

**AUMENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA CALDERA
POWERMASTER 200 BHP PARA DISMINUIR EL CONSUMO DE GAS
NATURAL EN LA PLANTA CASA LUKER UBICADA EN BOGOTÁ**

**ANAYENCI FAIZULI PARRA LEÓN
CLAUDIA LORENA RODRÍGUEZ LEÓN**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: TECNOLOGÍAS AMBIENTALES
BOGOTÁ D.C.
2022**

**AUMENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA CALDERA PARA
DISMINUIR EL CONSUMO DE GAS NATURAL EN LA PLANTA CASA LUKER
UBICADA EN BOGOTÁ**

**ANAYENCI FAIZULI PARRA LEÓN
CLAUDIA LORENA RODRÍGUEZ LEÓN**

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniería Ambiental

**NIDIA ELENA ORTIZ PENAGOS
Ing. Química, MSc. en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente
(Directora)**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: TECNOLOGÍAS AMBIENTALES
BOGOTÁ D.C.
2022**

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. OBJETIVOS	4
2.1 OBJETIVO GENERAL	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
3. ANTECEDENTES	5
4. MARCO REFERENCIAL	7
4.1 MARCO CONTEXTUAL	7
4.2 MARCO TEÓRICO	8
5. METODOLOGÍA.....	10
5.1 FASE 1	10
5.2 FASE 2	11
5.3 FASE 3	11
5.3.1 Eficiencia energética de una caldera	12
5.3.2 Datos importantes a tener en cuenta en el diseño.....	12
5.3.3 Caracterización de los gases de chimenea	13
5.3.4 Ahorro en \$COP.....	13
6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	16
6.1 FASE 1. IDENTIFICACIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO Y EL INCREMENTO DEL GAS NATURAL	16
6.1.1 Reconocimiento del proceso productivo	16
6.1.2 Caracterización de la caldera	21
6.1.3 Análisis del consumo del GN versus el vapor consumido.....	22
6.1.4 Factores que incrementan el consumo del gas natural.....	24
6.2 FASE 2. DIAGNOSTICO DEL AGUA EMPLEADA EN LA CALDERA 200 BHP POWERMASTER	26
6.2.1 Análisis de parámetros in-sitú	28
6.2.2 Análisis de alcalinidad y dureza.....	31
6.2.3 Otros resultados	33
6.3 FASE 3. EFICIENCIA ACTUAL Y SISTEMAS A IMPLEMENTAR PARA EL AUMENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA CALDERA 200 BHP POWERMASTER.....	35
6.3.1 Eficiencia energética actual de la caldera 200 BHP	35

6.3.2	Diseño del economizador	36
6.3.3	Balance de masa y energía.....	45
6.3.4	Aumento tentativo en la eficiencia energética de la caldera 200 BHP.....	54
6.3.5	Aislamiento térmico	55
6.3.6	Inversión y ganancia de los sistemas a implementar	65
7.	IMPACTO SOCIAL Y HUMANÍSTICO	69
8.	CONCLUSIONES	70
9.	RECOMENDACIONES.....	71
10.	BIBLIOGRAFÍA.....	72
11.	ANEXOS.....	74

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Identificación de equipos asociados al uso de agua y vapor de agua...	74
Anexo B. Identificación de equipos asociados al uso de agua y vapor de agua...	98
Anexo C. Identificación de equipos asociados al uso de agua y vapor de agua.	101
Anexo D. Registro del caudal de vapor de agua aportados por la empresa Casa Luker S.A.....	103
Anexo E. Identificación de puntos fríos	115
Anexo F. Balance de masa.....	117
Anexo G. Balance de energía	118
Anexo H. Eficiencia energética actual.....	119
Anexo I. Alcalinidad del agua: método potenciométrico	127
Anexo J. Dureza del agua: método titulométrico de EDTA.....	129
Anexo K. Descripción de las calderas pirotubulares existentes PowerMaster	130
Anexo L. Tablas psicométricas	132
Anexo M. Tablas de vapor saturado	133
Anexo N. Capacidades caloríficas	134
Anexo O. Registro de dosificación de los químicos inyectados al tk de alimentación	135
Anexo P. TB, transferencia de calor sin aislamiento y transferencia de calor con aislamiento para condensados	137
Anexo Q. TB, transferencia de calor sin aislamiento y transferencia de calor con aislamiento para el vapor de agua	139
Anexo R. Cotización del economizador	142

LISTA DE ECUACIONES

(Ec 1) Eficiencia energética.....	12
(Ec 2) Potencial del quemador	12
(Ec 3) Flujo volumétrico GN	13
(Ec 4) Calculo de la humedad	13
(Ec 5) Humedad del aire Calculo de la humedad	13
(Ec 6) Cálculo del flujo másico de los gases de combustión	13
(Ec 7) Presión parcial del	13
(Ec 8) Aumento tentativo en la eficiencia energética.....	14
(Ec 9) Ecuación del calor	14
(Ec 10) Ahorro de combustible	14
(Ec 11) Ahorro energético	15
(Ec 12) Ahorro económico	15
(Ec 13) Ecuación TE	48
(Ec 14) Transferencia de calor por conducción en serie para un sistema cilíndrico	56
(Ec 15) Calculo de la temperatura de salida del fluido por tramo	59
(Ec 16) Transferencia de calor con aislamiento térmico.	60
(Ec 17) Calculo de r_3	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación planta Casa Luker S.A.	7
Figura 2. Metodología para el desarrollo del trabajo	10
Figura 3 Exceso de aire mínimo	39
Figura 4 Temperatura punto de rocío y temperatura mínima en chimenea.	49
Figura 5 Transferencia de calor en un sistema cilíndrico	56

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Sistemas de Calentamiento Casa Luker S.A	18
Fotografía 2. Tanques BTQ por serpentín Casa Luker S.A.....	18
Fotografía 3. Atemperadora Casa Luker S.A	19
Fotografía 4. Prensa Casa Luker S.A	20
Fotografía 5. Instand Casa Luker S.A	20
Fotografía 6. Caldera PowerMaster 200 BHP Planta Casa Luker S.A	21
Fotografía 7. Alteración al aislamiento térmico	25
Fotografía 8. Temperatura del tanque de alimentación	25
Fotografía 9. Punto 1 - Tanque de alimentación	34
Fotografía 10. Punto 2 - Tanque de alimentación.	34

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Consumos de GN vs vapor de agua en la Planta Casa Luker S.A para el mes de julio del 2021	23
Gráfico 2. Frecuencia consumos máximos de GN para el mes de julio del 2021 ..	23
Gráfico 3. Temperatura diaria obtenida para los puntos de muestra (°C).....	28
Gráfico 4. pH diario obtenido para los puntos de muestra	29
Gráfico 5 Conductividad diaria obtenida para los puntos de muestra.....	30
Gráfico 6 Alcalinidad diaria obtenida para los puntos de muestra	31
Gráfico 7 Dureza diaria obtenida para los puntos de muestra.....	32
Gráfico 8. Comparativo entre punto 1 y 2 del tanque de alimentación para alcalinidad total	34
Gráfico 9. Comparativo entre punto 1 y 2 del tanque de alimentación para dureza total.....	34

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Relación de consumos.....	22
Tabla 2 Puntos muestreados	26
Tabla 3 Series de graficas	27
Tabla 4 Datos de operación de la caldera.....	36
Tabla 5 Composición volumétrica y PM del GN	38
Tabla 6 Número de moles de acuerdo a las reacciones estequiométricas	39
Tabla 7 Datos recopilados	41
Tabla 8 Determinación de la humedad del aire comburente	41
Tabla 9 Relación de gases de combustión	42
Tabla 10 Relación del aire comburente.....	42
Tabla 11 Flujo másico de gases de combustión	43
Tabla 12 Compuestos resultantes de la combustión.....	44
Tabla 13 Flujos másicos en la caldera	46
Tabla 14 Recopilación datos purga.....	47
Tabla 15 Datos conocidos	48
Tabla 16 Análisis de los gases de combustión.....	50
Tabla 17 Iteraciones	50
Tabla 18 $m \cdot C_p$ de gases de chimenea	51
Tabla 19 Descripción de los datos de entrada	52
Tabla 20 Datos de entrada	52
Tabla 21 Iteraciones conforme a la temperatura establecida	53
Tabla 22 $m \cdot C_p$ gases de combustión final	53
Tabla 23 Balance final	53
Tabla 24 Espesores y longitudes de acuerdo al diámetro de la tubería para el condensado	63
Tabla 25 Espesores y longitudes de acuerdo al diámetro de la tubería para el vapor de agua.....	63
Tabla 26 Costo por m^2 para el aislamiento y el recubrimiento.....	64
Tabla 27 Costos totales para la disposición de aislamientos térmicos en tuberías de condensado	64
Tabla 28 Costos totales para la disposición de aislamientos térmicos en tuberías de vapor de agua.....	64
Tabla 29 Tabla resumen para aislamiento térmico.....	65
Tabla 30 Tiempo proyectado para recuperar la inversión del economizador	67
Tabla 31 Tiempo proyectado para recuperar la inversión total.....	67
Tabla 32 Relaciones de alcalinidad	126
Tabla 33 Datos de entrada para estimar la transferencia de calor para los condensados	136
Tabla 34 Datos de entrada para estimar la transferencia de calor para el vapor de agua	139

RESUMEN

La planta de Casa Luker S.A. se encuentra ubicada en la ciudad de Bogotá y se dedica principalmente a la producción de chocolate. Para llevar a cabo los procesos que requiere este producto se hace uso del agua; una parte de esta se dirige a la caldera PowerMaster 200 BHP para la generación de vapor, el cual se transporta, mediante un sistema de tuberías, hacia los diferentes sistemas de calentamiento y a los equipos que hacen uso del vapor directo; este proceso se realiza sin que el producto entre en contacto directo con el vapor. Durante la operación de la caldera también se presenta consumo de gas natural, lo que conlleva al aporte de emisiones atmosféricas.

Se llevaron a cabo visitas técnicas en la planta Casa Luker S.A. donde se identificaron los procesos que emplean el vapor de agua y se llevaron a cabo los correspondientes balances de materia y energía, asimismo se identificaron las causas por las cuales se observa un incremento en el consumo de gas natural. Por otro lado, se efectuaron mediciones teniendo en cuenta los parámetros fisicoquímicos de temperatura, pH, alcalinidad, conductividad y dureza del agua de alimentación; con el fin de evaluar la operación de la caldera Powermaster 200 BHP. Para finalizar de acuerdo a la información recolectada, se propusieron dos sistemas que permiten aumentar la eficiencia energética y disminuir el consumo de gas natural.

El presente proyecto tiene como propósito, evaluar la eficiencia energética actual de la caldera Powermaster de 200 BHP, con la finalidad de establecer alternativas que permitan incrementar la eficiencia energética y aminorar los consumos de gas natural.

Como resultados obtenidos se tiene que la eficiencia energética actual de la caldera 200 BHP aumenta desde el 61,85% al 64,42% mediante la implementación del economizador; por otro lado, se tiene una inversión de 40'325.667 \$COP para disponer el economizador y los aislamientos térmicos; valor que se recupera a los dos meses de implementación de los sistemas, ya que para este periodo se tendrá una ganancia de 68'382.062 \$COP.

Palabras clave: caldera, eficiencia energética, consumo de combustible, calidad del agua, recirculación de condensados, economizador, aislamientos térmicos.

ABSTRACT

Casa Luker S.A.'s plant is located in the city of Bogotá and is mainly engaged in the production of chocolate. Water is used to carry out the processes required for this product; part of it is sent to the PowerMaster 200 BHP boiler to generate steam, which is transported through a piping system to the different heating systems and to the equipment that uses direct steam; this process is carried out without the product coming into direct contact with the steam. During boiler operation, natural gas is also consumed, which leads to atmospheric emissions.

Technical visits were made to the Casa Luker S.A. plant where the processes that use steam were identified and the corresponding material and energy balances were carried out, and the causes for the increase in natural gas consumption were identified. On the other hand, measurements were made taking into account the physicochemical parameters of temperature, pH, alkalinity, conductivity and hardness of the feed water; in order to evaluate the operation of the Powermaster 200 BHP boiler. Finally, based on the information collected, two systems were proposed to increase energy efficiency and reduce natural gas consumption.

The purpose of this project is to evaluate the current energy efficiency of the Powermaster 200 BHP boiler in order to establish alternatives to increase energy efficiency and reduce natural gas consumption.

The results obtained show that the current energy efficiency of the 200 BHP boiler increases from 61.85% to 64.42% with the implementation of the economizer; on the other hand, there is an investment of 40'325,667 \$COP to install the economizer and thermal insulation; this value is recovered two months after the implementation of the systems, since for this period there will be a gain of 68'382,062 \$COP.

Keywords: boiler, energy efficiency, fuel consumption, water quality, condensate recirculation, economizer, thermal insulation.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años la demanda mundial de energía ha crecido a un ritmo acelerado y a su vez la importancia del manejo racional y eficiente de ésta, puesto que el sector industrial tiene un uso excesivo de combustibles fósiles, lo que conlleva a generar emisiones de gases de efecto invernadero. En Colombia el uso de combustibles fósiles se encuentra en segundo lugar en producción de energía y el uso de gas natural a nivel industrial, según el resumen de supuestos técnicos económicos de la UPME aumentará en un 30% (Unidad de Planeación Minero Energética, 2020).

El sector industrial de alimentos cuenta con un consumo energético alto, debido a que emplea generadores de vapor como las calderas; por lo anterior, es fundamental optar por estrategias que impliquen beneficios y que permitan darle aplicación a tecnologías ecoeficientes que contribuyan a la reducción de costos por consumo ineficiente de energía y así, aportar en la disminución de la generación de gases de efecto invernadero resultantes de los procesos productivos (Colón, 2021).

Estudios han demostrado que, al evaluar los procesos de producción hay desperdicios del recurso fósil por excesos de consumo. Un ejemplo de esto es el estudio de ahorro energético integral en la fábrica de cerveza Tímina (Gutiérrez, 2006), en el cual, por medio de balances realizados y la evaluación de los sistemas contenidos, se logró un ahorro del 37,50% en fueloil, que corresponde a 117825,84 \$USD anuales; así mismo, se identificó una disminución en las pérdidas energéticas y las emisiones por combustible quemado (Gutiérrez, 2006). Por consiguiente, la eficiencia energética se considera esencial para administrar los recursos fósiles, pues esta, fomenta el uso de tecnologías que permiten optimizar los recursos energéticos, con la finalidad de aumentar el rendimiento productivo y el potencial organizacional (Lening Alejandro López & Fredy Argemiro García Pinto, 2020).

La empresa Casa Luker S.A emplea una caldera pirotubular para la generación de vapor de agua, por lo cual, implementar alternativas como: sistemas de aislamiento térmico, el uso de intercambiadores de calor para el aprovechamiento de la energía cedida al ambiente y un adecuado tratamiento en el agua de alimentación de la caldera, son fundamentales para obtener una reducción en el consumo del combustible fósil e incrementar la eficiencia energética. De modo que, el objetivo principal del presente trabajo de grado es aumentar la eficiencia energética de la caldera pirotubular PowerMaster 200 BHP modelo WB-A2-4P para disminuir el consumo de gas natural en la planta Casa Luker S.A, ubicada en Bogotá.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

- Aumentar la eficiencia energética de la caldera para disminuir el consumo de gas natural en la planta Casa Luker ubicada en Bogotá.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las causas que estén incrementando los consumos de gas natural en la caldera a partir de balances de materia y energía; y el reconocimiento del proceso productivo.
- Determinar los parámetros fisicoquímicos del agua de alimentación a la caldera y de los condensados (temperatura, pH, dureza, alcalinidad y conductividad) evaluando sus condiciones para ser recirculados a la caldera.
- Proponer y dimensionar sistemas para incrementar la eficiencia energética de la caldera, mediante un economizador para precalentar el agua de alimentación y aislamientos térmicos para las tuberías que permitan disminuir el consumo de gas natural de la caldera.

3. ANTECEDENTES

El ahorro energético es la reducción del consumo de energía mediante la minoración del servicio o utilidad proporcionada, sin alterar la eficiencia energética. Actualmente, se consumen grandes cantidades de energía en todos los ámbitos de la sociedad y su demanda implica un aumento en los niveles de emisión de CO₂, lo cual conlleva a un impacto medioambiental. En el sector industrial, la demanda energética suele ser muy amplia, debido a que los procesos productivos se llevan a gran escala y requieren elevados tiempos de operación; es por ello que, a partir de la optimización de los procesos y la adecuada implementación de las tecnologías se podría asegurar el suministro energético necesario para cubrir los requerimientos (Sevilleja Aceituno & Soto Martos, 2011).

En el estudio ahorro energético integral en la fábrica de cerveza Tímina (Gutiérrez, 2006) los autores realizaron un análisis integral del sistema termo energético de la cervecería Tímina, con el propósito de ahorrar combustible mediante el aprovechamiento del vapor y condensados obtenidos en la fábrica. Por medio del desarrollo de balances de masa y energía, la evaluación de los sistemas contenidos en la industria y un balance energético se encontró que la fábrica logrará un 37,50% de ahorro de fueloil, lo cual es alusivo a un ahorro de 117825,84\$USD anuales; así mismo, se identificó una disminución en las pérdidas energéticas de 34.758 kJ/kg ahorrándose por este concepto 23.000 kJ/kg. Es por ello que la eficiencia energética se aproxima a un valor del 99% para tuberías conductoras Tímina (Gutiérrez, 2006).

Por otro lado, el resultado del trabajo de pregrado elaborado por la ingeniera Erika Viviana Prieto Bautista (Bautista, 2017), en una empresa de lácteos en el departamento de Cagua, Colombia; se desea incrementar la eficiencia energética de las calderas por medio de la recirculación de los condensados generados al interior del proceso productivo. A través de los balances respectivos, la determinación de los parámetros fisicoquímicos del agua de los condensados y la recirculación del condensado, se obtuvo un incremento en la eficiencia energética del 1,31%; pese a que el valor de la eficiencia no fuera considerable, se obtuvieron ahorros anuales significativos del consumo de agua y del fuel oil necesarios para la operación de la caldera (Bautista, 2017).

Otros estudios, como la evaluación del sistema energético en el central azucarero quintín bandera y la evaluación del sistema de generación, distribución y consumo de vapor de una empresa cárnica en Camagüey, Cuba, han demostrado que por medio del reconocimiento del proceso productivo se han identificado sistemas y equipos que propician la pérdida de eficiencia en las calderas. El primero de ellos, propone disponer de un colector de vapor con las características idóneas para evacuar la producción de vapor de las tres calderas, así como el aislamiento térmico en las tuberías y en los equipos consumidores; con ello, se busca disminuir 19291,92 kg/h de pérdidas de vapor (Cortés Falcón et al., 2019). Asimismo, el estudio desarrollado en Cuba reduce las pérdidas en un 92,3% por medio de

aislantes térmicos dispuestos en las tuberías; lo cual es alusivo a un ahorro de 475015,5 litros de agua y 64186,51 litros de combustible (Pérez Sánchez et al., 2021).

Por último, en el instituto técnico de Costa Rica se realizó un análisis de la viabilidad y factibilidad del aprovechamiento de la energía disponible del vapor liberado a la atmósfera mediante indicadores financieros, ambientales y tecnológicos. Los resultados obtenidos demostraron que por medio de la elaboración de los balances se tiene un ahorro energético, para 3 escenarios diferentes, mayores o iguales al 28% y se demostró una reducción de los gases de efecto invernadero (GEI), a comparación de la operación actual (R. M. Abarca, 2021).

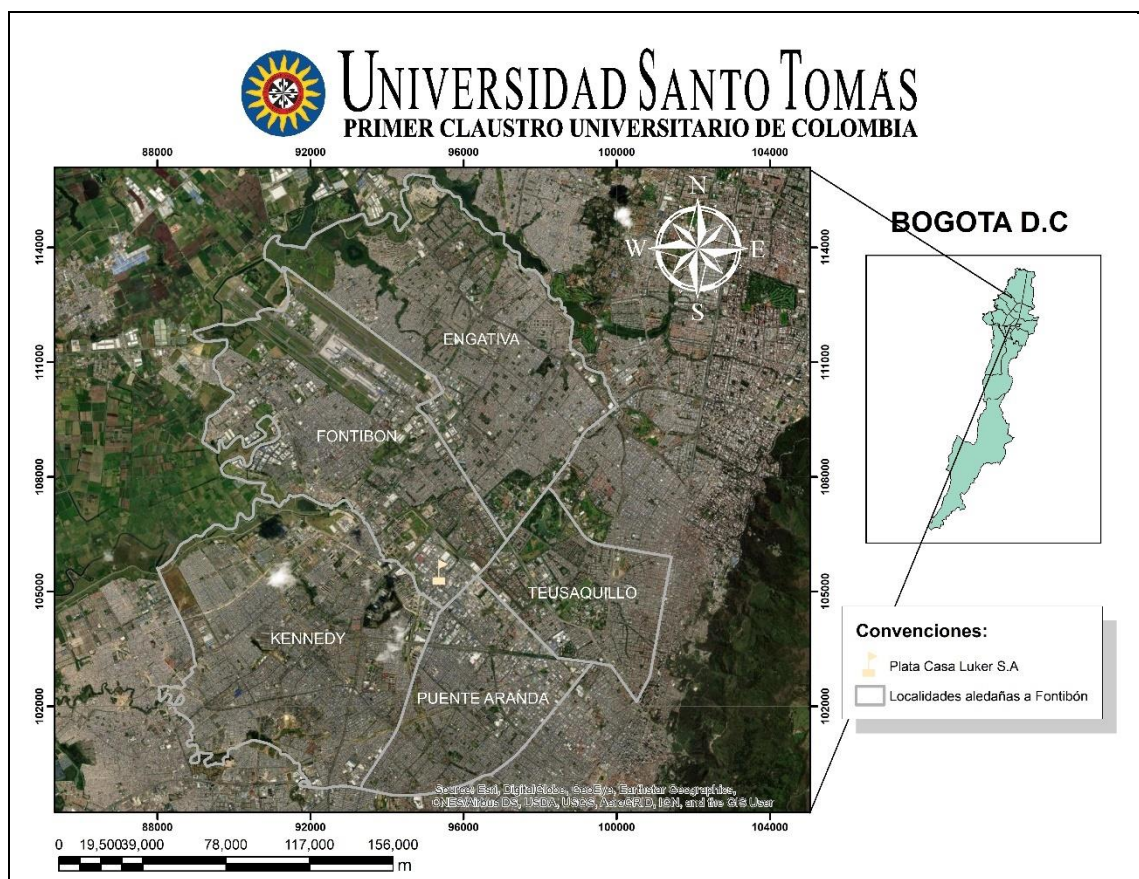
Como se ha podido observar, los estudios orientados al incremento de la eficiencia en las calderas, han demostrado que el reconocimiento del proceso productivo, focalizado a conocer la distribución del uso de vapor, es sustancial para el desarrollo del trabajo, ya que permite identificar los equipos, sistemas y formas de operación que influyen en la eficiencia de las calderas empleadas en cada una de las industrias.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 MARCO CONTEXTUAL

La planta de Casa Luker S.A se encuentra ubicada en la parte noroccidental de la ciudad de Bogotá, exactamente en la localidad de Fontibón; al norte limita con la localidad de Engativá, al sur con la localidad de Kennedy, al suroriente con las localidades de Teusaquillo y Puente Aranda; y al occidente limita con el Río Bogotá, entre los municipios de Funza y Mosquera.

Figura 1 Ubicación planta Casa Luker S.A.



Fuente. Autores

Casa Luker S.A es fundada en 1906 gracias a la elaboración del primer producto de chocolate de mesa en presentación de pastilla; en 1950 nace la marca conocida actualmente como Chocolate Sol y a su vez se construye la fábrica de cacao en Bogotá. Al pasar los años se van incorporando procesos para la elaboración de otros productos derivados del cacao como: cocoa, manteca de cacao y algunos aceites. Para finalizar, en el año 2018 Casa Luker empieza a comercializar

productos de uso masivo como, chocolates de mesa, snacks, café, atún, productos del cuidado personal y del hogar. Asimismo, otra seccional de Luker se dedica principalmente a la comercialización de chocolates con cacaos finos para el mercado internacional (Osorio, 2023).

4.2 MARCO TEÓRICO

Agua de alimentación: es el agua de alimentación de la caldera, habitualmente contiene parte de condensados, químicos suavizantes y agua de reposición (Bautista, 2017).

Agua de reposición: es la cantidad de agua que se debe agregar al sistema para reponer el agua que se ha perdido (Bautista, 2017).

Alcalinidad: es la cantidad de carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos y silicatos o fosfatos en el agua. La alcalinidad del agua de alimentación es importante para poder representar un potencial de depósitos (Bautista, 2017).

Caldera: es un equipo industrial, que a partir de un combustible ya sea líquido, sólido o gaseoso, vaporizan el agua para aplicaciones en la industria (Quevedo, n.d.).

Caldera pirotubular: es el dispositivo de calderas de mayor uso y más económico. El principio de funcionamiento es pasar los humos calientes producto de la combustión del combustible, por la parte interna de los tubos y que posterior a recorrer estos se dirijan a la chimenea para ser liberados a la atmósfera (Colón, 2021).

Condensado: vapor condensado de procesos de energía que no se mezcla con ninguna otra agua (Bautista, 2017).

Conductividad: capacidad del agua para transportar una corriente eléctrica, la cual se relaciona con la cantidad de iones, concentración, movilidad y carga además de la temperatura. Permite controlar la cantidad de sales disueltas en el agua (Ruiz, 2018).

Dureza: cantidad de iones de magnesio y calcio presentes en el agua, esta condición favorece la formación de depósitos e incrustaciones difíciles de quitar sobre las superficies de transferencia de calor de la caldera (Bautista, 2017).

Economizador: los economizadores son intercambiadores de calor de flujo cruzado, su principio de funcionamiento se da para precalentar un líquido a partir de gases de chimenea o gases de combustión (Colón, 2021).

pH: esta es una medida de la alcalinidad o acidez de una solución, a partir de esta se posibilita la prevención de los inconvenientes de corrosión que se da por pH bajo y depósitos por pH alto (Ruiz, 2018).

Purga: este proceso se presenta en la válvula de purga ubicada en el colector de la caldera, en la cual se tiene que extraer un pequeño porcentaje del agua de la caldera (que contiene sólidos disueltos y sedimentos sin disolver) por debajo de la superficie del agua de la caldera; esto se realiza con el fin de que el agua que ingresa a la caldera se encuentre en las mismas condiciones químicas que al interior de la caldera (Bautista, 2017).

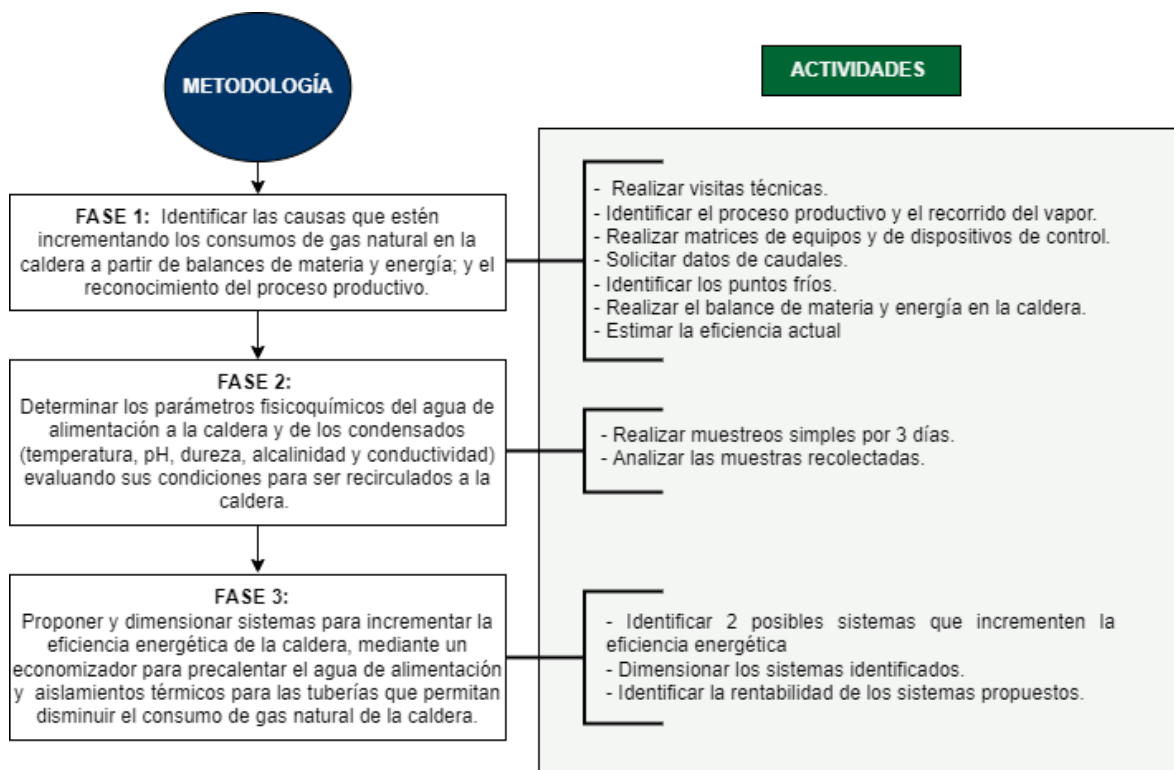
Vapor: Es agua en estado gaseoso, que al suministrar calor su temperatura aumenta hasta que sus moléculas se desequilibran y se vuelve vapor (Bautista, 2017).

