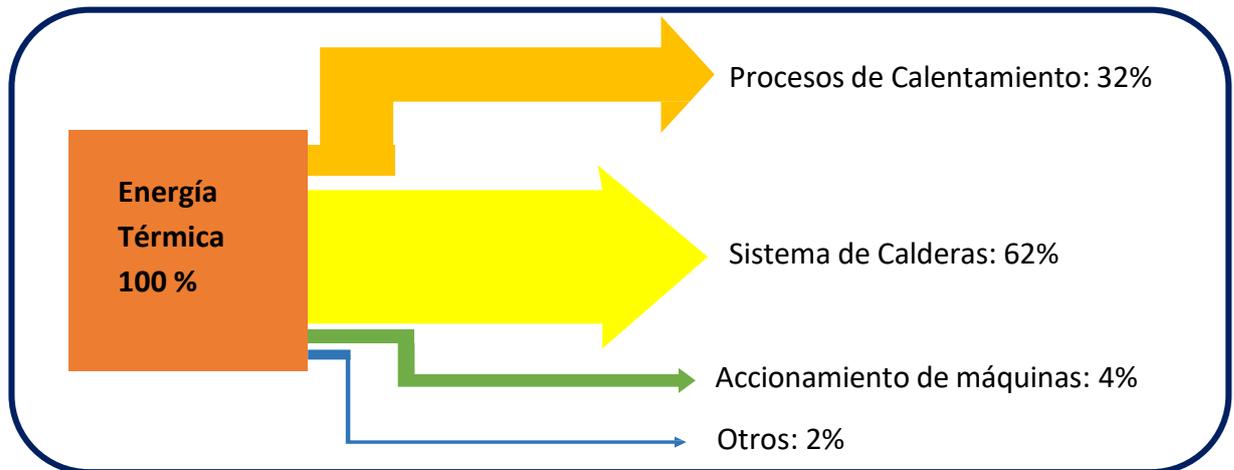


Figura 02: Consumo de energía térmica en planta papelera.
Fuente: Bandwidth Study on energy Use and Potential Energy Saving Opprtunities in U.S. Pulp and Paper Manufacturing, Junio 2015.

5.4 EL DIAGNÓSTICO ENERGETICO COMO HERRAMIENTA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA.

El Diagnóstico Energético permite analizar el uso de la energía eléctrica y térmica “combustible”, utilizada en una empresa para el desarrollo de su proceso productivo, lo cual nos permitirá conocer en que parte del proceso de producción se utiliza la energía.

- Las principales áreas consumidoras de energía.
- Cantidad de energía desperdiciada.

La magnitud o profundidad del Diagnóstico Energético depende del tamaño de la empresa y la disponibilidad de recursos para su ejecución.

5.5 ETAPAS DE ELABORACIÓN DEL DIAGNOSTICO ENERGÉTICO

- **Recopilación de información preliminar**

El especialista que estará cargo de la elaboración del estudio de Diagnóstico Energético realizará una “visita de reconocimiento” de las instalaciones de la empresa para ver y conocer de manera general el proceso productivo, los principales equipos y fuentes de energía utilizadas.

Es importante entrevistarse con el/los responsables/s directo/s, jefe de planta, gerente de planta, jefe de mantenimiento u otro que esté a cargo del proceso productivo mantenimiento de equipos para aclarar dudas y/o consultas sobre el desarrollo general de las áreas productivas.

Finalmente se solicitará los manuales de operación de los equipos consumidores, generadores o transformadores de energía, reportes de mantenimiento, costos de energía como parte de los costos de producción, diagrama de instalaciones eléctricas, planos de distribución de maquinarias y ambientes, planos de fluidos térmicos, estadísticas de producción y ventas, estructura organizacional, diagrama de los procesos de producción.

- **Revisión de la facturación de energéticos**

La información preliminar será proporcionada por la empresa y consiste en las facturaciones energéticas de los consumos de energía eléctrica, combustible y demás energéticos, de al menos un (01) año, así como las características del suministro eléctrico, tarifa y tipo de combustible utilizados.

El objetivo es conocer el perfil de consumo total de energéticos de la empresa y también su máxima demanda en potencia (kW) y su máxima demanda en energía (kW.h); así como los niveles de consumo por tipo de combustible y demás energéticos (solar, eólico, biogás, entre otros).

- **Recorrido de instalaciones**

El especialista a cargo de la ejecución del Diagnóstico Energético, realizará una “visita técnica” a las instalaciones de la empresa y revisará algunos aspectos claves que podrían convertirse en importantes oportunidades de ahorro energético. Recorrer las instalaciones para realizar el inventario y ubicar los equipos generadores y consumidores de energía. Las visitas técnicas darán como resultado la siguiente información:

- **Campaña de mediciones**

Luego de haber elegido los puntos y/o equipos consumidores de energía cuyos consumos serán medidos, por ejemplo: grupo electrógeno, calderas, motores eléctricos, iluminación entre otros; se instalan los instrumentos y equipos de medición requeridos, se realizará mediciones térmicas y eléctricas con los mismos instrumentos fijos de la empresa o instrumentos portátiles dispuestos para este propósito, lo cual permitirá conocer si los equipos consumidores están perdiendo energía o lo consumen adecuadamente.

- **Área térmica**

En el área térmica se debe medir principalmente la combustión eficiente en calderas.

Además, evaluar los sistemas de distribución de vapor, agua y aire comprimido, el estado del aislamiento térmico de ductos de vapor, sistemas de calefacción y refrigeración, recuperación óptima de condensados. Así como la factibilidad de cambio de combustible, optando siempre por el menos contaminante y más amigable con el ambiente.

- **Evaluación de registros-Línea base energética: consumos y costos de la energía.**

Los registros obtenidos en la campaña de mediciones proporcionarán la información que deberá ser evaluada, validada y analizada, afín de verificar la consistencia de datos y descartar los datos no reales.

La calidad de energía térmica en cuanto al uso, seguridad y confort del personal y las deficiencias en las instalaciones que comprometan la seguridad de las personas.

Se realizan cálculos, estimaciones, balances de masa y energía, flujo gramas, etc, para determinar la participación de la energía en el proceso productivo. La intención será conocer en detalle cómo se está utilizando la energía en las áreas, zonas y hasta por equipo o maquinaria.

Determinación de la Línea de Base: Proporciona la información sobre el estado actual del consumo e indicadores energéticos, los cuales, comparándolos con las siguientes auditorías, brindarán la información del grado de eficiencia que se viene desarrollando.

La línea base deberá estar expresada en forma cuantitativa y ser consistente con la situación real del sistema energético a efectos de comparación en un período determinado.

Identificación de oportunidades de mejora de eficiencia energética. En esta etapa se identifican las oportunidades de mejora, determinando el potencial de ahorro energético, los equipos críticos y recomendaciones de las alternativas técnicas de mejoramiento y/o sustitución.

Inventario de equipos y artefactos de mejora, determinando el potencial de ahorro energético, los equipos críticos y recomendaciones de las alternativas técnicas de mejoramiento y /o sustitución.

En esta etapa se obtiene la siguiente información:

- Inventario de equipos y artefactos consumidores de energía.
- Diagrama de flujo de procesos de la empresa.
- Diagrama de carga del consumo de energía, en diagrama sankey o similar.
- Oportunidades de mejora energética (sustitución o mejora de equipos y/o cambio de hábitos).

- Determinación de los centros de costos energéticos, que nos permitirá conocer y mejorar el consumo de cada energético por área o proceso especificado.
- Mejora en los procesos de la entidad.
- **Evaluación técnica –económica**

En la empresa siempre están presentes las ventajas de implementar medidas de eficiencia energética, como mejorar la competitividad global y reducir los costos de producción al consumir menos energía por unidad producida, acciones que permiten redestinar la energía a otros usos y disminuir las pérdidas de energía, además de contribuir al cuidado del ambiente

- **Evaluación del ahorro de energía proyectado**

El ahorro de energía atribuible a las recomendaciones asociadas con buenas prácticas de consumo y con reemplazo de equipos adecuados está en función a la eficiencia de las unidades involucradas, la capacidad de los equipos, las horas de operación y diversas condiciones relacionadas con la naturaleza de los procesos industriales.

- **Evaluación del beneficio económico esperado.**

El beneficio económico está relacionado, principalmente, con el ahorro de energía proyectado, así como el cambio de equipos o instalación de nuevos equipos.

El cálculo del beneficio económico deberá estar expresado en el mismo período para el cual se ha efectuado el cálculo del ahorro económico (mensual o anual). En el proceso de cálculo del beneficio económico, se requiere establecer el precio del energético involucrada.

- **Informe de auditoría energética**

La evaluación energética como documento final puede llamarse Auditoría Energética, Diagnóstico Energético, Estudio o Evaluación de Eficiencia Energética. Así mismo el Estudio de Uso Racional de Energía, etc y de acuerdo al interés particular del empresario puede adoptar uno de estos nombres u otro similar.

El informe final de la auditoría energética debe contener, la línea base y las oportunidades de ahorro, así como la implementación de mejoras propuestas

- **Propuesta de implementación de mejoras.**

Las propuestas de implementación de mejoras, también podrán considerar la utilización constante de tecnologías de auditoría energética de última generación presentes en el mercado, las cuales permitirán una administración o gestión de la energía a través del monitoreo en línea de sus consumos energéticos (entre otros indicadores) de forma inmediata. Las mismas que deberán ser incluidas en el Informe Final de Auditoría.

5.6 CARACTERISTICA DE LA EMPRESA INDUSTRIAS DEL PAPEL.S. A

Papelsa es una empresa dedicada a la fabricación de papeles y cartones de diferentes medidas y gramajes, con presentación en bobinas o cintas. La materia prima es material 100 % reciclado. La producción es utilizada íntegramente como materia prima de sus clientes para la fabricación de cajas, conos, tubos de cartón, entre otros.



Figura 03: Instalaciones de la empresa
Fuente: Elaboración Propia

5.6.1 PRODUCTOS ELABORADOS

Entre los productos que ofrece la empresa podemos mencionar los siguientes:

- **CARTON LINER:**

Este tipo de papel es recomendado principalmente para la fabricación de cajas de cartón destinadas al mercado industrial, se caracteriza por su apariencia limpia, textura y suavidad. Producido en una amplia variedad de pesos y medidas desde 100 hasta 350 g/m².



Figura 04: Cartón Liner
Fuente: Elaboración Propia

- **CARTON CORRUGADO**

El cartón para corrugar presenta la característica de ser más resistente a la compresión, por lo tanto, es de uso ideal en el ondulado medio de las cajas de cartón. Producido en una amplia variedad de pesos y medidas desde 100 hasta 190 g/m².



Figura 05: Cartón Corrugado
Fuente: Elaboración Propia

- **CINTA DE CARTON GRIS-MARRON**

Cartón que se caracteriza por tener una rigidez adecuada en la formación de tubos y conos además de tener un encolado apropiado para la adhesión en la formación de tubos. Producido en una amplia variedad de pesos y medidas desde 160 hasta 200 g/m².



Figura 06: Cinta de Carton Gris
Fuente: Elaboración Propia

- **KRAFT**

Es un producto con apariencia limpia, textura y de alta resistencia al rasgado, tensión y explosión, utilizado en la elaboración de sacos multipliegos para el envasado de productos. Producidos en una amplia variedad de pesos y medidas desde 75 hasta 90 g/m².



Figura 07: Cinta de Carton Gris
Fuente: Elaboración Propia

5.6.2 SISTEMA DE VAPOR Y CONDENSADOS

El sistema de Generación de vapor cuenta con 4 calderos (CC1 de 600 BHP, CC2 de 600 BHP, CD1 de 300 BHP, CD2 de 300 BHP) con una potencia Total Instalada de 1800 BHP Sin embargo se ha podido evidenciar durante esta auditoría térmica, que el caldero CC2 no se encuentra operativa, por lo que la potencia efectiva es de 1 200 BHP.



Figura 08: Caldero Cleaver Brooks(CC1)
Fuente: Elaboración Propia



Figura 09: Caldero Cleaver Distral(CC2)
Fuente: Elaboración Propia

El equipo consumidor de Vapor está conformado por dos máquinas denominadas Máquina N° 3 y Máquina N° 2 y un tanque de preparación de almidón. El sistema de distribución de vapor consta de una red de tuberías hacia los equipos consumidores. Está conformada además por un Manifold Principal (MP), Manifolds secundarios (MS2A, MS2B, MS3A, MS3B) y Tanques Flash (TF2A, TF2B, TF2C, TF3A, TF3B, TF3C).

Así también la red de retorno de condensado está conformada por tanques de condensado de las maquinas N° 3 (TC3) y maquina N° 2 (TC2).



Figura 10: Purga de línea sin pozo ni trampa de vapor
Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO VI:
ORGANIZACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE
LAS EXPERIENCIAS LOGRADAS

6.1 EXPERIENCIAS REALIZADAS

En esta etapa se describe las actividades realizadas en algunas de las empresas donde se realizaron servicios de ingeniería según lo requerido.

EMPRESA	RUBRO	INICIO	TERMINO	TRABAJO REALIZADO	MONTO COTIZADO US\$.
Textil La Bellota S.A.C	Textil	07/01/15	14/01/15	Análisis de Fugas en Sistema de Trampeo.	220,00
Laboratorios AC Farma	Farmacéutica	14/04/15	16/04/15	Suministro e Inst. Sistema de Purga de Superficie Caldera	7 585,90
Producto Tissue del Perú	Papelera	04/05/15	05/05/15	Suministro e Instalación de Estación Reductora de Presión.	7 137,00
Desarrollo Industrial Mecánico S.A.C.	Manufacturera	29/05/15	30/05/15	Suministro e Instalación de Estación Reductora de Presión y Estación de Bombeo de Condensado	11 213,00
Universal Textil	Textil	06/07/15	10/07/15	Análisis de Fugas en Sistema de Trampeo.	220,00
Esmeralda Corp. S.A.C	Alimentaria	17/08/15	24/08/15	Inspección del sistema de vapor.	550,00
Redondos S.A	Alimentaria	12/09/15	16/09/15	Suministro de trampas de vapor	1 262,49
Redondos S.A	Alimentaria	12/09/15	20/09/15	Suministro de Acondicionamiento de vapor	2 566,28
Gloria S.A	Alimentaria	23/11/15	27/11/15	Suministro de Sistema de Acondicionamiento de Vapor	10 970,00
Gloria S.A	Alimentaria	22/02/16	23/02/16	Suministro de Estación de Secado de Vapor	3 578,00
Corporacion Lindley S.A	Alimentaria	16/03/16	17/03/16	Suministro e Instalación de Purga de Manifold de Vapor	2 650,00
Panificadora Bimbo S.A	Alimentaria	11/04/16	18/04/16	Adecuación de sala de siliconado.	25 090,00
Textil Cotton Knite S.A.C	Textil	25/04/16	29/04/16	Montaje de Sistema de Vapor y Condensado.	66 454,30
Textil Cotton Knite S.A.C	Textil	01/06/16	03/06/16	Análisis de Fugas en Sistema de Trampeo.	220,00
Textil Cotton Knite S.A.C	Textil	06/06/16	10/06/16	Dimensionamiento de líneas de nueva planta ácido gálico.	7 895,00
Good Year Perú S.A	Manufacturera	20/06/16	22/06/16	Suministro e Inst. de Sistema de Calentamiento de Moldes	6 917,00
Reactivos Nacionales S.A	Químico	18/07/16	20/17/16	Suministro e Inst. de Sistema Purga Superficie de Caldera	7 585,90
Lava Quick Express S.A	Lavandería	02/08/16	05/08/16	Mantenimiento de Trampas de Vapor	5 956,73
Lava Quick Express S.A	Lavandería	02/08/16	05/08/16	Suministro de trampas de vapor	9 515,30
Reactivos Nacionales S.A	Químico	05/09/16	08/09/16	Auditoria de trampas de vapor	330,00

Fuente: Elaboración propia

6.2 IMPORTANCIA PARA EL EJERCICIO DE LA CARRERA PROFESIONAL

Las actividades realizadas en las distintas empresas contribuyen a desarrollar la experiencia profesional en el área térmica. De manera que se complementan los conocimientos técnicos, normativos para cada caso atendido involucrando profesionalmente el desarrollo como especialista en auditoría energética.

- **La experiencia ganada en la empresa textil la Bellota S.A.C.**

El servicio tiene como objetivo reducir la pérdida de vapor en el tanque de condensados proveniente de los sistemas de trampeo de las líneas de producción, identificando el estado de las trampas a lo largo de la línea.



Figura 11: Falta de recuperación del condensado en sus procesos

Fuente: Elaboración Propia

- **Laboratorios AC Farma S.A.**

Se realizó la automatización del control de purga de superficie en la caldera de 150 BHP, debido a que se realiza el control de los STD de manera manual generando un desperdicio constante de energía al purgar más de lo necesario.

- **Producto Tissue del Perú S.A.C (PROTISSA).**

Se evidenció la necesidad de instalar un sistema de reducción de presión para una máquina selladora, que estaba operando a presión elevada de 8 bar (presión de generación de la caldera), y debido que los parámetros de operación de la máquina trabajan a baja presión (1,5 bar) para evitar fatiga de la máquina y excesivo consumo de vapor.

- **Desarrollo Industrial Mecánico S.A.C (DINMETSA).**

Se presentó la propuesta técnica y económica para el suministro e Instalación de una Estación Reductora de Presión y Estación de bombeo de condensado con el fin de optimizar el uso de vapor para los procesos.



Figura 12: Instalación de bombeo de condensado
Fuente: Elaboración Propia

- **Universal Textil S.A.C.**

Se realizó el análisis de fugas en sistema de trampeo de vapor para identificar las pérdidas a lo largo de la red de distribución de vapor y presentar una propuesta técnica y económica de mejora.

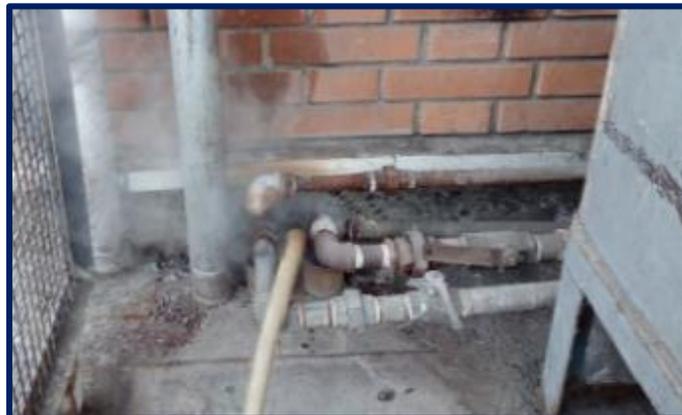


Figura 13: Falta de Recuperación de Condensado
Fuente: Elaboración Propia

- **Esmeralda Corp. S.A.C.**

Se realizó la inspección del sistema de vapor en toda la planta con el fin de recopilar observaciones y mejoras que se pudo analizar en las instalaciones de la Planta Esmeralda Corp.

Esto será útil para tener un conocimiento del consumo térmico de las secciones que componen la planta: Área de Subproductos, Área de Camal y Mariposa Andina. El área de San Fernando no pudo ser visitada.



Figura 14: Instalaciones de Esmeralda Corp.
Fuente: Elaboración Propia

- **Redondos S.A.**

Se realizó cambio de trampas de vapor en mal estado por propuesta de trampas de proveedor de la línea térmica Forbes Marshall.

- **Gloria S.A.**

Se realizó el acondicionamiento de vapor que consta de la instalación de una estación de secado de vapor y una estación reductora de presión (ERP) de vapor para la operación del equipo UHT #05, el cual trabaja con vapor de línea (120 psig). A su vez se requiere restringir el paso de vapor a este equipo ya que la presión de vapor en la línea troncal disminuye afectando la operación del equipo UHT #06(58,8 psig).

- **Corporación Lindley S.A.**

Se realizó la propuesta técnica y económica de cambios de purga para el manifold principal; debido a la baja capacidad de descarga.



Figura 15: Manifold de sala de caldera
Fuente: Elaboración Propia

- **Panificadora Bimbo S.A.**

Se realizó el servicio del acondicionamiento del sistema de calentamiento y retorno de condensado en la sala de siliconeado. Donde solo 3 de las 7 tinas de lavado se encuentran equipadas con sistema automático de control de temperatura. En las tinas # 4, 5, 6 y 7 no existe serpentín siendo el vapor inyectado directamente, esto impide la recuperación del condensado generado.



Figura 16: Tinas de siliconeado
Fuente: Elaboración Propia

- **Textil Cotton Knite S.A.C.**

- Suministro e instalación de la troncal de distribución de vapor desde la sala de calderas hasta la ubicación de cada equipo.
- El suministro e instalación de la troncal de retorno de condensado desde cada equipo hasta el tanque de condensado ubicado en la sala de calderas.

- Suministro e Instalación de Estaciones de Purga de Condensado: instalación de 11 estaciones de purga de condensado (01 para cada reactor), esto con el fin de evacuar el condensado generado durante el proceso de calentamiento.

- **Good Year Perú S.A.**

Realizar la optimización del sistema de calentamiento de moldes con vapor actualmente instalado. Se considera la instalación de válvulas de control On-Off para controlar el flujo de vapor a los moldes y cortar el paso de vapor al llegar al tiempo de calentamiento requerido.



Figura 17: Sistema de Calentamiento de Moldes
Fuente: Elaboración Propia

- **Reactivos Nacionales S.A (RENASA).**

A automatización del control de purga de superficie en la caldera # 1, la cual realiza el control de STD de manera manual generando un desperdicio constante de energía al purgar más de lo necesario. Se considera la instalación de un sistema de control de STD y una válvula de control On-Off para controlar el flujo de la purga.

- **Lava Quick Express S.A.** Mantenimiento y cambio de trampas de vapor.

VII. UBICACIÓN DE LAS EXPERIENCIAS EN EL MARCO DEL SUSTENTO TEÓRICO

7.1 Descripción de la experiencia

Las experiencias adquiridas durante las actividades realizadas, permiten afirmar los conocimientos teóricos adquiridos en la formación profesional además contribuye al manejo de las herramientas metodológicas con las que se procede al realizar el estudio de auditoria, contribuyendo a la mejora profesional en el ámbito de conocer y resolver nuevos casos donde se requiera aplicar una auditoria energética para mejorar indicadores energéticos y económico en los procesos térmicos industriales.

El sustento de la teoría se basa en la comprobación de las leyes y fundamentos de los fenómenos térmicos que se observan en planta , en ese sentido se reafirma el aprendizaje de quien realiza la auditoria ampliando su experiencia en el manejo de las herramientas metodológicas obteniendo mejores resultados en el diagnóstico y las evaluaciones que conducen a una toma de decisión adecuada que traerá beneficios a la empresa a quien se le brinda el servicio y al equipo profesional que las ejecuta, en ese sentido los conocimientos se fortalecen y a su vez representa la garantía profesional adquirida en el tiempo.

VIII. APORTES LOGRADOS PARA EL DESARROLLO DEL CENTRO LABORAL

8.1 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DE EQUIPOS DE PROCESO EN PLANTA

- **Calderas pirotubulares**

Cuadro 01: CALDERO CLEAVER BROOKS N° 01

CALDERO DE VAPOR CLEAVER BROOKS NRO.01-CB1		
Levantamiento de información de los equipos:		
Sistema: Generación	Código/Activo: CB	Fecha: 2 014
Características del Equipo:		
Marca: Cleaver Brooks	Modelo: CB-400-600	Serie: L-85458
Año: 1 988	Capacidad: 600 BHP	Presión Max: 200 psig
Presión Oper.: 90 psig	Combustible: G.N.	Cons. Comb: 703 m3/h
COMPONENTES		
Tipo	Descripción	Observación
Seguridad Presión	Tres(03) Válvulas Seguridad	---
Seguridad Presión	Tres(03) Presostatos: Corte, Modulación y Sobrepresión	---
Seguridad Nivel	Un(01) Control Nivel Warrick	---
Control Nivel	Un(01) Control Nivel Mcdonell & Miller	---
Indicador Nivel	Un(01) Manómetro	---
Indicador Temperatura	Un(01) Termómetro	---
Purga Fondo	Dos(02) Válvulas Esféricas	Con Actuador
Purga de Superficie	No Tiene	---
Aislamiento	Tiene	---

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 02: CALDERO DISTRAL N° 01

CALDERO DE VAPOR DISTRAL NRO.01-CD1		
Levantamiento de información de los equipos:		
Sistema: Generación	Código/Activo: CD1	Fecha: 2 014
Características del Equipo:		
Marca: Distral	Modelo: C3B-300-150	Serie: A-3146
Año: 1 996	Capacidad: 300 BHP	Presión Max: 150 psig
Presión Oper.: 90 psig	Combustible: Gas Natural	Cons. Comb: 10350 lb/h
COMPONENTES		
Tipo	Descripción	Observación
Seguridad Presión	Dos(02) Válvulas Seguridad	---
Seguridad Presión	Tres(03) Presostatos: Corte, Modulación y Sobrepresión	---
Seguridad Nivel	Un(01) Control Nivel Warrick	---
Control Nivel	Un(01) Control Nivel Mcdonell & Miller	---
Indicador Nivel	Un(01) Manómetro	---
Indicador Temperatura	No Tiene	---
Purga Fondo	Dos(02) Válvulas Esféricas	Con Actuador
Purga de Superficie	No Tiene	---
Aislamiento	Tiene	---

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 03: CALDERO DISTRAL N° 02

CALDERO DE VAPOR DISTRAL NRO.02-CD2		
Levantamiento de información de los equipos:		
Sistema: Generación	Código/Activo: CD2	Fecha: 2 014
Características del Equipo:		
Marca: Distral	Modelo: C3B-300-150	Serie: A-2871
Año: 1 993	Capacidad: 300 BHP	Presión Max: 150 psig
Presión Oper.: 90 psig	Combustible: Gas Natural	Cons. Comb: 10350 lb/h
COMPONENTES		
Tipo	Descripción	Observación
Seguridad Presión	Dos(02) Válvulas de Seguridad	---
Seguridad Presión	Tres(03) Presostatos: Corte, Modulación y Sobrepresión	---
Seguridad Nivel	Un(01) Control Nivel Warrick	---
Control Nivel	Un(01) Control Nivel Mcdonell & Miller	---
Indicador Nivel	Un(01) Manómetro	---
Indicador Temperatura	No Tiene	---
Purga Fondo	Dos(02) Válvulas Esféricas con Actuador	---
Purga de Superficie	Un(01) Válvula de aguja	Manual
Aislamiento	Tiene	---

Fuente: Elaboración propia.

- **Manifold Principal**

Cuadro 04: MANIFOLD PRINCIPAL

MANIFOLD PRINCIPAL - MP		
Levantamiento de información de los equipos:		
Sistema: Sala Calderos	Código/Activo: MP	Fecha: 2 014
Características del Equipo:		
Marca: S/M	Modelo: S/M	Serie: S/S
Altura: ---	Diámetro: 0,70 m	Longitud: 1,2 m
COMPONENTES		
Tipo	Descripción	Observación
Seguridad	No Tiene	---
Presión	No Tiene	---
Purga	Un(01) Trampa de Vapor	Tipo Flotador
Aislamiento	No Tiene	---
Otros	Eliminador de Aire	---

Fuente: Elaboración propia.

- **Tanque de Condensado Principal**

Cuadro 05: TANQUE CONDENSADO PRINCIPAL

TANQUE CONDENSADO		
Levantamiento de información de los equipos:		
Sistema: Sala Calderos	Código/Activo: TC	Fecha: 2 014
Características del Equipo:		
Marca: S/M	Modelo: S/M	Serie: S/S
Altura: ---	Diámetro: 1,2 m	Longitud: 3,5 m
COMPONENTES		
Tipo	Descripción	Observación
Seguridad	No Tiene	---
Presión	No Tiene	---
Purga	No Tiene	---
Aislamiento	No Tiene	---
Otros	No Tiene	---

Fuente: Elaboración propia.

○ **Tanques Flash**

Cuadro 06: TANQUE FLASH N° 01

TANQUE FLASH NRO. 01		
Levantamiento de información de los equipos:		
Sistema: Maquina Papelera N°2	Código/Activo: TF2-1	Fecha: 2 014
Características del Equipo:		
Marca: S/M	Modelo: S/M	Serie: S/S
Altura: 1,4 m	Diámetro: 0,8 m	
COMPONENTES		
Tipo	Descripción	Observación
Seguridad	Un(01) Válvula de Seguridad	---
Presión	Un(01) Manómetro	Tubo sifón y Val. Corte
Purga	Un(01) Trampa de Vapor	---
Aislamiento	No Tiene	---
Otros	No tiene	---

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 07: TANQUE FLASH N° 02

TANQUE FLASH NRO. 02		
Levantamiento de información de los equipos:		
Sistema: Maquina Papelera N°2	Código/Activo: TF2-2	Fecha: 2 014
Características del Equipo:		
Marca: S/M	Modelo: S/M	Serie: S/S
Altura: 1,6 m	Diámetro: 0,5 m	
COMPONENTES		
Tipo	Descripción	Observación
Seguridad	Un(01) Válvula de Seguridad	---
Presión	Un(01) Manómetro	Tubo sifón y Val. Corte
Purga	Un(01) Trampa de Vapor	---
Aislamiento	No Tiene	---
Otros	No tiene	---

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 08: TANQUE FLASH N° 03

TANQUE FLASH NRO. 03		
Levantamiento de información de los equipos:		
Sistema: Maquina Papelera N°2	Código/Activo: TF2-3	Fecha: 2 014
Características del Equipo:		
Marca: S/M	Modelo: S/M	Serie: S/S
Altura: 1,6 m	Diámetro: 0,5 m	
COMPONENTES		
Tipo	Descripción	Observación
Seguridad	Un(01) Válvula de Seguridad	---
Presión	Un(01) Manómetro	Tubo sifón y Val. Corte
Purga	Dos(02) Trampa de Vapor	---
Aislamiento	No Tiene	---
Otros	No tiene	---

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 09: TANQUE FLASH N° 01

TANQUE FLASH NRO. 01		
Levantamiento de información de los equipos:		
Sistema: Maquina Papelera N°3	Código/Activo: TF3-1	Fecha: 2 014
Características del Equipo:		
Marca: S/M	Modelo: S/M	Serie: S/S
Altura: 1,6 m	Diámetro: 0,5 m	
COMPONENTES		
Tipo	Descripción	Observación
Seguridad	Un(01) Válvula de Seguridad	---
Presión	Un(01) Manómetro	Tubo sifón y Val. Corte
Purga	Un(02) Trampa de Vapor	---
Aislamiento	No Tiene	---
Otros	No tiene	---

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 10: TANQUE FLASH N° 02

TANQUE FLASH NRO. 02		
Levantamiento de información de los equipos:		
Sistema: Maquina Papelera N°3	Código/Activo: TF3-2	Fecha: 2 014
Características del Equipo:		
Marca: S/M	Modelo: S/M	Serie: S/S
Altura: 1,6 m	Diámetro: 0,5 m	
COMPONENTES		
Tipo	Descripción	Observación
Seguridad	Un(01) Válvula de Seguridad	---
Presión	Un(01) Manómetro	Tubo sifón y Val. Corte
Purga	Un(01) Trampa de Vapor	---
Aislamiento	No Tiene	---
Otros	No tiene	---

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 11: TANQUE FLASH N° 03

TANQUE FLASH NRO. 03		
Levantamiento de información de los equipos:		
Sistema: Maquina Papelera N°3	Código/Activo: TF3-3	Fecha: 2 014
Características del Equipo:		
Marca: S/M	Modelo: S/M	Serie: S/S
Altura: 1,6 m	Diámetro: 0,5 m	
COMPONENTES		
Tipo	Descripción	Observación
Seguridad	Un(01) Válvula de Seguridad	---
Presión	Un(01) Manómetro	Tubo sifón y Val. Corte
Purga	Un(01) Trampa de Vapor	---
Aislamiento	No Tiene	---
Otros	No tiene	---

Fuente: Elaboración propia.

○ **Tanques Condensado Secundarios**

Cuadro 12: TANQUE CONDENSADO

TANQUE CONDENSADO-TC2		
Levantamiento de información de los equipos:		
Sistema: Maquina Papelera N°2	Código/Activo: TC2	Fecha: 2 014
Características del Equipo:		
Marca: S/M	Modelo: S/M	Serie: S/S
Altura: 1,8 m	Diámetro: 1,55 m	Longitud: 3,75 m
COMPONENTES		
Tipo	Descripción	Observación
Seguridad	No Tiene	---
Presión	No Tiene	---
Purga	No Tiene	---
Aislamiento	No Tiene	---
Otros	No tiene	---

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 13: TANQUE CONDENSADO

TANQUE CONDENSADO-TC3		
Levantamiento de información de los equipos:		
Sistema: Maquina Papelera N°3	Código/Activo: TC3	Fecha: 2 014
Características del Equipo:		
Marca: S/M	Modelo: S/M	Serie: S/S
Altura: 2,8 m	Diámetro: 1,55 m	Longitud: 3,75 m
COMPONENTES		
Tipo	Descripción	Observación
Seguridad	No Tiene	---
Presión	No Tiene	---
Purga	Un(01) Rebose	---
Aislamiento	Tiene	Deteriorado
Otros	No tiene	---

Fuente: Elaboración propia.

○ **Manifold Secundarios**

Cuadro 14: MANIFOLD

MANIFOLD		
Levantamiento de información de los equipos:		
Sistema: Maquina Papelera N°2	Código/Activo: MS2A	Fecha: 2 014
Características del Equipo:		
Marca: S/M	Modelo: S/M	Serie: S/S
Altura: ---	Diámetro: 0,30 m	Longitud: 1,1 m
COMPONENTES		
Tipo	Descripción	Observación
Seguridad	No Tiene	---
Presión	No Tiene	---
Purga	Un(01) Válvula Esférica	Manual
Aislamiento	Tiene	---
Otros	No tiene	---

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 15: MANIFOLDS

MANIFOLD		
Levantamiento de información de los equipos:		
Sistema: Maquina Papelera N°2	Código/Activo: MS2B	Fecha: 2 014
Características del Equipo:		
Marca: S/M	Modelo: S/M	Serie: S/S
Altura: ---	Diámetro: 0,60 m	Longitud: 3,8 m
COMPONENTES		
Tipo	Descripción	Observación
Seguridad	Seis(06) Válvulas de Seguridad	---
Presión	No Tiene	---
Purga	Un(01) Válvula Esférica	Manual
Aislamiento	Tiene	---
Otros	---	---

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 16: MANIFOLD

MANIFOLD		
Levantamiento de información de los equipos:		
Sistema: Maquina Papelera N°3	Código/Activo: MS3A	Fecha: 2 014
Características del Equipo:		
Marca: S/M	Modelo: S/M	Serie: S/S
Altura: ---	Diámetro: 0,30 m	Longitud: 1,1 m
COMPONENTES		
Tipo	Descripción	Observación
Seguridad	No Tiene	---
Presión	Un(01) Manómetro	Con Válvula de Corte
Purga	No Tiene	---
Aislamiento	No Tiene	---
Otros	Eliminador de Aire	---

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 17: MANIFOLD

MANIFOLD		
Levantamiento de información de los equipos:		
Sistema: Maquina Papelera N°3	Código/Activo: MS3B	Fecha: 2 014
Características del Equipo:		
Marca: S/M	Modelo: S/M	Serie: S/S
Altura: ---	Diámetro: 0,70 m	Longitud: 2,1 m
COMPONENTES		
Tipo	Descripción	Observación
Seguridad	Seis(06) Válvulas de Seguridad	---
Presión	No Tiene	---
Purga	Un(01) Trampa de Vapor	---
Aislamiento	No Tiene	---
Otros	Un(01) By pass	---

Fuente: Elaboración propia.

○ **Análisis de Gases de las Calderas**

Cuadro 18: ANÁLISIS DE GASES

CALDERA	CLEAVER – CC1			DISTRAL 1 – CD1			DISTRAL 2 – CD2		
Carga	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja
Fecha	21/10/14	21/10/14	21/10/14	21/10/14	21/10/14	21/10/14	21/10/14	21/10/14	21/10/14
Hora	11:40:49	11:42:13	11:43:45	12:02:12	12:03:36	12:04:36	12:07:54	12:09:11	12:10:19
Fuel	Gas Nat.	Gas Nat.	Gas Nat.	Gas Nat.	Gas Nat.	Gas Nat.	Gas Nat.	Gas Nat.	Gas Nat.
O2 %	11,9	7,8	6,5	9,4	5,7	2,4	8,5	5,2	3,8
Ppm CO	3	0	0	0	0	326	5	0	0
Ppm CO(O2)	8	0	0	0	0	369	9	0	0
Efici. %	79,7	81,8	82,3	81,3	81,8	82,1	82,5	82,4	82,0
CO2 %	5,1	7,4	8,1	6,5	8,6	10,4	7,0	8,9	9,7
EA	116,5	53,1	40,0	72,7	33,1	11,7	60,6	29,4	19,7
T. Stk	166	180	184	174	203	222	165	196	216
T. Aire	27,2	27,6	28	29,4	29,6	29,9	30,4	30,4	30,5
Unid.T.	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
CO O2 Ref.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Presión	-0,05	0,2	0,13	0,34	-0,12	0,07	-0,32	-0,76	-0,05
Unid.P.	In WC	In WC	In WC	In WC	In WC	In WC	In WC	In WC	In WC
PS Volt	5,56	5,55	5,53	5,40	5,40	5,39	5,38	5,37	5,37
Serial	UP1028	UP1028	UP1028	UP1028	UP1028	UP1028	UP1028	UP1028	UP1028

Fuente: Elaboración propia.

○ **Sistema de Distribución de Vapor**

Cuadro 19: SISTEMA DE CALDERAS A MANIFOLD

Ítem	Código	Descripción	Diam.	Long(m)	Presión(psig)	Aislamiento
Caldera Cleaver – Manifold Principal (MP)						
1	---	Línea de Vapor	8"	15	90	SI
2	---	Válvula	8"	1	90	SI
3	---	Válvula	8"	1	90	SI
Caldera Distral N° 1 - Manifold Principal (MP)						
4	---	Línea de Vapor	6"	15	90	SI
5	---	Válvula	6"	1	90	SI
6	---	Válvula	6"	1	90	SI
Caldera Distral N° 2 - Manifold Principal (MP)						
7	---	Línea de Vapor	6"	11	90	SI
8	---	Válvula	6"	1	90	SI
9	---	Válvula	6"	1	90	SI

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 20: SISTEMA HACIA MAQUINA 2

Ítem	Código	Descripción	Diam.	Long(m)	Presión(psig)	Aislamiento
Manifold Principal (MP) – Manifold Secundario (MS2A)						
1	---	Línea de Vapor	8"	32	90	SI
Manifold Secundario (MS2A) - Cabeceros						
2	---	Línea de Vapor	8"	21	21	SI
Cabeceros						
3	CV2A	Línea de Vapor	6"	7	21	NO
4	CV2B	Línea de Vapor	6"	9	21	NO
5	CV2C	Línea de Vapor	6"	18	21	NO
6	CV2D	Línea de Vapor	6"	4	17	NO
7	CV2E	Línea de Vapor	6"	3	10	NO
Cabeceros - Cilindros						
8	---	Línea de Vapor	3"	12	21	NO
9	---	Línea de Vapor	2 1/2"	17	21	NO
10	---	Línea de Vapor	2"	26	21	NO
11	---	Válvula	3"	16	21	NO
12	---	Válvula	2 1/2"	3	21	NO
13	---	Válvula	2"	15	21	NO
Tanques Flash						
14	---	Línea de Vapor	5"	23	17	NO
15	---	Línea de Vapor	4"	13	10	NO
16	---	Línea de Vapor	1 1/2"	3	17	NO

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 21: SISTEMA HACIA MAQUINA 3

Ítem	Código	Descripción	Diam.	Long(m)	Presión(psig)	Aislamiento
Manifold Principal (MP) – Manifold Secundario (MS3A)						
1	---	Línea de Vapor	8"	48	90	SI
2	---	Línea de Vapor	8"	27	90	NO
Manifold Secundario (MS3A) - Cabeceros						
3	---	Línea de Vapor	8"	36	45	NO
Cabeceros						
4	---	Línea de Vapor	8"	25	45	NO
5	---	Línea de Vapor	8"	3	27	NO
6	---	Línea de Vapor	8"	2	17	NO
Cabeceros - Cilindros						
7	---	Línea de Vapor	2"	35	45	NO
8	---	Línea de Vapor	2 1/2"	14	45	NO
9	---	Válvula	2"	24	45	NO
10		Válvula	2 1/2"	9	45	NO
Tanques Flash						
11	---	Línea de Vapor	5"	11	27	NO
12	---	Línea de Vapor	4"	3	27	NO
13	---	Línea de Vapor	4"	9	17	NO

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 22: SISTEMA HACIA TANQUE DE CALENTAMIENTO DE ALMIDON

Ítem	Código	Descripción	Diam.	Long(m)	Presión(psig)	Aislamiento
1	---	Línea de Vapor	1"	35	30	NO

Fuente: Elaboración propia.