Vapor flash: es un tipo de vapor que se forma a partir del condensado cuando se expone a una caída brusca de presión que puede ser ocasionada por equipos como las trampas de vapor; generando en las tuberías un porcentaje en condensados y un porcentaje en vapor flash (TLV, n.d.).

5. METODOLOGÍA

El desarrollo del trabajo se realizó mediante las siguientes etapas:

Figura 2. Metodología para el desarrollo del trabajo



Fuente. Autores

5.1 FASE 1

Para el cumplimiento del primer objetivo específico, se realizaron visitas técnicas con el propósito de conocer el proceso productivo, los equipos empleados, el vínculo con la operación, el funcionamiento de la caldera y sus correspondientes tuberías e intercambiadores de calor. A partir de información primaria se registraron datos de equipos (anexo A y B), dispositivos de control (anexo C), caudales (anexo D), puntos fríos (anexo E), tiempos de operación y demás condiciones requeridas en cada una de las etapas del proceso productivo que involucraban el uso de vapor y la generación de condensados. Posteriormente, se realizaron balances de materia (anexo F) y energía (anexo G) en la caldera Powermaster de 200 BHP utilizada en la planta de producción. Para conocer la eficiencia de la caldera se emplearon los registros de producción de vapor de agua (anexo D) y consumos de GN aportados por la empresa; asimismo, se empleó la ecuación 1 para determinar y registrar de forma horaria la eficiencia de este equipo (Anexo H).

Por otro lado, se identificaron las causas que aumentan el consumo del gas natural mediante el análisis de los datos anteriormente recopilados. Además, se reconoció la normativa ambiental vigente con base en la norma colombiana NTC-ISO 5667-7: gestión ambiental, calidad de agua, muestreo de agua y vapor para calderas; determinando los procedimientos y equipos adecuados para el muestreo de aguas que se realizó en la fase 2.

5.2 FASE 2

Para evaluar las condiciones del agua que se recircula hacia la caldera se llevaron a cabo muestreos simples por 3 días, siguiendo las especificaciones de la NTC-ISO 5667-3: directrices para la preservación y manejo de muestras, la cual indica que para alcalinidad se deben considerar muestras simples y su análisis debe efectuarse en un tiempo no superior a 24 horas. Por otro lado, la dureza tiene un tiempo de preservación superior a un día, pero para efectos de optimización de recursos se analizó bajo la misma temporalidad de la alcalinidad.

La temperatura se midió in situ con un termómetro digital con precisión de 0,01°C. De manera semejante, la conductividad y el pH se midió in situ con un conductímetro Hach.

Las muestras simples se trasladaron a los laboratorios de la Universidad Santo Tomás en Bogotá, para el análisis de alcalinidad por el método potenciométrico 2320 B (anexo I) y dureza, determinada por el método titulométrico EDTA 2340 C (anexo J), establecidos en el libro Métodos Normalizados: Para el Análisis de Aguas Potables y Residuales.

Los resultados obtenidos se pueden consultar en el capítulo 6.2 Fase 2. Diagnóstico del agua empleada en la caldera 200 BHP PowerMaster.

De acuerdo al análisis realizado, bajo los requerimientos del *manual de calderas de vapor o agua caliente Powermaster versión 2012*, se realizaron las recomendaciones pertinentes para mejorar el tratamiento del agua de alimentación de la caldera.

5.3 FASE 3

Conforme la información adquirida en la fase 1 del proyecto, para el incremento de la eficiencia energética se propuso un sistema que permite disminuir los tiempos de calentamiento del agua de alimentación en la caldera (Economizador) y otro que permite conservar el estado del vapor de agua o el condensado en el interior de las tuberías (aislamiento térmico).

Para el dimensionamiento de estos sistemas, se empleó la información recopilada, los balances realizados y un conjunto de ecuaciones que permitieron hallar las condiciones necesarias para la operación de un economizador en la caldera y determinar la cantidad de aislamiento térmico a disponer en las tuberías restantes, para evitar la pérdida de temperatura.

Para finalizar, se estimó el ahorro energético de la implementación de estos sistemas, el cual posteriormente se traduce en pesos colombianos (\$COP) y se evalúa la inversión versus la ganancia; con el propósito de conocer la rentabilidad de los sistemas propuestos.

Por lo anterior, para el desarrollo de la fase 3 se emplearon las siguientes ecuaciones:

5.3.1 Eficiencia energética de una caldera

$$\eta = \frac{Q_{vapor}}{Q_{gas\ natural}} = \frac{\dot{m}_{vapor} * (h_2 - h_1)}{\dot{m}_{combustible} * LHV} * 100 \quad (Ec\ 1)$$

Donde:

$$\dot{m}_{vapor} = \text{Flujo másico del vapor} \left(\frac{kg}{h} \right)$$

$$\dot{m}_{combustible} = \text{Flujo másico del combustible} \left(\frac{kg}{h} \right)$$

$$h = \text{Entalpía} \left(\frac{KJ}{kg} \right)$$

$$LHV = \text{Poder calorífico neto del gas natural}$$

5.3.2 Datos importantes a tener en cuenta en el diseño

Se determina teóricamente el potencial del quemador para hallar el flujo volumétrico de GN, esto se realizó mediante las siguientes ecuaciones:

5.3.2.1 Potencial del quemador.

$$\text{Potencial quemador (kW)} = \frac{\text{Potencia nominal} * \text{Factor de carga} * 9,78}{\text{Eficiencia de la caldera}} \quad (Ec\ 2)$$

5.3.2.2 Flujo volumétrico del GN.

$$\text{Flujo volumétrico GN} = \frac{\text{Potencia quemador}}{\text{PCS Gas Natural}} \quad (\text{Ec } 3)$$

5.3.3 Caracterización de los gases de chimenea

Para conocer el flujo másico de los gases de chimenea, es necesario determinar los siguientes parámetros:

5.3.3.1 Determinación de la humedad del aire comburente.

$$\text{Humedad} = \text{Relación de humedad} \left(\frac{\text{kg de H}_2\text{O}}{\text{kg aire seco}} \right) * \left(\frac{\text{PM aire}}{\text{PM agua}} \right) \quad (\text{Ec } 4)$$

Donde:

$$\text{PM: Peso molar } \frac{\text{kg}}{\text{Kmol}}$$

$$\text{Humedad aire} = A. \text{Total sum} \left(\frac{\text{Kmol aire}}{100 \text{ kg}} \right) * \text{Humedad} \left(\frac{\text{Kmol de H}_2\text{O}}{\text{Kmol aire s}} \right) \quad (\text{Ec } 5)$$

5.3.4 Ahorro en \$COP

Para el ahorro económico era necesario estimar el flujo másico de los gases de chimenea, la presión parcial del vapor, el incremento de la eficiencia y el respectivo ahorro energético y económico. Por lo anterior, se plantean las siguientes ecuaciones:

5.3.4.1 Flujo másico de los gases de chimenea.

$$\dot{m}_{gc} = \dot{m}_{GN} * \text{relación de G. Chimenea} \left(\frac{\text{kg gases de combustión}}{\text{kg combustible}} \right) \quad (\text{Ec } 6)$$

5.3.4.2 Presión parcial del vapor de agua presente en los gases de chimenea para estimar la temperatura de saturación a partir de las tablas de vapor saturado.

$$P_{v \text{ H}_2\text{O}} = \left(\frac{N_v}{N_{prod}} \right) * (P_{prod}) \quad (\text{Ec } 7)$$

$$P_{v \text{ H}_2\text{O}} = \left(\frac{Y}{\sum X + Y + W} \right) * (100 \text{ kPa})$$

Donde:

$P_{v_{H_2O}}$: presión parcial del vapor de agua presente en el producto (kPa).

N_{prod} : es la cantidad de moles de vapor de agua en el producto (mol)(Y).

N_{prod} : cantidad de moles en el producto (mol) $\left(\sum X + Y + W\right)$.

P_{prod} : es la presión de los gases de combustión (kPa), donde el valor es 100 kPa.

5.3.4.3 Incremento de la eficiencia energética en una caldera.

Para determinar el incremento en la eficiencia energética teniendo en cuenta la diferencia de temperatura del agua de alimentación se hace:

$$\eta = \frac{\dot{m}_{Va} * (h_2 - h_{1(90^\circ C)})}{\dot{m}_{Va} * (h_2 - h_{1(75^\circ C)})} \quad (\text{Ec } 8)$$

Donde:

η : Incremento en la eficiencia actual (%)

$\dot{m}_{Va}$: Flujo másico del vapor de agua $\left(\frac{kJ}{kg}\right)$

h_2 : Entalpía a la salida de la caldera $\left(\frac{kJ}{kg}\right)$

$h_{1(85^\circ C)}$: Entalpía a la entrada de la caldera considerando el aumento en W_{Alim} $\left(\frac{kJ}{kg}\right)$

$h_{1(75^\circ C)}$: Entalpía a la entrada de la caldera sin considerar el aumento en W_{Alim} $\left(\frac{kJ}{kg}\right)$

5.3.4.4 Calor específico

$$\dot{Q} = \dot{m} * Cp * \Delta T \quad (\text{Ec } 9)$$

5.3.4.5 Ahorro en el combustible de acuerdo al incremento en la eficiencia.

$$\text{Ahorro de combustible} = \left(\frac{\eta_f - \eta_i}{\eta_f}\right) * 100 \quad (\text{Ec } 10)$$

5.3.4.6 Ahorro energético.

$$\text{Ahorro energético} = \text{PCS del Combustible} * \text{Ahorro Combustible (m}^3\text{)} \quad (\text{Ec 11})$$

5.3.4.7 Ahorro económico.

$$\text{Ahorro económico} = \text{Ahorro de GN (m}^3\text{)} * \$\text{COP por m}^3 \quad (\text{Ec 12})$$

6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

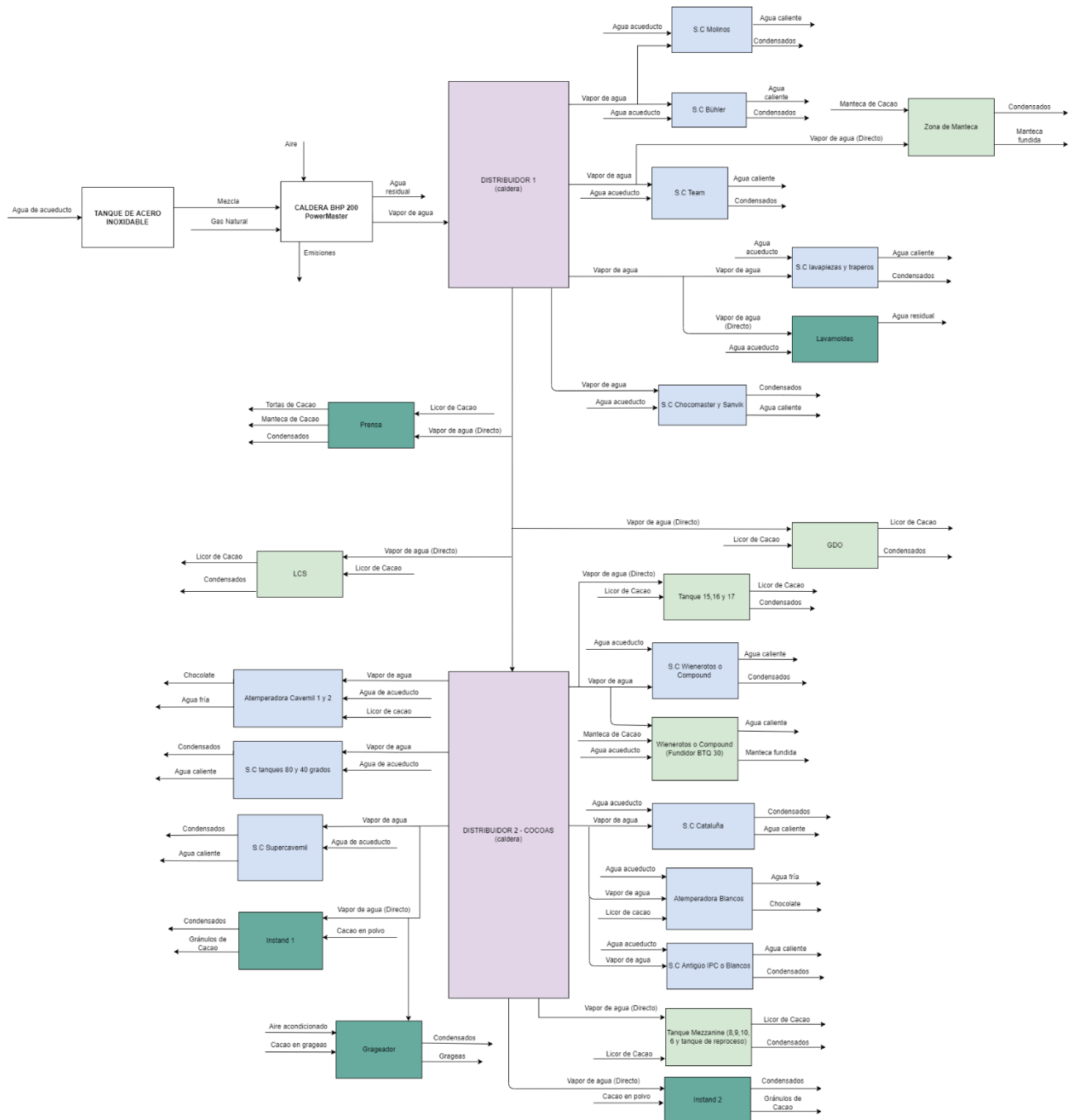
6.1 FASE 1. IDENTIFICACIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO Y EL INCREMENTO DEL GAS NATURAL

6.1.1 Reconocimiento del proceso productivo

Para el desarrollo de esta fase es necesario conocer el proceso productivo, debido a que el vapor de agua producido por la caldera es transportado a otros equipos, donde cumple diferentes funciones y retorna nuevamente a la caldera como condensado. Este reconocimiento es importante, puesto que permitió observar los sistemas y accesorios que promueven la disminución de la eficiencia energética en la caldera.

En las primeras visitas realizadas se identificó todo el proceso productivo, posterior a ello las siguientes visitas se enfocaron en el recorrido realizado por el vapor de agua. En la ilustración 1 se expone el recorrido del vapor de agua y los condensados en la Planta Casa Luker S.A, el cual comienza desde el tanque de acero inoxidable y la caldera. En el tanque de acero inoxidable se almacena el agua de reposición, los condensados y algunos químicos que se unifican en este tanque, para luego ingresar a la caldera y ser evaporada. Una vez el agua de alimentación se ha evaporado, el vapor de agua llega a un primer distribuidor donde se divide el flujo principal hacia las siguientes unidades:

Ilustración 1 Diagrama de bloques del proceso productivo Casa Luker S.A

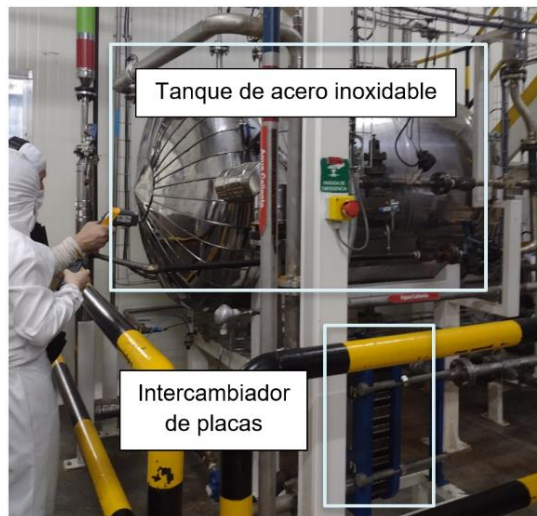


Fuente. Autores

6.1.1.1 Sistemas de calentamiento.

Estos sistemas constan de un tanque de acero inoxidable o acero al carbón y un intercambiador de placas (fotografía 1), en el cual el vapor de agua transfiere la energía térmica al agua que se almacena en el tanque. El agua caliente almacenada cumplirá diversas funciones como dirigirse al enchaquetamiento de los tanques BTQ y de las tuberías para evitar la solidificación del licor de cacao, manteca de cacao y otros derivados; asimismo, el agua caliente, proveniente de los sistemas de calentamiento, se emplea para el lavado de moldes y equipos de aseo.

Fotografía 1. Sistemas de Calentamiento Casa Luker S.A



Fuente. Autores

6.1.1.2 Tanques BTQ.

En los tanques BTQ habitualmente se almacena licor de cacao, manteca de cacao y otros derivados del cacao. Como se ha dado a conocer, estos productos deben conservar una temperatura para evitar su solidificación, es por ello que operan de dos maneras diferentes y varían de acuerdo a su diseño. La primera es mediante el uso de agua caliente, proveniente de los sistemas de calentamiento que, se introduce dentro de la chaqueta del tanque; y la segunda es mediante el uso de un serpentín ubicado en la parte inferior de los tanques (fotografía 2), el cual conduce vapor de agua para elevar la temperatura del agua o aceite dentro de la chaqueta del tanque.

Fotografía 2. Tanques BTQ por serpentín Casa Luker S.A



Fuente. Autores

6.1.1.3 Atemperadoras.

En la fotografía 3 se puede apreciar la atemperadora de la zona de Blancos, la cual emplea agua caliente proveniente de un tanque de acero inoxidable conectado directamente a este sistema. El agua dispuesta en el tanque se calienta mediante la inyección directa del vapor de agua y la atemperadora hace uso del agua caliente o fría, de acuerdo al producto que se desee obtener.

Fotografía 3. Atemperadora Casa Luker S.A



Fuente. Autores

6.1.1.4 Otros sistemas.

En estos sistemas, el vapor de agua brinda propiedades organolépticas al producto y también se emplea para la operación de algunos equipos (fotografía 4).

Fotografía 4. Prensa Casa Luker S.A



Fuente. Autores

Los equipos que hacen parte de este apartado son la prensa, el grageador y el instand. En la unidad de instand (fotografía 5), el vapor de agua rocía el cacao en polvo para formar grumos de mayor grosor; por otro lado, en el grageador el vapor de agua pasa por un intercambiador tubular para elevar la temperatura del aire acondicionado el cual brinda una cobertura brillante a la gragea. Por último, la prensa (fotografía 4) emplea el vapor de agua para comprimir el cacao y extraer dos productos, manteca de cacao y torta de cacao.

Fotografía 5. Instand Casa Luker S.A



Fuente. Autores

6.1.2 Caracterización de la caldera

En la fotografía 6 se puede apreciar la caldera de la empresa Casa Luker S.A, la cual cuenta con un sistema pirotubular y se procedió a profundizar en este sistema.

La caldera de vapor pirotubular se caracteriza por tener un cuerpo cilíndrico de forma horizontal conformada por varias partes como: tubo cañón corrugado en caliente, caja de humos posterior, registro pasa-hombre para acceso a Wetback, tapas delantera y trasera sin refractarios, domo de vapor amplio, base de acero estructural y quemador (*POWERMASTER WB-A2-4P - Termo Dinámica Duncan, n.d.*). En este tipo de caldera, los gases de combustión se dirigen a través de los tubos de humos. Cuando el agua comienza a hervir, se forma vapor. Este vapor transita fuera de la caldera a otras partes del proceso y se agrega agua de reposición para compensar la pérdida de líquido, el nivel de agua dentro de la carcasa siempre debe mantenerse de modo que los tubos queden cubiertos, de lo contrario se podrían dañar por sobrecalentamiento (Pearson, 2000).

Como se mencionó anteriormente, el enfoque del presente proyecto se dirige a la Caldera Pirotubular PowerMaster 200 BHP Modelo WB-A2-4P, véase anexo K. Esta caldera es alimentada por agua del acueducto de Bogotá y agua de condensados proveniente de la recirculación del vapor generado. Algunos factores que afectan el funcionamiento son: la presión, la temperatura, el nivel de agua, las diferencias de densidad del agua y la calidad del agua de alimentación.

Fotografía 6. Caldera PowerMaster 200 BHP Planta Casa Luker S.A



Fuente. Autores

6.1.3 Análisis del consumo del GN versus el vapor consumido

Para el análisis del consumo de GN versus el vapor de agua consumido, se contaba con registros finales del mes de junio, registros completos para el mes de julio y registros iniciales para el mes de agosto; debido a que la empresa alquiló un contador para el consumo del GN y un medidor de caudal para el vapor de agua, los cuales realizaron un registro remoto horario, durante esta periodicidad. Por lo anterior, se optó por tomar los registros totales para el mes de julio del 2021.

En el gráfico 1 se puede observar que el gas natural consumido es directamente proporcional al vapor de agua consumido (grafico 1), en valores consecutivos, y su relación aproximadamente es 1:30 (tabla 1); sin embargo, es necesario esclarecer que no existe una relación proporcional constante en el flujo de consumos, debido a que la empresa opera de acuerdo a las necesidades de producción, es decir, el requerimiento de vapor de agua no es el mismo para todos los días. Por otro lado, un estudio técnico realizado demuestra que, el combustible resulta ser el parámetro que prácticamente determina el costo de generación de vapor (Asociados, n.d.); es por ello que, las pérdidas de vapor obtenidas en planta se traducen a una pérdida de combustible.

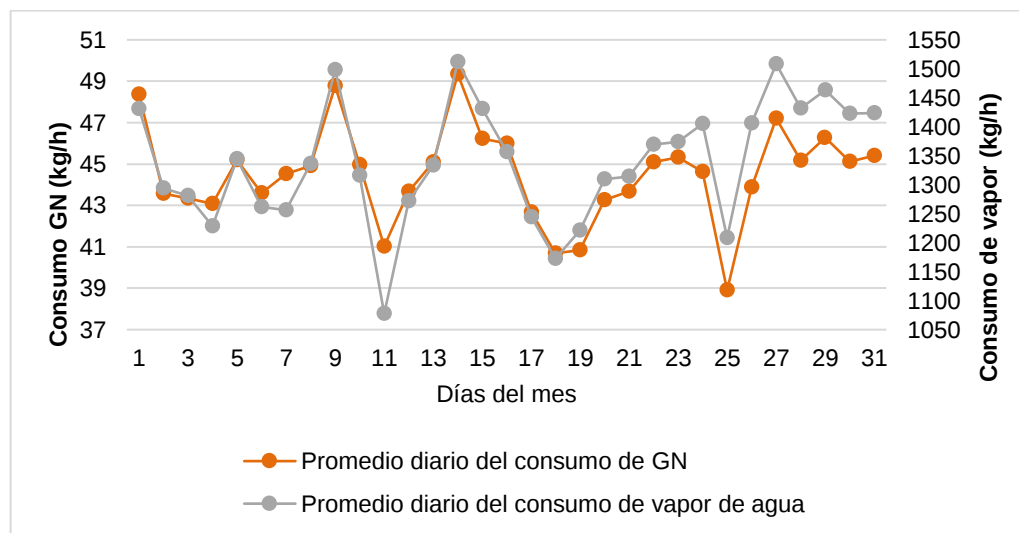
Tabla 1 Relación de consumos

RELACIÓN DE LOS CONSUMOS			
Días del mes	Promedio diario del consumo de GN	Promedio diario del consumo de vapor de agua	Relación proporcional
1	48,36	1430,91	29,59
2	43,57	1294,00	29,70
3	43,34	1281,20	29,56
4	43,08	1228,60	28,52
5	45,20	1344,59	29,74
6	43,61	1261,67	28,93
7	44,52	1256,15	28,21
8	44,90	1336,27	29,76
9	48,78	1498,59	30,72
10	44,98	1316,09	29,26
11	41,03	1077,52	26,26
12	43,69	1271,87	29,11
13	45,09	1333,28	29,57
14	49,35	1512,19	30,65
15	46,23	1431,25	30,96
16	46,00	1356,23	29,48
17	42,66	1244,16	29,16
18	40,68	1172,91	28,83

19	40,84	1221,44	29,91
20	43,27	1309,33	30,26
21	43,69	1314,45	30,09
22	45,09	1368,99	30,36
23	45,32	1373,90	30,32
24	44,63	1404,94	31,48
25	38,90	1208,26	31,06
26	43,88	1405,83	32,04
27	47,22	1508,24	31,94
28	45,17	1432,27	31,71
29	46,27	1463,55	31,63
30	45,13	1422,87	31,53
31	45,39	1423,86	31,37
PROMEDIO			30,056

Fuente. Autores

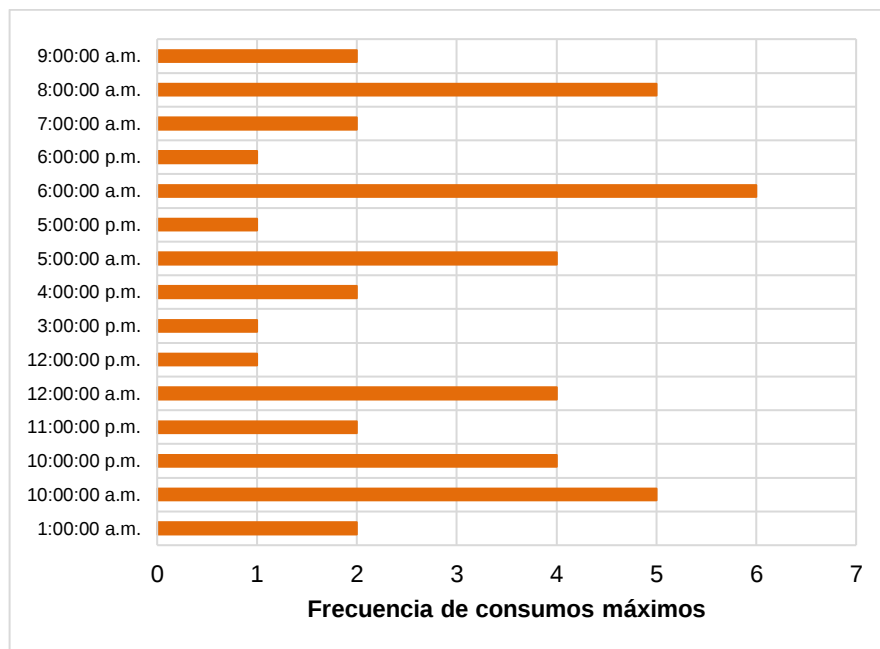
Gráfico 1. Consumos de GN vs vapor de agua en la Planta Casa Luker S.A para el mes de julio del 2021



Fuente. Autores

Por otro lado, en el gráfico 2 se puede apreciar la frecuencia de consumos máximos del GN para este mismo mes; esto se realizó para determinar las horas de mayor producción en planta. Los resultados obtenidos indican que hay mayor productividad para las horas de la mañana, exactamente entre las horas de las 6, 8 y 10 de la mañana. Sin embargo, es importante aclarar que la producción en planta, asimismo como el manejo de los equipos, varía de acuerdo a las cantidades y el tipo de producto solicitado.

Gráfico 2. Frecuencia consumos máximos de GN para el mes de julio del 2021



Fuente. Autores

6.1.4 Factores que incrementan el consumo del gas natural.

De acuerdo a lo mencionado en el apartado anterior, se tiene que una pérdida de vapor de agua en planta es equivalente al aumento del consumo de GN para suplir dicha pérdida, del mismo modo, esto refleja un costo adicional en pesos colombianos (\$ COP) por cada m^3 de GN a compensar. Es por ello que, mediante el recorrido realizado para la identificación del proceso productivo, se logró reconocer deficiencias que promueven la generación del vapor flash y la pérdida energética al interior de la planta. Estas deficiencias se pueden clasificar en:

6.1.4.1 Falta de aislamiento térmico.

El aislamiento térmico es un sistema que permite controlar la transmisión de calor, mediante la disposición de un recubrimiento que aísla la temperatura interna de la externa y otra cubierta que conserva este recubrimiento; la cual, habitualmente es una cobertura delgada de aluminio térmico.