○ **Sistema de Retorno de Condensado**

Cuadro 23: SISTEMA DE MAQUINA 2

Ítem	Código	Descripción	Diam.	Long(m)	Temp. (°C)	Aislamiento
Tanques Principal(TC) – Tanques Condensados(TC2)						
1	---	Línea de Agua	4"	24	80	NO
Tanques Condensados(TC2) – Tanques Flash						
2	---	Línea de Agua	3"	32	100	NO
3	---	Línea de Agua	2"	92	100	NO
Cabeceros – Tanques Flash						
4	---	Línea de Agua	6"	3	127	NO
5	---	Línea de Agua	5"	3	120	NO
6	---	Línea de Agua	4"	3	115	NO
Cabeceros - Cilindros						
7	---	Línea de Agua	6"	9	127	NO
8	---	Línea de Agua	5"	20	127	NO
9	---	Línea de Agua	5"	3	120	NO
10		Línea de Agua	5"	2	115	NO
Tanques Flash						
11	---	Línea de Agua	1 1/2"	12	120	NO
12	---	Línea de Agua	1"	30	120	NO
13	---	Línea de Agua	3/4"	15	120	NO

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 24: SISTEMA DE MAQUINA 3

Ítem	Código	Descripción	Diam.	Long(m)	Temp. (°C)	Aislamiento
Tanques Principal(TP) – Tanques Condensados(TC2)						
1	---	Línea de Agua	4"	62	90	NO
Tanques Condensados(TC2) – Tanques Flash						
2	---	Línea de Agua	2"	65	90	NO
3	---	Línea de Agua	4"	22	90	NO
Cabeceros – Tanques Flash						
4	---	Línea de Agua	10"	7	90	NO
5	---	Línea de Agua	4"	3	90	NO
Cabeceros (CC2A, CC2B, CC2C)						
6	---	Línea de Agua	6"	25	145	NO
7	---	Línea de Agua	6"	5	130	NO
8	---	Línea de Agua	6"	3	120	NO
Cabeceros – Cilindros						
9	---	Línea de Agua	1"	50	140	NO

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 25: SISTEMA DE ALIMENTACION DE AGUA – SALA DE CALDERAS

Ítem	Código	Descripción	Diam.	Long(m)	Temp. (°C)	Aislamiento
Tanques Condensado(TC) – Bomba de Distribución						
1	---	Línea de Agua	8”	17	80	NO
2	---	Línea de Agua	4”	5	80	NO
Bomba – Caldera Cleaver						
3	---	Línea de Agua	3”	31	80	NO
Bomba – Caldera Distral N° 1						
4	---	Línea de Agua	2”	20	80	NO
Bomba – Caldera Distral N° 2						
5	---	Línea de Agua	2”	12	80	NO

Fuente: Elaboración propia.

○ **Fugas en el Sistema**

Cuadro 26: FUGAS

Ítem	Ubicación	Equipo	Descripción	Presión(psig)
1	Caldera Distral(CD1)	Válvula de Seguridad	Fuga de vapor	90
2	Caldera Distral(CD1)	Válvula Purga de Fondo	Fuga de agua	90
3	Caldera Distral(CD1)	Manifold Presostato	Fuga de vapor	90
4	Caldera Distral(CD2)	Manifold Presostato	Fuga de vapor	90
5	Sala de Calderas	Unión Universal	Fuga de vapor	90
6	Sala de Calderas	Unión Universal	Fuga de agua	90
7	Línea de Vapor Maquina N° 2	Brida	Fuga de vapor	90
8	Línea de tanque de Almidón	Válvula Esférica	Fuga de vapor	35
9	Maquina N° 3	Válvula de Seguridad	Fuga de vapor	45
10	Maquina N° 3	Conexiones	Fuga de Condensado	45

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 27: TRAMPAS DE VAPOR

Ítem	Diam	Marc	Mod.	Presión (psig)	Tipo				Equipo	Aplicación (Purga)	Accesorios						Obser.
					T D	F T	T E	B I			V A	F I	V I	C H	V P	B P	
1	1 1/2"	SXS	FT14	90		X			Cabecero principal	Cabecero	X	X					
2	3/4"	SXS	FT14	90		X			Línea Principal Maquina N°2	Línea	X	X					
3	3/4"	SXS	FT14	90		X			Línea Principal Maquina N°3	Línea							
4	1"	SXS	FT14	90		X			Línea Troncal Maquina N°3	Línea	X	X					Fuera de Servicio
5	2"	SXS	J7.2X	22		X			Tanque Flash N°1 – Maquina N°2	Tanque N° 1	X	X	X				Purga
6	1"	SXS	FT12 5	20		X			Cabecero Maquina N° 2	Línea							Fuera de Servicio
7	2"	SXS	FT14	20		X			Tanque Flash N° 2 – Maquina N° 2	Tanque N° 2	X	X				X	
8	2"	SXS	FT14	12		X			Tanque Flash N° 3 – Maquina N° 2	Tanque N° 3	X	X		X		X	
9	2"	SXS	FT14	12		X			Tanque Flash N° 3 – Maquina N° 2	Tanque N° 3	X	X		X		X	
10	1"	SXS	FT14	45		X			Manifold Secundario	Manifold							
11	2 1/2"	SXS	FTB	27		X			Tanque Flash N° 1	Tanque N° 1	X	X			X		
12	2 1/2"	SXS	FTB	27		X			Tanque Flash N° 1	Tanque N° 1	X	X			X		
13	2"	SXS	FT14	17		X			Tanque Flash N° 2	Tanque N° 2	X	X		X	X		
14	2"	SXS	FT14	10		X			Tanque Flash N° 3	Tanque N° 3	X	X	X	X	X		
TIPO									ACCESORIOS								
TD	Termodinámica								VA	Válvula Anterior							
FT	Flotador								FI	Filtro							
TE	Termostática								VI	Visor							
BI	Balde Invertido								CH	Check							
									VP	Válvula Posterior							
									BP	By Pass							

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 28: SISTEMA DE MAQUINA 3

CONSUMO (m ³)		
Día	Octubre	Noviembre
1	19 260	13 177
2	25 553	11 459
3	11 556	11 857
4	12 183	12 767
5	11 217	12 986
6	18 704	12 986
7	19 917	14 480
8	18 704	15 682
9	16 086	18 372
10	17 378	4 302
11	20 290	12 274
12	16 444	18 092
13	16 952	20 547
14	18 821	20 358
15	16 103	13 661
16	20 518	11 788
17	15 667	13 682
18	20 231	17 423
19	18 662	17 425
20	17 547	-
21	14 035	-
22	13 911	-
23	11 277	-
24	15 022	-
25	13 255	-
26	13 233	-
27	13 428	-
28	13 308	-
29	13 238	-
30	9 109	-
31	12 546	-

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 29: CONSUMO PRODUCTOS QUIMICOS

Consumo Calderas				
Producto	CC1	CC1 - CD1	CC1 – CD1 – CD2	Unidad
Wet Boil 105	2,3	3,4	5.0	Kg/día
Wet Boil 202	1,0	1,5	2,5	Kg/día
Wet Boil 404	3,5	4,5	10	Kg/día

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 30: CONSUMO PRODUCTOS QUIMICOS

SOLIDOS TOTALES DISUELTOS (ppm)	Fecha	Agua Blanda	Agua Alimentación	Caldera CC1	Caldera CD1	Caldera CD2
	19/10/14	615	145,5	3 460	4 820	5 150
	21/10/14	648	90,4	3 550	3 440	5 380
	22/10/14	656	112,3	3 900	4 170	5 510
	23/10/14	633	121,8	4 210	---	---
	24/10/14	657	90,4	4 360	4 270	---
	25/10/14	645	105,8	4 890	3 290	---
	18/11/14	641	107,6	4 140	3 760	3 760
	19/11/14	622	94,5	4 120	4 280	4 330
	20/11/14	631	86,5	3 700	4 150	4 090
	21/11/14	622	91,6	4 320	4 190	4 410
	22/11/14	631	105,3	3 580	3 870	4 610

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 31: COSTOS RELACIONADOS

Item	Fluido	Costo	Unidad
1	Gas Natural	0,583	S/m ³
2	Agua	13,37	S/m ³
3	Energía Eléctrica	0,25	S/Kw-h
4	Wet Boil 105	8,4	S/kg
5	Wet Boil 202	7,0	S/kg
6	Wet Boil 404	11,8	S/kg

Fuente: Elaboración propia.

8.2 CÁLCULOS PARA DETERMINACIÓN DE EFICIENCIA DE CALDERAS

Cuadro 32: MEDICIÓN DE TEMPERATURAS EN CALDERAS – CLEAVERS BROOKS

TAPA POSTERIOR			
Puntos de Medición	TEMPERATURA		
	Baja	Media	Alta
1 A	71,2	69,4	69,8
2 A	71	66,8	67,3
3 A	63	61,2	62
4 A	74	70,4	71,6
5 A	68,6	65,3	65,8
6 A	65,6	62,7	63,8
7 A	73,1	69	70
8 A	69,5	65,8	70
9 A	70	66,4	70
10 A	73,8	70	70
11 A	74,4	69,8	70
12 A	81	76,7	78
1 B	67,9	69,3	74,6
2 B	71	72	74,5
3 B	67,4	69,8	72,5
4 B	69,7	70,5	73
5 B	66,5	67,8	68
6 B	59,5	60,5	63,2
7 B	65,7	66,2	70
8 B	68,9	67,1	69,8
9 B	57,5	58	59
10 B	64,4	64	67,8
11 B	75,9	74,1	74,9
12 B	79,4	69,5	71,1
13 B	73,9	72	73,2
14 B	79,4	74,5	75,6
15 B	78,7	75	75,1
16 B	80,4	75,7	76,2
17 B	82,5	77	77
1 C	67,1	64,5	65
2 C	73,1	70	70
3 C	74,1	71,4	72
4 C	70,5	67,2	67,3
5 C	73,8	69,7	70,4
6 C	76,7	72,8	73,6

TAPA POSTERIOR			
Puntos de Medición	TEMPERATURA		
	Baja	Media	Alta
7 C	75	71,4	73
8 C	75,7	71,6	72,1
9 C	78,1	73,7	74,3
10 C	80,3	75,1	76
11 C	79	73,9	74,6
12 C	87	80,5	81
1 D	54,1	53	53,4
2 D	56,5	55,2	55,8
3 D	52,5	51	51,7
4 D	55,9	55,2	55,4
5 D	52,6	52	52,8
6 D	50,3	49	49
7 D	61,5	58,3	59,6
8 D	58,6	56,5	56,5
9 D	55,9	57,1	59,3
1 E	54,6	54,3	55
2 E	56,4	55,2	54,5
3 E	55,6	53,8	54,5
4 E	57,8	57,6	57
5 E	57,1	57,4	57,6
6 E	57	57,2	58
7 E	57,3	57,7	58
8 E	57,6	57,8	58
9 E	57,9	57,8	58,3
10 E	57,4	57,6	57,6
11 E	56,9	57,3	57,2
12 E	58,3	57,8	58
13 E	62,4	61,1	61
14 E	61,5	62	62
15 E	64,9	63,5	63
16 E	69,7	70,1	70,8
1 F	55,3	55	54,8
2 F	54,6	54,3	54,1
3 F	56,6	57,1	56,5
4 F	52,1	52	51,8
5 F	54,3	53,9	53,7
6 F	56,6	56,6	56,2
7 F	57	56,7	56,6
8 F	59,7	58	57,5
9 F	62,6	60	61,6
1 G	51,8	51,2	51,1
2 G	52,3	51,5	51,8

TAPA POSTERIOR			
Puntos de Medición	TEMPERATURA		
	Baja	Media	Alta
3 G	52,7	52	52,3
4 G	59,1	58,1	58,3
5 G	61	60,1	61
6 G	63,9	62,4	63,6
7 G	65,2	62,8	64
8 G	65,3	62,1	62,6
9 G	69,5	64,3	64,8
10 G	51,5	50,6	50,9
11 G	51,9	51,7	51,4
12 G	52,4	51,9	52
13 G	55,6	55,6	55,3
14 G	59,6	59	60,1
15 G	61,5	61	61,6
16 G	61,5	60	61,1
17 G	64	61,6	62
18 G	68,6	64,2	64
19 G	56,6	55,3	55,1
20 G	59	58,4	58
21 G	61	59,8	60
22 G	62,2	61,6	62
23 G	61,8	61,3	62
24 G	62,3	61,7	62
25 G	59,7	58,1	58,2
26 G	59,2	55,3	55,5
27 G	54,2	53,5	53,5
T. Promedio	64,0	62,3	63,0

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 33: MEDICIONES EN LADO LATERAL DE CALDERA.

LADO LATERAL			
Puntos de Medición	TEMPERATURA		
	Baja	Media	Alta
LATERAL DERECHA			
1 A	63,7	63,1	63,1
2 A	67,6	66,6	64,9
3 A	75,8	73,4	74,6
4 A	99,5	99,9	99,6
5 A	121,8	113	107,1
6 A	129,2	119,3	118,7
7 A	138,1	123,3	121,6
8 A	133,5	120,1	122,3
1 B	50,8	52,2	52
2 B	54,9	54,1	50
3 B	51,2	51,5	51,4
4 B	52	52,3	52
5 B	51,7	51,8	51,4
6 B	51,1	52	51,6
7 B	56,9	55,3	55,3
8 B	62,1	66	62
9 B	56,1	57,8	57,3
10 B	47	47,8	47,9
11 B	46,4	47,2	47,6
12 B	51,3	51,3	51
13 B	52,8	53,2	50
1 C	40,3	38,9	39
2 C	41,1	36,5	37
3 C	39,9	38,3	38

Fuente: Elaboración propia

LADO LATERAL			
Puntos de Medición	TEMPERATURA		
	Baja	Media	Alta
1 A	59,5	58,9	60
2 A	62,8	62,4	62,9
3 A	75,6	74,9	75
4 A	95,3	89	92
5 A	112,5	107,2	115
6 A	118,9	113	121
7 A	126,1	125,1	130
8 A	128,6	118,3	131
1 B	45,1	46,1	46,1
2 B	44,5	45,1	45,5
3 B	43,1	43,4	44,3
4 B	43,8	45,2	45,4
5 B	51,9	54,5	54,5
6 B	53,8	53,1	52,4
7 B	53,1	59	57,3
8 B	47,9	48,9	48
9 B	47,5	50,5	49,5
10 B	78,1	82,3	83,1
11 B	45,3	45,6	47,1
12 B	45,2	46,4	45,1
13 B	42,6	43,2	43,6
14 B	42,1	44,1	43,7
15 B	70,7	72	69,6
1 C	39,1	37,4	37,1
2 C	41	38,6	39
3 C	42,6	41	40
LADO IZQUIERDO			
SUPERIOR			
1 A	54,1	53,1	55
2 A	52,5	50,5	52,8
3 A	67,9	76	70
4 A	59	55,2	58
5 A	78,1	98	75
T. Promedio	65,5	64,8	64,6

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 34: MEDICIONES EN TAPA DELANTERA DE CALDERA

TAPA DELANTERA			
Puntos de Medición	TEMPERATURA		
	Baja	Media	Alta
1 A	35,3	35	35,1
2 A	33,6	32,1	32,1
3 A	33,1	33,6	33,7
T. Promedio	34,0	33,6	33,6

Fuente: Elaboración propia

Cuadro35: MEDICION DE TEMPERATURA EN CALDERAS – DISTRAL N°1

TAPA DELANTERA			
Puntos de Medición	TEMPERATURA		
	Baja	Media	Alta
1 A	92,3	94,3	95,2
2 A	53,6	55,3	55,8
3 A	54	54,3	57,1
4 A	52,2	52,6	52,8
5 A	54,1	54,8	52,8
6 A	50,5	51,6	51,8
7 A	52,8	53,4	51
8 A	51,4	51,4	51,6
9 A	56,4	61,3	65,1
10 A	53,8	55,2	57,3
11 A	51	51,6	53
12 A	48	49,7	50,4
T. Promedio	55,8	57,1	57,8

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 36: Mediciones en tapa posterior de caldera

TAPA POSTERIOR			
Puntos de Medición	TEMPERATURA		
	Baja	Media	Alta
1 A	78,3	81,1	81,6
2 A	76,5	77,5	74,6
3 A	73	78,8	74,6
4 A	72	71,3	75,6
5 A	96,6	98,5	94,7
6 A	95,8	96,6	94
7 A	95,6	90,2	94,2
8 A	92,4	102,6	98
9 A	66,6	66,8	67
10 A	64,6	65,2	64,7
11 A	76	76,5	76,2
12 A	62,3	62,1	62,3
13 A	65,3	64,2	65,6
14 A	90,5	83	92,6
15 A	63,3	65,2	63,7
1 B	61,6	58,6	61
2 B	74	75,1	75,1
3 B	64,7	64,5	63,3
4 B	61,8	65	62,2
5 B	73,2	70,4	72,5
6 B	107,5	114,5	108,4
7 B	78,6	80,2	78,2
8 B	79,5	82,3	79
9 B	86,3	83,5	84
10 B	113,6	109,5	107,6
T. Promedio	78,8	79,3	78,8

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 37: Mediciones en lado lateral de caldera

LADO LATERAL			
Puntos de Medición	TEMPERATURA		
	Baja	Media	Alta
LATERAL DERECHO			
1 A	49,5	50	50,9
2 A	51,2	51,8	51,3
3 A	51,3	51,8	50,8
4 A	49,7	50,1	49,6
5 A	49,9	51,5	53,3
6 A	55,1	55,6	55,2
7 A	57,7	58,1	58
8 A	69,2	74,5	74
9 A	51,6	50,7	51,7
10 A	52,2	52,5	51,9
11 A	51,5	51,4	50,8
12 A	51,2	51,2	50,7
13 A	52,1	53,2	54
14 A	52,3	53,3	52,3
15 A	52,3	52,9	51,6
1 B	51	51,8	50,9
2 B	50,5	50,7	51
3 B	54,2	54	53,5
4 B	53,6	53,1	52
5 B	53,1	53,4	52,5
6 B	50,6	51,2	51,2
7 B	56,6	57,3	55,9
8 B	55,3	55,7	53,5
9 B	53,8	54,7	52,7
10 B	50,5	51,6	50,9
11 B	53,1	53,6	53,6
12 B	51,5	51,1	52
13 B	50,7	50,8	51,5
14 B	61,8	60,2	60,8
15 B	67,5	68,5	68
16 B	68,5	58,6	57,8
17 B	58,2	58,7	55,5
1 C	55,5	54,8	55,2
2 C	53,2	53,8	52,4
3 C	57,8	57,8	47,2
4 C	35,9	46,5	45,4
5 C	57,9	66,1	67,8
6 C	59,3	63,1	71,3
7 C	59,3	66,6	75,1

LATERAL IZQUIERDO			
1 A	51,9	55,6	52,1
2 A	51,3	52,1	51,6
3 A	49,7	50,8	50,5
4 A	50,2	51,1	50,9
5 A	52,1	55	55,6
6 A	55,3	55,3	54,5
7 A	53,6	54,5	54,8
8 A	55,6	52	51,9
9 A	50,7	53,8	53,1
10 A	52,1	53	51,5
11 A	51,8	49,3	58,2
12 A	47,9	50,7	50,1
13 A	51,1	51,6	51,2
14 A	50,5	51,6	50,3
15 A	45,7	47,1	46,8
16 A	48,4	49,6	49,2
1 B	51,3	53	51,5
2 B	47,6	49,1	47
3 B	48,8	50,2	50,2
4 B	56	55,8	55,6
5 B	52,5	52,6	56
6 B	48	48,6	48,3
7 B	50,3	51,2	51,4
8 B	51,4	52,4	52,5
9 B	51,3	51,9	51,7
10 B	50,3	50,7	50,4
11 B	59,1	57,6	60,2
12 B	57,6	58,6	58,2
13 B	59,5	60,8	59,1
14 B	61	62,2	62,2
15 B	62,1	64,2	68
1 C	49,4	51,1	50,8
2 C	60	63,6	64,1
3 C	56,5	61,7	62,5
4 C	62,5	67,6	67
5 C	70,1	76,8	77,8
SUPERIOR			
1 A	68,1	68,1	68,1
2 A	57,6	57,6	57,6
3 A	75	75	75
4 A	59,7	59,7	59,7
5 A	65	65	65
T. Promedio	54,64	55,22	55,70

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 38: MEDICION DE TEMPERATURA EN CALDERAS – DISTRAL N°2

TAPA DELANTERA			
Puntos de Medición	TEMPERATURA		
	Baja	Media	Alta
1 A	89,2	84,6	68,1
2 A	68,6	64,3	57,3
3 A	65,7	60,6	56
4 A	64,6	59	52,6
5 A	63,9	59,5	50,2
6 A	59,9	55	45,8
7 A	66,8	61,5	54,2
8 A	66,2	61,6	54,3
9 A	70,2	67,4	53,9
10 A	63,2	59,5	52,3
11 A	63,3	58,4	51,3
12 A	61	59	50,1
13 A	64,1	59,3	51,9
14 A	60,3	56,5	50,8
15 A	59,5	56,3	52
T. Promedio	65,8	61,5	53,4

Fuente: Elaboración propia

LADO LATERAL			
Puntos de Medición	TEMPERATURA		
	Baja	Media	Alta
LATERAL DERECHO			
1 A	45,6	47,7	47,6
2 A	44,6	46,5	46,6
3 A	43,5	45,2	46,5
4 A	43,2	44	44,5
5 A	46,8	47,5	47,8
6 A	44,7	46,3	47,2
7 A	45,9	46,1	47,9
8 A	137,1	149,8	145,3
9 A	47,1	47,8	47,8
10 A	44	44,2	44,8
11 A	41,6	42,4	42,9
12 A	41,7	42,5	43,1
13 A	45	46,7	46,9
14 A	42,3	43,8	44,1
15 A	41,3	42,6	42,9
1 B	41,5	42,6	42,9
2 B	45,9	47,3	47,2
3 B	45,5	46,6	46,9
4 B	45,2	47,4	47,5
5 B	43,5	45,3	45,2
6 B	46,8	47,9	47,4
7 B	50	51,8	50,1
8 B	48,8	49,8	49,4
9 B	45,9	46,9	46,8
10 B	49,3	50,4	50,1
11 B	49,6	51,6	50,1
12 B	51,5	53,2	51,5
13 B	48,2	49,5	49
14 B	54,1	55,3	54,6
15 B	49,8	52,1	50,6
16 B	49,5	52,7	50,9
17 B	47,6	49,6	48,2
1 C	55,3	59	57,5
2 C	47,6	50,5	48,5
3 C	44,5	46	45
4 C	44,4	45,1	43,4
5 C	49,9	57,2	56,1
6 C	45,6	53,2	51,3
7 C	54,5	69,9	68,1
8 C	55	63,3	58,3

LATERAL IZQUIERDO			
1 A	51,6	52,9	51,8
2 A	54,7	54,6	54,8
3 A	49,6	49,5	49,6
4 A	48,4	47,9	47,8
5 A	51,3	53,6	52,9
6 A	51,8	52,3	52,6
7 A	51,1	51,3	50,8
8 A	49	49,8	49,9
9 A	53,2	54,5	54,2
10 A	52,3	53,2	53,5
11 A	50,2	50,8	50,8
12 A	48	48,2	48,5
13 A	51,8	53,3	53,4
14 A	52,6	53,8	53,8
15 A	51,1	51,6	52,2
16 A	48,3	48,6	48,8
1 B	54,6	54,8	54,7
2 B	52,6	52,6	53
3 B	49,5	59,1	60
4 B	52,5	52,5	53,2
5 B	56,3	55,6	56,3
6 B	51	51,1	51,6
7 B	48,6	47,8	49,3
8 B	55,4	55	55,5
9 B	59,3	58,3	58,3
10 B	50,5	55,9	56,5
11 B	52,5	51,5	52,2
12 B	57,1	56,1	56,7
13 B	59,5	59	58,9
14 B	56,3	56,2	55,5
1 C	52,6	52,3	52,4
2 C	50,3	50,3	50,1
3 C	56,1	61,1	56,6
4 C	57,8	67,2	60,6
5 C	62,5	72,7	62,3
6 C	61,6	68,2	60
SUPERIOR			
1 A	58,9	59,9	61
2 A	62	62,8	63
3 A	141	141,2	140
4 A	68	69	68
5 A	62,6	62,6	63,5
T. Promedio	52,8	54,7	54,1

Fuente: Elaboración propia

TAPA POSTERIOR			
Puntos de Medición	TEMPERATURA		
	Baja	Media	Alta
1 A	73	68,1	60,3
2 A	67,3	64,8	55,8
3 A	89,2	83,6	71,1
4 A	89	83,5	72
5 A	94,5	90	75,8
6 A	89,8	90,7	83,8
7 A	95,5	95,6	92,1
8 A	92,5	89,8	88,5
9 A	84,1	86,1	89
10 A	64	63,5	62,1
11 A	62,1	62,1	57,8
12 A	72,4	70,8	64,9
13 A	65,1	64	61
14 A	67,3	66,5	63,7
15 A	97,7	92,8	94,3
1 B	59,8	58,5	56,8
2 B	62,3	61,8	60
3 B	70,9	69,9	69,1
4 B	60,2	59,5	57,3
5 B	88,8	89	71,8
6 B	60,9	59,8	57,5
7 B	76,4	54,9	52,5
8 B	107	105,5	108,7
9 B	77,3	75,3	72,2
10 B	75,6	73,2	68,6
11 B	77	76,5	74,8
12 B	107,7	104	105
T. Promedio	78,8	76,3	72,1

Fuente: Elaboración propia

- **Eficiencia térmica según NTP 350.300.2008**

Cuadro 39. DATOS DE REGULACIÓN DE COMBUSTIÓN

PARÁMETROS	Símb.	unidades	LLAMA BAJA	LLAMA MEDIA	LLAMA ALTA	Promedio
HORA			11:30	12:09	12:30	
Presión de operación	Pop	Psig	90	90	90	90
Oxígeno	O ₂	%	11,9	7,8	6,5	8,7
Monóxido de Carbono	CO	ppm	3	0	0	1,0
Dióxido de Carbono	CO ₂	%	5,1	7,4	8,1	6,9
Temperatura de humos	Tg	°C	166	180	184	176,7
Exceso de Aire	Ea	%	116,5	53,1	40	69,9
Eficiencia de Combustión	h	%	79,7	81,8	82,3	81,3
Opacidad			2,0	2,0	2,0	2,0
Observaciones						

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 40: CARACTERÍSTICAS DEL COMBUSTIBLE GAS NATURAL

Combustible empleado	GN
Constante de Siegert (k)	0,3500
PCS (kJ/kg)	53 913
H2O en el combustible	0,0
H en el combustible	25
Constante k1	40
Emisividad	0,96
CO2 max	11,70

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 41: DATOS DE TEMPERATURA INTERNA Y EXTERNA

Temperatura de la superficie del agua	Tsf =	49,32
Temperatura de la superficie del gas	Tsg =	63,83
Area de la superficie del agua	Af (m ²) =	45,48
Area de la superficie del gas	Ag (m ²) =	10,13

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 42: ECUACIONES PARA DETERMINAR PERDIDAS DE CALOR

DENOMINACIÓN %		ECUACIONES																				
P1	Pérdida por la entalpía de los gases de escape secos	$P1 = k * \left\{ \frac{(T_g - T_a)}{[CO_2]} \right\} \dots (1)$ <p>Donde la constante de Siegert <i>k</i> está en función al tipo de Combustible.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Tipo</th> <th>Cte. de Siegert (k)</th> <th>CO₂ máx. %</th> <th>constante (k_i)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Residuales</td> <td>0,53</td> <td>15,8</td> <td>54</td> </tr> <tr> <td>Diesel</td> <td>0,49</td> <td>13,8</td> <td>53</td> </tr> <tr> <td>Glp</td> <td>0,4</td> <td>13,8</td> <td>48</td> </tr> <tr> <td>Gas natural</td> <td>0,35</td> <td>11,9</td> <td>40</td> </tr> </tbody> </table>	Tipo	Cte. de Siegert (k)	CO ₂ máx. %	constante (k _i)	Residuales	0,53	15,8	54	Diesel	0,49	13,8	53	Glp	0,4	13,8	48	Gas natural	0,35	11,9	40
Tipo	Cte. de Siegert (k)	CO ₂ máx. %	constante (k _i)																			
Residuales	0,53	15,8	54																			
Diesel	0,49	13,8	53																			
Glp	0,4	13,8	48																			
Gas natural	0,35	11,9	40																			
P2	Pérdida por la entalpía del vapor de agua en los gases	$P2 = \frac{\{([H_2O] + 9 * [H]) * (210 - 4,2 * T_a + 2,1 * T_g)\}}{PCS} \dots (2)$ <p>H=25 % H₂O=0%</p> <p>$PCS_{Diesel} = 45\ 329\text{kJ/kg}$</p> <p>$PCI_{Diesel} = 43\ 062\ \text{kJ/kg}$</p> <p><i>T_g</i>: Temperatura de los gases a la salida de la chimenea. <i>T_a</i>: Temperatura del medio ambiente. <i>[H₂O]</i>: % de Agua en los gases de la combustión. <i>[H]</i>: % de Hidrogeno en los gases de la combustión.</p>																				

P3	Pérdida por inquemados gaseosos	$P3 = k_1 * \left\{ \frac{[CO]}{([CO_2] + [CO])} \right\} \quad \dots (3)$ <p>Dónde k_1 es la constante de Inquemados del Combustible. destilados es $k_1=40$</p> <p>$[CO_2]$: % de Dióxido de Carbono en los gases de la combustión.</p> <p>$[CO]$: % de Monóxido de Carbono en los gases de la combustión.</p>																					
P4	Pérdida por inquemados sólidos	$P4 = 0,14 * B^2 + 0,08 * B + 0,07 \quad \dots (4)$ <table border="1" data-bbox="581 831 1393 1209"> <thead> <tr> <th>Índice de Bacharach [B]</th> <th>calificación</th> <th>Efectos</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Excelente</td> <td>No hay hollín</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Buena</td> <td>Hollín muy reducido</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Regular</td> <td>Cierta cant. de hollín</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Pobre</td> <td>Hollín visible</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>muy pobre</td> <td>Hollina muy visible</td> </tr> <tr> <td>6 a 9</td> <td>Pobrísima</td> <td>Hollín muy muy visible</td> </tr> </tbody> </table>	Índice de Bacharach [B]	calificación	Efectos	1	Excelente	No hay hollín	2	Buena	Hollín muy reducido	3	Regular	Cierta cant. de hollín	4	Pobre	Hollín visible	5	muy pobre	Hollina muy visible	6 a 9	Pobrísima	Hollín muy muy visible
Índice de Bacharach [B]	calificación	Efectos																					
1	Excelente	No hay hollín																					
2	Buena	Hollín muy reducido																					
3	Regular	Cierta cant. de hollín																					
4	Pobre	Hollín visible																					
5	muy pobre	Hollina muy visible																					
6 a 9	Pobrísima	Hollín muy muy visible																					
P5	Pérdida por convección	$P5 = 80 * \left(\frac{Q_{P5}}{W_c} \right) \quad \dots (5)$ <p>Dónde:</p> $Q_{P5} = h_{cf} * A_f * (T_{sf} - T_a) + h_{cg} * A_g * (T_{sg} - T_a)$ $h_{cf} = 1,973 * 10^{-3} * (T_{sf} - T_a)^{0,25} * (2,857 * v + 1)^{0,5}$ $h_{cg} = 1,973 * 10^{-3} * (T_{sg} - T_a)^{0,25} * (2,857 * v + 1)^{0,5}$ $W_c = 9,81 * BHP$ <p>h_{cf} : Coeficiente convectivo por el lado del fluido.</p> <p>h_{cg} : Coeficiente convectivo por el lado de los gases.</p> <p>Q_{P5}: Calor perdido por convección, en kW</p>																					

		<p>W_C : Potencia de la caldera , en kW</p> <p>A_f: Superficie exterior que cubre al fluido (se asume la superficie exterior del caldero) en m².</p> <p>A_g: Superficie exterior que cubre los gases de la combustión (se asume la superficie exterior de la chimenea) en m².</p> <p>v: Es la velocidad del viento (m/s) que fluye por la parte exterior al caldero.</p> <p>T_{sf}: Temperatura exterior de la caldera, lado del fluido (se asume la temperatura exterior del tambor o cilindro del caldero). En grados K.</p> <p>T_{sg}: Temperatura exterior de la caldera, lado de los gases (se asume la temperatura exterior de la chimenea).En grados K.</p>
P6	Pérdida por radiación	$P6 = 80 * (Q_{P6}/W_C) \quad \dots (6)$ <p>Dónde:</p> $Q_{P6} = (q_{rf} * A_f) + (q_{rg} * A_g)$ $q_{rf} = 5.763 * 10^{-11} * \epsilon * [(T_{sf} + 273)^4 - (T_a + 273)^4]$ $q_{rg} = 5.763 * 10^{-11} * \epsilon * [(T_{sg} + 273)^4 - (T_a + 273)^4]$ $W_C = 9,81 * BHP$ <p>Q_{P6}: Calor perdido por radiación, en kW</p> <p>q_{rf}: Flujo de calor radiante que cubre el fluido de trabajo en caldera kW/m²</p> <p>q_{rg}: Flujo de calor radiante que cubre a los gases combustión en la caldera kW/m²</p> <p>ϵ : Emisividad del material que cubre al caldero.</p>

- **Pérdida por la entalpía de los gases de escape secos, P1**

$$P1 = k * \left\{ \frac{(T_g - T_a)}{[CO_2]} \right\}$$

Reemplazando se tiene:

$$P1 = 0,35 * \left\{ \frac{(176,7 - 27,6)}{[6,9]} \right\}$$

$$P1 = 7,56 \%$$

- **Pérdida por la entalpía del vapor de agua en los gases, P2**

$$P2 = \frac{\{([H_2O] + 9 * [H]) * (210 - 4,2 * T_a + 2,1 * T_g)\}}{PCS}$$

Reemplazando datos se tiene

$$P2 = \frac{\{(0\% + 9 * [25\%]) * (210 - 4,2 * 27,6^{\circ}C + 2,1 * 176,7^{\circ}C)\}}{53\ 913}$$

$$P2 = 11,45 \%$$

Donde:

$[H_2O]$: 0%

$[H]$: 13,4%

PCS : 45 329 kJ/kg

- **Pérdida por inquemados gaseosos, P3**

$$P3 = k_1 * \left\{ \frac{[CO]}{([CO_2] + [CO])} \right\}$$

Reemplazando se tiene

$$P3 = 40 * \left\{ \frac{[1]}{([6.9] + [1])} \right\}$$

$$P3 = 0,00 \%$$

Donde:

$$k_1: 40$$

$$[CO]: 1\%$$

$$[CO_2]: 6,9\%$$

- **Pérdida por inquemados sólidos, P4**

$$P4 = 0,14 * B^2 + 0,08 * B + 0,07$$

Reemplazando se tiene

$$P4 = 0,14 * (2)^2 + 0,08 * (2) + 0,07$$

$$P4 = 0,79 \%$$

Donde:

$$B: 2$$

- **Pérdida por convección, P5**

$$P5 = 80 * \left(\frac{Q_{P5}}{W_C} \right)$$

$$P5 = 80 * \left(\frac{15,45 \text{ kW}}{58\ 86 \text{ kW}} \right)$$

$$P5 = 0,21 \%$$

Donde:

$$Q_{P5}: 15,45 \text{ kW}$$

$$W_C: 5\ 886 \text{ kW}$$

- **Pérdida por radiación, P6**

$$P6 = 80 * (Q_{P6}/W_C)$$

Reemplazando se tiene

$$P6 = 80 * (33,10 \text{ kW}/5 886 \text{ kW})$$

$$P6 = 0,13 \%$$

Donde:

Q_{P6} : 33,10 kW

W_C : 5 886 kW

Reemplazando en la ecuación (4) se determina la eficiencia de la caldera:

$$n = 79,83 \%$$

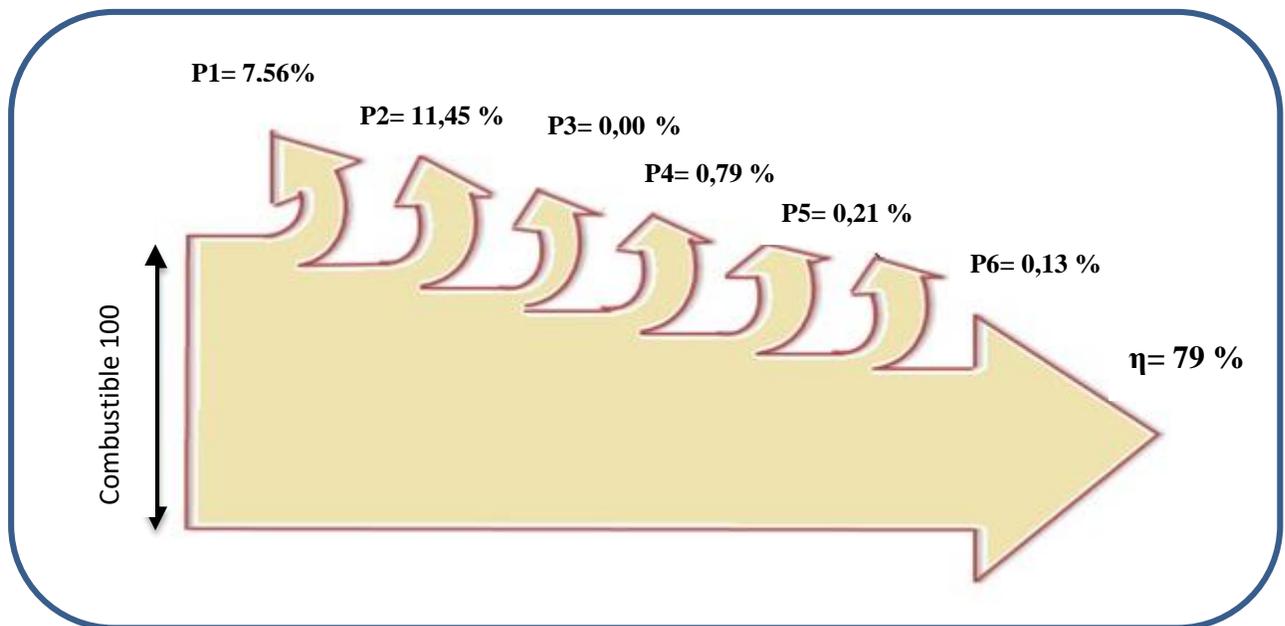


Figura N° 18: Diagrama de Sankey de la caldera.