Por lo anterior, la empresa emplea este aislamiento térmico para proteger las tuberías que transportan el vapor de agua y los condensados con el fin de que la energía no se transfiera al ambiente. En el recorrido realizado se encontró que algunas tuberías con aislamiento estaban en mal estado (fotografía 7) o carecían de este; factor que disminuye la eficiencia energética en la caldera, debido a que el vapor al perder energía se condensa y no completa la demanda del proceso

requerido; asimismo, el vapor de agua al ser directamente proporcional al consumo de gas natural, requerirá más vapor y por ende más gas natural para suplir estas deficiencias. Por otro lado, la pérdida de temperatura por parte de los condensados que recirculan al tanque de alimentación; implican un aumento de consumo de combustible, ya que la caldera demandará más combustible para evaporar el agua de alimentación que ingresa a temperaturas inferiores.

Fotografía 7. Alteración al aislamiento térmico



Fuente. Autores

6.1.4.2 Agua de reposición a temperaturas inferiores.

Como se mencionó anteriormente, el agua de alimentación se constituye a partir del agua de reposición, la recirculación de condensados y químicos. El agua de reposición empleada por la empresa, es agua del acueducto de Bogotá, la cual ingresa a temperatura ambiente al tanque de alimentación; lo anteriormente expuesto implica una deficiencia, puesto que el agua de alimentación se ve afectada (fotografía 8), gracias a la diferencia de temperaturas entre el condensado y el agua de reposición.

Fotografía 8. Temperatura del tanque de alimentación



Fuente. Autores

6.2 FASE 2. DIAGNOSTICO DEL AGUA EMPLEADA EN LA CALDERA 200 BHP POWERMASTER

Para el análisis del agua empleada en el proceso productivo de la empresa Casa Luker S.A se tomaron 5 muestras diferentes para evaluar la calidad del agua en cada uno de los puntos y determinar si este factor influye en la eficiencia energética de la caldera PowerMaster 200 BHP. Se optó por este número de muestras, debido a que en el proceso se reconocieron puntos clave que pueden hacer variar los parámetros fisicoquímicos significativamente. La tabla 2 ilustra cada una de las muestras tomadas y las razones por las cuales se consideraron en la toma de muestras.

Tabla 2 Puntos muestreados

PUNTOS DE MUESTRA				
TIPO DE MUESTRA	DESCRIPCIÓN DEL PUNTO	5/10/2021	1/02/2022	3/02/2022
		(10 a.m. a 1 p.m.)	(12 p.m. a 1 p.m.)	(9:30 a.m. a 10:30 a.m.)
AGUA ACUEDUCTO	Se miden los parámetros fisicoquímicos, debido a que la caldera abastece una porción del agua de alimentación con agua del acueducto. Muestra tomada de una manguera alejada al tanque de alimentación.	Se tomó una 1 muestra cada hora, por 3 horas.	Se tomó 1 muestra cada hora, por 2 horas.	

MEZCLA - AGUA DE ALIMENTACIÓN	El agua de alimentación que abastece la caldera, se compone de agua de acueducto, condensados y químicos; es por ello que se optó por extraer una muestra de esta zona, debido a que esta mezcla es la que ingresará a la caldera PowerMaster 200 BHP para posteriormente ser evaporada. Muestra tomada de la parte trasera del tanque de alimentación, mediante el uso de una válvula.	Se tomó una 1 muestra cada hora, por 3 horas.	Se tomó 1 muestra cada hora, por 2 horas. El agua recolectada en estos días presentaba una condición más jabonosa que las muestras anteriormente recolectadas.
MEZCLA (AGUA DE ALIMENTACIÓN) - SEGUNDA ENTRADA	Con el fin de constatar la diferencia entre las muestras del punto trasero y el punto superior. Se toma una muestra de la parte superior del tanque de alimentación, por medio del nivel del tanque. Esto se realiza para determinar si hay una adecuada homogenización al interior del equipo.	Se tomó 1 muestra.	Debido al mantenimiento realizado en el tanque de alimentación, no se encontraba el nivel de agua y es por ello que no se realizó toma de muestra para este punto en estos días.
CONDENSADOS	Se toma una muestra en este punto, debido a que se desea corroborar que no haya una anomalía en el proceso productivo que posiblemente este influyendo en la eficiencia energética de la caldera. Muestra tomada de la válvula de los tanques de condensados.	Se tomó una 1 muestra cada hora, por 3 horas.	Los tanques de condensados carecían de condensado, es por ello que no se tomó muestra para estos días.
PURGA	Esta muestra se tomó para corroborar el comportamiento interno de la caldera. Muestra tomada de la válvula ubicada en la parte trasera de la caldera.	Al momento de extraer el agua, se generaba una gran cantidad de vapor de agua, poca espuma y su color era café oscuro. Se tomó una 1 muestra cada hora, por 3 horas.	Al momento de extraer el agua, se generaba poco vapor de agua, gran cantidad de espuma y su color era acorde a las muestras anteriormente tomadas. Se tomó una 1 muestra cada hora, por 2 horas.

Fuente. Autores

En la tabla 3 se indican los días muestreados y el numeral relacionado para cada una de las gráficas que se ilustrarán a continuación:

Tabla 3 Series de graficas

SERIES DE GRÁFICOS	
NÚMERO	FECHA

1	Martes, 5 de octubre de 2021
2	Martes, 1 de febrero de 2022
3	Jueves, 3 de febrero de 2022

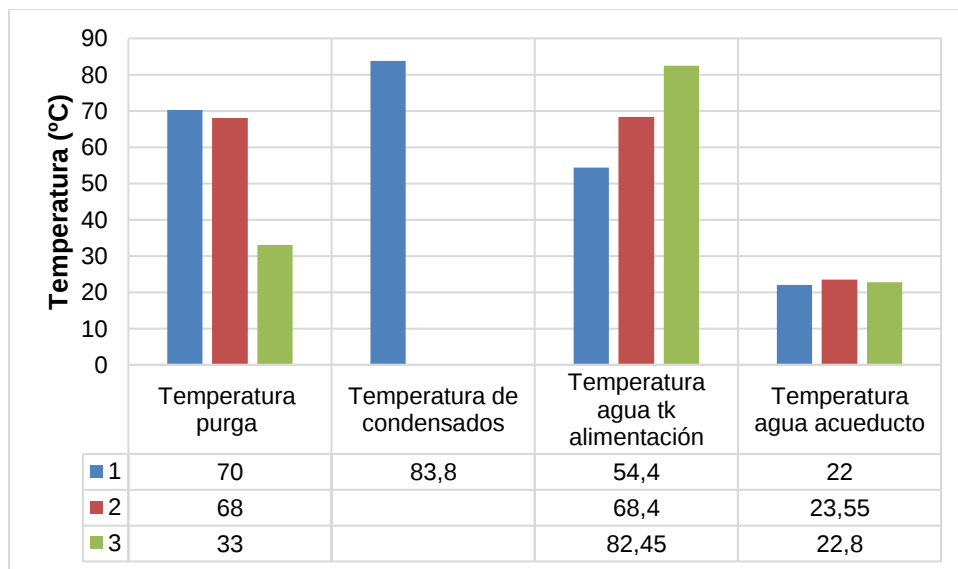
Fuente. Autores

6.2.1 Análisis de parámetros in-situ

6.2.1.1 Temperatura.

Este parámetro es monitoreado, debido a que el agua de alimentación debe conservar una temperatura elevada para que al ingreso de la caldera se llegue al punto de ebullición de manera rápida y así disminuir la transferencia de calor y a su vez el consumo de GN.

Gráfico 3. Temperatura diaria obtenida para los puntos de muestra (°C)



Fuente. Autores

Se observa en la gráfica 3 que las temperaturas guardan relación de acuerdo a lo observado en planta. El agua de reposición que es suministrada por el acueducto ingresa al tanque de alimentación a temperaturas de 22° C aproximadamente, por otro lado, el agua de los condensados se encuentra en un rango de 70 a 80 °C, antes de la mezcla con el agua de reposición y los químicos, lo que conlleva una pérdida de energía por parte de los condensados al momento de ser recirculados al tanque de alimentación, ya que parte de la energía térmica de estos es cedida al

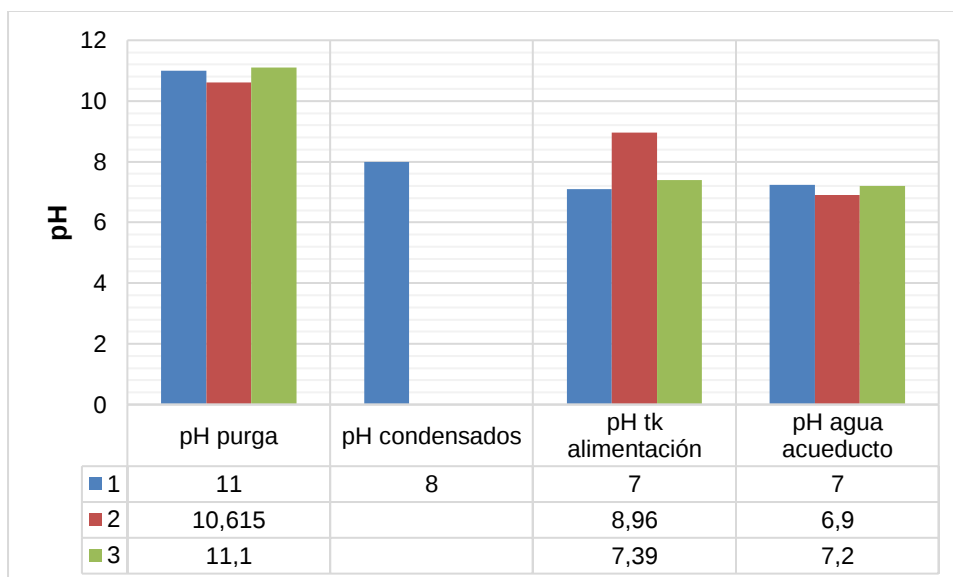
agua de acueducto y a los químicos que se encuentran a temperatura ambiente al interior del equipo.

Asimismo, se puede observar que las temperaturas en el tanque de alimentación han presentado un aumento conforme a los días muestreados, puesto que en los días primero y tercero de febrero del presente año la empresa dispuso un aislamiento térmico para este equipo.

6.2.1.2 pH.

El Potencial de Hidrógeno (pH) sirve para determinar el grado de alcalinidad o acidez de una disolución (Instruments, n.d.). De acuerdo al manual de operación de las calderas PowerMaster, se tiene que el pH indicado para el agua de alimentación de una caldera debe ser superior a 10,5 y menor a 11,5; es decir, el agua de ingreso debe mantener una condición alcalina, ya que esto le permitirá al equipo evitar la corrosión en las partes metálicas, debido a que valores inferiores de pH tienden a facilitar la precipitación de metales como, calcio, hierro y magnesio provocando incrustaciones al interior de la caldera.

Gráfico 4. pH diario obtenido para los puntos de muestra



Fuente. Autores

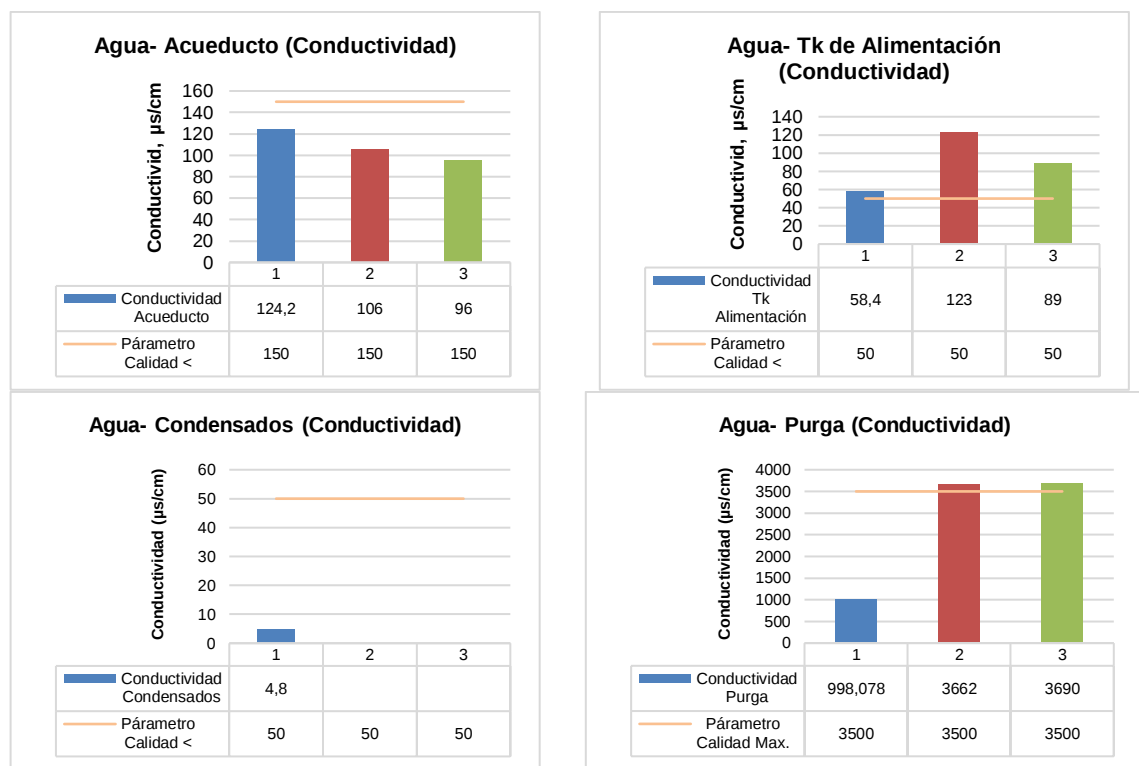
A partir de la gráfica 4 se puede observar que el pH en la purga cumple en los tres días muestreados con el rango establecido. Por otra parte, los puntos de muestra como el tanque de alimentación, condensados y agua de acueducto no cuentan con valores diarios dentro del rango mencionado anteriormente, uno de los motivos de este incumplimiento es la adición del agua de reposición a la mezcla, ya que no es

apta para la caldera y posiblemente la dosificación del químico no permite incrementar el número de hidrogeniones en la mezcla.

6.2.1.3 Conductividad.

La conductividad, es el método utilizado para controlar la concentración de minerales dentro de una solución (Bautista, 2017). En el manual de operación de las calderas PowerMaster no se encuentra establecido este parámetro; sin embargo, no se ignora su importancia debido a que la concentración de minerales en el agua propicia corrosión y/o incrustaciones al interior de la caldera.

Gráfico 5 Conductividad diaria obtenida para los puntos de muestra



Fuente. Autores

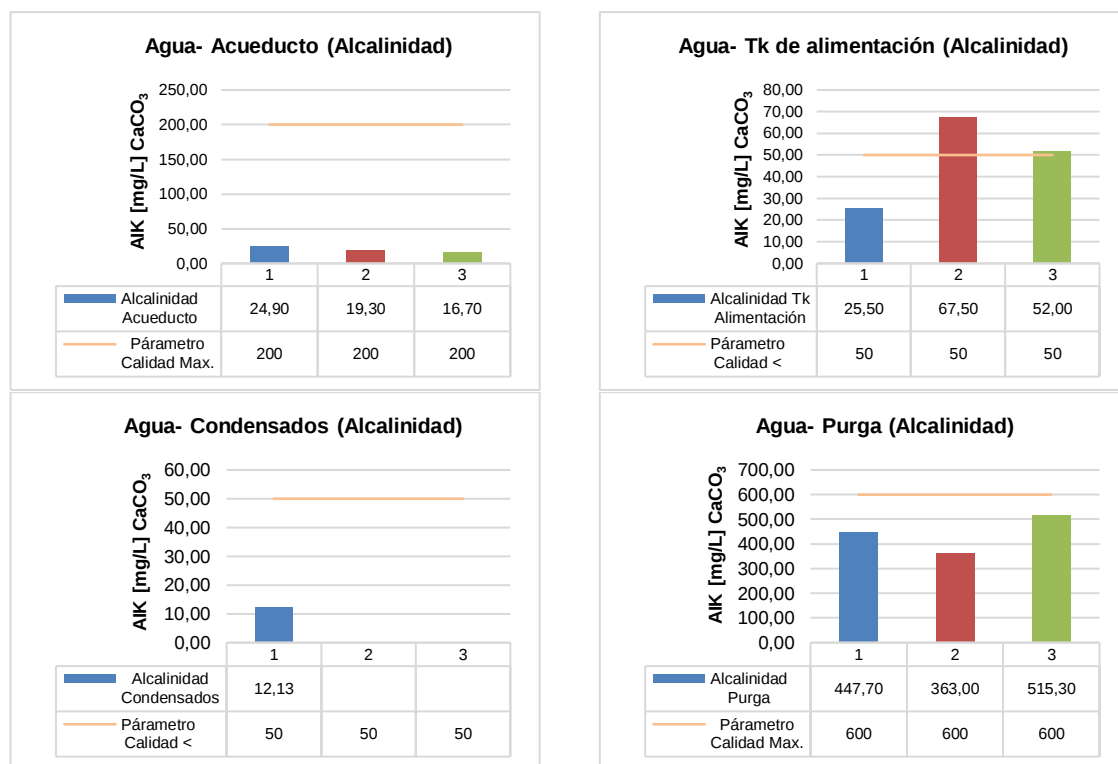
En el gráfico 5 se pueden observar los resultados para cada una de las muestras. Los parámetros de calidad son valores que maneja la empresa Casa Luker para monitorear el estado del agua. Dentro de los resultados obtenidos vs el parámetro de calidad se encontró que el agua de acueducto y el condensado cumple con el valor establecido; sin embargo, los valores hallados para el tanque de alimentación y purga sobrepasan el parámetro de calidad. Por otro lado, de acuerdo a las observaciones realizadas en la tabla número 1 y los resultados obtenidos en el gráfico 5, se puede deducir que el agua de alimentación y la purga cambió significativamente de octubre a febrero.

6.2.2 Análisis de alcalinidad y dureza

6.2.2.1 Alcalinidad.

La alcalinidad es la capacidad para neutralizar ácidos. A diferencia del pH, la alcalinidad expresa cuánto ácido puede absorber una solución sin cambiar el pH. Es esencialmente la capacidad amortiguadora de una solución (Mkthanna, 2020).

Gráfico 6 Alcalinidad diaria obtenida para los puntos de muestra



Fuente. Autores

Conforme a los análisis expuestos en los parámetros in-sitú, se tiene que el pH guarda una relación estrecha con respecto a los valores de alcalinidad total, debido a que (P. Abarca & Dümmer, 2011):

- ✓ pH entre 0 y 6 indica agua ácida.
- ✓ pH igual a 7 indica agua neutra.
- ✓ pH igual 8 y 14 indica agua alcalina.

Como se ha mencionado anteriormente, los parámetros máximos de calidad los ha brindado la empresa Casa Luker para monitorear sus aguas. Por lo anterior, se tiene que los resultados obtenidos e ilustrados para la alcalinidad total (gráfico 6) guardan relación con el pH obtenido en el gráfico 4; un ejemplo de ello es el gráfico de tanque

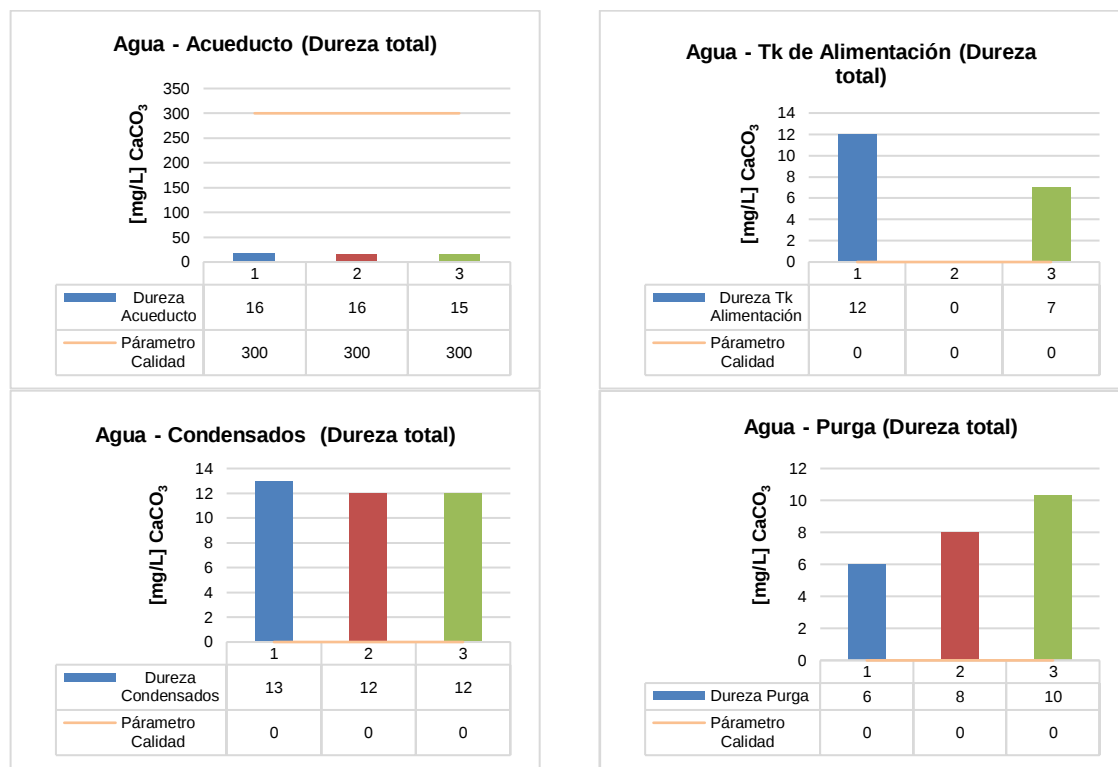
de alimentación y los valores de pH obtenidos en este mismo equipo, se puede observar que el pH para el primero de febrero tiene un valor 8,96 y la alcalinidad total supera los 50 mg/L para esta misma fecha, es por esto que se puede afirmar que los valores hallados por el método titulométrico EDTA 2340 C para alcalinidad total son fiables.

En cuanto a los resultados obtenidos para agua de acueducto, condensados y agua de purga se puede afirmar que estos valores cumplen con el parámetro de calidad, ya que se encuentran por debajo del límite. Cabe aclarar que el agua de acueducto se comparó con la resolución 2115 del 2007 debido a que el agua potable inyectada (agua de reposición) proviene del acueducto.

6.2.2.2 Dureza.

La dureza total se define como la suma de las concentraciones de calcio y magnesio, ambos expresados como carbonato de calcio en miligramos por litro (Rodríguez, 2007). Estas concentraciones favorecen a la formación de depósitos e incrustaciones difíciles de remover sobre las superficies de transferencia de calor de una caldera y por esto se le da la importancia a su análisis. En el manual de operación de las calderas PowerMaster el valor recomendado para una dureza óptima en el agua de alimentación es de cero.

Gráfico 7 Dureza diaria obtenida para los puntos de muestra



En el gráfico 7 se pueden observar los resultados de dureza en [mg/L CaCO₃] para cada uno de los puntos monitoreados, dentro de este se tiene que el valor recomendado tanto para el agua de purga como para el tanque de alimentación y los condensados es cero; debido a que, la dureza favorece a la formación de depósitos e incrustaciones sobre las superficies de transferencia de calor de la caldera. De los mencionados anteriormente, en el tanque de alimentación se obtuvo un resultado de cero en [mg/L CaCO₃] para el primero de febrero del presente año. Por otro lado, el agua del acueducto cumple con el parámetro de calidad, sin embargo, dicho parámetro no está regido bajo el manual de la caldera PowerMaster, pues este se estableció por medio de la resolución 2115 de 2007. Teniendo esto presente, se permite afirmar que los valores del agua de reposición influyen sobre el parámetro mencionado y que su incumplimiento puede generar riesgos a futuro tanto para el funcionamiento de la caldera como para la seguridad y salud en el trabajo.

6.2.3 Otros resultados

Como se observa en la tabla 2 a partir de las visitas realizadas se obtuvo un punto adicional para el agua del tanque de alimentación, es por ello que se procede a analizar los datos de este punto.

6.2.3.1 Análisis de los puntos de agua de alimentación.

Se tomaron muestras en dos puntos diferentes del tanque de alimentación para corroborar que el agua de ingreso a la caldera conserve los mismos valores y haya una adecuada mezcla al interior del equipo.

Los puntos de muestra se pueden apreciar en las fotografías 9 y 10.

Fotografía 9. Punto 1 - Tanque de alimentación



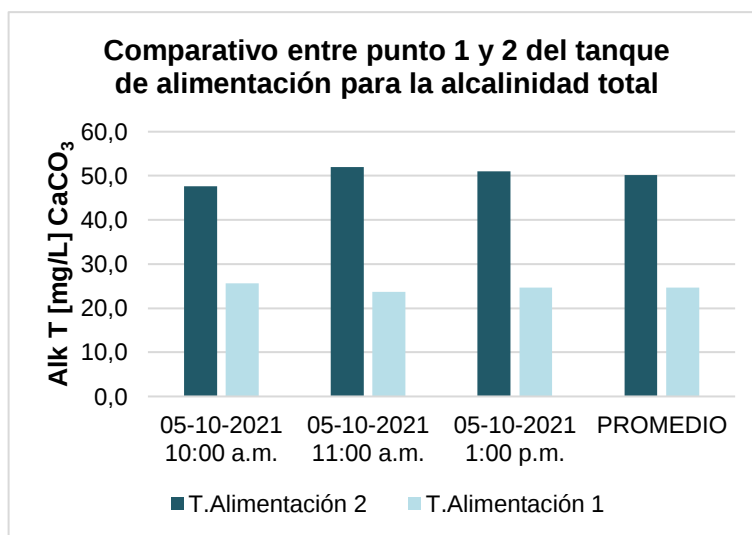
Fuente. Autores

Fotografía 10. Punto 2 - Tanque de alimentación.



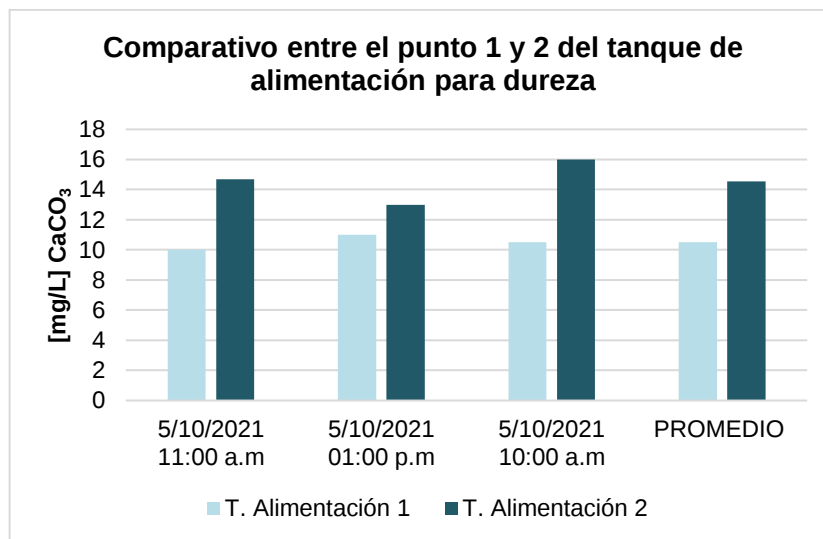
Fuente. Autores

Gráfico 8. Comparativo entre punto 1 y 2 del tanque de alimentación para alcalinidad total



Fuente. Autores

Gráfico 9. Comparativo entre punto 1 y 2 del tanque de alimentación para dureza total



Fuente. Autores

El gráfico 8 y 9 permite observar con mayor facilidad la alcalinidad y dureza total en cada uno de los puntos; acorde a lo anterior, se tiene que los valores tomados en el punto 2 incrementan significativamente con respecto a los valores en el punto 1; esto indica que posiblemente la mezcla contenida en el equipo presenta una inadecuada homogenización, que este afectando a los parámetros anteriormente mencionados y no cumplan con los requerimientos del manual de calderas Powermaster.