Fuente: Elaboración propia.

CALCULO DE EFICIENCIA TERMICA CALDERA DISTRAL N°01 – 300 BHP

Realizando los procedimientos anteriores se obtiene los siguientes datos para análisis de combustión.

Cuadro 43: DATOS DE CALDERA PIROTUBULAR – DISTRAL N°01

Identificación :	CALDERA CD1
Marca :	DISTRAL
Modelo :	D3B-300-150
Año :	1 996
Número de pasos :	3
Tipo :	Pirotubular
Capacidad (BHP) :	300
Presión de Diseño (psig) :	150
Presión de Trabajo (psig) :	90
Combustible :	GAS NATURAL

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 44: PARÁMETROS DE COMBUSTIÓN.

PARÁMETROS	Símb.	unidades	LLAMA BAJA	LLAMA MEDIA	LLAMA ALTA	Promedio
HORA			11:30	12:09	12:30	
Presión de operación	Pop	Psig	90	90	90	90
Oxígeno	O ₂	%	9,4	5,7	2,4	5.8
Monóxido de Carbono	CO	ppm	0	0	326	108,7
Dióxido de Carbono	CO ₂	%	6,5	8,6	10,4	8,5
Temperatura de humos	Tg	°C	174	203	222	199,7
Exceso de Aire	Ea	%	72,7	33,1	11,7	39,2
Eficiencia de Combustión	η	%	81,3	81,8	82,1	81,7
Opacidad	\square		2,0	2,0	2,0	2,0
Observaciones						

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 45: CÁLCULOS PRELIMINARES DE TEMPERATURA.

CÁLCULOS PRELIMINARES		
Temperatura de la superficie del agua	Tsf =	54,17
Temperatura de la superficie del gas	Tsg =	73,84
Área de la superficie del agua	Af (m ²) =	36,16
Área de la superficie del gas	Ag (m ²) =	8,09

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 46: RESUMEN DE PÉRDIDAS Y EFICIENCIA

PARÁMETROS	Símb.	Unid.	LLAMA BAJA	LLAMA MEDIA	LLAMA ALTA	Promedio
Calor Sensible en gases	P1	%	7,79	7,06	6,46	7,00
Vapor de agua	P2	%	11,39	11,64	11,80	11,61
Inquemados gaseosos	P3	%	0,00	0,00	0,12	0,05
Inquemados Solidos	P4	%	0,79	0,79	0,79	0,79
Convección	P5	%	0,41	0,40	0,40	0,40
Radiación	P6	%	0,24	0,24	0,24	0,24
Eficiencia Caldera	η	%	79,38	79,86	80,18	79,90

Fuente: Elaboración propia.

CÁLCULO DE EFICIENCIA TERMICA DE CALDERA DISTRAL N°02 - 300 BHP

Realizando los procedimientos anteriores se obtiene los siguientes datos para análisis de combustión.

Cuadro 47: DATOS DE CALDERA PIROTUBULAR – DISTRAL N°02

Identificación :	CALDERA CD2
Marca :	DISTRAL
Modelo :	D3B-300-150
Año :	1996
Número de pasos :	3
Tipo :	Pirotubular
Capacidad (BHP) :	300
Presión de Diseño (psig) :	150
Presión de Trabajo (psig) :	90
Combustible :	GAS NATURAL

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 48: PARÁMETROS DE COMBUSTIÓN

PARÁMETROS	Símb.	Unid.	LLAMA BAJA	LLAMA MEDIA	LLAMA ALTA	Promedio
HORA			11:30	12:09	12:30	
Presión de operación	Pop	Psig	90	90	90	90
Oxígeno	O ₂	%	8,5	5,2	3,8	5,8
Monóxido de Carbono	CO	ppm	5	0	0	1,7
Dióxido de Carbono	CO ₂	%	7,0	8,9	9,7	8,5
Temperatura de humos	Tg	°C	165	196	216	192,3
Exceso de Aire	Ea	%	60,6	29,4	19,7	36,6
Eficiencia de Combustión	η	%	82,5	82,4	82,0	82,3
Opacidad	\square		2,0	2,0	2,0	2,0
Observaciones						

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 49: CÁLCULOS PRELIMINARES DE TEMPERATURAS

Temperatura de la superficie del agua	Tsf =	48.67
Temperatura de la superficie del gas	Tsg =	70.92
Área de la superficie del agua	Af (m ²) =	36.16
Área de la superficie del gas	Ag (m ²) =	8.09

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 50: DATOS DE CALDERA PIROTUBULAR – DISTRAL N°02

PARÁMETROS	Símb.	unidades	LLAMA BAJA	LLAMA MEDIA	LLAMA ALTA	Promedio
Calor Sensible en gases	P1	%	6.78	6.54	6.71	6.67
Vapor de agua	P2	%	11.31	11.58	11.75	11.55
Inquemados gaseosos	P3	%	0.00	0.00	0.00	0.00
Inquemados Solidos	P4	%	0.79	0.79	0.79	0.79
Convección	P5	%	0.32	0.32	0.31	0.32
Radiación	P6	%	0.20	0.19	0.19	0.19
Eficiencia Caldera	η	%	80.60	80.57	80.24	80.47

Fuente: Elaboración propia

8.3 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD INSTALADA DE LAS CALDERAS

La capacidad de generación de vapor que sostiene la productividad en la empresa PAPALES A está conformada por 03 calderas de vapor, las cuales reportan los siguientes datos en función a los cálculos específicos para flujo de vapor saturado a la presión de servicio.

Cuadro 51: RESUMEN DE CÁLCULOS DE PRODUCCIÓN DE VAPOR SATURADO

CALD.	POT. (BHP)	PRES. OPER (PSIG)	TEMP OPER. (C)	TEMP AGUA (C)	HFG (KJ/KG)	FLUJO VAPOR (KG/H)	CARGA %	FLUJO VAPOR (KG/H)	CARG %	FLUJO VAPOR (KG/H)
CC1	600	90	166,2	80	2 061,47	8 747,9	100	8 747,92	80	6 998,3
CD1	300	90	166,2	80	2 061,47	4 373,9	100	4 373,96	80	3 499,1
CD2	300	90	166,2	80	2 061,47	4 373,9	100	4 373,96	80	3 499,1
TOTAL DE PRODUCCION DE VAPOR							100	17 495,84	80	13 996,6

Fuente: Elaboración propia.

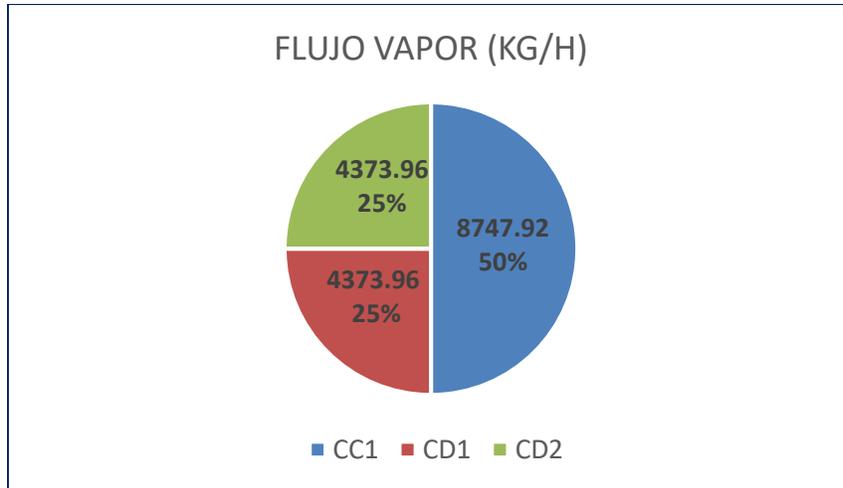


Gráfico 19: Distribución porcentual de producción de vapor de calderas con FC=100%
Fuente: Elaboración propia.

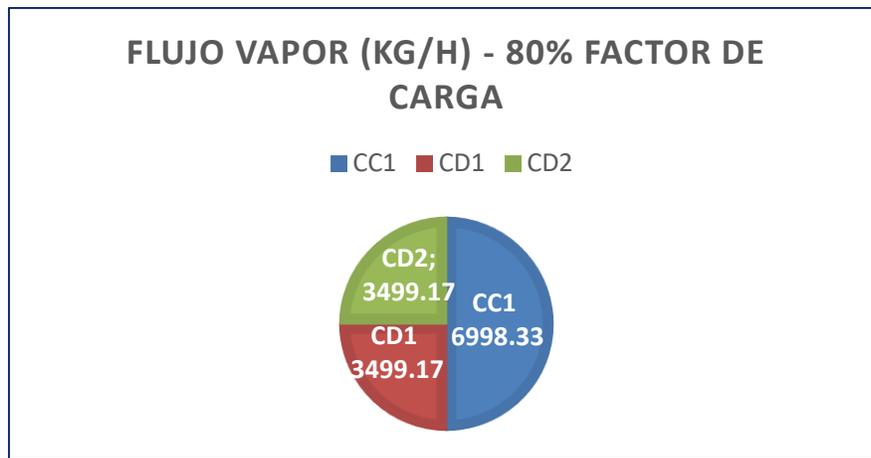


Gráfico 20: Distribución porcentual de producción de vapor de calderas con FC=80%
Fuente: Elaboración propia

8.4 SISTEMA DE PURGAS DE CALDERAS

Cuadro 52: SISTEMA DE PURGA ACTUAL DE CALDERAS

CALDERO	POTENCIA (BHP)	STD PPM	PURGA %	FLUJO KG/H
CC1	600	1 905	2,69	235,16
,CD1	300	1 982	2,58	112,89
CD2	300	2 001	2,56	111,79

Fuente: Elaboración propia

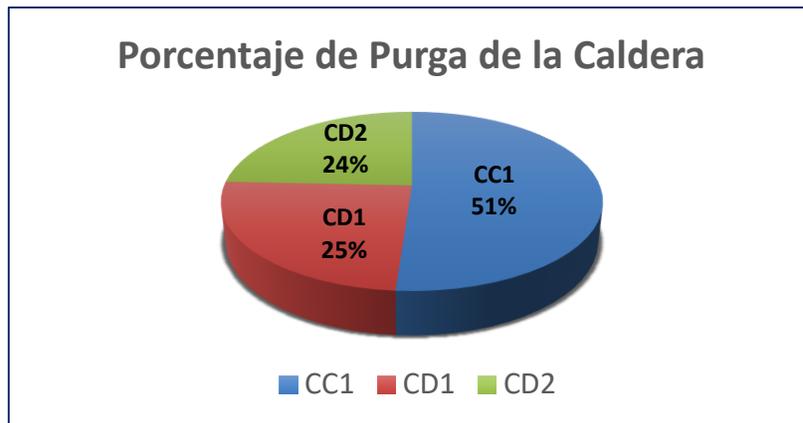


Gráfico 21: Distribución de purgas de calderas
Fuente: Elaboración propia

8.5 CONSUMO DE VAPOR DE MÁQUINAS

Se presenta los datos obtenidos de placa para las maquinas 2 y 3 de planta.

Cuadro 53: DATOS DE PLACA DE CONSUMO DE VAPOR

Equipo	Presión (Psig)	Consumo (Kg/H)
Máquina N° 3	45	8 800
Máquina N° 2	20	5 900

Fuente: Elaboración propia

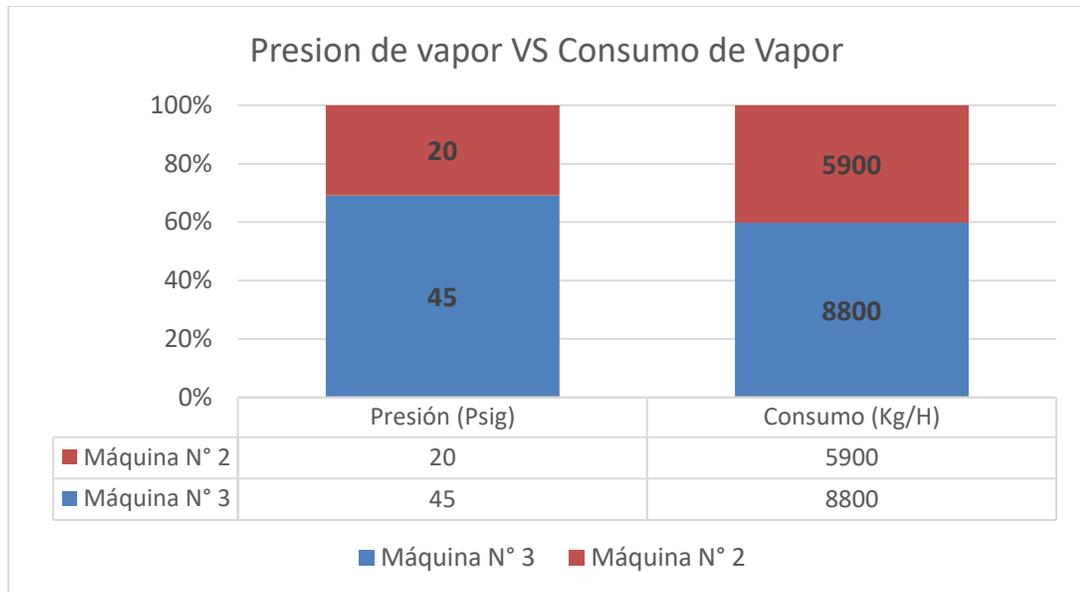


Gráfico 22: Distribución de flujo másico de vapor en relación a la presión de operación.

Fuente: Elaboración propia.

○ **Consumo de vapor en tanque de almidonado**

Cuadro 54: DATOS DE SISTEMA DE ALMIDONADO

Volumen agua	500 Litros
Almidón	75 Kg
Densidad	1,5 g/cm ³
Cp	1,22 KJ/Kg -°C
Temp. Inicial	20 °C
Temp. Final	90 °C
Tiempo	40 minutos
Eficiencia	50 %

Consumo	147 Kg/H
----------------	-----------------

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 55: DATOS DE SISTEMA DE ALMIDONADO

Equipo	Presión (Psig)	Consumo (Kg/H)
Maquina N° 3	45	8 800
Maquina N° 2	20	5 900
Tanque almidón	35	147
Total		14 847
% de carga Instalada		85

Fuente: Elaboración propia

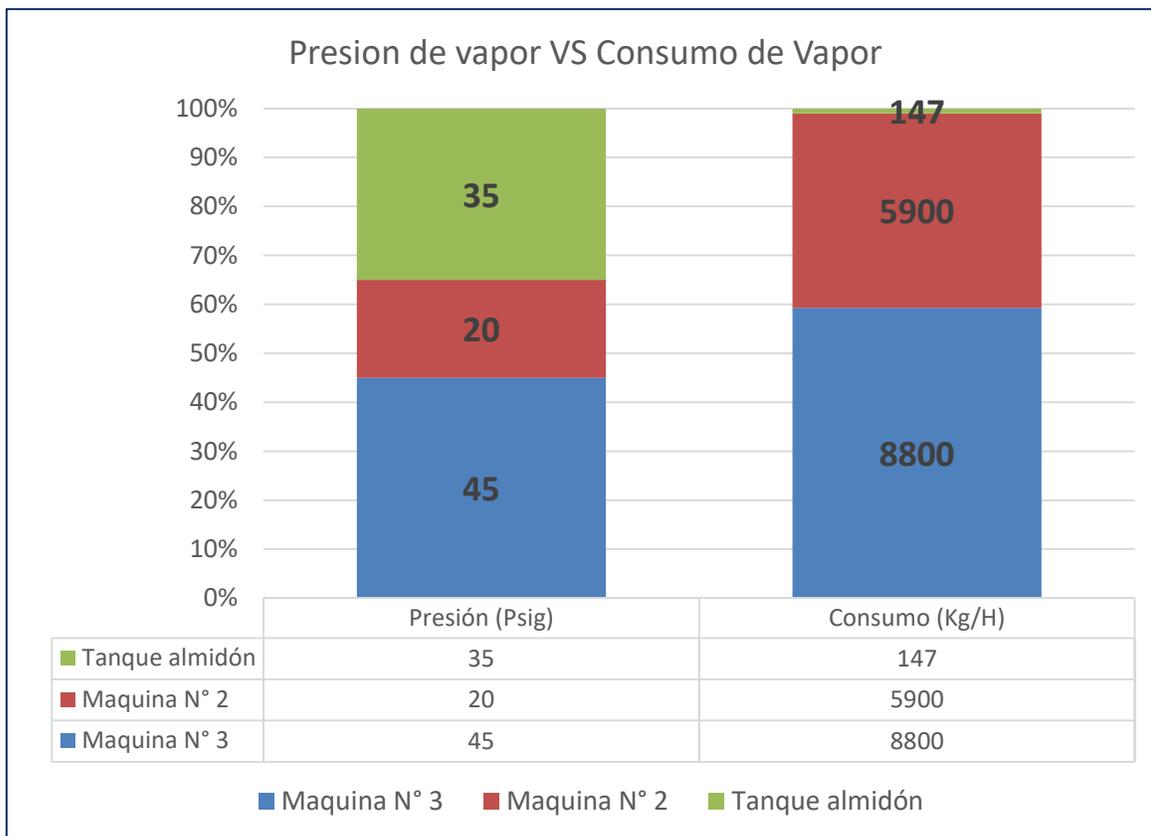


Gráfico 23: Distribución de vapor vs presión de operación en máquinas

Fuente: Elaboración propia

8.6 BALANCE DE MASA GENERAL EN PLANTA

Cuadro 56. DATOS DE CÁLCULOS DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y PRODUCCIÓN DE VAPOR EN PROCESO - OCTUBRE

Día	OCTUBRE							
	consumo m3	vapor Kg	Purga Kg	Tanque Kg	Reposición Kg	Perdida Kg	Producción TON	Indicador Kg/Ton
1	19 260	208 362,56	5 434,83	2 350,02	2 2371	14 586,14	99,26	2,10
2	15 553	168 258,72	4 388,78	2 350,02	2 2371	15 632,19	95,728	1,76
3	11 556	125 017,54	3 260,90	2 350,02	2 2371	16 760,08	56,641	2,21
4	12 183	131 800,68	3 437,83	2 350,02	2 2371	16 583,15	64,671	2,04
5	11 217	121 350,10	3 165,24	2 350,02	2 2371	16 855,74	58,699	2,07
6	15 311	165 640,66	4 320,50	2 350,02	2 2371	15 700,48	69,946	2,37
7	19 917	215 470,26	5 620,23	2 350,02	2 2371	14 400,75	107,253	2,01
8	18 704	202 347,53	5 277,94	2 350,02	2 2371	14 743,04	102,651	1,97
9	16 086	174 024,93	4 539,19	2 350,02	2 2371	15 481,79	76,472	2,28
10	17 378	188 002,32	4 903,77	2 350,02	2 2371	15 117,21	76,377	2,46
11	20 290	219 505,52	5 725,48	2 350,02	2 2371	14 295,50	90,076	2,44
12	16 444	177 897,92	4 640,21	2 350,02	2 2371	15 380,77	70,068	2,54
13	16 952	183 393,67	4 783,56	2 350,02	2 2371	15 237,42	76,019	2,41
14	18 821	203 613,28	5 310,96	2 350,02	2 2371	14 710,02	97,523	2,09
15	16 103	174 208,84	4 543,98	2 350,02	2 2371	15 476,99	58,532	2,98
16	20 518	221 972,12	5 789,82	2 350,02	2 2371	14 231,16	95,186	2,33
17	15 667	169 492,02	4 420,95	2 350,02	2 2371	15 600,03	57,8	2,93
18	20 231	218 867,24	5 708,83	2 350,02	2 2371	14 312,14	94,865	2,31
19	18 662	201 893,15	5 266,09	2 350,02	2 2371	14 754,89	83,742	2,41
20	17 547	189 830,63	4 951,46	2 350,02	2 2371	15 069,52	87,089	2,18
21	14 035	151 836,37	3 960,43	2 350,02	2 2371	16 060,55	42,737	3,55
22	13 911	150 494,89	3 925,44	2 350,02	2 2371	16 095,54	51,2	2,94
23	11 277	121 999,20	3 182,17	2 350,02	2 2371	16 838,81	57,765	2,11
24	15 022	162 514,14	4 238,95	2 350,02	2 2371	15 782,03	60,864	2,67
25	13 255	143 398,02	3 740,33	2 350,02	2 2371	16 280,65	48,52	2,96
26	13 233	143 160,01	3 734,12	2 350,02	2 2371	16 286,86	52,166	2,74
27	13 428	145 269,60	3 789,15	2 350,02	2 2371	16 231,83	68,038	2,14
28	13 309	143 981,56	3 755,55	2 350,02	2 2371	16 265,43	77,613	1,86
29	13 238	143 214,10	3 735,53	2 350,02	2 2371	16 285,45	90191	1,59
30	9 109	98 544,89	2 570,40	2 350,02	2 2371	17 450,58	29,308	3,36
31	12 546	135 727,76	3 540,26	2 350,02	2 2371	16 480,72	72,228	1,88

Fuente: Elaboración propia

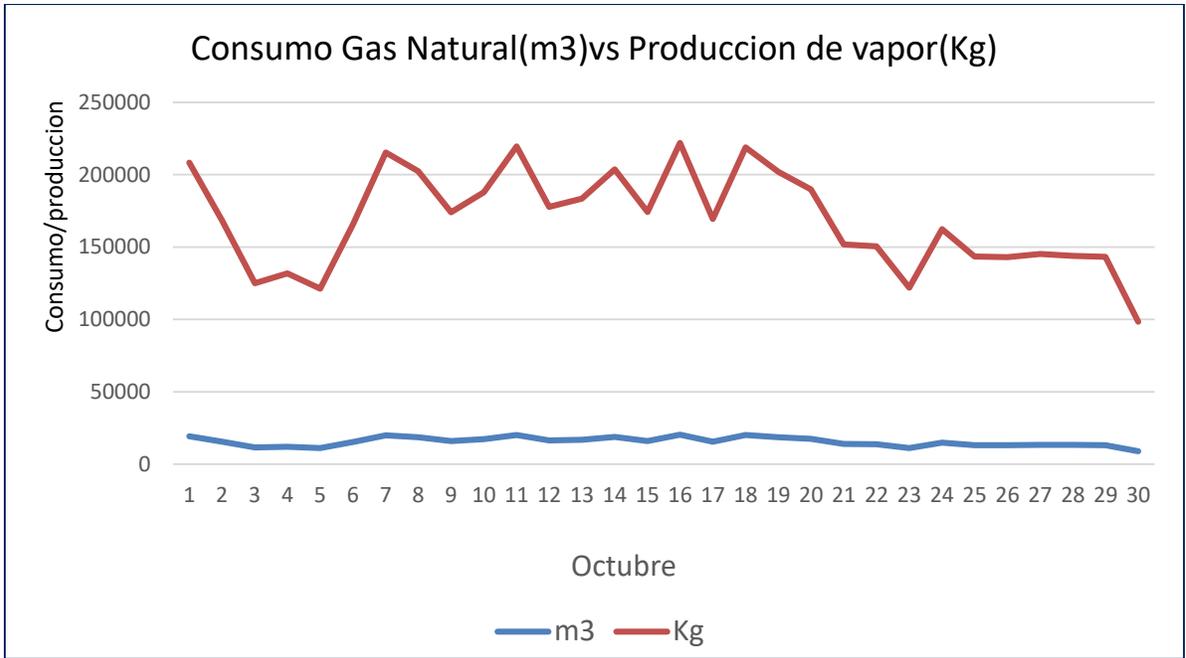


Gráfico 24: Distribución de consumo de gas natural (m³) y producción de vapor para mes de octubre
Fuente: Elaboración propia

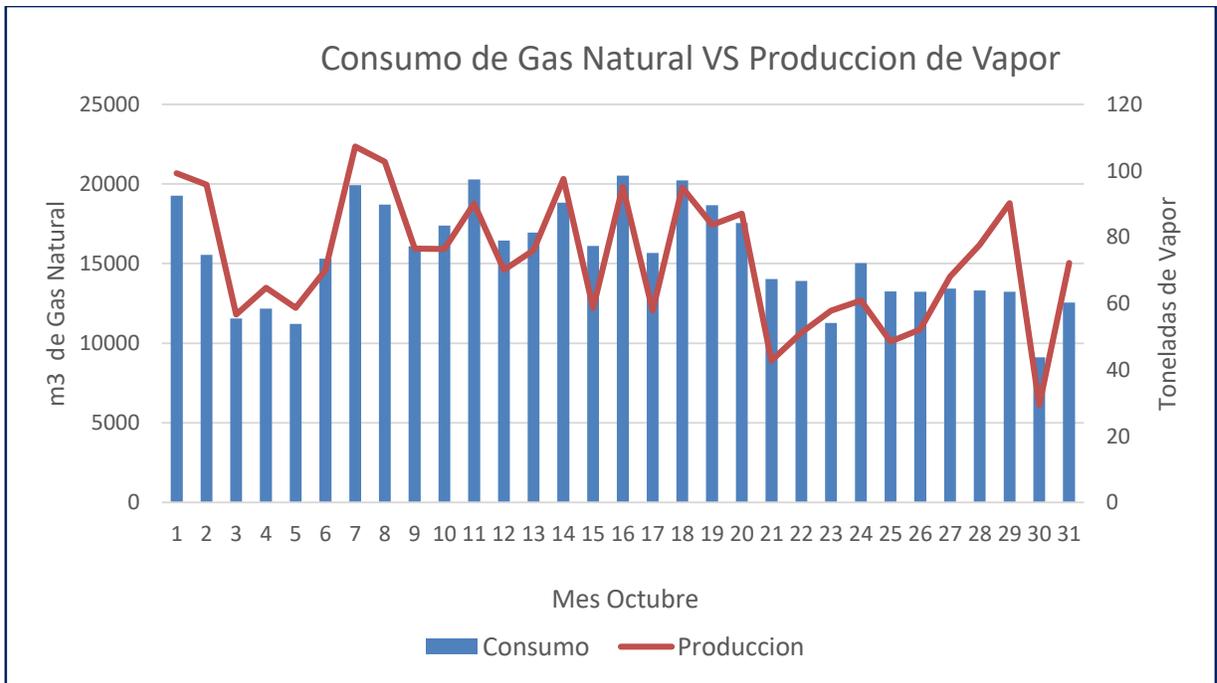


Gráfico 25: Distribución de consumo de gas natural y producción de vapor –mes octubre
Fuente: Elaboración propia

8.7 DETERMINACIÓN DE PÉRDIDAS

Cuadro 57: DISTRIBUCIÓN DE PÉRDIDAS DE VAPOR POR ÁREAS - OCTUBRE

Unidades	Vapor	Purga	Tanque	Reposición	Perdida
Kg	5 201 090,26	135 662,88	36 425,34	693 501,00	521 412,78
%	100	2,61	0,70	13,33	10,03

Fuente: Elaboración propia

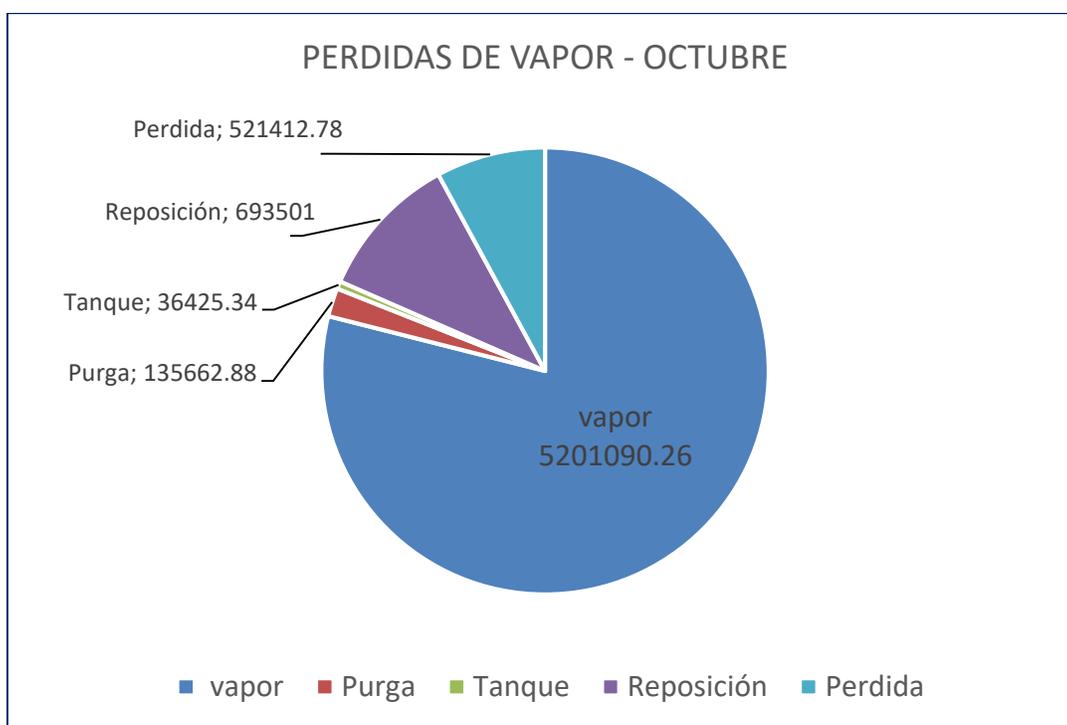


Gráfico 26: Distribución de pérdidas por tipo – mes Octubre

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 58 DATOS DE CÁLCULOS DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y
PRODUCCIÓN DE VAPOR EN PROCESO - NOVIEMBRE**

NOVIEMBRE							
consumo m3	Vapor kg	Purga Kg	Tanque Kg	Reposición Kg	Perdida Kg	Producción TON	Indicador Kg/Ton
13 177	142 554,18	3 718,32	2 350,02	28 368,42	22 300,08	84,654	1,68
11 459	123 968,15	3 233,53	2 350,02	28 368,42	22 784,87	54,545	2,27
11 857	128 273,88	3 345,84	2 350,02	28 368,42	22 672,56	59,647	2,15
12 767	138 118,63	3 602,62	2 350,02	28 368,42	22 415,78	63,754	2,16
12 986	140 487,86	3 664,42	2 350,02	28 368,42	22 353,98	63,082	2,22
11 965	129 442,27	3 376,31	2 350,02	28 368,42	22 642,09	49,605	2,60
14 480	156 650,57	4 086,00	2 350,02	28 368,42	21 932,40	56,442	2,77
15 682	169 654,29	4 425,19	2 350,02	28 368,42	21 593,21	71,694	2,36
18 372	198 755,82	5 184,26	2 350,02	28 368,42	20 834,14	91,245	2,17
4 302	46 540,80	1 213,95	2 350,02	28 368,42	24 804,45	11,118	4,18
12 274	132 785,16	3 463,51	2 350,02	28 368,42	22 554,89	29,542	4,49
18 092	195 726,66	5 105,25	2 350,02	28 368,42	20 913,15	68,616	2,85
20 547	222 285,86	5 798,00	2 350,02	28 368,42	20 220,40	81,472	2,72
20 358	220 241,18	5 744,67	2 350,02	28 368,42	20 273,73	79,72	2,76
13 661	147 790,29	3 854,89	2 350,02	28 368,42	22 163,50	40,592	3,64
11 788	127 527,41	3 326,37	2 350,02	28 368,42	22 692,03	43,768	2,91
13 682	148 017,48	3 860,82	2 350,02	28 368,42	22 157,58	59,83	2,47
17 423	188 489,15	4 916,47	2 350,02	28 368,42	21 101,93	76,053	2,47
17 425	188 510,78	4 917,03	2 350,02	28 368,42	21 101,37	72,929	2,58

Fuente: Elaboración propia

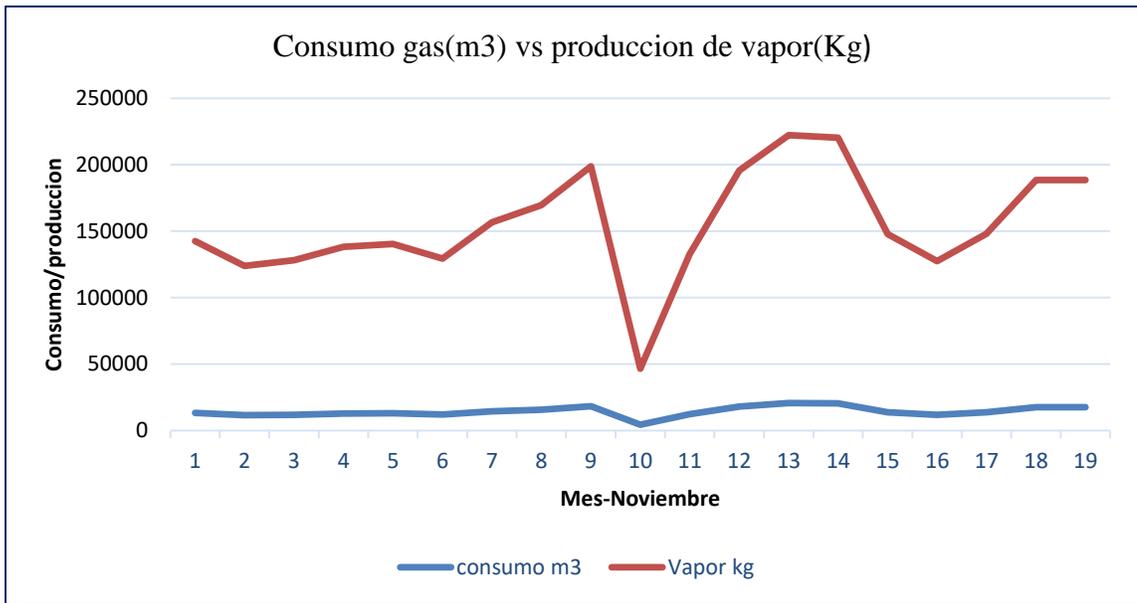


Gráfico 27: Distribución de consumo de gas natural y producción de vapor –mes noviembre
Fuente: Elaboración propia

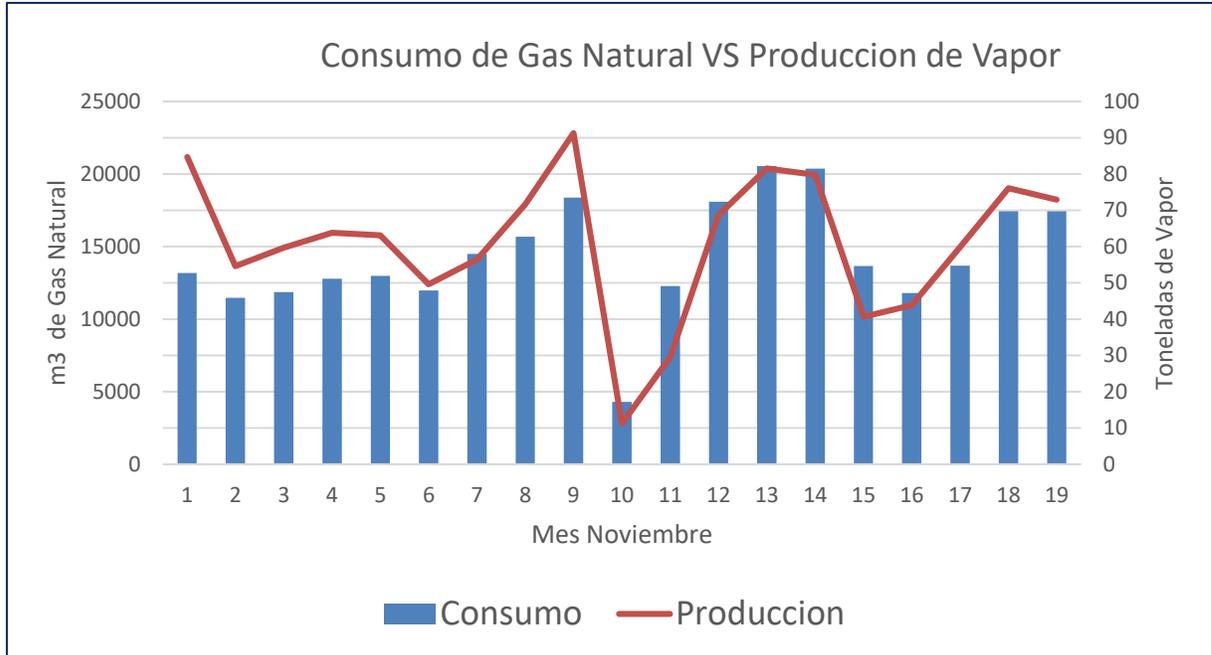


Gráfico 28: Distribución de consumo de gas y producción de materia prima –Noviembre.
Fuente: Elaboración propia

Cuadro 59: DISTRIBUCIÓN DE PÉRDIDAS DE VAPOR POR ÁREAS – NOVIEMBRE

Unidades	Vapor	Purga	Tanque	Reposición	Perdida
Kg	2945 820,40	76 837,44	44 650,41	539 000	417 512,14
%	100	2,61	1,52	18,30	14,17

Fuente: Elaboración propia

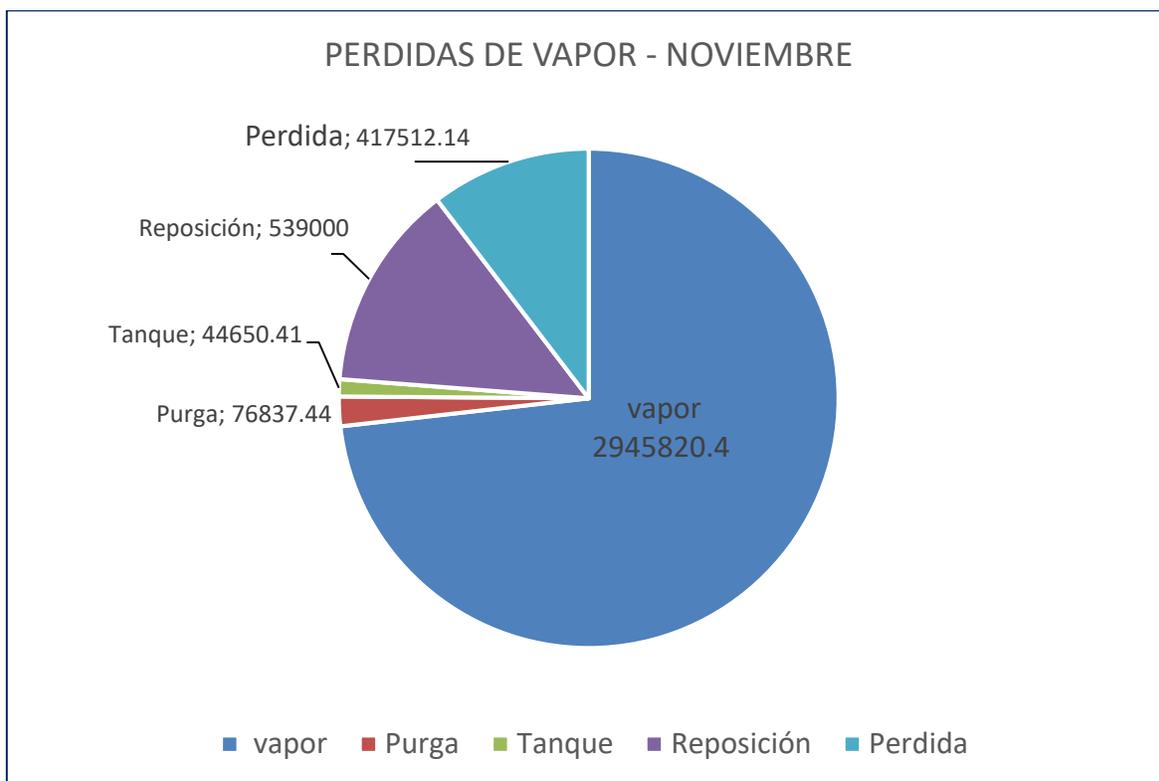


Gráfico 29: Distribución de pérdidas por tipo –mes Octubre
Fuente: Elaboración propia

8.8 CÁLCULO DE COSTO

a) Costo de vapor

Se realizó los cálculos basado en el precio de combustibles e insumos energéticos referente a las cantidades de vapor que se consumen por equipos.