6.3 FASE 3. EFICIENCIA ACTUAL Y SISTEMAS A IMPLEMENTAR PARA EL AUMENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA CALDERA 200 BHP POWERMASTER

6.3.1 Eficiencia energética actual de la caldera 200 BHP

Para estimar la eficiencia actual de la caldera 200 BHP PowerMaster empleada en la empresa Casa Luker S.A, se utilizaron registros horarios del combustible, del vapor de agua producido, tablas termodinámicas y los recibos del gas natural para conocer su poder calorífico; una vez recolectados estos datos, se procedió a estimar la eficiencia mediante la ecuación (1).

El aumento o la disminución de la eficiencia energética en una caldera puede variar debido a factores como el agua de alimentación, el combustible empleado, la mezcla aire-combustible y el diseño de la caldera. Por lo general el fabricante de la caldera establece un porcentaje estándar para la eficiencia del equipo, pero también se puede estimar su valor.

Para el cálculo de la eficiencia actual se determinó hora a hora la eficiencia energética y los resultados obtenidos se promediaron para estimar la eficiencia final. Véase anexo H.

A continuación, se ilustró un ejemplo con el primer valor:

$$\eta (26.06.21 \text{ a las } 12 \text{ a.m.}) = \frac{1.550,3 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * (2.767,41 - 314,03) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{116 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * 40.350 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3}} * 100$$

$$\eta (26.06.21 \text{ a las } 12 \text{ a.m.}) = \frac{3'803.475,014 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}}{4'680.600 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}} * 100$$

$$\eta (26.06.21 \text{ a las } 12 \text{ a.m.}) = 0,8126 * 100 \approx 81,26\%$$

6.3.2 Diseño del economizador

6.3.2.1 Datos importantes a tener en cuenta en el diseño.

Para contrastar el valor obtenido por los registros en Casa Lúker S.A y los calculados teóricamente, se tiene que emplear las ecuaciones 2 y 3:

$$\text{Potencial quemador (kW)} = \frac{200 \text{ BHP} * 50\% * 9,78}{65\%}$$

$$\text{Potencial quemador (kW)} = 1956 \text{ kW}$$

Conociendo la potencia del quemador y el poder calorífico del combustible dado por el proveedor (11,208333 kW.h/m³), se determina el flujo volumétrico (ecuación 3) del combustible conforme a la siguiente ecuación:

$$\text{Flujo volumétrico GN} = \frac{1956 \text{ kW}}{11,208333 \frac{\text{kW} \cdot \text{h}}{\text{m}^3}}$$

$$\text{Flujo volumétrico GN} = 174,513 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Tabla 4 Datos de operación de la caldera

DATOS DE OPERACIÓN DE LA CALDERA			
Símbolo	Parámetro	Magnitud	Unidades
P_v	Presión de trabajo	689,47	kPa

T_v	Temperatura de salida del vapor	169	°C
Potencial nominal		200	BHP
Factor de carga		50%	
PCS	Poder calorífico del gas natural	40350	kJ/m3
$\dot{m}_{vapor}$	Flujo másico del vapor	1383	kg/h
$\dot{m}_{purga}$	Flujo másico de la purga	113,49	kg/h
$V_{Combustible}$	Flujo volumétrico del gas natural por formula	141,078	m3/h
	Flujo volumétrico del gas natural según registros	144,1	m3/h
$h_{Alimentación}$	Entalpía del agua de alimentación	314,03	kJ/kg
	P:1 atm T:75 °C		
η	Eficiencia	62%	

Fuente. Autores

6.3.2.2 Caracterización de gases de chimenea de la caldera 200 BHP.

El combustible utilizado en la caldera es gas natural, para conocer la proporción molar de este combustible en kilo moles, se estableció una base de cálculo de 100 kg. La tabla 5 evidencia el porcentaje molar de cada compuesto presentes en el gas natural y este se obtuvo a partir de la Unidad de Planeación Minero Energética (Unidad de Planeación Minero Energética, 2020).

Para el número de moles se obtuvo a partir de la siguiente relación:

$$\begin{aligned} \# \text{ Moles Totales} &\rightarrow 100 \% \text{ Gas Natural} \\ \text{¿? moles} &\rightarrow 98,0595 \% \text{ de } CH_4 \text{ para el Gas Natural} \end{aligned}$$

Es necesario esclarecer que el número de kilo moles totales es una variable a modificar, la cual se despejará posteriormente de acuerdo a la base de cálculo planteada; por el momento se establece un valor hipotético.

$$\begin{aligned} 100 \text{ Kmoles Totales} &\rightarrow 100 \% \text{ Gas Natural} \\ \# \text{ de Kmoles} &\rightarrow 98,0595 \% \text{ de } CH_4 \text{ para el Gas Natural} \end{aligned}$$

$$\# \text{ de Kmoles para } CH_4 = \frac{98,0595 \% * 100 \text{ Moles Totales}}{100 \%}$$

$$\# \text{ de Kmoles para } CH_4 = 98,0595 \text{ moles de } CH_4$$

El peso molecular, contemplado en la fila número 6, se obtuvo a partir de la tabla periódica o el peso molecular estándar de cada compuesto. Para determinar el peso en kilogramos, se multiplica el número de moles totales para cada compuesto por su respectivo peso molecular.

$$\# \text{ Kmoles (Kmol)} * \text{Peso Molecular (PM)} \left(\frac{\text{kg}}{\text{Kmol}} \right) = \text{Peso (kg)}$$

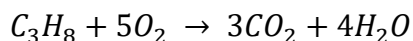
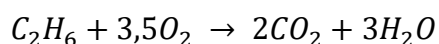
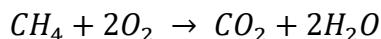
Para finalizar, como se propuso una base de cálculo de 100 kg, mediante la herramienta análisis de hipótesis (buscar objetivo) en Excel, se establece que la sumatoria del peso (kg) tenga un valor de 100 kg, modificando la celda de kilo moles totales. Con respecto a la celda de (%) en peso será la misma que el peso en kg, ya que se emplearán 100 kg de gas natural.

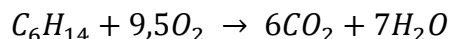
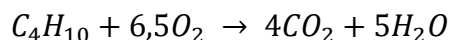
Tabla 5 Composición volumétrica y PM del GN

Kmoles totales para 100 kg de Gas Natural			6,123				
COMPOSICIÓN VOLUMÉTRICA Y PM DEL GN							
Ítem	Componente	Fórmula	Porcentaje Molar (%)	Número de Kmoles (Kmol)	Peso Molecular (PM (kg/Kmol))	Peso (kg)	(%) en Peso
1	Metano	CH ₄	98,0595	6,004	16,043	96,319	96,319
2	Nitrógeno	N ₂	1,4513	0,089	28,013	2,489	2,489
3	Dióxido de carbono	CO ₂	0,1333	0,008	44,009	0,359	0,359
4	Etano	C ₂ H ₆	0,2526	0,015	30,069	0,465	0,465
5	Propano	C ₃ H ₈	0,0471	0,003	44,009	0,127	0,127
6	i-Butano	C ₄ H ₁₀	0,0199	0,001	58,123	0,071	0,071
7	n-Butano	C ₄ H ₁₀	0,0078	0,000	58,123	0,028	0,028
8	i-Pentano	C ₅ H ₁₂	0,0071	0,000	72,149	0,031	0,031
9	n-Pentano	C ₅ H ₁₂	0,0018	0,000	72,149	0,008	0,008
10	Hexano	C ₆ H ₁₄	0,0196	0,001	86,000	0,103	0,103
TOTAL			100	6,123	508,686	100,000	100,000

Fuente. Autores

Cuando el gas natural presenta un proceso de combustión, se tiene que las interacciones estequiométricas serán las siguientes (Colón, 2021):





Una vez balanceadas las reacciones se procede a obtener la cantidad de moles por cada 100 kg de combustible, para cada uno de los productos y reactivos de la combustión del gas natural (Tabla 6).

Tabla 6 Número de moles de acuerdo a las reacciones estequiométricas

NÚMERO DE MOLES DE ACUERDO A REACCIÓN ESTEQUIOMÉTRICA					
Compuesto	O ₂	H ₂ O	CO ₂	N ₂	Kmoles para 100 kg
CH ₄	12,008	12,008	6,004		6,004
N ₂				0,089	0,089
CO ₂				0,008	0,008
C ₂ H ₆	0,054	0,046	0,031		0,015
C ₃ H ₈	0,014	0,012	0,009		0,003
C ₄ H ₁₀	0,008	0,006	0,005		0,001
C ₄ H ₁₀	0,003	0,002	0,002		0,000
C ₅ H ₁₂	0,003	0,003	0,002		0,000
C ₅ H ₁₂	0,001	0,001	0,001		0,000
C ₆ H ₁₄	0,011	0,008	0,007		0,001
TOTAL	12,103	12,086	6,060	0,097	6,123

Fuente. Autores

Posterior a obtener el número de moles totales, se obtiene el oxígeno y nitrógeno teórico y suministrado; el exceso de aire y el aire total suministrado. Se debe tener en cuenta que se empleó un exceso mínimo de combustible de acuerdo a la figura 3, conforme al combustible y al tipo de quemador empleado en la Caldera 200 BHP.

Figura 3 Exceso de aire mínimo

COMBUSTIBLE	TIPO DE QUEMADOR	EXCESO DE AIRE MÍNIMO
Gas Natural	Atmosférico	65 %
	Tipo Anillo	45 %
	Boquillas	10 %
	Bajo exceso de aire	1 %
Petróleo	Atomizado por presión	15 %
	Copa rotativa	22 - 35 %
	Atomizado con vapor o aire	8 - 15 %
Carbón	Parrilla móvil	36 %
	Parrilla fija	36 %
	Pulverizado	8 %

Fuente. (Rol, n.d.)

La Caldera 200 BHP de la empresa opera a gas natural y emplea un quemador de tiro forzado (atmosférico) para la generación de la llama; es por lo anterior que el porcentaje de exceso de aire mínimo empleado será del 65%. Para efectos de la simplificación de la ecuación se pone un factor de 1,65 debido a:

$$O_2 - (O_2 * 0,65) = 1,65$$

Ecuaciones:

$$O_{2teórico} = 12,103 \frac{Kmol}{100 kg}$$

$$O_{2suministrado} = 12,103 \frac{Kmol}{100 kg} * 1,65$$

$$O_{2suministrado} = 19,970 \frac{Kmol}{100 kg}$$

$$Exceso de aire = 19,970 \frac{Kmol}{100 kg} - 12,103 \frac{Kmol}{100 kg}$$

$$Exceso de aire = 7,867 \frac{Kmol}{100 kg}$$

$$N_{2suministrado\ aire} = 19,970 \frac{Kmol\ O_2}{100 kg} * \left(\frac{79\ Kmol\ N_2}{21\ Kmol\ O_2} \right)$$

$$N_{2suministrado\ aire} = 75,126 \frac{Kmol\ N_2}{100 kg}$$

$$N_2\ total\ gases\ combustión = 75,126 \frac{Kmol}{100 kg} + 0,097 \frac{Kmol}{100 kg}$$

$$N_2\ total\ gases\ combustión = 75,223 \frac{Kmoles}{100 kg}$$

$$aire\ total\ suministrado = 75,126 \frac{Kmol\ N_2}{100 kg} + 19,970 \frac{Kmol\ O_2}{100 kg}$$

$$aire\ total\ suministrado = 95,097 \frac{Kmol}{100 kg}$$

Recopilación de los datos obtenidos (Tabla 7):

Tabla 7 Datos recopilados

DATOS RECOPIRADOS		
O teorico	12,103	Kmol/100 kg
O suministrado	19,970	
Exceso de aire	7,867	
N suministrado aire	75,126	
N gases de combustión	75,223	
Aire total suministrado	95,097	

Fuente. Autores

Ahora para determinar la humedad del aire en kilo moles de agua para 100 Kg de gases de combustión se tiene en cuenta la altitud, la humedad relativa y la temperatura del lugar de trabajo.

Para determinar la humedad del aire comburente se halló un factor por tablas psicométricas (anexo L), se emplearon las ecuaciones 4 y 5 y los valores anteriormente descritos. Posterior a ello, se determinó la humedad del aire; una vez es calculado el aire total suministrado por medio de las reacciones estequiométricas del gas natural.

$$Humedad = 0,0075 \left(\frac{kg\ de\ H_2O}{kg\ aire\ seco} \right) * \left(\frac{28,96 \frac{Kg\ de\ aire}{Kmol\ de\ aire}}{18,015 \frac{Kg\ de\ H_2O}{Kmol\ de\ H_2O}} \right)$$

$$Humedad = 0,012 \frac{Kmol\ de\ H_2O}{Kmol\ aire\ seco}$$

$$Humedad\ del\ aire = 95,097 \left(\frac{Kmol\ aire}{100\ kg} \right) * 0,012 \left(\frac{Kmol\ de\ H_2O}{Kmol\ aire\ seco} \right)$$

$$Humedad\ del\ aire = 1,146 \frac{Kmol\ de\ H_2O}{100\ kg}$$

Tabla 8 Determinación de la humedad del aire comburente

DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DEL AIRE COMBURENTE		
Variable	Valor	Unidad
Temperatura ambiente	13,1	°C
Humedad Relativa	80	%
Altitud	2,64	m
Relación de humedad	0,0075	kg de H ₂ O/kg aire seco
PM aire	28,960	kg/Kmol
PM agua	18,015	kg/Kmol
Humedad	0,012	Kmol H ₂ O/ Kmól aire seco
Humedad aire	1,146	Kmol agua/100 kg

Fuente. Autores

Ahora se determina la relación de kilogramos de gases de combustión por kilogramos de combustible.

Tabla 9 Relación de gases de combustión

RELACIÓN DE GASES DE COMBUSTIÓN				
GASES	Kmol/100 kg GN	PM (kg/Kmol)	PM/100 kgGN (1/Kmol)	kg gases/kg combustible
O ₂	7,867	32,000	0,320	2,517
H ₂ O	12,086	18,015	0,180	2,177
CO ₂	6,060	44,010	0,440	2,667
N ₂	75,223	28,013	0,280	21,073
Humedad aire	1,146	18,015	0,180	0,206
SUMATORIA				28,641

Fuente. Autores

Tabla 10 Relación del aire comburente

RELACIÓN DEL AIRE COMBURENTE				
AIRE	Kmol /100 kg GN	PM (Kmol)	PM/100 kgGN (1/Kmol)	kg gases/kg combustible
Humedad aire	1,146	18,015	0,180	0,206
O ₂	19,970	32	0,320	6,390
N ₂	75,223	28,013	0,280	21,073
SUMATORIA				27,670

Fuente. Autores

Una vez determinada la relación de kg gases/kg combustible, se procede a extraer el flujo másico de acuerdo a los datos ilustrados en la tabla 11 y la ecuación 6.

Tabla 11 Flujo másico de gases de combustión

FLUJO MÁSCO DE GASES DE COMBUSTIÓN		
Paramétro	Valor	Unidad
Flujo másico del gas natural en m ³	144,1	m ³ /h
Densidad del gas Natural	0,68	kg/m ³
Flujo másico de combustible en kg	98,55	kg/h
Flujo másico de gases de chimenea	2822,47	kg/h

Fuente. Autores

$$\dot{m}_{gc} = 98,55 \frac{\text{kg combustible}}{h} * 28,641 \frac{\text{kg gases de chimenea}}{\text{kg combustible}}$$

$$\dot{m}_{gc} = 2822,47 \frac{\text{kg gases de chimenea}}{h}$$

6.3.2.3 Punto de rocío de los gases de combustión.

El punto de rocío es la temperatura a la cual se condensan o solidifican el vapor de una muestra de gas a un valor de presión (Martines, 2008). Este valor es importante para el diseño de un economizador, ya que limita la cantidad de calor que este equipo puede recuperar (Rol, n.d.).

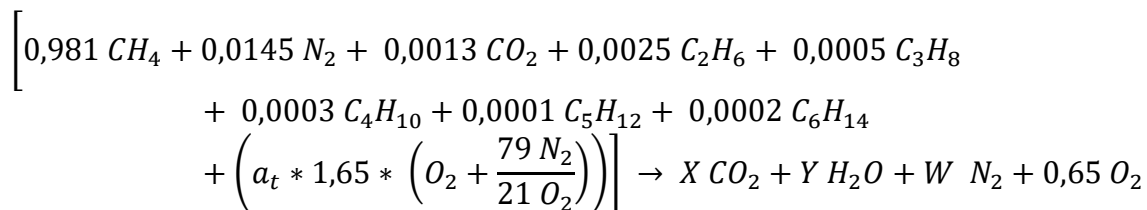
Por lo anterior, se procede a estimar la presión de vapor saturado mediante el porcentaje molar de la (tabla 5) y sus respectivos valores divididos entre la base de cálculo delimitada (tabla 12):

Tabla 12 Compuestos resultantes de la combustión

			Porcentaje x Elemento en			
Fórmula	Porcentaje Molar (%)		C	H	O	N
CH ₄	98,060	0,9806	0,9806	3,9224		
N ₂	1,451	0,0145				0,0290
CO ₂	0,133	0,0013	0,0013		0,0027	
C ₂ H ₆	0,253	0,0025	0,0051	0,0152		
C ₃ H ₈	0,047	0,0005	0,0014	0,0038		
C ₄ H ₁₀	0,028	0,0003	0,0011	0,0028		
C ₅ H ₁₂	0,009	0,0001	0,0004	0,0011		
C ₆ H ₁₄	0,020	0,0002	0,0012	0,0027		
SUMATORIAS			0,9911	3,9479	0,0027	0,0290
De acuerdo a ecuación			X	Y	at	W
			0,9911	1,9739	1,5920	9,8911

Fuente. Autores

Gracias a la tabla 12, se puede observar que los compuestos que participan en la reacción del GN y los compuestos resultantes de la reacción son los siguientes:



De la reacción anterior se tiene que todos los componentes del GN reaccionan en el proceso de la combustión y se consolidan en CO₂, H₂O, N₂ y el exceso de O₂. Para determinar las cantidades de X, Y, W y at se plantean las siguientes expresiones:

$$C \rightarrow X = (0,981 * 1) \text{ CH}_4 + (0,0013 * 1) \text{ CO}_2 + (0,0025 * 2) \text{ C}_2\text{H}_6 + (0,0005 * 3) \text{ C}_3\text{H}_8 + (0,0003 * 4) \text{ C}_4\text{H}_{10} + (0,0001 * 5) \text{ C}_5\text{H}_{12} + (0,0002 * 6) \text{ C}_6\text{H}_{14}$$

$$H \rightarrow 2Y = (0,981 * 4) CH_4 + (0,0025 * 6) C_2H_6 + (0,0005 * 8) C_3H_8 \\ + (0,0003 * 10) C_4H_{10} + (0,0001 * 12) C_5H_{12} + (0,0002 * 14) C_6H_{14}$$

$$H \rightarrow Y = \frac{\sum H}{2}$$

$$O \rightarrow 2X + Y + 2 * 0,65 = 2 * a_t * 1,65$$

$$O \rightarrow 2X + Y + 1,3 = 3,3 * a_t$$

$$O \rightarrow \frac{2X + Y + 1,3}{3,3} = a_t$$

$$N \rightarrow 2W = (0,0145 * 2) N_2 + 2 * a_t * 1,65 * \frac{79 N_2}{21 O_2}$$

$$N \rightarrow W = \frac{(0,0145 * 2) N_2 + 2 * a_t * 1,65 * \frac{79 N_2}{21 O_2}}{2}$$

Mediante la ecuación de la presión parcial del vapor de agua presente en el producto (Ecuación 7) se determina la presión parcial del vapor de agua presente en los gases de combustión (Colón, 2021):

$$P_{v H_2O} = \left(\frac{1,974 \text{ mol}}{0,991 + 1,974 + 9,891 \text{ mol}} \right) * (100 \text{ kPa})$$

$$P_{v H_2O} = \left(\frac{1,974 \text{ mol}}{12,856 \text{ mol}} \right) * (100 \text{ kPa})$$

$$P_{v H_2O} = 15,354 \text{ kPa}$$

Teniendo la presión parcial del vapor de agua presente en el producto, se procede a calcular la temperatura de saturación o punto de rocío a partir de las tablas de vapor saturado (anexo M).

$$T_{pr} = t_{saturada a 15,354 \text{ kPa}} = 54,456 \text{ } ^\circ\text{C}$$

6.3.3 Balance de masa y energía

Para determinar los valores necesarios para el diseño del economizador, se procedió a desglosar el intercambio de calor y los flujos másicos presentes en el sistema caldera-economizador (anexo F - G).

6.3.3.1 Balance de masa.

Para evaluar las posibles entradas y salidas del sistema en kg/h, se tomaron en cuenta algunos datos suministrados por la empresa Casa Luker S.A y otros se despejan del balance realizado contemplado en el anexo F.

Tabla 13 Flujos másicos en la caldera

FLUJOS MÁSICOS DE LA CALDERA			
DATO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Flujo másico de aire	$\dot{m}_{Aire}$	2723,92	$\frac{kg}{h}$
Flujo másico del gas natural	$\dot{m}_{Gn}$	98,55	$\frac{kg}{h}$
Flujo másico de agua de alimentación	$\dot{m}_{WA.Alimentación}$	1496,49	$\frac{kg}{h}$
Flujo másico de purga	$\dot{m}_p$	113,49	$\frac{kg}{h}$
Flujo másico de vapor	$\dot{m}_{Va}$	1383	$\frac{kg}{h}$
Flujo másico de gases de chimenea	$\dot{m}_{gc}$	2822,47	$\frac{kg}{h}$

Fuente. Autores

Los valores subrayados de azul claro, los brinda la empresa y se empleó la conversión de la ecuación 13, para obtener la cantidad de combustible en kg/h.

$$\dot{m}_{Gn} = 144,1 \frac{\text{m}^3}{h} * \left(0,683876 \frac{kg}{\text{m}^3} \right)$$

$$\dot{m}_{Gn} \left(\frac{kg}{h} \right) = 98,55 \frac{kg}{h}$$

Los otros flujos másicos se estimaron de la siguiente manera:

6.3.3.1.1 Flujo másico del aire

$$\dot{m}_{gc} = \dot{m}_{Gn} + \dot{m}_{Aire}$$

$$\dot{m}_{Aire} = \dot{m}_{gc} - \dot{m}_{Gn}$$

$$\dot{m}_{Aire} = 2822,47 \frac{kg}{h} - 98,55 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{m}_{Aire} = 2723,92 \frac{kg}{h}$$

6.3.3.1.2 Flujo másico de la purga.

Para obtener el flujo másico se realizó una búsqueda bibliográfica para calderas pirotubulares, en la cuales mencionaban que el porcentaje de purgas varia de un 4% a 9% del vapor de agua producido. Las tesis revisadas se mencionan en la tabla 14.

Tabla 14 Recopilación datos purga

TESIS	Flujo másico de vapor	Flujo másico de purga	% de purga
Diseño de un intercambiador de calor (economizador) para una caldera pirotubular de 300BHP	3883,16	361,47	9,3%
Propuesta estratégica de gestión energética para reducir el consumo energético de la caldera pirotubular Johnston Boiler de 900BHP de la empresa CNC S.A.C	28656	2667,6	9,3%
Diseño de un sistema de purga automática de fondo y superficie para ahorro y disponibilidad de energía térmica en una caldera pirotubular de 1000 BHP			6,0%
PORCENTAJE DE PURGA			8,2%

Fuente. Autores

Por ende:

$$\dot{m}_p = \dot{m}_{Va} * 8,2\%$$

$$\dot{m}_p = 1383 \frac{kg}{h} * 8,2\%$$

$$\dot{m}_p = 113,49 \frac{kg}{h}$$

6.3.3.1.3 Flujo másico de agua de alimentación.

Para obtener el flujo másico del agua de alimentación se sumó el vapor de agua producido y la purga extraída por hora.

$$\dot{m}_{WA.Alimentación} = \dot{m}_{Va} + \dot{m}_p$$

$$\dot{m}_{WA.Alimentación} = 1383 \frac{kg}{h} + 113,49 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{m}_p = 1496,49 \frac{kg}{h}$$

6.3.3.1.4 Flujo másico de gases de chimenea.

Para obtener este valor, se empleó el procedimiento ilustrado en la tabla de flujo másico de gases de chimenea (Tabla 11).

6.3.3.2 Balance de energía.

A continuación, se describe la transferencia de calor de los gases de chimenea generados en la caldera 200 BHP hacia el agua de alimentación por medio del economizador. Los flujos de transferencia de calor se podrán apreciar de mejor manera en el anexo G.

A partir del anexo anteriormente mencionado, se establece la siguiente igualdad:

$$\dot{Q}_{G.Chimenea_{B \rightarrow E}} = \dot{Q}_{H_2O_{C \rightarrow D}}$$

Como no se presenta cambio de estado de B a E y de C a D, Q estará definido por la ecuación 9:

$$\dot{Q} = \dot{m} * C_p * \Delta T$$

Dado a lo anterior se reemplazó Q, donde la transferencia de calor por los gases de chimenea de B a E, será igual al calor recibido por el agua de alimentación de C a D:

$$\dot{Q}_{G.Chimenea_{B \rightarrow E}} = \dot{Q}_{H_2O_{C \rightarrow D}}$$

$$\begin{aligned} \dot{m}_{gc} * C_{p_{gc}} * (T_B - T_E) \\ = \dot{m}_{A.Alimentación} * C_{p_{H_2O}} * (T_D - T_C) \end{aligned} \quad (Ec \quad 13)$$

Cuando la diferencia entre Ts y Tc, es 0; se obtiene que el calor suministrado por los gases de combustión (158°C a 129°C) asegura el incremento del agua de alimentación de 75°C a 90°C, por el balance planteado.

Los datos conocidos son los siguientes:

Tabla 15 Datos conocidos

DATOS CONOCIDOS			
DATO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Flujo másico de los gases de chimenea	$\dot{m}_{gc}$	2822,47	$\frac{kg}{h}$
Temperatura de gases de chimenea	T_B	158	°C
Flujo másico del agua de alimentación	$\dot{m}_{A.Alimentación}$	1496,49	$\frac{kg}{h}$
Cp del agua	Cp_{H_2O}	4,193	$\frac{kJ}{°C * kg}$
Temperatura del agua de alimentación con el incremento en su temperatura	T_D	90	°C
Temperatura estándar del agua de alimentación	T_C	75	°C

Fuente. Autores

Conforme a la ecuación 13 se despejó T_E , es por ello que teniendo en cuenta que el punto de rocío para los gases de combustión, de acuerdo a ecuación 7 se obtiene a una temperatura de 54,45 °C; es importante mencionar que de acuerdo a una revisión bibliográfica, para el gas natural el punto de rocío ácido se encuentra a los 65°C (figura 4) y se recomienda una temperatura mínima de 121 °C para los gases de chimenea, sin embargo, para garantizar la seguridad de la caldera y del economizador, a los 121°C se le incrementó 5°C de seguridad, obteniendo finalmente una temperatura límite inferior para los gases de chimenea de 126°C.

Figura 4 Temperatura punto de rocío y temperatura mínima en chimenea.

Combustible	Punto Rocío Ácido	Temp. Mínima Chimenea	Temp. Admisible Agua Alimnetación
Gas Natural	65 °C	121 °C	100 °C
Petróleo Liviano	82 °C	135 °C	100 °C
Petróleo Bajo Azufre	93 °C	148 °C	104 °C
Petróleo Alto Azufre	110 °C	160 °C	115 °C

Fuente. Autores

A partir de la tabla de análisis de los gases de combustión (tabla 16) se obtiene el factor de kmol/kg mezcla para cada uno de los compuestos presentes en los gases de combustión. Por medio del producto entre la fracción de volumen y peso molar se tiene como resultado el peso en kg de compuesto/kmol de mezcla. Por último, la fracción de masas dividida en la sumatoria permite determinar las kmol de compuesto/kg mezcla, que permitió hallar el flujo másico por compuesto; por medio del producto entre el flujo másico de los gases de chimenea y cada fracción (tabla 18).

Tabla 16 Análisis de los gases de combustión

ANÁLISIS DE LOS GASES DE CHIMENEA					
Compuesto	Fracción de volumen (Kmol/Kmol de mz)	PM (kg cmpt/Kmol)	Peso (kg cmpt /Kmol mz)	Fracción de masas (kg cmpt /kg de mz)	kmol/kg mz
O2	0,0879	32,0000	2,81	0,0974	0,0030
H2O	0,0760	18,0153	1,37	0,0474	0,0026
CO2	0,0931	44,0100	4,10	0,1419	0,0032
N2	0,7358	28,0134	20,61	0,7134	0,0255
TOTAL	0,9928		28,89	1	

Fuente. Autores

En función de lo anterior, para hallar la temperatura de salida de los gases de chimenea se establecerá una temperatura supuesta (T_s) la cual, permitió determinar los valores del C_p para cada compuesto en la tabla 17, por medio de las tablas de capacidades caloríficas medias para los gases de combustión (anexo N).

Una vez se calculó el C_p para cada uno de los compuestos, se procede a multiplicarlo por su respectivo flujo másico. La sumatoria de los $m \cdot C_p$, se reemplazó en la ecuación 13, con el fin de determinar una temperatura calculada (T_c), que debe ser igual a la temperatura supuesta (T_s), ya que si se cumple la igualdad se estaría asegurando el incremento de la temperatura del agua.

Por lo cual, se realizan las siguientes iteraciones:

Es necesario resaltar que los C_p se extraen de las tablas acorde a la temperatura promedio en $^{\circ}K$, es por ello que se supuso una temperatura de los gases de chimenea de $150^{\circ}C$ y se resuelve por ensayo y error:

$$T_{Promedio} = \left(\frac{158^{\circ}C + 150^{\circ}C}{2} \right) + 273,15$$

$$T_{Promedio} = 427,15^{\circ}K$$

Teniendo la temperatura promedio se procedió a iterar en las tablas (anexo N). Por ende, los valores de C_p (kcal/kmol $^{\circ}K$) a la temperatura promedio para cada uno de los compuestos son:

Tabla 17 Iteraciones

ITERACIONES				
T	Cp N ₂	Cp O ₂	Cp CO ₂	Cp H ₂ O
400	6,991	7,194	9,871	8,185
500	7,07	7,429	10,662	8,415

427,15	7,012	7,258	10,086	8,247
--------	-------	-------	--------	-------

Fuente. Autores

Se procedió a realizar el producto y la sumatoria, como se ilustra en la tabla 18.

Tabla 18 $m \cdot C_p$ de gases de chimenea

$m \cdot C_p$ DE LOS GASES DE CHIMENEA			
Compuesto	Flujo másico por compuesto	$C_p \left(\frac{kCal}{kmol \cdot ^\circ K} \right)$	$m \cdot C_p \left(\frac{kCal}{h \cdot ^\circ K} \right)$
O ₂	8,587	7,234	62,116
H ₂ O	7,427	8,224	61,076
CO ₂	9,097	10,005	91,018
N ₂	71,877	7,004	503,454
$m \cdot C_p$ DE GASES DE CHIMENEA			717,66

Fuente. Autores

Para comprobar T_s con T_c , se reemplazó el $m \cdot C_p$ de acuerdo a la temperatura promedio en ecuación 13 y se despeja T_E o T_c .

$$717,66 \frac{kCal}{h \cdot ^\circ C} * (158 - T_E)^\circ C = 1496,5 \frac{kg}{h} * 4,193 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} * \frac{0,24 KCal}{1 kJ} * (90 - 75)^\circ C$$

$$(158 - T_E)^\circ C = \frac{22589,2 \frac{KCal}{h}}{717,66 \frac{kCal}{h \cdot ^\circ C}}$$

$$158^\circ C - T_E = 31,48^\circ C$$

$$158^\circ C - 31,48^\circ C = T_E$$

$$126,524^\circ C = T_E$$

Debido a que T_s es $150^\circ C$, se puede observar que:

$$T_E \neq T_S$$

Para optimizar los procedimientos anteriormente realizados, se programó una hoja de cálculo en Excel para realizar las iteraciones, obteniendo como resultado lo siguiente:

Se establecen unos valores de entrada, los cuales tienen un valor fijo o, el dato se ingresó de forma manual para observar el comportamiento de T_E y T_C (Tabla 19):

Tabla 19 Descripción de los datos de entrada

COLOR	DESCRIPCIÓN
	Valores fijos que no varían en ningún punto de la iteración.
	Valores que tienen un ingreso manual y pueden ser modificados para observar el comportamiento de la iteración.
	Valor programado en función de la temperatura de ENTRADA para el agua de alimentación.
	Valores estimados a partir de un promedio o un factor de conversión

Fuente. Autores

Tabla 20 Datos de entrada

DATOS DE ENTRADA			
DATO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Flujo másico de gases de combustión	$\dot{m}_{gc}$	2822,47	$\left(\frac{kg}{h}\right)$
Flujo másico de agua de alimentación	$\dot{m}_{WAlimentación}$	1496,49	$\left(\frac{kg}{h}\right)$
Temperatura de ENTRADA de agua de alimentación		75	$(^{\circ}C)$
Temperatura de SALIDA de agua de alimentación		90	$(^{\circ}C)$
C_p de agua de alimentación		4,193	$\left(\frac{kJ}{kg * ^{\circ}C}\right)$
C_p de agua de alimentación		1,0	$\left(\frac{kCal}{kg * ^{\circ}C}\right)$
Temperatura de entrada de los gases de chimenea		158	$(^{\circ}C)$
Temperatura de salida de los gases de chimenea ($T_{Supuesto}$)		126,513	$(^{\circ}C)$
Temperatura promedio		415,406	$(^{\circ}K)$
Transferencia de calor		31,487	$(^{\circ}C)$

Fuente. Autores

Una vez se tienen los datos de la tabla 20, se procedió a iterar los C_p de los compuestos del gas natural (N_2 , O_2 , CO_2 y H_2O), interpolando con la temperatura promedio anteriormente estimada, en las tablas de capacidades caloríficas medias (anexo N).

Tabla 21 Iteraciones conforme a la temperatura establecida

ITERACIONES				
T	C_p N_2	C_p O_2	C_p CO_2	C_p H_2O
400	6,991	7,194	9,871	8,185
500	7,07	7,429	10,662	8,415
415,406	7,003	7,230	9,993	8,220

Fuente. Autores

Luego de obtener los respectivos C_p , a partir de la tabla de capacidades caloríficas medias, se estima el $\dot{m} * C_p$ de los gases de chimenea. Se realizó el mismo procedimiento anteriormente descrito.

Tabla 22 $\dot{m} * C_p$ gases de combustión final

ANÁLISIS DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN		
m por compuesto (kmol/h)	C_p (KCal/Kmol*°K)	$\dot{m} * C_p$ (KCal/h*°K)
8,5869	7,2302	62,0849
7,4267	8,2204	61,0504
9,0973	9,9929	90,9080
71,8770	7,0032	503,3672
$\dot{m} * C_p$ DE GASES DE CHIMENEA		717,41

Fuente. Autores

Para finalizar, se reemplaza los valores obtenidos en la ecuación 13.

Tabla 23 Balance final

ECUACIÓN DE BALANCE		
$\dot{Q}_{H_2O}$	22589,2	$\frac{kCal}{h}$
$\dot{m} * C_p$ Gases de Combustión	717,410	$\frac{kCal}{h * ^\circ C}$

$158^{\circ}\text{C} - T_E$	31,487	$^{\circ}\text{C}$
$T_E \text{ o } T_C$	126,513	$^{\circ}\text{C}$

Fuente. Autores

Por lo anterior y conforme a las restricciones planteadas en el punto rocío y la temperatura mínima para los gases de chimenea, se tiene una disminución de 158°C a $126,51^{\circ}\text{C}$ en los gases de combustión; esto se traduce en una transferencia de $31,49^{\circ}\text{C}$ para que el agua de alimentación incremente su temperatura de 75 a 90°C .

6.3.4 Aumento tentativo en la eficiencia energética de la caldera 200 BHP

Acorde a los datos obtenidos en los capítulos anteriores, se sabe que la eficiencia energética actual, a una temperatura constante de 75°C para el agua de alimentación, es del $61,85\%$; para estimar el aumento de la eficiencia, conociendo la temperatura a la cual se puede incrementar el agua de alimentación mediante el uso del economizador, se tiene que el aumento en la eficiencia de la caldera estará definido por la ecuación 8:

$$\eta = \frac{1383,0 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * \left(2767,49 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 377,04 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)}{1383,0 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * \left(2767,49 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 314,03 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)}$$

$$\eta = \frac{3'305.992 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{3'393.135 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}$$

$$\eta = 0,97$$

$$\eta = 1 - 0,97$$

$$\eta = 0,0257 \text{ o } 2,57\%$$

Se tiene un incremento en la eficiencia del $2,57\%$, es decir, que la instalación del economizador permite que la caldera aumente su eficiencia energética al $64,42\%$. Por otro lado, este incremento se ve reflejado en un ahorro de combustible y en un ahorro energético, descritos a continuación (ecuación 10):

$$\text{Ahorro de combustible} = \left(\frac{0,6442 - 0,6185}{0,6442} \right) * 100$$

$$\text{Ahorro de combustible} = 3,99\%$$

Y supone un ahorro energético anual de (ecuación 11):

$$\text{Ahorro de energético} = 40350 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3} * \left[\left(144,1 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * \left(\frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} \right) * \left(\frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} \right) \right) * 3,99\% \right]$$

$$\text{Ahorro de energético} = 40350 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3} * \left[1'262.316 \frac{\text{m}^3}{\text{año}} * 3,99\% \right]$$

$$\text{Ahorro de energético} = 40350 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3} * 50326 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$$

$$\text{Ahorro de energético} = 2030.642.504 \frac{\text{kJ}}{\text{año}}$$

Teniendo en cuenta que el precio del gas natural, de acuerdo a los recibos de la empresa, tiene un valor de \$1262,4 COP por metro cúbico, se tiene un ahorro económico (ecuación 12) de:

$$\text{Ahorro económico} = 50326 \frac{\text{m}^3}{\text{año}} * \$1262,4 \frac{\text{COP}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Ahorro económico} = \$ 63'533.235 \frac{\text{\$COP}}{\text{año}}$$

Como resultado se tiene un ahorro anual de 63'533.235 \$COP.

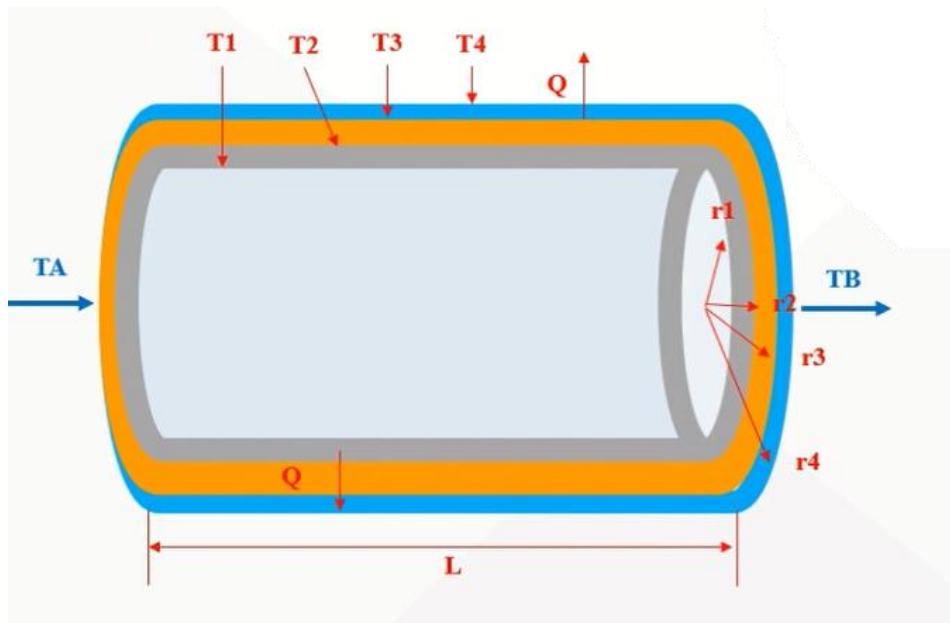
6.3.5 Aislamiento térmico

6.3.5.1 Sistemas de aislamiento térmico.

Como se mencionó, la falta de algunos aislamientos térmicos es una deficiencia encontrada, debido a que las tuberías quedan expuestas directamente al ambiente, en dónde, por efectos de transferencia de calor la energía térmica de las tuberías, al tener una temperatura más alta, intercambian dicha energía con la temperatura ambiente. Por consiguiente, el vapor pierde energía pasando a ser condensado; no siendo aprovechado al máximo, asimismo, el condensado al perder energía llega a temperaturas inferiores a la caldera; promoviendo un aumento en el consumo del gas natural.

Es por ello que se estimó la energía que se pierde al ambiente, gracias a la ecuación de transferencia de calor por conducción en serie para un sistema cilíndrico, que está dada por la figura 5.

Figura 5 Transferencia de calor en un sistema cilíndrico



Autor. (Yunus A., 2013)

Dónde:

$$Q = \frac{T_1 - T_4}{\frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi L K_1} + \frac{\ln \frac{r_3}{r_2}}{2\pi L K_2} + \frac{\ln \frac{r_4}{r_3}}{2\pi L K_3}} \quad (\text{Ec 14})$$

Q : Flujo de calor (W)

TA : Temperatura de ingreso del fluido en el tramo ($^{\circ}\text{C}$)

TB : Temperatura de salida del fluido en el tramo ($^{\circ}\text{C}$)

T_1 : Temperatura interna del fluido ($^{\circ}\text{C}$) ó promedio entre TA y TB .

T_2 : Temperatura externa de la tubería ($^{\circ}\text{C}$)

T_3 : Temperatura externa del aislamiento ($^{\circ}\text{C}$)

T_4 ó TC : Temperatura externa de la cubierta del aislamiento ($^{\circ}\text{C}$)

r_1 : Radio interno de la tubería (mm)

r_2 : Radio externo de la tubería (mm)

r_3 : Radio externo del aislamiento (mm)

r_4 : Radio externo de la cubierta del aislante (mm)

L : Longitud de la tubería (m)

K : Coeficiente de conductividad del material $\left(\frac{W}{m \cdot ^\circ C}\right)$

$\frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi L K_1}$: Coeficiente de resistencia de la tubería

$\frac{\ln \frac{r_3}{r_2}}{2\pi L K_2}$: Coeficiente de resistencia del aislamiento térmico (Lana de vidrio)

$\frac{\ln \frac{r_4}{r_3}}{2\pi L K_3}$: Coeficiente de resistencia de la cubierta

6.3.5.2 Determinación de la transferencia de calor sin aislamiento.

Para estimar la transferencia de calor sin aislamiento se puede emplear la ecuación 9, debido a que la temperatura es cedida de forma radial. Por lo anterior se plantea:

$$\dot{Q} = \dot{m} * C_p * \Delta T$$

Donde:

$$\dot{Q} = \dot{m} * C_p * (T_A - T_B)$$

Conforme a los datos recolectados en la empresa, se tiene que el flujo másico por tramo no se puede determinar debido a la ausencia de algunos medidores, los cuales permiten estimar teóricamente este flujo; es por ello que, se estimó el flujo másico por tramo de los condensados y el vapor de agua para determinar la transferencia de calor sin aislamiento.

6.3.5.2.1 Flujo másico estimado para los condensados.

Para estimar este flujo se planteó la siguiente expresión:

$$\dot{m}_{\text{Condensados}} = \dot{m}_{W.\text{Alimentación}} - (\dot{m}_{\text{Químicos}} + \dot{m}_{W.\text{Acueducto}})$$

El flujo másico de los químicos se tomó del anexo O, debido a que la empresa contaba con el registro de dosificación y el flujo másico del agua de acueducto se tomó de los registros horarios de suministro de agua potable.

$$\dot{m}_{\text{Condensados}} = 1496,49 \frac{kg}{h} - \left(0,3125 \frac{kg}{h} + 415,42 \frac{kg}{h} \right)$$

$$\dot{m}_{\text{Condensados}} = 1080,76 \frac{kg}{h} * \left(\frac{1 h}{3600 s} \right)$$

$$\dot{m}_{\text{Condensados}} = 0,300 \frac{kg}{s}$$

$$\dot{m}_{\text{Condensado}} = \frac{0,300 \frac{kg}{s}}{19 \text{ líneas de producción}} = 0,0158 \frac{kg}{s} \text{ en cda tramo}$$

6.3.5.2.2 Flujo másico estimado para el vapor de agua.

Para estimar este flujo, se divide el flujo másico total del vapor de agua producido en las líneas por las cuales transita el vapor:

$$\dot{m}_{va} = 1383 \frac{kg}{h} * \left(\frac{1 h}{3600 s} \right)$$

$$\dot{m}_{va} = 0,384166 \frac{kg}{s}$$

$$\dot{m}_{va} = \frac{0,384166 \frac{kg}{s}}{15 \text{ líneas de producción}} = 0,0256 \frac{kg}{s} \text{ en cda tramo}$$

6.3.5.2.3 Determinación de TB para condensados y vapor de agua.

De acuerdo a la ecuación 14, se debe contar con la temperatura de salida del fluido (TB), debido a la ausencia de algunos medidores los cuales permiten determinar este valor, se partió de la siguiente igualdad con el fin de calcular TB.

$$\dot{m} * Cp * (TB - TA) = \frac{T_1 - T_4}{\frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi L K_1}}$$

$$\dot{m} * Cp * (TB - TA) = \frac{\left(\frac{TA + TB}{2} \right) - TC}{\frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi L K_1}}$$

Como se puede observar, las expresiones son equivalentes, ya que ambas determinan la transferencia de calor sin aislamiento térmico. De esta igualdad se procede a despejar TB:

$$\frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi L K_1} * (\dot{m} * C_p * (T_B - T_A)) = \frac{T_A}{2} + \frac{T_B}{2} - T_C$$

$$\frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi L K_1} * \dot{m} * C_p * T_B - \frac{T_B}{2} = \frac{T_A}{2} - T_C + \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi L K_1} * \dot{m} * C_p * T_A$$

$$T_B * \left(\frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi L K_1} * \dot{m} * C_p - \frac{1}{2} \right) = \frac{T_A}{2} - T_C + \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi L K_1} * \dot{m} * C_p * T_A$$

(Ec 15)

$$T_B = \frac{\frac{T_A}{2} - T_C + \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi L K_1} * \dot{m} * C_p * T_A}{\frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi L K_1} * \dot{m} * C_p - \frac{1}{2}}$$

Conforme al anexo P y Q, se tienen los valores respectivos de TB, donde TC es igual T2 debido a que es un sistema sin aislamiento térmico. A continuación, se realizó un breve ejemplo con los valores de la fila 1 del anexo P para determinar el valor de TB por medio de la ecuación 15.

$$T_B = \frac{\left(\frac{75}{2} - 40\right)^\circ C + \frac{\ln \frac{1,608 \text{ cm}}{1,270 \text{ cm}}}{2\pi * 2,56 \text{ m} * 50 \frac{\text{W}}{\text{m} * ^\circ C}} * 0,0158 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * 4.184,0 \frac{\text{J}}{\text{kg} * \text{s}} * 75^\circ C}{\frac{\ln \frac{1,608 \text{ cm}}{1,270 \text{ cm}}}{2\pi * 2,56 \text{ m} * 50 \frac{\text{W}}{\text{m} * ^\circ C}} * 0,0158 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * 4.184,0 \frac{\text{J}}{\text{kg} * \text{s}} - 0,5}$$

$$T_B = \frac{-1,046^\circ C}{-0,481}$$

$$T_B = 2,176^\circ C$$

6.3.5.2.4 Transferencia de calor sin aislamiento térmico teniendo TB.

Una vez se estimó TB para cada uno de los tramos, se estima el calor transferido (Q) sin aislamiento térmico, mediante la ecuación 9:

$$\dot{Q} = \dot{m} * C_p * (T_A - T_B)$$

$$\dot{Q} = 0,0158 \frac{kg}{s} * 4.184,0 \frac{J}{kg * ^\circ C} * (75 - 2,176)^\circ C$$

$$\dot{Q} = 4.814,340 \frac{J}{s} \text{ ó } W$$

Mediante el procedimiento anterior descrito, se estimó el calor transferido (Q) sin aislamiento térmico para condensados (anexo P) y el vapor de agua (anexo Q) en cada uno de los tramos que carecían de aislamiento térmico.

6.3.5.3 Determinar transferencia de calor con aislamiento térmico.

Para hallar la transferencia de calor (Q) con aislamiento térmico para condensados y el vapor de agua, se parte de la ecuación de transferencia de calor para un sistema cilíndrico (ecuación 14), sin embargo, para efectos de síntesis de la ecuación, se tiene que el coeficiente de resistencia para la cubierta se cancela, debido a que la resistencia térmica del aluminio se puede despreciar porque es la resistencia de un metal cuyo valor tiende a cero. Por lo anterior, la ecuación resultante es la siguiente:

$$Q(W) = \frac{\left(\frac{T_A + T_B}{2}\right) - T_C}{\frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi L K_1} + \frac{\ln \frac{r_3}{r_2}}{2\pi L K_2}} \quad (\text{Ec} \quad 16)$$

6.3.5.3.1 Determinación de r_3 .

Como se puede observar en la ecuación 16, para determinar la transferencia de calor con aislamiento se requiere el valor de r_3 , es por esto que se obtuvo a partir del siguiente despeje:

$$Q(W) = \frac{T_1 - T_4}{\frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi L K_1} + \frac{\ln \frac{r_3}{r_2}}{2\pi L K_2}}$$

$$\frac{(T_1 - T_4)}{Q(W)} = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi L K_1} + \frac{\ln \frac{r_3}{r_2}}{2\pi L K_2}$$

$$\frac{(T_1 - T_4)}{Q(W)} - \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi L K_1} = \frac{\ln \frac{r_3}{r_2}}{2\pi L K_2}$$

$$2\pi LK_2 * \left(\frac{(T_1 - T_4)}{Q(W)} - \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi LK_1} \right) = \ln \frac{r_3}{r_2}$$

$$e^{2\pi LK_2 * \left(\frac{(T_1 - T_4)}{Q(W)} - \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi LK_1} \right)} = e^{\ln \frac{r_3}{r_2}}$$

$$\frac{e^{2\pi LK_2 * \left(\frac{(T_1 - T_4)}{Q(W)} - \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi LK_1} \right)}}{r_2} = r_3 \text{ Iterado (cm)} \quad (\text{Ec } 17)$$

Para determinar el valor de r_3 , se tiene que recalcular Q asegurando que el diferencial de temperatura sea mínimo, es por esto que:

TA-TB para condensados tendrá una pérdida mínima de 3°C y TA-TB para el vapor de agua tendrá una pérdida mínima de 5°C. Se estableció de esta manera debido a que se buscó un espesor de aislamiento térmico en medidas comerciales.

Los valores respectivos para Q , serán:

$$Q_{\text{Condensado}} = \dot{m} * Cp * (TA - TB)$$

$$Q_{\text{Condensado}} = 0,0158 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * 4.184,0 \frac{\text{J}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}} * (75 - 72)^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{Condensado}} = 198,329 \text{ W}$$

$$Q_{Va} = \dot{m} * Cp * (TA - TB)$$

$$Q_{Va} = 0,0256 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * 2.470 \frac{\text{J}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}} * (169,65 - 164,65)^\circ\text{C}$$

$$Q_{Va} = 316,304 \text{ W}$$

Teniendo el valor de Q se debe aclarar que el diferencial de temperatura ($T_1 - T_4$) corresponde a los siguientes valores:

$$\Delta T_{1-4} = T_1 - T_4$$

T_4 o TC = Temperatura externa de la cubierta del aislamiento (T . Ambiente).

T_1

= Promedio entre la temperatura de salida con pérdida mínima (TB) y la temperatura interna del fluido (TA).

A continuación, se ejemplifico el cálculo de r_3 con los datos de la primera fila del anexo P y la ecuación 17:

$$\frac{e}{1,608 \text{ cm}} = r_{3 \text{ Iterado}}(\text{cm})$$

$$1,812 \text{ cm} = r_{3 \text{ Iterado}}(\text{cm})$$

6.3.5.3.2 Transferencia de calor con aislamiento térmico teniendo r_3 .

Una vez se obtuvo el valor de r_3 , se procede a estimar la transferencia de calor con aislamiento térmico por medio de la ecuación 16. Al igual que en las etapas anteriormente descritas, se realizó un ejemplo:

$$Q(W) = \frac{\left[\left(\frac{75 + 72}{2}\right) - 30\right] ^\circ\text{C}}{\frac{\ln \frac{1,608 \text{ cm}}{1,270 \text{ cm}}}{2\pi * 2,56 \text{ m} * 50 \frac{W}{m * ^\circ\text{C}}} + \frac{\ln \frac{1,812 \text{ cm}}{1,608 \text{ cm}}}{2\pi * 2,56 \text{ m} * 0,034 \frac{W}{m * ^\circ\text{C}}}}$$

$$Q(W) = \frac{43,5 ^\circ\text{C}}{0,000293 \frac{W}{^\circ\text{C}} + 0,219 \frac{W}{^\circ\text{C}}}$$

$$Q(W) = \frac{43,5 ^\circ\text{C}}{0,2193 \frac{W}{^\circ\text{C}}}$$

$$Q(W) = 198,329 W$$

De esta forma se estimó la transferencia de calor con aislamiento térmico para el condensado (anexo P) y el vapor de agua (anexo Q).

6.3.5.4 Espesores por diámetro de tubería.

Como resultado de los cálculos realizados, se obtuvieron las longitudes y el espesor de aislamiento térmico necesario para cada tubería, los cuales están dados por las tablas 24 y 25.

Tabla 24 Espesores y longitudes de acuerdo al diámetro de la tubería para el condensado

ESPESORES Y LÓNGITUDES DE ACUERDO AL DIÁMETRO DE LA TUBERÍA				
Diámetro (in)	Material de la tubería	Espesor del aislante (cm)	r₂ (cm)	Longitud total de aislamiento (m)
3/4	Acero al carbón	0,94	1,240	17,50
1/2	Acero al carbón	2,92	0,912	95,22
1	Acero al carbón	2,13	1,608	59,83
1	Acero inoxidable	0,45	1,547	5,50
2	Acero al carbón	9,39	2,931	81,32

Fuente. Autores

Tabla 25 Espesores y longitudes de acuerdo al diámetro de la tubería para el vapor de agua

ESPESORES Y LÓNGITUDES DE ACUERDO AL DIÁMETRO DE LA TUBERÍA				
Diámetro (in)	Material de la tubería	Espesor del aislante (cm)	r₂ (cm)	Longitud total (m)
3/4	Acero al carbón	5,06	1,240	40,18
1/2	Acero al carbón	6,29	0,912	150,78
1 1/4	Acero al carbón	4,33	1,943	12,66
1	Acero al carbón	2,90	1,608	58,70
2	Acero al carbón	8,49	2,931	68,29

Fuente. Autores

6.3.5.5 Inversión del aislamiento térmico.

Para finalizar, de acuerdo a las tablas 24 y 25 se estima el área por tubería en m² y se multiplica por el costo del m² de aislamiento térmico (lana de vidrio)(Homecenter, n.d.-a); asimismo, se estima el área del recubrimiento del aislamiento (Homecenter, n.d.-b) y se determina su costo en \$COP. Estos procedimientos se realizaron para las tuberías de condensados (tabla 27) y vapor de agua (tabla 28).

Tabla 26 Costo por m² para el aislamiento y el recubrimiento

Costo (m²) \$COP- Aislamiento térmico Lana de Vidrio	\$25.939
Costo (m²) \$COP- Aislamiento térmico recubrimiento	\$10.484

Fuente. Autores

Tabla 27 Costos totales para la disposición de aislamientos térmicos en tuberías de condensado

COSTOS TOTALES PARA LA DISPOSICIÓN DE AISLAMIENTOS TÉRMICOS EN TUBERÍAS DE CONDENSADO										
Diámetro (in)	Esesor del aislante (m)	r2 (m)	Longitud total (m)	Perímetro tubería (m)	Área tubería (m2)	(m2) * costo en \$COP- Aislamiento térmico Lana de Vidrio	Perímetro tubería con aislante (m)	Área tubería con aislamiento (m2)	(m2) * costo en \$COP- Recubrimiento	Costo total
3/4	0,009	0,012	17,50	0,08	1,36	\$35.352	0,06	1,037	\$10.872,161	\$46.224
1/2	0,029	0,009	95,22	0,06	5,46	\$141.500	0,18	17,470	\$183.147,820	\$324.648
1	0,021	0,016	59,83	0,10	6,04	\$156.776	0,13	8,021	\$84.093,938	\$240.870
1	0,005	0,015	5,50	0,10	0,53	\$13.865	0,03	0,157	\$1.644,324	\$15.509
2	0,094	0,029	81,32	0,18	14,98	\$388.468	0,59	47,955	\$502.736,845	\$891.205
Inversión total						\$735.961			\$782.495	\$1.518.456

Fuente. Autores

Tabla 28 Costos totales para la disposición de aislamientos térmicos en tuberías de vapor de agua

COSTOS TOTALES PARA LA DISPOSICIÓN DE AISLAMIENTOS TÉRMICOS EN TUBERÍAS DE VAPOR DE AGUA										
Diámetro (in)	Esesor del aislante (m)	r2 (m)	Longitud total (m)	Perímetro tubería (m)	Área tubería (m2)	(m2) * costo en \$COP- Aislamiento térmico Lana de Vidrio	Perímetro tubería con aislante (m)	Área tubería con aislamiento (m2)	(m2) * costo en \$COP- Recubrimiento	Costo total

3/4	0,051	0,012395	40,18	0,08	3,13	\$81.168	0,32	12,770	\$32.806	\$113.973
1/2	0,063	0,009118	150,78	0,06	8,64	\$224.063	0,40	59,630	\$90.560	\$314.623
1 1/4	0,043	0,019431	12,66	0,12	1,55	\$40.092	0,27	3,447	\$16.204	\$56.296
1	0,029	0,016078	58,70	0,10	5,93	\$153.815	0,18	10,694	\$62.167	\$215.982
2	0,085	0,029311	68,29	0,18	12,58	\$326.224	0,53	36,426	\$131.849	\$458.073
Inversión total						\$825.362			\$333.586	\$957.211

Fuente. Autores

Para el sistema propuesto de aislamiento térmico se tiene una inversión total de 2.475.667 \$COP, los cuales provienen de la sumatoria del costo total de las tablas 27 y 28.

6.3.6 Inversión y ganancia de los sistemas a implementar

Gracias a la información recolectada en la fase 3 (capítulo 6.3), el anexo R y las tablas ilustradas a continuación, se estima el ahorro energético en KJ/año y en \$COP; además se proyecta la ganancia mensual para evaluar el tiempo en el que se recupera la inversión total de los sistemas propuestos.

Tabla 29 Tabla resumen para aislamiento térmico

TABLA RESUMEN		
Fluido	Transferencia de calor (Q) sin aislamiento térmico (W)	Transferencia de calor (Q) con aislamiento térmico (W)
Condensado	61155,90046	4759,887677
Vapor de agua	302464,8364	9805,412375
TOTALES	363620,7369	14565,30005
Poder calorífico del GN (KJ/m3)		40350
\$COP/m3 de GN		1262,4
Energía tentativa a ahorrar con la disposición de aislamientos térmicos en las tuberías faltantes (W o J/s)		349055,44
Energía tentativa a ahorrar con la disposición de aislamientos térmicos en las tuberías faltantes (KJ/s)		349,06
Energía tentativa a ahorrar con la disposición de aislamientos térmicos en las tuberías faltantes (KJ/d)		30158389,7
Energía tentativa a ahorrar con la disposición de aislamientos térmicos en las tuberías faltantes (KJ/año)		11007812256,5
Ahorro en combustible (m3/d)		747,42
Ahorro en combustible (m3/mes)		22422,59
Ahorro mensual en la factura de GN (\$COP/mes)		\$ 28.306.283
Ahorro anual en la factura de GN (\$COP/año)		\$ 339.675.401

Fuente. Autores

De acuerdo a la tabla 29, se tiene que:

6.3.6.1.1 Energía tentativa a ahorrar con la disposición de aislamientos térmicos.

$$\text{Energía tentativa ahorrada (W)} = \sum Q_{\text{sin aislamiento}} - \sum Q_{\text{con aislamiento}}$$

$$\text{Energía tentativa ahorrada (W)} = 363.620,74 \text{ W} - 14.565,30 \text{ W}$$

$$\text{Energía tentativa ahorrada} = 349.055,44 \text{ W}$$

6.3.6.1.2 Ahorro en combustible

$$\text{Ahorro en combustible} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right) = 30'158.389,7 \frac{\text{kJ}}{\text{d}} * \left(\frac{1 \text{ m}^3}{40.350 \text{ kJ}} \right)$$

$$\text{Ahorro en combustible} = 747,42 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

6.3.6.1.3 Ahorro en la factura de GN

$$\text{Ahorro en factura} \left(\frac{\$COP}{\text{mes}} \right) = 22.422,59 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}} * \left(\frac{1.262,4 \$COP}{1 \text{ m}^3} \right)$$

$$\text{Ahorro en combustible} = 28'306.283 \frac{\$COP}{\text{mes}}$$

6.3.6.1.4 Porcentaje de ahorro al mes en la factura

$$\% \text{ Ahorro en la factura} = \frac{\text{Ahorro}}{\text{Costo actual}} * 100$$

$$\% \text{ Ahorro en la factura} = \frac{28'306.283}{118'291.525} * 100$$

$$\% \text{ Ahorro en la factura} = 23,93 \%$$

Tabla 30 Tiempo proyectado para recuperar la inversión del economizador

Inversión total economizador	Ahorro energético en \$COP anual	Ahorro energético en \$COP mensual	Tiempo proyectado para recuperar la inversión		
\$37.850.000	\$63.533.235	\$5.294.436	Mes	1	\$5.294.436
				2	\$10.588.873
				3	\$15.883.309
				4	\$21.177.745
				5	\$26.472.181
				6	\$31.766.618
				7	\$37.061.054
				8	\$42.355.490
				9	\$47.649.926
				10	\$52.944.363
				11	\$58.238.799
				12	\$63.533.235
				13	\$68.827.671

Fuente. Autores

Tabla 31 Tiempo proyectado para recuperar la inversión total

Rentabilidad de las propuestas		
Inversión total aislamiento y economizador	\$40.325.667	\$COP
Ahorro energético total	13038454760,53	kJ/año
Ahorro anual	\$403.208.636	\$COP/año
Ahorro energético mensual	\$33.600.720	\$COP/mes
Ganancia primer año	\$362.882.969	\$COP/año
Tiempo proyectado para recuperar la inversión		
Mes	1	\$33.600.720
	2	\$67.201.439
	3	\$100.802.159
	4	\$134.402.879
	5	\$168.003.598
	6	\$201.604.318
	7	\$235.205.038
	8	\$268.805.757
	9	\$302.406.477
	10	\$336.007.197

	11	\$369.607.916
	12	\$403.208.636
	13	\$436.809.356

Fuente. Autores

7. IMPACTO SOCIAL Y HUMANÍSTICO

En Colombia la contaminación atmosférica ha constituido uno de los principales problemas ambientales, es por ello que se han desarrollado políticas, planes y normativas, las cuales se encargan de monitorear las emisiones (Pulido, 2015). En el sector industrial las emisiones más representativas se derivan del uso de combustibles fósiles, en equipos como calderas industriales y hornos (IDEAM, 2012).

Casa Luker S.A. es una industria que produce chocolate en diferentes presentaciones, está requiere del recurso hídrico como insumo, al igual que el consumo de gas natural como combustible fósil, el cual, es usado por la caldera para la producción de vapor de agua y que es parte fundamental en el proceso productivo.

Conforme a lo anterior, la compañía casa Luker S.A se ve beneficiada con la implementación de los sistemas propuestos, debido a que estos sistemas contribuyen al ahorro energético mediante el aprovechamiento de los gases de chimenea para el precalentamiento del agua del tanque de alimentación; aporte que se ve reflejado en un ahorro energético de 2030'642.504 kJ/años equivalentes a 63'533.235 \$COP/año. Por otro lado, se tiene la propuesta de la implementación de aislamientos térmicos en las tuberías faltantes, iniciativa que permite ahorrar 11.007'812.256,5 kJ/año equivalente a 28'306.283 \$COP mensualmente.

Como se puede observar, las propuestas además de representar un ahorro económico, también son alusivas a una reducción en m³ de gas natural. El porcentaje del combustible ahorrado es del 3,99% para el economizador y para aislamientos térmicos es del 23,93%, es decir, 302.072 m³ de gas natural se ahorrarán al año y de acuerdo a la calculadora de la UPME 555.575 kg de CO₂ (Unidad de Planeación Minero Energética, 2020) dejarán de emitirse este año si se llegase a implementar esta propuesta.

En cuanto al aporte social se tiene que estas propuestas podrían implementarse en sectores manufactureros similares, ya que el uso de calderas industriales contribuye al aporte de emisiones de gases de efecto invernadero y su uso es recurrente para la producción de alimentos y fármacos.

8. CONCLUSIONES

Se estimó que el incremento de la eficiencia energética en la caldera a partir del sistema recuperador de vapor (economizador) es de 2,57% aumentando la eficiencia desde el 61,85%, al 64,42%; pese a que el aumento no presenta un valor elevado, este porcentaje genera ahorros energéticos anuales significativos de 2030'642.504 kJ/año que se traduce en un ahorro económico anual en la facturación de GN de \$63'533.235 \$COP/año. Por otro lado, la energía tentativa a ahorrar con la disposición de aislamientos térmicos en las tuberías de condensados y vapor de agua faltantes es de 349,06 kJ/s lo que conlleva a un ahorro anual de \$339.675.401, el cual, es bastante alto en comparación al costo de la inversión que es de \$2.475.667 para la instalación del sistema propuesto.

La recopilación de información en la fase 1 refleja que la planta de la empresa Casa Luker S.A ubicada en Bogotá, carece de medidores, los cuáles dificultan la cuantificación de los flujos y el monitoreo al interior de la planta. Implementar los controladores faltantes con el transcurso del tiempo, permite establecer proyectos al interior de la institución que minoren el impacto ambiental y asimismo representen un ahorro mediante la optimización de los recursos actuales.

A través del análisis del agua de alimentación de la caldera se determinó que las condiciones del agua de reposición, de los condensados y de la purga, no cumplen con los límites permisibles establecidos para los parámetros de alcalinidad, conductividad, dureza y pH recomendados por el fabricante de la caldera PowerMaster 200 BHP. Lo anterior implica afectaciones a la caldera por incrustaciones de impurezas debido a altos valores de mg/L de CaCo_3 que podrían generar deterioro de la misma y riesgos a la seguridad industrial y salud del personal que trabaja en la planta.

9. RECOMENDACIONES

Para el tratamiento que se le está realizando al agua de alimentación de la caldera 200 BHP, se recomienda el uso de válvulas dosificadoras automatizadas, ya que brindaría control en el suministro de químicos. Además, se recomienda realizar una mezcla previa, con el fin de obtener un fluido homogéneo en todo el tanque de alimentación. Esto se realizaría con el propósito de mejorar la calidad del agua de alimentación, para que se cumplan de forma constante los requerimientos de los parámetros fisicoquímicos.

Se le recomienda a Casa Luker S.A implementar un suavizador de resinas de intercambio iónico, con el fin de darle un tratamiento al agua de alimentación que permita cumplir con los estándares máximos permisibles y a su vez evite incrustaciones en la caldera que pongan en riesgo la seguridad industrial del personal.

Con base a los controladores existentes, se recomienda implementar los medidores faltantes con el transcurso del tiempo, debido a que potencialmente podría favorecer en la implementación de nuevos proyectos al interior de la institución que minoren el impacto ambiental y asimismo representen un ahorro mediante la optimización de los recursos actuales.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Abarca, P., & Dümmer, W. (2011). *Aguas de Alimentación de Calderas*. 18. <http://www.achs.cl/qapub/trabajadores/Capacitacion/CentrodeFichas/Documents/agua-de-alimentacion-de-calderas.pdf>
- Abarca, R. M. (2021). Estudio de viabilidad y factibilidad ambiental, económica y técnica de la estrategia de descarbonización de Cargill, enfocada en la reducción del gasto en Búnker en el área de calderas, Complejo San Rafael, Costa Rica. *Nuevos Sistemas de Comunicación e Información*, 2013–2015.
- American Public Health Association (APHA). (1992). *Métodos normalizados: para el análisis de aguas potables y residuales* (Ediciones).
- Asociados, C. (n.d.). *Costo de Generación de Vapor*.
- Bautista, E. V. (2017). Aumento de la eficiencia energética en las calderas mediante la recirculación de condensados en la industria gloria Colombia planta Cagua (Cundinamarca). *Journal of Chemical Information and Modeling*, 86.
- Calderas - Termo Dinámica Duncan*. (n.d.).
- Colón, N. A. R. (2021). *PIROTUBULAR DE 300BHP Autor Neysser Antonio Restrepo Colón Universidad de Antioquia Facultad de Ingeniería , Departamento de Ingeniería Mecánica*.
- Cortés Falcón, M., Cornes Izquierdo, Y., Alomá Vicente, I., & González Suárez, E. (2019). Evaluación Del Sistema Energético En El Central Azucarero Quintín Bandera. *Centro Azúcar*, 46(3), 66–78.
- Gutiérrez, R. G. (2006). Ahorro Energético Integral En La Fabrica De Cerveza Tímina. *Revista Cubana de Química*, XVIII(1), 166–172.
- Homecenter. (n.d.-a). *Frescasa Eco Foil 3-1_2Pg 15*.
- Homecenter. (n.d.-b). *Yumbolon Aislante Termico 3Mm 1*.
- IDEAM. (2005). *Alcalinidad total por potenciometría*.
- IDEAM. (2012). *Inventario de Gases Efecto Invernadero de la Región Capital*.
- Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (1999). INCROPERA_-
_Transferencia_de_calor.pdf. In *Fundamentos de Transferencia de Calor* (pp. 2–8).

Instruments, H. (n.d.). *pH -HANNA Instruments Colombia*. HANNA Instruments. <https://www.hannacolombia.com/blog/post/447/que-es-el-ph>

Lening Alejandro López & Fredy Argemiro García Pinto. (2020). REVISIÓN ENERGÉTICA Y PLANTEAMIENTO DE MEJORAS EN EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LA ALCALDÍA DE BUCARAMANGA. In *SELL Journal* (Vol. 5, Issue 1).

Martines, E. (2008). Cálculo de la Temperatura de Punto de Rocío a Diferentes Valores de Presión. *Simposio de Metrología, 22 al 24 d*, 1–5.

Mkthanna. (2020). *¿Por qué medir la alcalinidad en el agua potable? | HANNA® instruments México*. <https://hannainst.com.mx/boletines/por-que-medir-la-alcalinidad-en-el-agua-potable/>

Osorio, S. V. (2023). *Diseño de una estrategia organizacional que logre alinear a Casa Luker S.A con los Objetivos de Desarrollo Sostenible para así recibir la*.

Pearson. (2000). Chapter 14 Chapter 14. *LR Lloyd's Register, 100*(July), 1–35.

Pérez Sánchez, A., Reyes Betancourt, Y., González de la Cruz, R., Rodríguez Guerra, Y. B., & Liaño Abascal, N. (2021). Evaluación del sistema de generación y distribución de vapor de una empresa cárnica. *Scientia et Technica*, 26(1), 82–97. <https://doi.org/10.22517/23447214.24495>

POWERMASTER WB-A2-4P - Termo Dinámica Duncan. (n.d.).

Psicometría. (n.d.).

Pulido, A. D. (2015). *cartilla_INGEI.pdf* (p. 36).

Quevedo, A. B. L. (n.d.). *“PROPUESTA DE PROCEDIMIENTO DE SEGURIDAD PARA REALIZAR MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL ÁREA DE CALDERAS DE UNA CERVECERÍA UBICADA EN EL NORTE DE QUITO*.

Rodríguez, C. (2007). Dureza total en agua con EDTA por volumetria. *Ideam*, 02, 1–12.

Rol, E. (n.d.). *La creciente competencia que existe hoy día obliga a las empresas a buscar alternativas para reducir los costos operacionales de sus procesos productivos*.

Ruiz, K. (2018). Validación de métodos de ensayo para determinación de pH, Conductividad, Sólidos Sedimentables, Sólidos Suspendidos y Sólidos disueltos en aguas en el Laboratorio Ambiental Environovalab. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 127.

Sevilleja Aceituno, D., & Soto Martos, F. (2011). *Eficiencia Energética En El Sector Industrial*. 92. http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/13678/PFC_Diego_Sevilleja.pdf;jsessionid=F1B8AF45E8F848D991166382555597C4?sequence=1

TLV. (n.d.). *Vapor Flash | TLV - Compañía Especialista en Vapor (América Latina)*. <https://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/casting-and-forging.html%0Ahttps://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/flash-steam.html>

Unidad de Planeación Minero Energética. (2020). Plan Energético Nacional 2020-2050. *Plan Energético Nacional 2020-2050*, 34. https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/PEN_2020_2050/Plan_Energetico_Nacional_2020_2050.pdf

Yunus A., Ç. (2013). Transferencia de Calor y Masa. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 1(9), 1699. <https://itscv.edu.ec/wp-content/uploads/2019/06/Transferencia-de-calor-y-masa.-Fundamentos-y-aplicaciones-Cuarta-Edición.pdf>

11. ANEXOS

A. ANEXO - IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS ASOCIADOS AL USO DE AGUA Y VAPOR DE AGUA.

Anexo A. Identificación de equipos asociados al uso de agua y vapor de agua

IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS ASOCIADOS AL USO DE AGUA Y VAPOR DE AGUA										
ETAPA	EQUIPOS NECESARIOS	CANTIDAD	NOMBRE TÉCNICO DEL EQUIPO	USO DE AGUA O VAPOR DE AGUA	DESCRIPCIÓN	EN USO	IMAGEN	MATERIAL DEL EQUIPO	TIEMPO PARA CALENTAR	TIEMPO PARA MANTENER LA TEMPERATURA
CALDERAS	Calderas	2	Powermaster 200 BHP	Sí	Caldera utilizada para la producción de vapor de agua. Presenta medidor de entrada a planta de vapor de agua. Alimentación de aire del ambiente y se puede medir la alimentación de la caldera de acuerdo al nivel.	Sí		Acero inoxidable	35 min (Tamb - 180°C)	De vez en cuando paran los fines de semana
			Powermaster 150 BHP	NA	Equipo que no se encuentra en uso	No				
	Distribuidor	1	Tubería compuesta de válvulas	Sí	Tubería y válvulas dispuestas para distribuir el flujo de vapor de agua a cada una de las etapas necesarias. Este distribuidor cuenta con un espacio (Vapor de bolsillo) el cual se encarga de secar y retirar los excesos de humedad para transportar un vapor más seco.	Sí		Acero inoxidable	35 min (Tamb - 180°C)	De vez en cuando paran los fines de semana

	Válvulas	9	Válvulas	Sí	Permiten o restringen el paso del vapor de agua, agua, químicos y condensados	Sí		Acero al carbón	35 min (Tamb - 180°C)	De vez en cuando paran los fines de semana
	Tanque de acero inoxidable	1	Tanque de acero inoxidable	Sí	En este equipo tiene 3 tipos de ingresos que posteriormente se introducen en la caldera (Agua de alcantarillado, una porción de condensados y un químico que trata el agua) Tiene medidor de temperatura y de consumo de agua potable, temperatura de la mezcla sobre los 60°C. Todos los condensados pasan al tanque inoxidable.	Sí		Acero inoxidable	35 min (Tamb - 180°C)	De vez en cuando paran los fines de semana
	Tanque ACPM	1	Tanque ACPM	No	Tanque encargado de almacenar el combustible que ingresa a la caldera Powermaster 200 BHP	No		Ese tanque solo se utiliza en dado caso que el gas natural no llegue a la planta.		
	Bombas automáticas	2	Bombas XXX	Sí	Bombas encargadas de bombear el agua hasta el tanque de acero inoxidable, de acuerdo a un volumen específico.	Sí		NA		
		2	Bombas XXX	Sí	Bombas inhabilitadas, ya que se usaban para la otra caldera.	No		NA		

	Tanque de Químicos (Agua de Alimentación)	1	Tanque de Químicos (Agua de Alimentación)	No		No		NA		
	Intercambiador tubular	1	Intercambiador	Sí	Una vez el vapor de agua se utilizó en el proceso productivo, este pasa a través del intercambiador el cual emplea agua potable para transferir el calor al vapor y obtener posteriormente los condensados, que son almacenados en 2 tanques diferentes.	Sí		Acero inoxidable	1 min (20°C Delta T)	De vez en cuando paran los fines de semana
	Tanques para el almacenamiento de condensados	1	Tanque Verde	Sí	Tanque de XXX dimensiones, que contiene los condensados obtenidos gracias al intercambiador.	Sí		Acero al carbón	1h	De vez en cuando paran los fines de semana
		1	Tanque Naranja	Sí	Tanque de XXX dimensiones, que contiene los condensados obtenidos gracias al intercambiador.	Sí		Acero al carbón	1h	
OBSERVACIÓN										
Se cuenta con temperatura de gases de combustión, presión a la salida de la caldera. En el tanque de acero inoxidable: se cuenta con medidor de temperatura y la presión es ambiente. Hay 2 puntos en los cuales se puede extraer el vapor producido en la caldera, en este punto se puede tomar la temperatura de salida para h2. Hay dos tiempo de purgas (Purgas de fondo y purgas de superficie) salen con un color marrón y los parámetros de conductividad, de acuerdo a los registros que tiene la empresa, sobrepasan la normativa.										
IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS ASOCIADOS AL USO DE AGUA Y VAPOR DE AGUA										

ETAPA	EQUIPOS NECESARIOS	CANTIDAD	USO DE AGUA O VAPOR DE AGUA	DESCRIPCIÓN	EN USO	IMAGEN	MATERIAL DEL EQUIPO
PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE	BTQ 53	1	Agua caliente	Tanque enchaquetado que emplean agua caliente para almacenar el producto a una determinada temperatura.	Sí		Acero inoxidable
	BTQ 54	1	Agua caliente	Tanque enchaquetado que emplean agua caliente para almacenar el producto a una determinada temperatura.	Sí		Acero inoxidable
	BTQ 55	1	Agua caliente	Tanque enchaquetado que emplean agua caliente para almacenar el producto a una determinada temperatura.	Sí		Acero inoxidable
	BTQ 56	1	Agua caliente	Tanque enchaquetado que emplean agua caliente para almacenar el producto a una determinada temperatura.	Sí		Acero inoxidable

	BTQ 57	1	Agua caliente	Tanque enchaquetado que emplean agua caliente para almacenar el producto a una determinada temperatura.	Sí		Acero inoxidable
	BTQ 58	1	Agua caliente	Tanque enchaquetado que emplean agua caliente para almacenar el producto a una determinada temperatura.	Sí		Acero inoxidable
	BTQ 59	1	Agua caliente	Tanque enchaquetado que emplean agua caliente para almacenar el producto a una determinada temperatura.	Sí		Acero inoxidable
	BTQ 105	1	Agua caliente	Tanque enchaquetado que emplean agua caliente para almacenar el producto a una determinada temperatura.	Sí		Acero inoxidable
	BTQ 101	1	Agua caliente	Tanque enchaquetado que emplean agua caliente para almacenar el producto a una determinada temperatura.	Sí		Acero inoxidable

	BTQ 102	1	Agua caliente	Tanque enchaquetado que emplean agua caliente para almacenar el producto a una determinada temperatura.	Sí		Acero inoxidable
	Tanque de acero inoxidable - BTQ 601	1	Sí	Tanque de circuito cerrado que almacena el agua caliente, la cual se distribuye a los tanques BTQ 53 a 102.	Sí		Acero inoxidable
	Trampa de condensados	1	Sí	No permite el paso de vapor. Solo el paso del líquido. Una vez obtenidos los condensados se trasladan a los tanques de condensados para recircularlos.	Sí		Acero inoxidable
	Intercambiador de placas	1	Sí	Este equipo permite transferir la energía del vapor de agua al agua.	Sí		Acero inoxidable

	Tubería enchaquetada		Sí	Tubería que está conformado por un diámetro interno y externo. Por el diámetro externo circula el agua caliente para evitar la solidificación del producto.	Sí		Acero inoxidable y acero al carbón
	Válvulas de regulación	1	Sí		Sí		Acero al carbón
	Válvulas proporcionales de aceite inclinado	1	Sí		Sí		Acero al carbón

OBSERVACIÓN

- En el tanque de acero inoxidable BTQ 601 se cuenta con medidores de presión y temperatura (T=50°C).
- No se registran temperaturas, ni tiempos debido a que estos tanques elevan la temperatura del Cacao mediante agua caliente producida por el S.C Chocomaster.

IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS ASOCIADOS AL USO DE AGUA Y VAPOR DE AGUA

ETAPA	EQUIPOS NECESARIOS	CANTIDAD	NOMBRE TÉCNICO DEL EQUIPO	USO DE AGUA O VAPOR DE AGUA	DESCRIPCIÓN	IMAGEN	MATERIAL DEL EQUIPO	TIEMPO PARA MANTENER LA TEMPERATURA
-------	--------------------	----------	---------------------------	-----------------------------	-------------	--------	---------------------	-------------------------------------

LAVADO DE MOLDES Y LAVAPIEZAS	Lavadero para prelavado	1	Tuberías de inyección	Sí	El agua caliente adquiere la temperatura debido a que se inyecta directamente vapor de agua a el agua. No retorna el vapor de agua, se pierde.		Acero inoxidable	De acuerdo el tiempo de operación (8h)
	Lavador de moldes	2	Tuberías de inyección	Sí	El agua caliente adquiere la temperatura debido a que se inyecta directamente vapor de agua a el agua. Presenta tina 1 (50°C) y tina 2 (51.4°C). No retorna el vapor de agua, se pierde.		Estructura de acero al carbón y cubierta de acero inoxidable.	De acuerdo el tiempo de operación (8h)
	S.C Lavador de piezas	1		Sí	Para lavar las piezas y los traperos se hace uso de un sistema de calentamiento que consta de intercambiador para elevar la temperatura del agua a 60°C.		Acero inoxidable	De acuerdo el tiempo de operación (8h)
	Lavador de traperos	1		Sí				
	Intercambiador de placas	1	Intercambiador de placas	Sí	Este equipo permite transferir la energía del vapor de agua al agua.		Acero inoxidable	Según producto a realizar.

	Trampa de condensados	1	Trampa de condensados	Sí	No permite el paso de vapor. Solo el paso del líquido. Una vez obtenidos los condesados se trasladan a los tanques de condensados para recircularlos.		Acero inoxidable	Según producto a realizar.	
IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS ASOCIADOS AL USO DE AGUA Y VAPOR DE AGUA									
ETAPA	EQUIPOS NECESARIOS	CANTIDAD	NOMBRE TÉCNICO DEL EQUIPO	USO DE AGUA O VAPOR DE AGUA	DESCRIPCIÓN	EN USO	IMAGEN	MATERIAL DEL EQUIPO	TIEMPO PARA MANTENER LA TEMPERATURA
CATALUÑA	Tanque de acero inoxidable	1	Tanque de acero inoxidable	Sí	Usa vapor de agua para calentar el agua necesaria para la tubería de Cataluña y los tres tanques dispuestos en esta zona. Cuenta con medidores de presión y temperatura.	Sí		Acero inoxidable	Según producto a realizar.
	Atemperadoras	2	Hacos 100 - Blancos	Sí		Sí		Acero al carbón	Según producto a realizar.
			Oscuros			Sí		Acero al carbón	Según producto a realizar.
	Tanque de almacenamiento de agua	1		Sí	Tanque que abastece las atemperadoras de agua caliente, cuando lo requieran. Este tanque emplea el vapor de agua directo.	Sí		Acero inoxidable	Según proceso.

	Intercambiador	1	Intercambiador de placas	Sí	Mediante el uso de vapor de agua, eleva la temperatura del agua que será dispuesta en el tanque de acero inoxidable.	Sí		Acero inoxidable	Según producto a realizar.
	Bomba	2	Bomba hidráulica	Sí	Este equipo bombea el agua del acueducto y el agua que ingresará al intercambiador.	Sí		N. A	
	Trampa de condensados	1	Trampa de condensados	Sí	No permite el paso de vapor. Solo el paso del líquido. Una vez obtenidos los condensados se trasladan a los tanques de condensados para recircularlos.	Sí		Acero inoxidable	Según producto a realizar.
	Válvula de aceite inclinado	1	Válvula de aceite inclinado	Sí	Regula la presión del vapor de agua.	Sí		N. A	
	Válvula automática	1	Válvula automática	Sí	Regula la entrada de vapor de agua según lo requerido.	Sí		N. A	
IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS ASOCIADOS AL USO DE AGUA Y VAPOR DE AGUA									
ETAPA	EQUIPOS NECESARIOS	CANTIDAD	NOMBRE TÉCNICO DEL EQUIPO	USO DE AGUA O VAPOR DE AGUA	DESCRIPCIÓN	EN USO	MATERIAL DEL EQUIPO	TIEMPO PARA MANTENER LA TEMPERATURA	
COMPOUND	Tubería de agua caliente		Tubería enchaquetada	Sí	Tubería enchaquetada. Solo la tubería que se encuentra en la parte más baja presenta aislante térmico.	Sí		N. A	
	Fundidor BTQ30	1	Fundidor BTQ30	Sí	El vapor vivo pasa por un serpentín que calienta el agua contenida dentro del diámetro exterior del tanque. Esto permite fundir la manteca contenida (Sucedánea, 3M...)	Sí	Acero al carbón	Según producto a realizar.	

	Tanque BTQ 18	1	BTQ 18	Sí	Tanque de agua caliente que utiliza vapor de agua para incrementar la temperatura del agua	Sí	Acero inoxidable	Según producto a realizar.
	Tanque de la esquina	1	Tanque de calentamiento	Sí	Tanque que contiene un serpentín que transporta vapor de agua a 94,4°C y eleva la temperatura del agua a 52°C. No tiene medidor de presión, misma cantidad de vapor de agua que entra es la misma que sale.	Sí	Acero inoxidable	Según producto a realizar.
TANQUES PRENSA	Tanque 15	1	Tanque de calentamiento	Sí	Tanques de calentamiento que usan aceite en la chaqueta y este se calienta mediante el uso del vapor de agua por serpentín. Algunas de las trampas en esta zona están dañadas.	Sí	Acero inoxidable	Según producto a realizar.
	Tanque 16	1	Tanque de calentamiento	Sí		Sí	Acero inoxidable	Según producto a realizar.
	Tanque 17	1	Tanque de calentamiento	Sí		Sí	Acero inoxidable	Según producto a realizar.
IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS ASOCIADOS AL USO DE AGUA Y VAPOR DE AGUA								
ETAPA	EQUIPOS NECESARIOS	CANTIDAD	NOMBRE TÉCNICO DEL EQUIPO	USO DE AGUA O VAPOR DE AGUA	DESCRIPCIÓN	EN USO	IMAGEN	TIEMPO PARA MANTENER LA TEMPERATURA
ANTIGÜO IPC	Intercambiador de placas	1	Intercambiador de placas	Sí	Mediante el uso de vapor de agua, eleva la temperatura del agua que será dispuesta en el tanque de acero inoxidable.	Sí		Según producto a realizar.

	Válvulas de asiento inclinado	1	Válvulas de aceite inclinado	Sí	Regula la presión del vapor de agua.	Sí		
	Tanques de producto	4		Agua caliente		Sí		
	Tanque de acero inoxidable	1	Tanque de acero inoxidable	Sí	Tanque que almacena el agua caliente (50,1°C)	Sí		Según producto a realizar.
	Trampas de condensado	1	Trampas de condensado	Sí	No permite el paso de vapor. Solo el paso del líquido. Una vez obtenidos los condensados se trasladan a los tanques de condensados para recircularlos.	Sí		Según producto a realizar.
	Bombas	2	Bombas	Sí	Bombas que impulsan el agua caliente a las tuberías	Sí		
	Bombas	2	Bombas	Sí	Bombas que impulsan el agua caliente a los tanques.	Sí		
	BTQ 45	1	Tanque 1	Sí	Tanque enchaquetado que contiene el licor de cacao. La temperatura se eleva mediante el uso de agua caliente del sistema de calentamiento.	Sí		Vacío

	BTQ 46	1	Tanque 2	Sí		Sí			
	BTQ 47	1	Tanque 3	Sí		Sí		5516 kg de licor	
	BTQ 48	1	Tanque 4	Sí		Sí			
IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS ASOCIADOS AL USO DE AGUA Y VAPOR DE AGUA									
ETAPA	EQUIPOS NECESARIOS	CANTIDAD	NOMBRE TÉCNICO DEL EQUIPO	USO DE AGUA O VAPOR DE AGUA	DESCRIPCIÓN	EN USO	IMAGEN	MATERIAL DEL EQUIPO	TIEMPO PARA MANTENER LA TEMPERATURA
INSTANT	Instantaneador	2	Instantaneador	Sí	Equipo que, por medio de vapor de agua y aire seco, pulveriza el cacao granulado. La proporción total es de 1 Bar.	Sí		Acero inoxidable	Según el tiempo de operación
	Válvula reguladora	2	Válvula reguladora	Sí	Regula la entrada de vapor de agua, de acuerdo a lo requerido.	Sí			N. A

	Intercambiador tubular	2	Intercambiador de placas	Sí	Reduce la humedad del aire absorbido por el Glover.	Sí		Acero inoxidable	Según el tiempo de operación
	Trampas de condensados	2	Trampas de condensados	Sí	No permite el paso de vapor. Solo el paso del líquido. Una vez obtenidos los condensados se trasladan a los tanques de condensados para recircularlos.	Sí		Acero al carbón	Según producto a realizar.
	Blower	2	Blower	Sí	Succiona el aire ambiente, para luego secarlo a partir del intercambiador tubular, con el fin de obtener aire caliente que posteriormente se unificará con el vapor de agua para pulverizar el granulado.	Sí		Acero inoxidable	Según el tiempo de operación
	Tanque de condensados	2	Tanque de condensados	Sí	Tanque que almacena los condensados, una vez el vapor de agua pasa por las trampas.	Sí		Acero inoxidable	
	Instant 1	1	Tanque S.C	Sí		Sí			
	Instant 2	1	Tanque S.C	Sí		Sí		Acero inoxidable	
OBSERVACIÓN									

Hay una trampa de condensados en esta área que permite extraer los excesos de humedad para que no haya una sobre humectación y los condensados obtenidos se dirigen a los sistemas de torres. Es decir, esta porción de condensados no retorna a los tanques de condensados y se dirige a un sistema no apto (sistemas de torres), ya que este sistema requiere temperaturas bajas.

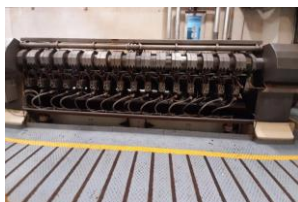
IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS ASOCIADOS AL USO DE AGUA Y VAPOR DE AGUA

ETAPA	EQUIPOS NECESARIOS	CANTIDAD	NOMBRE TÉCNICO DEL EQUIPO	USO DE AGUA O VAPOR DE AGUA	DESCRIPCIÓN	EN USO	IMAGEN	MATERIAL DEL EQUIPO	TIEMPO PARA MANTENER LA TEMPERATURA
GRAGEADOR	Bombos	2	Bombos industriales	Sí	Equipo que permite secar el recubrimiento de las grageas	Sí		Acero inoxidable	Según proceso a realizar.
	Blower	2		Sí	Succiona el aire acondicionado, para luego secarlo a partir del intercambiador tubular, con el fin de obtener aire caliente que posteriormente se unificará con el vapor de agua para pulverizar el granulado.	Sí		Acero inoxidable	Según proceso a realizar.
	Intercambiador tubular	1		Sí	Reduce la humedad del aire absorbido por el Glover	Sí		Acero inoxidable	Según proceso a realizar.
	Trampa de condensados	1		Sí	No permite el paso de vapor. Solo el paso del líquido. Una vez obtenidos los condensados se	Sí		Acero al carbón	Según producto a realizar.

					trasladan a los tanques de condensados para recircularlos.				
	Aire acondicionado			Aire	Aire ambiente que se filtra.	Sí		N. A	
OBSERVACIONES									
En este proceso existe un sistema de mayor capacidad, el cual funciona de la misma manera, pero el intercambiador y el equipo presentan dimensiones mayores. Además, es compacto (Todo está unido)									
IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS ASOCIADOS AL USO DE AGUA Y VAPOR DE AGUA									
ETAPA	EQUIPOS NECESARIOS	CANTIDAD	NOMBRE TÉCNICO DEL EQUIPO	USO DE AGUA O VAPOR DE AGUA	DESCRIPCIÓN	EN USO	MATERIAL DEL EQUIPO	TIEMPO PARA MANTENER LA TEMPERATURA	
ZONA MANTECA	BTQ 19 - 21	5 ton	Tanque enchaquetado	Sí	Tanque enchaquetado que emplea agua caliente para fundir la manteca. Esta agua caliente se obtiene a partir de un serpentín, en el cual circula el vapor de agua.	Sí	Acero inoxidable	Según producto a realizar.	
	Fundidor de manteca	1	Tanque enchaquetado	Sí	Tanque enchaquetado que emplea agua caliente para fundir la manteca. Esta agua caliente se obtiene a partir de un serpentín, en el cual circula el vapor de agua.	Sí	Acero inoxidable	Según producto a realizar.	
IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS ASOCIADOS AL USO DE AGUA Y VAPOR DE AGUA									
ETAPA	EQUIPOS NECESARIOS	CANTIDAD	NOMBRE TÉCNICO DEL EQUIPO	USO DE AGUA O VAPOR DE AGUA	DESCRIPCIÓN	EN USO	IMAGEN	MATERIAL DEL EQUIPO	TIEMPO PARA MANTENER LA TEMPERATURA

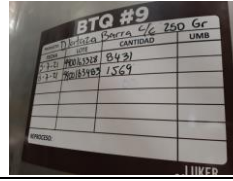
BUHLER	S.C Tanque molinos	1	Sistema de calentamiento	Sí	Tanque de acero inoxidable que calienta agua para tanques y tuberías, mediante un serpentín, en el cual circula vapor de agua. El agua caliente producida en este tanque se distribuye a la zona de molinos.	Sí		Acero inoxidable	24/7
	S.C Tanque de Buhler	1		Sí	Tanque de acero inoxidable que calienta agua para tanques y tuberías, mediante un serpentín, en el cual circula vapor de agua. El agua caliente producida en este tanque se distribuye a la zona de Buhler, para tuberías, conchas, Hidroflow y tanque molino refinado.	Sí		Acero inoxidable	24/7
	Trampas de condensados	1		Sí	No permite el paso de vapor. Solo el paso del líquido. Una vez obtenidos los condensados se trasladan a los tanques de condensados para recircularlos.	Sí		Acero al carbón	Según producto a realizar.
	Hidroflow	3	Hidroflow	Sí	Sistema que utiliza agua de acueducto, vapor de agua y aire comprimido. Produce agua caliente.	Sí		Acero inoxidable	Según producto a realizar.

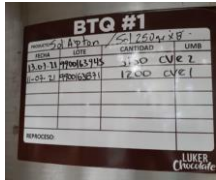
	Concha 1	1	Conchas	Agua caliente	Sistemas enchaquetados que emplean agua caliente de acuerdo a la producción, para elevar la temperatura del producto. Si el producto mantiene la temperatura requerida, el sistema de producción de agua caliente se apaga, hasta que el producto requiera nuevamente la temperatura.	Sí		Acero inoxidable	Según producto a realizar.
	Concha 2	1		Agua caliente		Sí		Acero inoxidable	Según producto a realizar.
	Concha 3	1		Agua caliente		Sí		Acero inoxidable	Según producto a realizar.
PRENSA	Sistema de remoción de humedad	1		Sí	Antes de que el vapor de agua sea utilizado en la prensa, pasa posteriormente por este sistema (Sistema de al fondo).	Sí		N. A	
	Válvula reguladora	1		Sí	Se gradúa de acuerdo a lo que se requiera.	Sí		N. A	
	Válvula proporcional	1		Sí	Válvula automática.	Sí		N. A	
	Tanque LCS	1		Sí	Tanque que contiene un serpentín, en el cual circula el vapor de agua y calienta el producto que se dirige a la prensa.	Sí		Acero inoxidable	Según producto a realizar.
	Tanque GDO	1		Sí	Tanque que contiene un serpentín, en el cual circula el vapor de agua y calienta el producto que se dirige a la prensa. Este tanque se utiliza para mezcla	Sí		Acero inoxidable	Según producto a realizar.

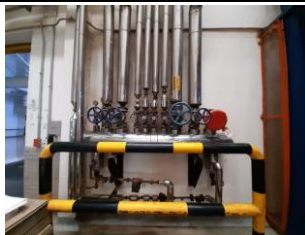
	Prensa	1	Prensa	Sí	Comprime el licor de Cacao para obtener dos subproductos: cocoa de Cacao y manteca de Cacao. Esto lo realiza gracias al vapor de agua (sin exceso de humedad) que requiere la prensadora.	Sí		Acero inoxidable		
IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS ASOCIADOS AL USO DE AGUA Y VAPOR DE AGUA										
ETAPA	ETAPA	EQUIPOS NECESARIOS	CANTIDAD	NOMBRE TÉCNICO DEL EQUIPO	USO DE AGUA O VAPOR DE AGUA	DESCRIPCIÓN	IMAGEN	EN USO	MATERIAL DEL EQUIPO	TIEMPO PARA MANTENER LA TEMPERATURA
PLANTA DE CHOCOLATES	NA	Tanque de agua caliente	2	Tanque 40 y 80	Sí	Tanque que se encuentran en la parte superior de la planta y proporciona el agua caliente para todo este proceso (40 y 80°C), parte de estos abastece de agua caliente a Cocoas.		Sí	Acero al carbón	
	Supercavemil	Atemperadora	3		Sí	Calienta el producto, cuando es necesario (porque hay veces que se ingresa agua fría) y el agua caliente se obtiene mediante un tanque de agua, en el cual se ingresa directamente el vapor vivo, para elevar la temperatura del agua.		Sí	Acero al carbón	

		Mezcladora	2		Sí	Tolva que contiene un serpentín en el cual se conduce el vapor de agua y calienta el agua contenida en el diámetro exterior de la tolva.		Sí	Acero al carbón	
		Tanques de agua caliente	2		Agua caliente	Contienen el agua caliente necesaria para la etapa (Supercavemil)		Sí	Acero al carbón	
		Trampa de condensados	1		Sí	No permite el paso de vapor. Solo el paso del líquido. Una vez obtenidos los condensados se trasladan a los tanques de condensados para recircularlos.		Sí	Acero al carbón	Según producto a realizar.
		Tanque de aire comprimido	1		Sí			Sí	N. A	
	Cavemil 2	Atemperadoras	2		Sí	Calienta el producto, cuando es necesario (porque hay veces que se ingresa agua fría) y el agua caliente se obtiene mediante un tanque de agua, en el cual se ingresa directamente el vapor vivo, para elevar la temperatura del agua.		Sí	Acero al carbón	
	Cavemil 1	Atemperadora	1		Sí	Calienta el producto, cuando es necesario (porque hay veces que se ingresa agua fría) y el agua caliente se obtiene mediante un sistema de calentamiento.		Sí	Acero al carbón	

		Tanques de agua caliente	1		Sí	Tanque de acero inoxidable que contiene agua, la cual se inyecta en la atemperadora.		Sí	Acero inoxidable	
		Trampa de condensados	1		Sí	No permite el paso de vapor. Solo el paso del líquido. Una vez obtenidos los condensados se trasladan a los tanques de condensados para recircularlos.		Sí	Acero al carbón	Según producto a realizar.
		Trampa	1	Trampa termodinámica	Sí			Sí		
		Intercambiador	1	Intercambiador de placas	Sí	Mediante el uso de vapor de agua, eleva la temperatura del agua que será dispuesta en el tanque de acero inoxidable.		Sí	Acero inoxidable	Según producto a realizar.
		Mezcladora	1		Sí			Sí		
		Tanque de aire comprimido	1		Sí			Sí	N. A	
	Tanques Mezzanine	BTQ 4	1	Tanque enchaquetado	Sí	Tanques que elevan la temperatura del licor de Cacao mediante el uso del vapor vivo, el cual pasa por un serpentín y a su vez calienta el		Sí	Acero inoxidable	Según producto a realizar.

		BTQ 5	1	Tanque enchaquetado	Sí	agua contenida en la chaqueta del tanque.		Sí	Acero inoxidable	Según producto a realizar.
		BTQ 6	1	Tanque enchaquetado	Sí			Sí	Acero inoxidable	Según producto a realizar.
		BTQ 8	1	Tanque enchaquetado	Sí			Sí	Acero inoxidable	Según producto a realizar.
		BTQ 9	1	Tanque enchaquetado	Sí			Sí	Acero inoxidable	Según producto a realizar.
		BTQ 10	1	Tanque enchaquetado	Sí			Sí	Acero inoxidable	Según producto a realizar.
		BTQ 11	1	Tanque enchaquetado	Sí			Sí	Acero inoxidable	Según producto a realizar.

		BTQ 12 (Fundidor)	1	Tanque enchaquetado	Sí			Sí	Acero inoxidable	Según producto a realizar.
		BTQ 1	1	Tanque enchaquetado	Sí	Tanques que elevan la temperatura del licor de Cacao mediante el agua caliente, proveniente del S.C Chocolates o tanques 40 y 80.		Sí	Acero inoxidable	Según producto a realizar.
		BTQ 2	1	Tanque enchaquetado	Sí			Sí	Acero inoxidable	Según producto a realizar.
		BTQ 3	1	Tanque enchaquetado	Sí			Sí	Acero inoxidable	Según producto a realizar.
		BTQ 24	1	Tanque enchaquetado	Sí			Sí	Acero inoxidable	Según producto a realizar.
		BTQ 35	1	Tanque enchaquetado	Sí			Sí	Acero inoxidable	Según producto a realizar.

		BTQ 52	1	Tanque enchaquetado	Sí			Sí	Acero inoxidable	Según producto a realizar.
	Distribuidor 2	Distribuidor 2	1	Acero Inox	Sí			Sí	Acero inoxidable	
IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS ASOCIADOS AL USO DE AGUA Y VAPOR DE AGUA										
ETAPA	EQUIPOS NECESARIOS	CANTIDAD	NOMBRE TÉCNICO DEL EQUIPO	USO DE AGUA O VAPOR DE AGUA	DESCRIPCIÓN	IMAGEN	EN USO	MATERIAL DEL EQUIPO	TIEMPO PARA MANTENER LA TEMPERATURA	
TANQUES TEAM	S.C Tanque de Acero inoxidable	1	S.C Tanque de Acero inoxidable	Sí	Sistema de calentamiento que eleva la temperatura del agua mediante un intercambiador de placas el cual hace uso de agua fría y vapor de agua.		Sí	Acero Inoxidable	24/7	

Fuente. Autores

B. ANEXO – TABLAS RESUMEN DE SISTEMAS

Anexo B. Identificación de equipos asociados al uso de agua y vapor de agua

LISTADO DE SISTEMAS DE CALENTAMIENTO							
ETAPA	EQUIPOS NECESARIOS	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	EN USO	MATERIAL DEL EQUIPO	TIEMPO PARA CALENTAR	TIEMPO PARA MANTENER LA TEMPERATURA
S.C Chocomaster y Sanvik	Tanque de acero inoxidable	1	Tanque segundo piso, a lado de caldera	Sí	Acero inoxidable	35 min	Según producto a realizar.
S.C Tanques team	Acero al carbón	1	Tanque que estaba escondido	Sí	Acero Inoxidable	40 min	24/7
S.C Lavapiezas	Tanque de acero inoxidable	1	Tanque que estaba en el tercer piso y se encontraba al fondo de la instalación	Sí	Acero Inoxidable	13 min	Según proceso.
S.C Planta de Chocolates	Tanque de acero inoxidable	1	Tanques que se encontraban en la parte superior de la planta de Chocolates	Sí	Acero al carbón		
S.C Antigüo IPC	Tanque de acero inoxidable	1	Tanque que se encontraba al ingresar a esta instalación	Sí	Acero inoxidable	35 min	Según producto a realizar.
S.C Compund	Tanque de acero inoxidable	1	Tanque que se encontraba en la esquina superior	Sí	Acero inoxidable	40 min	Según producto a realizar.
S.C Cataluña	Tanque de acero inoxidable	1	Tanque ubicado al frente de Chocomaster y Sambic	Sí	Acero Inoxidable	45 min	Según proceso.
S.C Bühler	Tanque de acero inoxidable	1	Tanque que se encuentra al lado de S.C Molinos	Sí	Acero Inoxidable	45 min	24/7
S.C Molinos	Tanque de acero inoxidable	1	Tanque que se encuentra al lado de S.C Buhler	Sí	Acero Inoxidable	45 min	24/7
S.C Supercavemil	Tanque de acero inoxidable	1		Sí	Acero al carbón	45 min	24/7
LISTADO DE SISTEMAS QUE UTILIZAN VAPOR DIRECTO							
ETAPA	EQUIPOS NECESARIOS	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	EN USO	MATERIAL DEL EQUIPO	TIEMPO PARA CALENTAR	TIEMPO PARA MANTENER LA TEMPERATURA

Lava moldes	Lavadero	1	El agua caliente adquiere la temperatura debido a que se inyecta directamente vapor de agua a el agua. No retorna el vapor de agua, se pierde.	Sí	Estructura de acero al carbón y cubierta de acero inoxidable (Lava moldes)	30 min	De acuerdo el tiempo de operación (8h)
					Acero inoxidable (prelavado)	20 min	De acuerdo el tiempo de operación (8h)
Cavemil 2	Tanque de acero inoxidable	1	Mediante el uso de un tanque de acero inoxidable, el cual contiene agua, se eleva la temperatura del agua, ingresando directamente el vapor de agua vivo.	Sí	Acero al carbón		Según producto a realizar.
Supercavemil - Mezclador	Tanque de acero inoxidable	1	Mediante el uso de un tanque de acero inoxidable, el cual contiene agua, se eleva la temperatura del agua, ingresando directamente el vapor de agua vivo.	Sí	Acero al carbón	13 min	Según producto a realizar.
Instant 1 - Instand 2	Instantaneadora	1	Una vez el vapor de agua ha pasado por un tren de vapor, para reducir la humedad; se mezcla con el producto para producir gránulos. El vapor de agua dirigido a esta sección no se recolecta y los condensados obtenidos en esta etapa, se dan gracias al sistema anteriormente descrito (tren de vapor)	Sí	Acero inoxidable	30 min	Según el tiempo de operación
Grageador	Intercambiador tubular	1		Sí	Acero inoxidable	15 min	Según proceso a realizar.
Prensa	Prensa	1	Comprime el licor de Cacao para obtener dos subproductos: cocoa de Cacao y manteca de Cacao. Esto lo realiza gracias al vapor de agua (sin exceso de humedad) que requiere la prensadora.	Sí	Acero inoxidable	7 horas	
Tanques de manteca		1		Sí			

Fundidor de manteca	BTQ 30	1	Tanque enchaquetado que emplea agua caliente para fundir la manteca. Esta agua caliente se obtiene a partir de un serpentín, en el cual circula el vapor de agua.	Sí	Acero inoxidable	20 min	Según producto a realizar.
---------------------	--------	---	---	----	------------------	--------	----------------------------

Fuente. Autores

C. ANEXO – REGISTRO DE CONTROLADORES AL INTERIOR DE LA PLANTA

Anexo C. Identificación de equipos asociados al uso de agua y vapor de agua

REGISTRO DE CONTROLADORES AL INTERIOR DE LA PLANTA										
ETAPA	Tiene medidor de presión en la entrada de vapor	Tiene medidor de presión en la salida del condensado	Tiene medidor de presión en la entrada del agua de acueducto	Tiene medidor de presión en la salida del agua caliente	Tiene medidor de temperatura para la entrada de vapor	Tiene medidor de temperatura en la salida del condensado	Tiene medidor de temperatura en la entrada del agua de acueducto	Tiene medidor de temperatura a la salida del agua caliente	El sistema registra el caudal o cantidad de agua a ingresar	CONTEO
S.C Chocomaster y Sanvik	Si	No	No	Si	No	No	No	Si	No	3
S.C Tanques team	No	No	No	No	No	No	No	Si	No	1
S.C Lavapiezas	No	No	No	Si	No	No	No	Si	No	2
S.C Planta de Chocolates	Si	No	No	Si	No	No	No	Si	No	3
S.C Antigüo IPC	Si	No	No	Si	No	No	No	Si	No	3
S.C Compund	No	No	No	Si	No	No	No	Si	No	2
S.C Cataluña	Si	Si	No	Si	No	No	No	Si	No	4
S.C Bühler	No	No	No	Si	No	No	No	Si	No	2
S.C Molinos	Si	No	No	Si	No	No	No	Si	No	3
S.C Supercavemil	Si	No	No		No	No	No	Si	No	2
Lavamoldes	No	No	No	Si	No	No	No	Si	No	2
	No	No	No	No	No	No	No	Si	No	1
Cavemil 2	No	No	No	No	No	No	No	Si	No	1
Supercavemil - Mezclador	Si	No	No	No	No	No	No	Si	No	2
Instant 1 - Instand 2	Si	Si	No	No	No	No	No	Si	No	3
Grageador	No	No	No	No	No	No	No	Si	No	1
	Si	No	No	No Aplica	No	No	No	Si	No	2
	No	No	No	No	No	No	No	Si	No	1
Prensa	Si	No	No	No Aplica	No	No	No	Si	No	2

Tanques de manteca	No	No	No	No	No	No	No	Si	No	1
Fundidor de manteca - BTQ 30	No	No	No	No	No	No	No	Si	No	1

Fuente. Autores

D. ANEXO – REGISTRO DEL CAUDAL DE VAPOR DE AGUA APORTADOS POR LA EMPRESA CASA LUKER S.A

Anexo D. Registro del caudal de vapor de agua aportados por la empresa Casa Luker S.A

				
Casa LUKER - Medida de Flujo de Masa de Vapor Intervalo junio 25 a Julio 17 de 2021				
Código Inicio (Columna Código)	1	FLUJO Vapor cada hora	Presión (psig)	Flujo Vapor (kg/h)
Código Final (Columna Código)	529	Valor Máx.	104,6	1762,0
Hora Inicio Intervalo	25/06/2021 2:16:40 p. m.	Valor Promedio	103,4	1343,2
Hora Fin Intervalo	17/07/2021 1:00:00 p. m.	Valor Min.	48,6	0,0
Cantidad Horas	529	Desv Estándar	2,7	167,6
TOTAL MASA VAPOR (kg/h)	710544,5	% Desv Std / Prom	2,6%	12,5%
Código	Hora Inicio Intervalo	Hora Fin Intervalo	Presión Vapor (psig)	Flujo Vapor (kg/h)
1	25/06/2021 2:16:40 p. m.	25/06/2021 2:59:55 p. m.	102,9	1543,9
2	25/06/2021 3:00:00 p. m.	25/06/2021 3:59:55 p. m.	103,5	1442,9
3	25/06/2021 4:00:00 p. m.	25/06/2021 4:59:55 p. m.	103,3	1504,0
4	25/06/2021 5:00:00 p. m.	25/06/2021 5:59:55 p. m.	103,0	1609,4
5	25/06/2021 6:00:00 p. m.	25/06/2021 6:59:55 p. m.	103,3	1515,0
6	25/06/2021 7:00:00 p. m.	25/06/2021 7:59:55 p. m.	103,2	1564,3
7	25/06/2021 8:00:00 p. m.	25/06/2021 8:59:55 p. m.	103,0	1640,4
8	25/06/2021 9:00:00 p. m.	25/06/2021 9:59:55 p. m.	103,5	1456,2
9	25/06/2021 10:00:00 p. m.	25/06/2021 10:59:55 p. m.	103,5	1426,9
10	25/06/2021 11:00:00 p. m.	25/06/2021 11:59:55 p. m.	103,6	1409,9
11	26/06/2021 12:00:00 a. m.	26/06/2021 12:59:55 a. m.	103,2	1550,3
12	26/06/2021 1:00:00 a. m.	26/06/2021 1:59:55 a. m.	102,4	1481,3
13	26/06/2021 2:00:00 a. m.	26/06/2021 2:59:55 a. m.	103,4	1460,0
14	26/06/2021 3:00:00 a. m.	26/06/2021 3:59:55 a. m.	103,5	1431,1
15	26/06/2021 4:00:00 a. m.	26/06/2021 4:59:55 a. m.	103,5	1403,4
16	26/06/2021 5:00:00 a. m.	26/06/2021 5:59:55 a. m.	103,6	1385,1
17	26/06/2021 6:00:00 a. m.	26/06/2021 6:59:55 a. m.	103,4	1444,0
18	26/06/2021 7:00:00 a. m.	26/06/2021 7:59:55 a. m.	103,5	1473,4
19	26/06/2021 8:00:00 a. m.	26/06/2021 8:59:55 a. m.	103,8	1373,1
20	26/06/2021 9:00:00 a. m.	26/06/2021 9:59:55 a. m.	104,2	1136,1
21	26/06/2021 10:00:00 a. m.	26/06/2021 10:59:55 a. m.	104,1	1141,4
22	26/06/2021 11:00:00 a. m.	26/06/2021 11:59:55 a. m.	103,8	1302,5
23	26/06/2021 12:00:00 p. m.	26/06/2021 12:59:55 p. m.	103,5	1396,0
24	26/06/2021 1:00:00 p. m.	26/06/2021 1:59:55 p. m.	103,7	1349,2
25	26/06/2021 2:00:00 p. m.	26/06/2021 2:59:55 p. m.	103,5	1384,1
26	26/06/2021 3:00:00 p. m.	26/06/2021 3:59:55 p. m.	103,6	1390,6

27	26/06/2021 4:00:00 p. m.	26/06/2021 4:59:55 p. m.	103,8	1337,9
28	26/06/2021 5:00:00 p. m.	26/06/2021 5:59:55 p. m.	103,5	1414,0
29	26/06/2021 6:00:00 p. m.	26/06/2021 6:59:55 p. m.	103,5	1371,1
30	26/06/2021 7:00:00 p. m.	26/06/2021 7:59:55 p. m.	103,6	1337,2
31	26/06/2021 8:00:00 p. m.	26/06/2021 8:59:55 p. m.	103,9	1244,8
32	26/06/2021 9:00:00 p. m.	26/06/2021 9:59:55 p. m.	104,1	1028,2
33	26/06/2021 10:00:00 p. m.	26/06/2021 10:59:55 p. m.	104,2	1011,8
34	26/06/2021 11:00:00 p. m.	26/06/2021 11:59:55 p. m.	104,1	1052,5
35	27/06/2021 12:00:00 a. m.	27/06/2021 12:59:55 a. m.	104,2	1050,6
36	27/06/2021 1:00:00 a. m.	27/06/2021 1:59:55 a. m.	103,5	1027,2
37	27/06/2021 2:00:00 a. m.	27/06/2021 2:59:55 a. m.	104,1	1133,2
38	27/06/2021 3:00:00 a. m.	27/06/2021 3:59:55 a. m.	104,2	1140,4
39	27/06/2021 4:00:00 a. m.	27/06/2021 4:59:55 a. m.	104,0	1160,0
40	27/06/2021 5:00:00 a. m.	27/06/2021 5:59:55 a. m.	104,0	1153,2
41	27/06/2021 6:00:00 a. m.	27/06/2021 6:59:55 a. m.	103,5	1426,7
42	27/06/2021 7:00:00 a. m.	27/06/2021 7:59:55 a. m.	103,5	1437,8
43	27/06/2021 8:00:00 a. m.	27/06/2021 8:59:55 a. m.	103,8	1325,9
44	27/06/2021 9:00:00 a. m.	27/06/2021 9:59:55 a. m.	104,0	1194,1
45	27/06/2021 10:00:00 a. m.	27/06/2021 10:59:55 a. m.	104,2	1090,0
46	27/06/2021 11:00:00 a. m.	27/06/2021 11:59:55 a. m.	104,1	1068,5
47	27/06/2021 12:00:00 p. m.	27/06/2021 12:59:55 p. m.	104,1	1105,2
48	27/06/2021 1:00:00 p. m.	27/06/2021 1:59:55 p. m.	104,0	1069,1
49	27/06/2021 2:00:00 p. m.	27/06/2021 2:59:55 p. m.	104,1	1038,9
50	27/06/2021 3:00:00 p. m.	27/06/2021 3:59:55 p. m.	104,1	1064,3
51	27/06/2021 4:00:00 p. m.	27/06/2021 4:59:55 p. m.	104,0	1084,9
52	27/06/2021 5:00:00 p. m.	27/06/2021 5:59:55 p. m.	103,9	1129,2
53	27/06/2021 6:00:00 p. m.	27/06/2021 6:59:55 p. m.	103,8	1258,1
54	27/06/2021 7:00:00 p. m.	27/06/2021 7:59:55 p. m.	103,9	1203,9
55	27/06/2021 8:00:00 p. m.	27/06/2021 8:59:55 p. m.	103,9	1221,2
56	27/06/2021 9:00:00 p. m.	27/06/2021 9:59:55 p. m.	103,7	1331,5
57	27/06/2021 10:00:00 p. m.	27/06/2021 10:59:55 p. m.	103,6	1410,9
58	27/06/2021 11:00:00 p. m.	27/06/2021 11:59:55 p. m.	103,4	1446,0
59	28/06/2021 12:00:00 a. m.	28/06/2021 12:59:55 a. m.	103,4	1475,4
60	28/06/2021 1:00:00 a. m.	28/06/2021 1:59:55 a. m.	102,3	1352,4
61	28/06/2021 2:00:00 a. m.	28/06/2021 2:59:55 a. m.	103,0	1657,1
62	28/06/2021 3:00:00 a. m.	28/06/2021 3:59:55 a. m.	103,4	1560,1
63	28/06/2021 4:00:00 a. m.	28/06/2021 4:59:55 a. m.	103,1	1578,7
64	28/06/2021 5:00:00 a. m.	28/06/2021 5:59:55 a. m.	103,3	1505,5
65	28/06/2021 6:00:00 a. m.	28/06/2021 6:59:55 a. m.	103,5	1427,0
66	28/06/2021 7:00:00 a. m.	28/06/2021 7:59:55 a. m.	103,5	1471,1
67	28/06/2021 8:00:00 a. m.	28/06/2021 8:59:55 a. m.	103,4	1462,9
68	28/06/2021 9:00:00 a. m.	28/06/2021 9:59:55 a. m.	103,1	1579,5
69	28/06/2021 10:00:00 a. m.	28/06/2021 10:59:55 a. m.	103,3	1512,0
70	28/06/2021 11:00:00 a. m.	28/06/2021 11:59:55 a. m.	103,3	1520,5
71	28/06/2021 12:00:00 p. m.	28/06/2021 12:59:55 p. m.	103,5	1471,7
72	28/06/2021 1:00:00 p. m.	28/06/2021 1:59:55 p. m.	104,0	1193,2

73	28/06/2021 2:00:00 p. m.	28/06/2021 2:59:55 p. m.	104,0	1167,6
74	28/06/2021 3:00:00 p. m.	28/06/2021 3:59:55 p. m.	103,9	1162,6
75	28/06/2021 4:00:00 p. m.	28/06/2021 4:59:55 p. m.	103,7	1198,3
76	28/06/2021 5:00:00 p. m.	28/06/2021 5:59:55 p. m.	103,9	1163,2
77	28/06/2021 6:00:00 p. m.	28/06/2021 6:59:55 p. m.	103,7	1290,4
78	28/06/2021 7:00:00 p. m.	28/06/2021 7:59:55 p. m.	103,5	1407,9
79	28/06/2021 8:00:00 p. m.	28/06/2021 8:59:55 p. m.	103,6	1364,4
80	28/06/2021 9:00:00 p. m.	28/06/2021 9:59:55 p. m.	103,7	1360,2
81	28/06/2021 10:00:00 p. m.	28/06/2021 10:59:55 p. m.	103,6	1347,9
82	28/06/2021 11:00:00 p. m.	28/06/2021 11:59:55 p. m.	103,5	1450,0
83	29/06/2021 12:00:00 a. m.	29/06/2021 12:59:55 a. m.	103,4	1452,8
84	29/06/2021 1:00:00 a. m.	29/06/2021 1:59:55 a. m.	102,5	1158,9
85	29/06/2021 2:00:00 a. m.	29/06/2021 2:59:55 a. m.	103,3	1522,2
86	29/06/2021 3:00:00 a. m.	29/06/2021 3:59:55 a. m.	103,3	1562,5
87	29/06/2021 4:00:00 a. m.	29/06/2021 4:59:55 a. m.	103,0	1652,3
88	29/06/2021 5:00:00 a. m.	29/06/2021 5:59:55 a. m.	103,3	1605,8
89	29/06/2021 6:00:00 a. m.	29/06/2021 6:59:55 a. m.	102,8	1716,6
90	29/06/2021 7:00:00 a. m.	29/06/2021 7:59:55 a. m.	103,1	1647,4
91	29/06/2021 8:00:00 a. m.	29/06/2021 8:59:55 a. m.	103,0	1616,0
92	29/06/2021 9:00:00 a. m.	29/06/2021 9:59:55 a. m.	102,9	1607,7
93	29/06/2021 10:00:00 a. m.	29/06/2021 10:59:55 a. m.	103,3	1494,6
94	29/06/2021 11:00:00 a. m.	29/06/2021 11:59:55 a. m.	103,2	1478,4
95	29/06/2021 12:00:00 p. m.	29/06/2021 12:59:55 p. m.	103,5	1409,8
96	29/06/2021 1:00:00 p. m.	29/06/2021 1:59:55 p. m.	103,8	1265,5
97	29/06/2021 2:00:00 p. m.	29/06/2021 2:59:55 p. m.	103,5	1324,5
98	29/06/2021 3:00:00 p. m.	29/06/2021 3:59:55 p. m.	103,6	1356,1
99	29/06/2021 4:00:00 p. m.	29/06/2021 4:59:55 p. m.	103,4	1426,6
100	29/06/2021 5:00:00 p. m.	29/06/2021 5:59:55 p. m.	103,6	1387,3
101	29/06/2021 6:00:00 p. m.	29/06/2021 6:59:55 p. m.	103,0	1554,9
102	29/06/2021 7:00:00 p. m.	29/06/2021 7:59:55 p. m.	103,2	1561,2
103	29/06/2021 8:00:00 p. m.	29/06/2021 8:59:55 p. m.	102,9	1641,1
104	29/06/2021 9:00:00 p. m.	29/06/2021 9:59:55 p. m.	103,2	1536,8
105	29/06/2021 10:00:00 p. m.	29/06/2021 10:59:55 p. m.	103,2	1553,7
106	29/06/2021 11:00:00 p. m.	29/06/2021 11:59:55 p. m.	103,1	1527,9
107	30/06/2021 12:00:00 a. m.	30/06/2021 12:59:55 a. m.	102,7	1518,6
108	30/06/2021 1:00:00 a. m.	30/06/2021 1:59:55 a. m.	102,9	1460,2
109	30/06/2021 2:00:00 a. m.	30/06/2021 2:59:55 a. m.	103,5	1432,9
110	30/06/2021 3:00:00 a. m.	30/06/2021 3:59:55 a. m.	103,5	1415,5
111	30/06/2021 4:00:00 a. m.	30/06/2021 4:59:55 a. m.	103,4	1424,6
112	30/06/2021 5:00:00 a. m.	30/06/2021 5:59:55 a. m.	103,2	1515,0
113	30/06/2021 6:00:00 a. m.	30/06/2021 6:59:55 a. m.	102,9	1657,3
114	30/06/2021 7:00:00 a. m.	30/06/2021 7:59:55 a. m.	103,0	1652,9
115	30/06/2021 8:00:00 a. m.	30/06/2021 8:59:55 a. m.	103,1	1552,7
116	30/06/2021 9:00:00 a. m.	30/06/2021 9:59:55 a. m.	103,4	1432,5
117	30/06/2021 10:00:00 a. m.	30/06/2021 10:59:55 a. m.	103,7	1374,2
118	30/06/2021 11:00:00 a. m.	30/06/2021 11:59:55 a. m.	103,4	1383,3

119	30/06/2021 12:00:00 p. m.	30/06/2021 12:59:55 p. m.	103,3	1460,2
120	30/06/2021 1:00:00 p. m.	30/06/2021 1:59:55 p. m.	103,2	1490,5
121	30/06/2021 2:00:00 p. m.	30/06/2021 2:59:55 p. m.	103,3	1459,1
122	30/06/2021 3:00:00 p. m.	30/06/2021 3:59:55 p. m.	103,2	1486,3
123	30/06/2021 4:00:00 p. m.	30/06/2021 4:59:55 p. m.	103,3	1484,4
124	30/06/2021 5:00:00 p. m.	30/06/2021 5:59:55 p. m.	103,2	1515,3
125	30/06/2021 6:00:00 p. m.	30/06/2021 6:59:55 p. m.	103,4	1467,4
126	30/06/2021 7:00:00 p. m.	30/06/2021 7:59:55 p. m.	103,0	1572,5
127	30/06/2021 8:00:00 p. m.	30/06/2021 8:59:55 p. m.	103,0	1604,4
128	30/06/2021 9:00:00 p. m.	30/06/2021 9:59:55 p. m.	103,3	1562,0
129	30/06/2021 10:00:00 p. m.	30/06/2021 10:59:55 p. m.	103,2	1552,1
130	30/06/2021 11:00:00 p. m.	30/06/2021 11:59:55 p. m.	103,3	1507,0
131	01/07/2021 12:00:00 a. m.	1/07/2021 12:59:55 a. m.	102,3	1512,4
132	01/07/2021 1:00:00 a. m.	1/07/2021 1:59:55 a. m.	103,5	1475,8
133	01/07/2021 2:00:00 a. m.	1/07/2021 2:59:55 a. m.	103,4	1483,6
134	01/07/2021 3:00:00 a. m.	1/07/2021 3:59:55 a. m.	103,4	1508,1
135	01/07/2021 4:00:00 a. m.	1/07/2021 4:59:55 a. m.	103,3	1485,6
136	01/07/2021 5:00:00 a. m.	1/07/2021 5:59:55 a. m.	103,4	1492,1
137	01/07/2021 6:00:00 a. m.	1/07/2021 6:59:55 a. m.	102,8	1691,2
138	01/07/2021 7:00:00 a. m.	1/07/2021 7:59:55 a. m.	103,0	1647,1
139	01/07/2021 8:00:00 a. m.	1/07/2021 8:59:55 a. m.	103,1	1598,2
140	01/07/2021 9:00:00 a. m.	1/07/2021 9:59:55 a. m.	103,2	1556,4
141	01/07/2021 10:00:00 a. m.	1/07/2021 10:59:55 a. m.	103,5	1411,5
142	01/07/2021 11:00:00 a. m.	1/07/2021 11:59:55 a. m.	103,4	1390,4
143	01/07/2021 12:00:00 p. m.	1/07/2021 12:59:55 p. m.	103,5	1375,7
144	01/07/2021 1:00:00 p. m.	1/07/2021 1:59:55 p. m.	103,6	1320,1
145	01/07/2021 2:00:00 p. m.	1/07/2021 2:59:55 p. m.	103,3	1400,8
146	01/07/2021 3:00:00 p. m.	1/07/2021 3:59:55 p. m.	103,5	1375,1
147	01/07/2021 4:00:00 p. m.	1/07/2021 4:59:55 p. m.	103,4	1382,1
148	01/07/2021 5:00:00 p. m.	1/07/2021 5:59:55 p. m.	103,5	770,1
149	01/07/2021 6:00:00 p. m.	1/07/2021 6:59:55 p. m.	103,2	1343,4
150	01/07/2021 7:00:00 p. m.	1/07/2021 7:59:55 p. m.	103,4	1405,6
151	01/07/2021 8:00:00 p. m.	1/07/2021 8:59:55 p. m.	103,3	1437,4
152	01/07/2021 9:00:00 p. m.	1/07/2021 9:59:55 p. m.	103,4	1430,0
153	01/07/2021 10:00:00 p. m.	1/07/2021 10:59:55 p. m.	103,5	1420,3
154	01/07/2021 11:00:00 p. m.	1/07/2021 11:59:55 p. m.	103,4	1428,9
155	02/07/2021 12:00:00 a. m.	2/07/2021 12:59:55 a. m.	102,4	1448,6
156	02/07/2021 1:00:00 a. m.	2/07/2021 1:59:55 a. m.	102,9	1356,9
157	02/07/2021 2:00:00 a. m.	2/07/2021 2:59:55 a. m.	102,5	1338,3
158	02/07/2021 3:00:00 a. m.	2/07/2021 3:59:55 a. m.	76,1	864,5
159	02/07/2021 4:00:00 a. m.	2/07/2021 4:59:55 a. m.	104,0	1177,4
160	02/07/2021 5:00:00 a. m.	2/07/2021 5:59:55 a. m.	104,3	1058,8
161	02/07/2021 6:00:00 a. m.	2/07/2021 6:59:55 a. m.	103,8	1238,5
162	02/07/2021 7:00:00 a. m.	2/07/2021 7:59:55 a. m.	103,6	1293,7
163	02/07/2021 8:00:00 a. m.	2/07/2021 8:43:40 a. m.	103,2	1287,6
164	7/02/2021 9:00:00	7/02/2021 9:59:55	103,60	1372,4

165	7/02/2021 10:00:00	7/02/2021 10:59:55	103,60	1355,2
166	7/02/2021 11:00:00	7/02/2021 11:59:55	103,70	1287,7
167	7/02/2021 12:00:00	7/02/2021 12:59:55	103,50	1372,1
168	7/02/2021 13:00:00	7/02/2021 13:59:55	103,80	1290,9
169	7/02/2021 14:00:00	7/02/2021 14:59:55	103,70	1259,5
170	7/02/2021 15:00:00	7/02/2021 15:59:55	103,60	1322,3
171	7/02/2021 16:00:00	7/02/2021 16:59:55	103,50	1358,1
172	7/02/2021 17:00:00	7/02/2021 17:59:55	103,70	1282,8
173	7/02/2021 18:00:00	7/02/2021 18:59:55	103,50	1381,4
174	7/02/2021 19:00:00	7/02/2021 19:59:55	103,40	1430
175	7/02/2021 20:00:00	7/02/2021 20:59:55	103,60	1365,5
176	7/02/2021 21:00:00	7/02/2021 21:59:55	103,70	1358,1
177	7/02/2021 22:00:00	7/02/2021 22:59:55	103,90	1282,1
178	7/02/2021 23:00:00	7/02/2021 23:59:55	103,80	1273,5
179	7/03/2021 0:00:00	7/03/2021 0:59:55	103,90	1281,4
180	7/03/2021 1:00:00	7/03/2021 1:59:55	103,80	1270,4
181	7/03/2021 2:00:00	7/03/2021 2:59:55	104,00	1255,7
182	7/03/2021 3:00:00	7/03/2021 3:59:55	103,20	1220,5
183	7/03/2021 4:00:00	7/03/2021 4:59:55	103,80	1295,5
184	7/03/2021 5:00:00	7/03/2021 5:59:55	103,80	1321,8
185	7/03/2021 6:00:00	7/03/2021 6:59:55	103,50	1399,1
186	7/03/2021 7:00:00	7/03/2021 7:59:55	103,50	1443,9
187	7/03/2021 8:00:00	7/03/2021 8:59:55	103,50	1360,9
188	7/03/2021 9:00:00	7/03/2021 9:59:55	103,50	1281,5
189	7/03/2021 10:00:00	7/03/2021 10:59:55	103,80	1295,8
190	7/03/2021 11:00:00	7/03/2021 11:59:55	104,40	1255,5
191	7/03/2021 12:00:00	7/03/2021 12:59:55	103,90	1399,7
192	7/03/2021 13:00:00	7/03/2021 13:59:55	104,20	1352,1
193	7/03/2021 14:00:00	7/03/2021 14:59:55	104,60	1199
194	7/03/2021 15:00:00	7/03/2021 15:59:55	104,40	1238,7
195	7/03/2021 16:00:00	7/03/2021 16:59:55	104,30	1243,3
196	7/03/2021 17:00:00	7/03/2021 17:59:55	104,10	1300,5
197	7/03/2021 18:00:00	7/03/2021 18:59:55	103,70	1269
198	7/03/2021 19:00:00	7/03/2021 19:59:55	103,70	1278,5
199	7/03/2021 20:00:00	7/03/2021 20:59:55	103,70	1278,8
200	7/03/2021 21:00:00	7/03/2021 21:59:55	104,10	1185,8
201	7/03/2021 22:00:00	7/03/2021 22:59:55	104,10	1158,4
202	7/03/2021 23:00:00	7/03/2021 23:59:55	104,10	1163,1
203	7/04/2021 0:00:00	7/04/2021 0:59:55	104,10	1153,8
204	7/04/2021 1:00:00	7/04/2021 1:59:55	104,00	1179,2
205	7/04/2021 2:00:00	7/04/2021 2:59:55	104,00	1186,4
206	7/04/2021 3:00:00	7/04/2021 3:59:55	103,20	1133,3
207	7/04/2021 4:00:00	7/04/2021 4:59:55	104,00	1159,2
208	7/04/2021 5:00:00	7/04/2021 5:59:55	103,30	1222,9
209	7/04/2021 6:00:00	7/04/2021 6:59:55	103,10	1467,5
210	7/04/2021 7:00:00	7/04/2021 7:59:55	103,80	1350,7

211	7/04/2021 8:00:00	7/04/2021 8:59:55	103,50	1381,8
212	7/04/2021 9:00:00	7/04/2021 9:59:55	103,60	1308,5
213	7/04/2021 10:00:00	7/04/2021 10:59:55	103,60	1283,1
214	7/04/2021 11:00:00	7/04/2021 11:59:55	103,60	1181,2
215	7/04/2021 12:00:00	7/04/2021 12:59:55	103,30	1297,4
216	7/04/2021 13:00:00	7/04/2021 13:59:55	103,10	1107,4
217	7/04/2021 14:00:00	7/04/2021 14:59:55	103,70	1065,7
218	7/04/2021 15:00:00	7/04/2021 15:59:55	103,70	1096,4
219	7/04/2021 16:00:00	7/04/2021 16:59:55	103,90	1089,6
220	7/04/2021 17:00:00	7/04/2021 17:59:55	103,90	1156,5
221	7/04/2021 18:00:00	7/04/2021 18:59:55	104,00	1135
222	7/04/2021 19:00:00	7/04/2021 19:59:55	103,90	1239,2
223	7/04/2021 20:00:00	7/04/2021 20:59:55	104,00	1241,4
224	7/04/2021 21:00:00	7/04/2021 21:59:55	103,70	1287,3
225	7/04/2021 22:00:00	7/04/2021 22:59:55	103,00	1368,5
226	7/04/2021 23:00:00	7/04/2021 23:59:55	103,40	1394,3
227	7/05/2021 0:00:00	7/05/2021 0:59:55	103,40	1457,7
228	7/05/2021 1:00:00	7/05/2021 1:59:55	103,50	1375,7
229	7/05/2021 2:00:00	7/05/2021 2:59:55	103,40	1439,7
230	7/05/2021 3:00:00	7/05/2021 3:59:55	102,80	1348,4
231	7/05/2021 4:00:00	7/05/2021 4:59:55	103,80	1360,9
232	7/05/2021 5:00:00	7/05/2021 5:59:55	103,40	1469,9
233	7/05/2021 6:00:00	7/05/2021 6:59:55	103,50	1401,4
234	7/05/2021 7:00:00	7/05/2021 7:59:55	103,60	1406,8
235	7/05/2021 8:00:00	7/05/2021 8:59:55	103,50	1369,7
236	7/05/2021 9:00:00	7/05/2021 9:59:55	103,20	1349,2
237	7/05/2021 10:00:00	7/05/2021 10:59:55	103,20	1260,5
238	7/05/2021 11:00:00	7/05/2021 11:59:55	103,60	1168
239	7/05/2021 12:00:00	7/05/2021 12:59:55	103,10	1237,6
240	7/05/2021 13:00:00	7/05/2021 13:59:55	102,30	1335,9
241	7/05/2021 14:00:00	7/05/2021 14:59:55	104,00	1118,1
242	7/05/2021 15:00:00	7/05/2021 15:59:55	103,40	1206,9
243	7/05/2021 16:00:00	7/05/2021 16:59:55	103,30	1313,9
244	7/05/2021 17:00:00	7/05/2021 17:59:55	103,70	1275,1
245	7/05/2021 18:00:00	7/05/2021 18:59:55	103,70	1323,8
246	7/05/2021 19:00:00	7/05/2021 19:59:55	103,50	1349,8
247	7/05/2021 20:00:00	7/05/2021 20:59:55	103,40	1388,2
248	7/05/2021 21:00:00	7/05/2021 21:59:55	103,30	1351,4
249	7/05/2021 22:00:00	7/05/2021 22:59:55	102,20	1526,4
250	7/05/2021 23:00:00	7/05/2021 23:59:55	103,40	1435,2
251	7/06/2021 0:00:00	7/06/2021 0:59:55	103,30	1460,9
252	7/06/2021 1:00:00	7/06/2021 1:59:55	103,50	1411,2
253	7/06/2021 2:00:00	7/06/2021 2:59:55	103,00	1440,8
254	7/06/2021 3:00:00	7/06/2021 3:59:55	102,60	1297,1
255	7/06/2021 4:00:00	7/06/2021 4:59:55	103,80	1292,4
256	7/06/2021 5:00:00	7/06/2021 5:59:55	103,90	1274,8

257	7/06/2021 6:00:00	7/06/2021 6:59:55	103,90	1320,5
258	7/06/2021 7:00:00	7/06/2021 7:59:55	104,10	1183,8
259	7/06/2021 8:00:00	7/06/2021 8:59:55	103,20	1364,3
260	7/06/2021 9:00:00	7/06/2021 9:59:55	103,10	1348,3
261	7/06/2021 10:00:00	7/06/2021 10:59:55	103,30	1243
262	7/06/2021 11:00:00	7/06/2021 11:59:55	103,50	1287,7
263	7/06/2021 12:00:00	7/06/2021 12:59:55	103,80	1223,9
264	7/06/2021 13:00:00	7/06/2021 13:59:55	104,00	1134,3
265	7/06/2021 14:00:00	7/06/2021 14:59:55	104,00	1128,9
266	7/06/2021 15:00:00	7/06/2021 15:59:55	103,90	1141,9
267	7/06/2021 16:00:00	7/06/2021 16:59:55	103,80	1221,8
268	7/06/2021 17:00:00	7/06/2021 17:59:55	103,80	1239,5
269	7/06/2021 18:00:00	7/06/2021 18:59:55	103,80	1233,1
270	7/06/2021 19:00:00	7/06/2021 19:59:55	103,90	1151,8
271	7/06/2021 20:00:00	7/06/2021 20:59:55	104,20	1158,6
272	7/06/2021 21:00:00	7/06/2021 21:59:55	103,90	1208,8
273	7/06/2021 22:00:00	7/06/2021 22:59:55	103,60	1295,7
274	7/06/2021 23:00:00	7/06/2021 23:59:55	103,90	1216,9
275	7/07/2021 0:00:00	7/07/2021 0:59:55	103,30	1210,6
276	7/07/2021 1:00:00	7/07/2021 1:59:55	103,90	1118,3
277	7/07/2021 2:00:00	7/07/2021 2:59:55	103,70	1364,3
278	7/07/2021 3:00:00	7/07/2021 3:59:55	103,60	1392,8
279	7/07/2021 4:00:00	7/07/2021 4:59:55	103,90	1325,5
280	7/07/2021 5:00:00	7/07/2021 5:59:55	103,90	1271,1
281	7/07/2021 6:00:00	7/07/2021 6:59:55	103,80	1325,6
282	7/07/2021 7:00:00	7/07/2021 7:59:55	103,60	1386,7
283	7/07/2021 8:00:00	7/07/2021 8:59:55	103,30	1466,4
284	7/07/2021 9:00:00	7/07/2021 9:59:55	102,30	1466,5
285	7/07/2021 10:00:00	7/07/2021 10:59:55	102,80	1424,3
286	7/07/2021 11:00:00	7/07/2021 11:59:55	103,00	1287,3
287	7/07/2021 12:00:00	7/07/2021 12:59:55	102,70	1289,9
288	7/07/2021 13:00:00	7/07/2021 13:59:55	98,20	1117,2
289	7/07/2021 14:00:00	7/07/2021 14:59:55	48,60	0
290	7/07/2021 15:00:00	7/07/2021 15:59:55	102,10	1059,7
291	7/07/2021 16:00:00	7/07/2021 16:59:55	103,40	1219,3
292	7/07/2021 17:00:00	7/07/2021 17:59:55	103,60	1326,6
293	7/07/2021 18:00:00	7/07/2021 18:59:55	103,40	1404,8
294	7/07/2021 19:00:00	7/07/2021 19:59:55	103,30	1401,4
295	7/07/2021 20:00:00	7/07/2021 20:59:55	103,50	1376,4
296	7/07/2021 21:00:00	7/07/2021 21:59:55	103,50	1353,2
297	7/07/2021 22:00:00	7/07/2021 22:59:55	103,40	1286,1
298	7/07/2021 23:00:00	7/