Cuadro 60: COSTO DE VAPOR

Ítem	Fluido	Costo (US \$/ m3)
1	Gas	0,20
2	Agua	4,61
3	Tratamiento	0,50

Fuente: Elaboración propia

b) Costo por combustible

Este costo representa el mayor porcentaje en el costo del vapor lo calculamos a través de la siguiente relación.

$$\frac{(H_{fg} + CP * DT) * \text{Costo combustible}}{PC * n} \dots \dots \dots (01)$$

Cuadro 61: DATOS CONSIGNADO PARA CÁLCULOS

Donde :	Parámetros
PC	Poder calorífico (KJ/m ³)
Hg	Entalpia a presión de trabajo (Kj/Kg)
Hf	Entalpia a temperatura de alimentación (Kj/Kg)
n caldera	Eficiencia de la caldera
Cp	Calor especifico (Kj/Kg°C)
DT	Diferencial de temperatura
F	Factor mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 62: RESULTADOS DE PRESIÓN Y COSTOS DE TONELADA DE VAPOR

PRESION (PSIG)	COSTO (US\$/TON)
0	2,24
10	2,67
20	2,97
35	3,31
45	3,50
90	4,10

Fuente: Elaboración propia

c) Costo de uso de agua en proceso

Se obtiene este valor en base a la información suministrada por planta referente al costo de cada m³ de agua.

$$CA = 4,61$$

d) Costo de tratamiento químico

Esta información se ha calculado en base a los costos y consumo de los productos químicos empleados en el caldero y que fue suministrado por personal en planta.

$$CQ = 0,50$$

COSTO TOTAL

Cuadro 63: RESUMEN DE COSTOS

ITEM	DESCRIPCION	COSTO
1	COSTO COMBUSTIBLE	16,23
2	COSTO POR AGUA	4,61
3	COSTO POR TRATAMIENTO QUIMICO	0,50
COSTO VAPOR (US\$/TON)		21,34

8.9 CÁLCULO PARA REGULACION DE CALDERAS

El incremento de la eficiencia especialmente en llama media y llama alta trae como consecuencia un ahorro en el consumo de combustible si consideramos un porcentaje de operación de 80 % y que la eficiencia aumenta en 1 % debido a la regulación podemos calcular el ahorro producido según el siguiente cuadro.

Cuadro 64: RESULTADOS DE PROYECCIONES DE AHORRO EN CONDICIONES DE OPERACIÓN ACTUAL

CALD.	POT. (BHP)	CARGA (%)	EFIC. TERM. (%)	EFIC. TERM. MEJORADA	CONSUMO ACTUAL (m3/h)	CONSUMO MEJORADO (m3/h)	OPERAC. (H/AÑO)	AHORRO US\$/AÑO
CC1	600	80	79,83	80,83	570,01	562,96	8640	12 248,82
CD1	300	80	79,90	80,90	284,76	281,24	8640	6 113,75
CD2	300	80	80,47	81,47	282,74	279,27	4320	3 013,99
TOTAL								21 376,55

Fuente: Elaboración propia

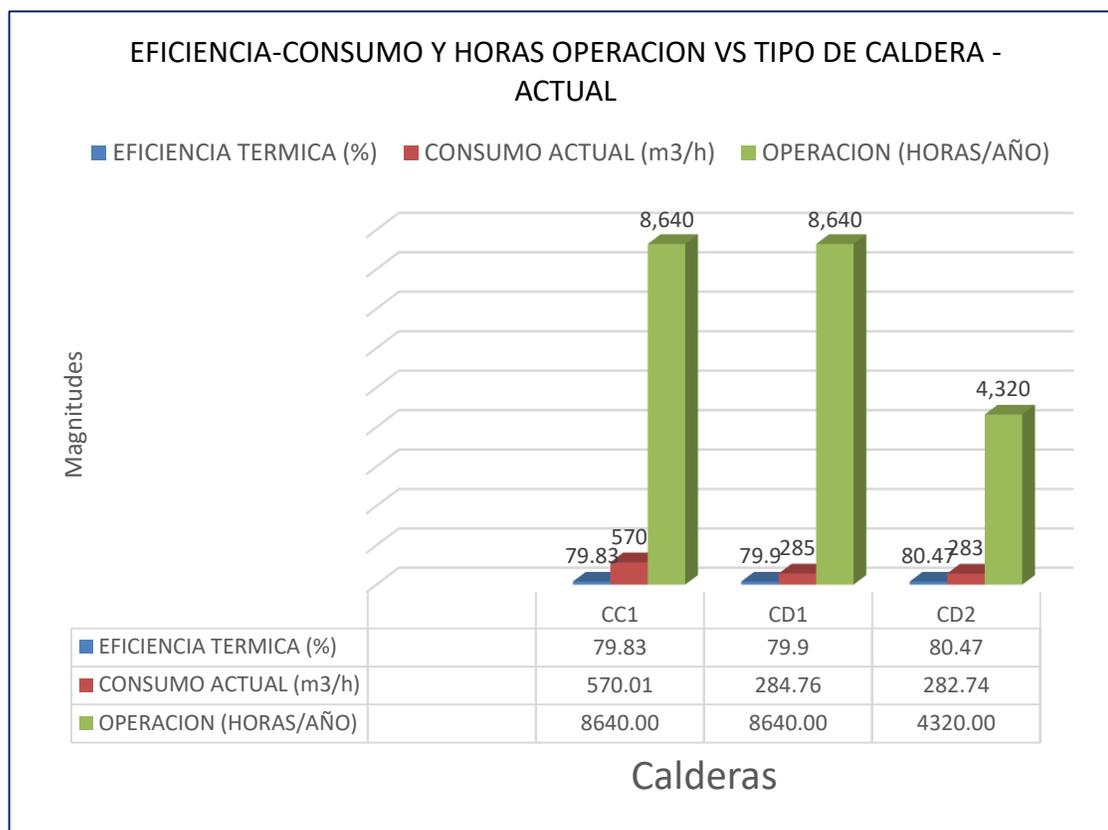


Gráfico 30: Parámetros en condiciones actuales de operación

Fuente: Elaboración propia

8.10 OPERACIÓN CONSIDERANDO MEJORAS

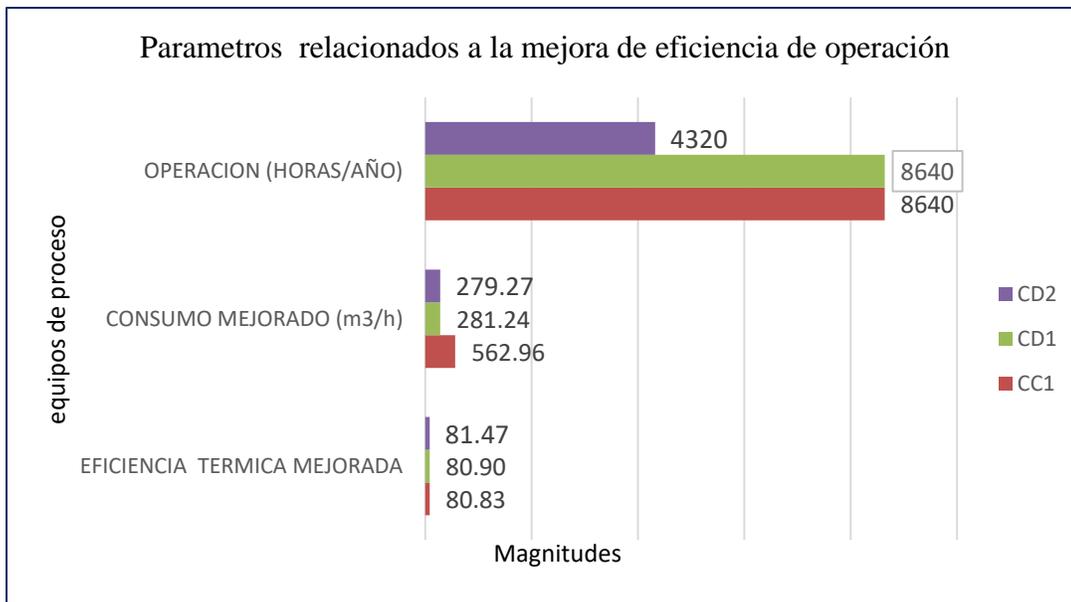


Gráfico 31: Parámetros en condiciones actuales de operación

Fuente: Elaboración propia

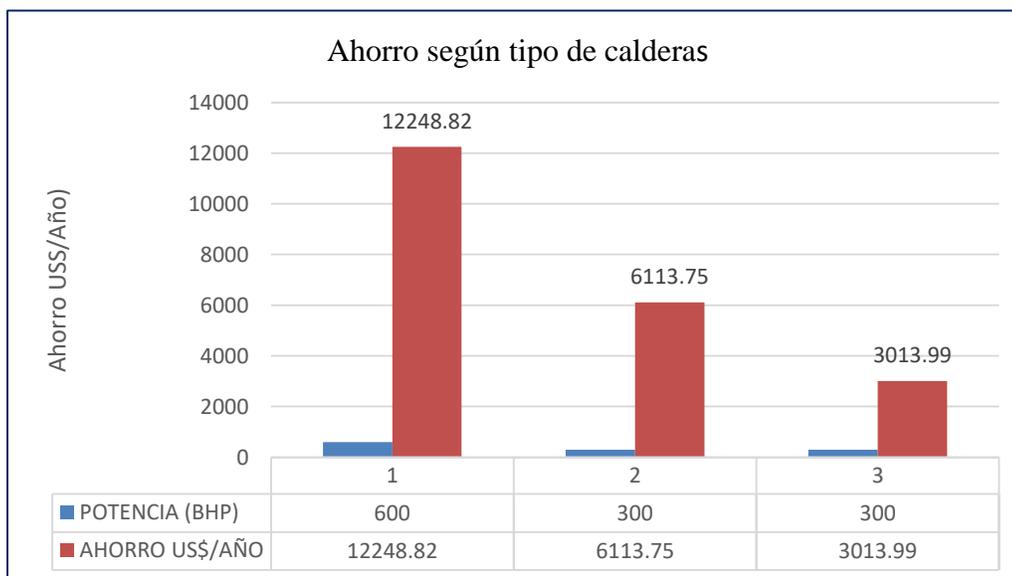


Gráfico 32: Cantidad de ahorros anuales por tipo de calderas

Fuente: Elaboración propia

8.11 PÉRDIDAS POR AISLAMIENTO TÉRMICO EN REDES DE VAPOR

Mediante el metrado realizado a las líneas de vapor y condensados en toda la planta, se puede estimar que las pérdidas de energía de las tuberías que están aisladas y que también no la están estos cálculos abarcan a tuberías de vapor y condensados, equipos y manifolds.

Cuadro 65: SALA DE CALDERAS

ITEM	SISTEMA	PERDIDA (KW)	HORAS	PERDIDA (US \$/H)	PERDIDA (US\$)	COSTO (US\$)
1	Maquina N°2 Vapor	68,54	4 320	1,66	7 183,82	7 810,50
2	Maquina N°3 Vapor	152,66	8 640	3,70	32 000,68	10 670,00
3	Tanque de Almidon	5,29	8 640	0,13	1 108,42	1 050,00
4	Maquina N°2	60,85	4 320	1,48	6 378,16	10 717,00
5	Maquina N°3	70,46	8 640	1,71	14 770,45	11 044,00
6	Sala de Calderas	20,33	8 640	0,49	4 260,85	4 262,00
7	Equipos	101,17	8 640	2,45	21 207,03	15 344,25
TOTAL					86 909,40	60 897,75

Fuente: Elaboración propia

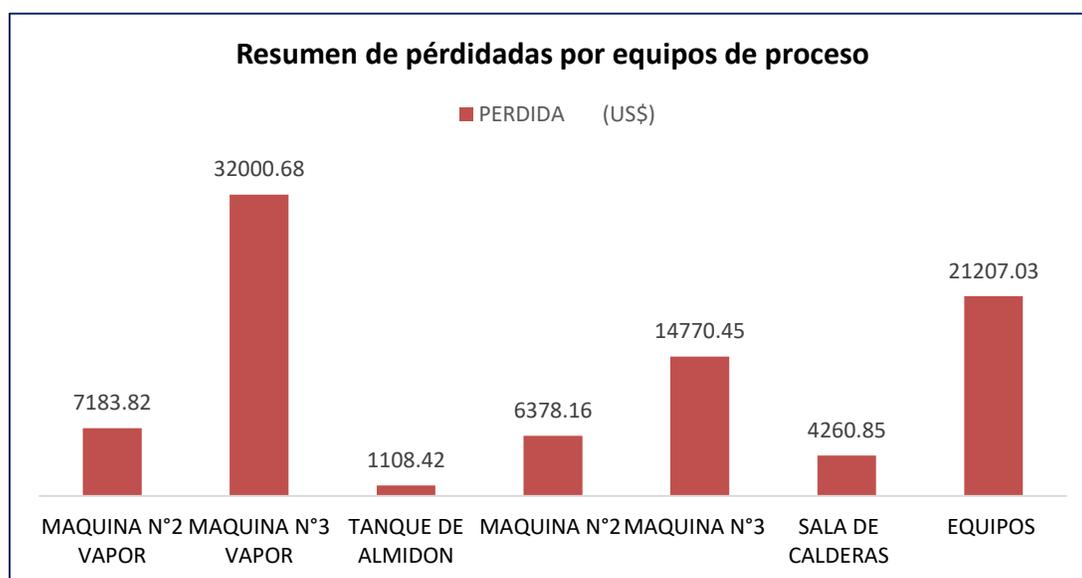


Gráfico 33: Parámetros de pérdidas por tipo de equipo de proceso

Fuente: Elaboración propia

8.12 PÉRDIDAS POR FUGAS

Cuadro 66: SALA DE CALDERAS

Ubicación	Equipo	Descripción	Presión (psig)	Diám. (mm)	FLUJO (Kg/H)	OPERAC. (H/Año)	PERDIDA (kg/año)	PERDIDA (US\$/Año)
Caldera Distral (CD1)	Manifold Presostato	Fuga condensado	90	-	2,70	8 640	23 352,43	215,12
Caldera Distral (CD2)	Manifold Presostato	Fuga Condensado	90	-	2,70	8 640	23 352,43	215,12
Sala de calderas	Bomba de Agua	Fuga de agua en el cuerpo de la bomba	90	1	13,51	8 640	116 762,17	858,74
Línea Trocal Maquina N° 2	Brida	Fuga de vapor a través de brida	90	2	23,34	8 640	201 657,60	4 304,18
Línea Trocal Maquina N° 2	Línea de vapor	Purga de Línea	90	-	2,70	2 880	7 776,00	165,97
Línea Tanque de Almidón	Válvula Esférica	Fuga de Vapor	35	2	4,98	8 640	43 020,81	918,24
Maquina Papelera 3	Válvula Seguridad	Fuga de Vapor	45	2	5,96	8 640	51 493,54	1 099,08
Maquina Papelera 3	Conexiones	Fuga de Condensado	45	1	59,09	8 640	510 541,06	4 394,29
TOTAL							977 956,04	12 170,73
TOTAL MENSUAL							81 496,34	1 014,23

Fuente: Elaboración propia

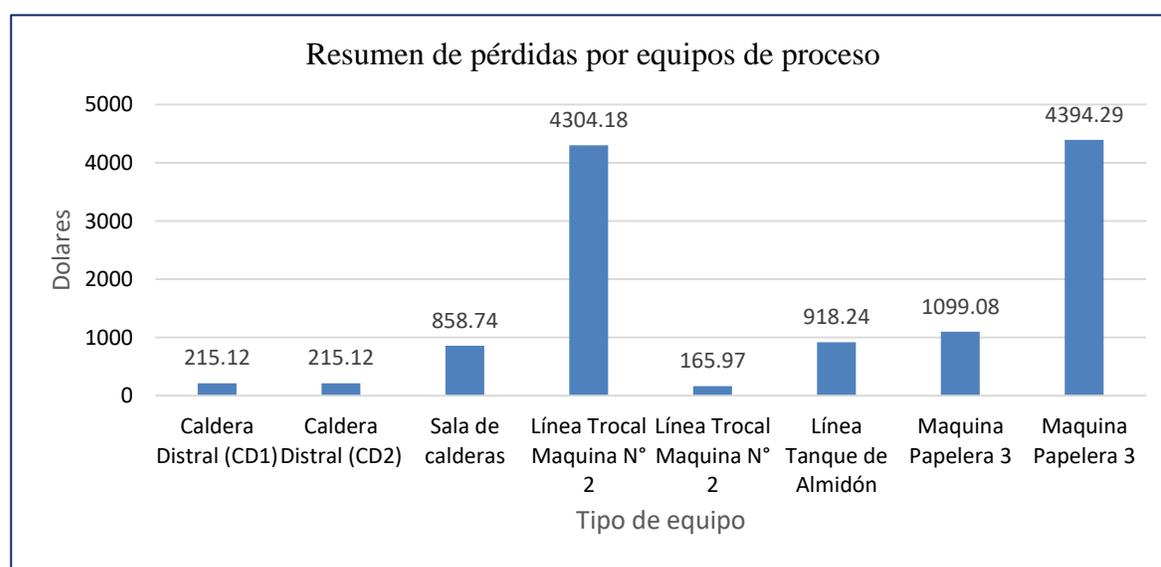


Gráfico 34: Resumen de pérdidas por tipo de operación

Fuente: Elaboración propia

8.13 PÉRDIDAS POR PURGAS

Cuadro 67: Datos de ahorro generado en sistema de purgas al año

CALDERO	POTENCIA (BHP)	STD PPM	PURGA ACTUAL %	PURGA AUTOM. %	FLUJO KG/H	FLUJO KG/H	AHORRO KG/H	OPERAC. H/AÑO	AHORRO US\$/AÑO
CC1	600	1 905	2,69	1,45	235,16	126,44	108,71	8 640	8 652,44
CD1	300	1 982	2,58	1,45	112,89	63,22	49,67	8 640	3 953,28
CD2	300	2 001	2,56	1,45	111,79	63,22	48,57	8 640	3 865,78
Total									16 471,50

Fuente: Elaboración propia

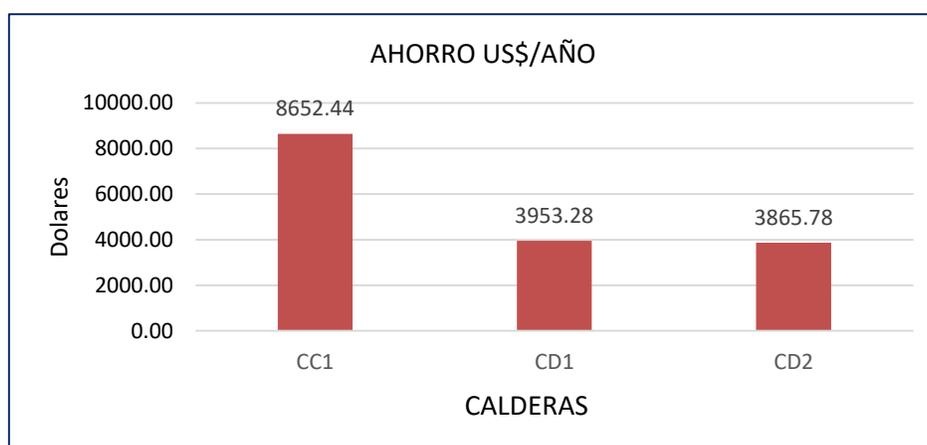


Gráfico 35: Cantidad de ahorro por tipo de caldera

Fuente: Elaboración propia

8.14 RECUPERACIÓN DE ENERGÍA DE PURGAS

Cuadro 68: DATOS DE RECUPERACIÓN DE PURGAS POR TIPO DE CALDERA

CALDERO	POTENCIA (BHP)	STD PPM	PURGA ACTUAL %	PURGA AUTOM. %	FLUJO KG/H	OPERAC. H/AÑO	AHORRO US\$/AÑO
CC1	600	1 905	2,69	1,45	235,16	8640	8 333,03
CD1	300	1 982	2,58	1,45	112,89	8640	4 000,47
CD2	300	2 001	2,56	1,45	111,79	8640	3 961,51
Total							16 295,01

Fuente: Elaboración propia

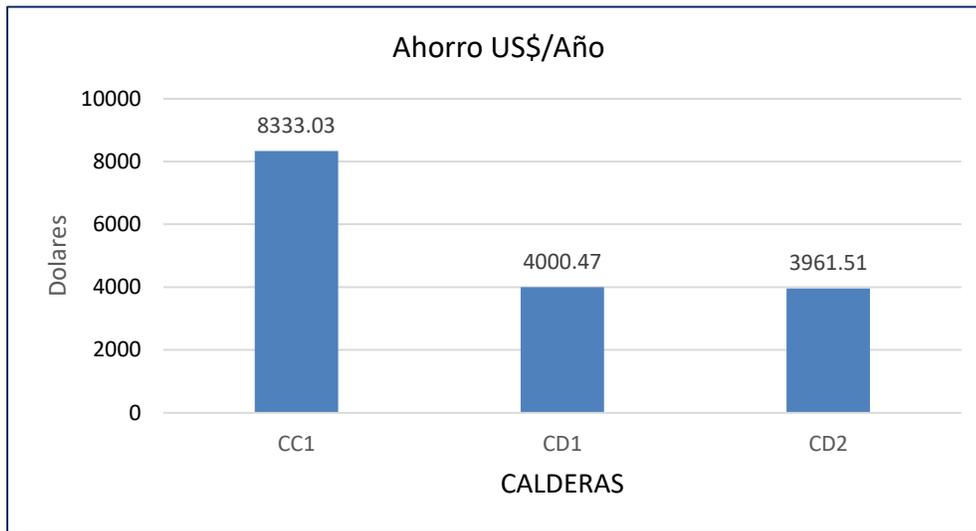


Gráfico 36: Cantidad de ahorro por tipo de caldera
Fuente: Elaboración propia

8.15 AHORRO MEDIANTE USO DE ECONOMIZADOR

Cuadro 69. AHORROS MEDIANTE USO DE ECONOMIZADOR

BALANCE INICIAL	
Tagua 1: Temperatura de Ingreso del Agua	80 °C
Tagua 2: Temperatura de salida del Agua	93,53 °C
Tgases1 : Temperatura de Ingreso de los gases	184 °C
Tgases2 : Temperatura de salida de los gases	160 °C
magua : Caudal de agua que ingresa al caldero	11 268 Kg/h
mgases : Caudal de gases de chimenea	20 000 Kg/h
CAPACIDAD TERMICA	638 400 KJ/HR
ENERGIA DE COMBUSTIBLE	605 086,16 BTU/HR
AHORRO DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE	17,14 M3/HR
COSTO DEL COMBUSTIBLE	3,45 DÓLAR /HR
HORAS DE OPERACIÓN	8 640 HORAS /AÑO
AHORRO ECONOMICO X ECONOMIZADOR	29 764,86 DÓLAR/AÑO

Fuente: Elaboración propia

8.16 AHORRO RECUPERACIÓN DE CONDENSADOS EN SALA DE CALDERAS

Cuadro 70. RECUPERACIÓN DE CONDENSADOS EN SALA DE CALDERAS

ITEM	DESCRIPCION	PRESION (psig)	CANTIDAD	DIAMETRO (mm)	FLUJO (Kg/H)	OPERAC. (H/Año)	PERDIDA (US\$/Año)
1	Trampa de Manifold	90	1	1"	14,57	8 640	1 159,53
2	Trampa de presostatos	90	2	3/4"	4,00	8 640	636,71
3	Trampas líneas calderos	90	3	3/4"	3,00	8 640	716,30
4	Trampa línea troncales	90	4	3/4"	2,00	8 640	636,71
Total							3 149,27

Fuente: Elaboración propia

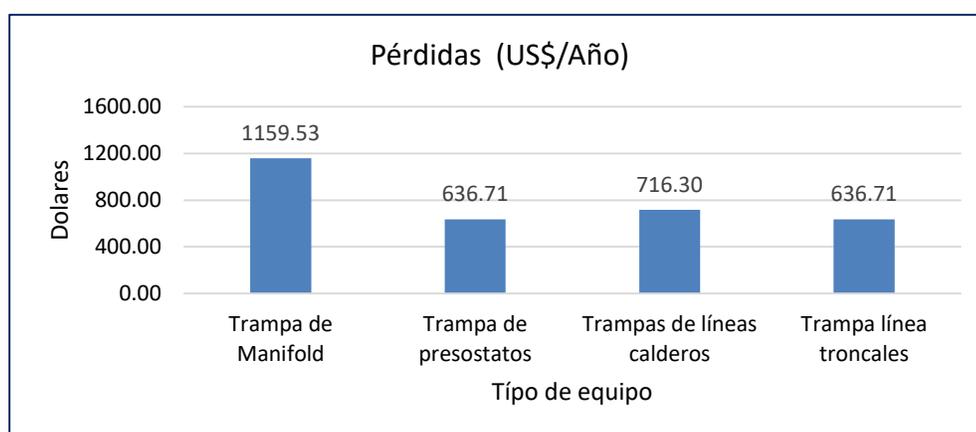


Gráfico 37: Pérdidas al año por tipo de equipo

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 71: RESUMEN DE DATOS PARA MÁQUINA N° 02

ITEM	DESCRIPCION	Presión (psig)	CONDENSADO (KG/H)	FLUJO (KG/H)	OPERACION (H/Año)	PERDIDA (US\$/Año)
1	Trampa de Manifold	90	10,40	20,81	8 640	2 918,16

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 72: RESUMEN DE DATOS PARA MÁQUINA N° 03

ITEM	DESCRIPCION	Presión (psig)	CONDENSADO (KG/H)	FLUJO (KG/H)	OPERACION (H/Año)	PERDIDA (US\$/Año)
1	Trampa de Manifold	90	19,29	38,58	8 640	5 410,73

Fuente: Elaboración propia

8.17 ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO

Cuadro 73: RESUMEN DE AHORROS ECONÓMICOS

ITEM	DESCRIPCION PROYECTO	INVERSION	AHORRO	TRC
6.1	REGULACION DE CALDEROS	2 400,00	21 376,55	1,3
6.2	AISLAMIENTO DE LINEAS DE VAPOR Y CONDENSADO	60 897,75	86 982,39	8,4
6.3	ELIMINACION DE FUGAS	4 000,00	12 170,73	3,9
6.4	ECONOMIZADOR	42 500,00	29 764,86	17,1
6.5.1	PURGAS AUTOMATICAS	37 800,00	16 471,50	27,5
6.5.2	RECUPERACION DEL CALOR	15 940,00	16 295,01	11,7
6.6.1	RECUPERACION DE CONDENSADO EN SALA DE CALDERAS	3 650,00	3 149,27	13,9
6.6.2	RECUPERACION DE CONDENSADO EN MAQUINA 2	8 420,00	2 918,16	34,6
6.6.3	RECUPERACION DE CONDENSADO EN MAQUINA 3	7 000,00	5 410,73	15,5
6.7	REEMPLAZO O MANTENIMIENTO DE TRAMPAS EN FLASH	7 500,00	2 467,67	36,5
6.8	CAMBIO DE TRAMPAS EN MAL ESTADO	3 000,00	2 080,00	17,3
6.9	LINEAS A TANQUE DE ALMIDON	2 300,00	2 249,91	12,3

Fuente: Elaboración propia.

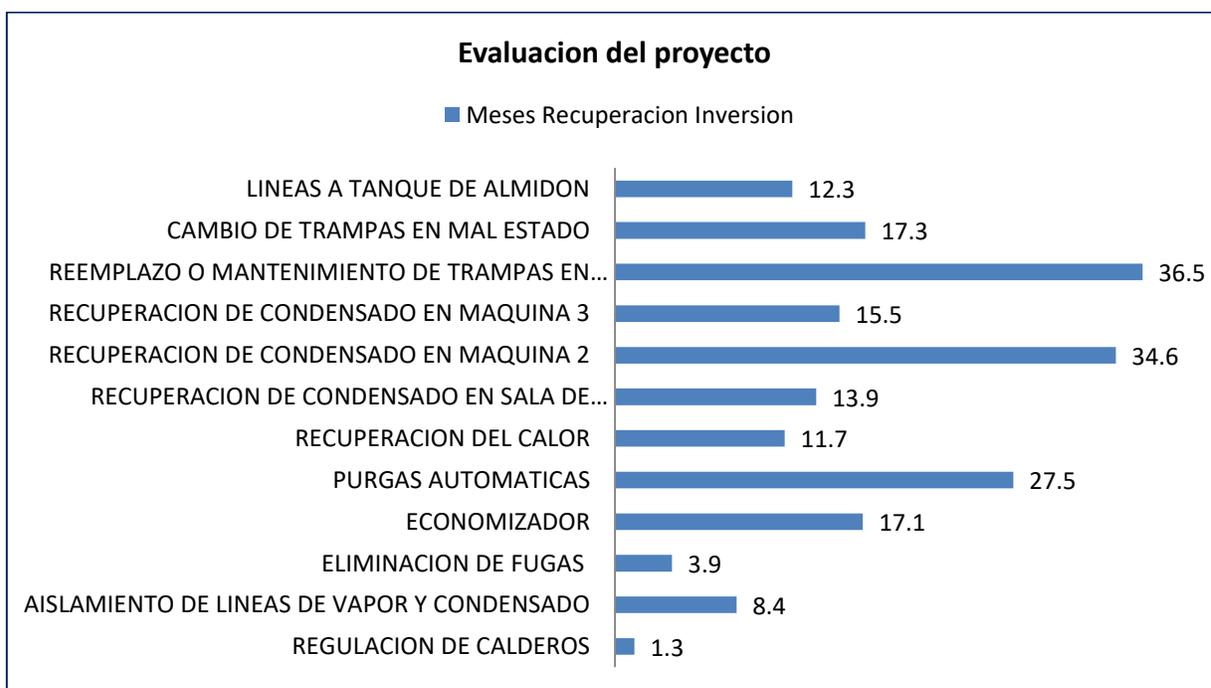


Gráfico 38: Tiempo de recuperación de la inversión por tipo de mejora

Fuente: Elaboración propia

IX.- APORTES PARA LA FORMACION PROFESIONAL

El aporte para la formación profesional, se evidencia en la cantidad de información técnica reunida en el presente informe; además de cuantificar los diversos indicadores que utilizan las empresas que tienen como fuente de energía térmica al vapor saturado para sus procesos. Donde la productividad de cada industria presenta una realidad problemática en particular siendo necesario diagnosticar y establecer propuestas de mejoras desde un diagnóstico técnico hasta el análisis financiero con grado de inversión y recuperación de la inversión según la necesidad de la empresa.

X.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se identificó los procesos térmicos como la generación de vapor saturado mediante 03 generadores de vapor, 01 Unidad de 600 BHP y 02 Unidades de 300 BHP; las cuales sostienen la demanda de vapor saturado a 90 psi para abastecer a la máquinas 2, maquina 3, tanque de almidón y tanques flash quienes se encuentran conectados mediante redes de vapor las cuales derivan desde los manifolds de distribución de vapor hacia los centros de consumo.
- El diagnóstico energético aplicado a los generadores de vapor de la planta, indican que la eficiencia térmica promedio es 79 % siendo un valor que se puede mejorar hasta obtener una eficiencia de 80 %. La planta cuenta con una capacidad instalada de 17 459,84 Kg/h y una capacidad de operación de 13 996,6 Kg/h abastecidas por 03 generadores de vapor.
- Las pérdidas generadas en todas las áreas evaluadas durante la auditoria térmica suman aproximadamente US\$ 187325,42 anuales; asimismo los ahorros proyectados ascienden a US\$ 20 1336,78 con una inversión proyectada de US\$ 19 5389,75.
- Se deberá de realizar las mejoras atendiendo al sistema economizador, purgas automáticas y recuperación de calor ya que representan las áreas más críticas del proceso productivo.

XI.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- INCROPERA F, DEWITT D. (1999). Fundamentos de Transferencia de Calor, 4ta Edición, Pearson Education, México.
- SPIRAX SARCO, Circuitos de Distribución de Vapor y Condensado, E.U.A; 2008.
- ARMSTRONG, Guía para la Conservación de Vapor en el Drenado de Condensados; Armstrong; E.U.A.; 1998.
- BURGHARDT D., (1984). Ingeniería Termodinámica, México, D.F.: Harla S.A., pp.63.
- NTP.350.300.2008, Procedimiento para la determinación de la eficiencia térmica de calderas industriales.
- Correa, F. M. (2015). Calderas pirotubulares. Es una maquina o dispositivo de ingeniería que está diseñado para generar vapor saturado. Este vapor se genera a través de una transferencia de calor a presión constante, en el cual el fluido, originalmente en estado líquido, se calienta y cambia de estado.
- Rios, J. M. (2014). Clasificación de las calderas. Se clasifican según diversos criterios, relacionados con la disposición de los fluidos y su circulación, el mecanismo de transmisión de calor dominante, aspectos estructurales modo de intercambio de calor, la forma del quemado del combustible, forma de alimentación de agua y otros muchos factores.
- Molinas, L. A., Molina G., (1993). Problemas de caldera.
- Carlos J. Renedo (1997). Las calderas en ellas la energía de un combustible se transforma en calor para el calentamiento de un fluido.

- Ing. Walter Barreto (2005). Calderas de vapor. Recuperado de https://www.uruman.org/sites/default/files/articulos/mantenimiento_calderas_industriales.pdf

ANEXOS

7. DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA

Por tratarse del **Método Indirecto**, o de pérdidas, según indica en el apartado 6.2, la eficiencia se determinará mediante la siguiente expresión:

$$\eta = 100 - (P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6) \dots\dots\dots(7.1)$$

7.1 Pérdida por la entalpía de los gases de escape secos, P_I

La pérdida porcentual de calor debida a la entalpía en los gases de escape, en base seca, se calcula mediante:

$$P_I = k \cdot \frac{T_g - T_a}{[CO_2]} \dots\dots\dots(7.2)$$

Algunos valores típicos de “ k ” se muestran en la Tabla 3.

TABLA 3 - Valores típicos de la constante de Siegert, k

Combustible	k
Residuales	0,53
Destilados	0,48
GLP	0,40
Gas natural	0,35

El valor “ k ” es la constante de Siegert; puede ser calculado para cualquier combustible, mediante:

$$k = \frac{255 \cdot [C]}{PCS} \dots\dots\dots(7.2a)$$

La relación entre los contenidos de dióxido de carbono y oxígeno es:

$$[CO_2] = \left(1 - \frac{O_2}{21}\right) \cdot [CO_2]_{MAX} \dots\dots\dots(7.2b)$$

Los valores típicos de $[CO_2]_{MAX}$ se muestran en la Tabla 4.

TABLA 4 - Valores típicos de $[CO_2]_{MAX}$

Combustible	$[CO_2]_{MAX}$
Residuales	15,8
Destilados	15,5
GLP	13,8
Gas natural	11,9

7.2 Pérdida por la entalpía del vapor de agua en los gases, P_2

La pérdida porcentual de calor debida a la entalpía del vapor de agua en los gases de escape, se calcula mediante:

$$P_2 = \frac{([H_2O] + 9 \cdot [H]) \cdot (2488 - 4,2 \cdot T_a + 2,1 \cdot T_g)}{PCS} \dots\dots\dots(7.3)$$

7.3 Pérdida por inquemados gaseosos, P_3

La pérdida porcentual de calor debida a los inquemados gaseosos, se calcula mediante:

$$P_3 = k_1 \frac{[CO]}{[CO_2] + [CO]} \dots\dots\dots(7.4)$$

Los valores de la constante “ k_1 ”, se muestran en la Tabla 5.

TABLA 5 - Valores de la constante k_I

Combustible	k_I
Residuales	54
Destilados	53
GLP	48
Gas natural	40

7.4 Pérdida por inquemados sólidos, P_4

La pérdida porcentual de calor debida a los inquemados sólidos, se calcula mediante:

$$P_4 = 0,14 \cdot B^2 + 0,08 \cdot B + 0,07 \dots\dots\dots(7.5)$$

7.5 Pérdida por convección, P_5

La pérdida porcentual de calor debida a la convección, se obtiene sumando las pérdidas porcentuales por convección para cada tipo de superficie exterior, mediante:

$$P_5 = 80 \cdot \frac{\dot{Q}_{p5}}{\dot{W}_c} \dots\dots\dots(7.6)$$

donde:

$$\dot{Q}_{p5} = h_{cf} \cdot A_f \cdot (T_{sf} - T_a) + h_{cg} \cdot A_g \cdot (T_{sg} - T_a) \dots\dots\dots(7.6a)$$

$$h_{cf} = 1,973 \times 10^{-3} \cdot (T_{sf} - T_a)^{0,25} \cdot (2,857 \cdot v + 1)^{0,5} \dots\dots(7.6b)$$

$$h_{cg} = 1,973 \times 10^{-3} \cdot (T_{sg} - T_a)^{0,25} \cdot (2,857 \cdot v + 1)^{0,5} \dots(7.6c)$$

$$\dot{W}_c = 9,81 \cdot BHP \dots\dots\dots(7.6d)$$

7.6 Pérdida por radiación, P_6

La pérdida porcentual de calor debida a la radiación, se obtiene sumando las pérdidas porcentuales por radiación para cada tipo de superficie exterior, mediante:

$$P_6 = 80 \cdot \frac{\dot{Q}_{p6}}{\dot{W}_c} \dots\dots\dots(7.7)$$

donde:

$$\dot{Q}_{p6} = (q_{rf} \cdot A_f) + (q_{rg} \cdot A_g) \dots\dots\dots(7.7a)$$

$$q_{rf} = 5,763 \times 10^{-11} \cdot \varepsilon \cdot [(T_{sf} + 273)^4 - (T_a + 273)^4] \quad (7.7b)$$

$$q_{rg} = 5,763 \times 10^{-11} \cdot \varepsilon \cdot [(T_{sg} + 273)^4 - (T_a + 273)^4] \quad (7.7c)$$

$$\dot{W}_c = 9,81 \cdot BHP \dots\dots\dots(7.7d)$$

8. ANTECEDENTES

8.1	NOM-002-ENER:1995	Norma Oficial Mexicana, Eficiencia térmica de calderas paquete.
8.2	BS 845 Part 1:1987	British Standard Methods for Assessing thermal performance of boilers for steam, hot water and high temperature heat transfer fluids Part 1. Concise procedure.
8.3	INTE 19-02-07:1994	Norma INTECO: Ensayos de recepción y prueba de operación para calderas de potencia térmica inferior a 1100 kW, Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica.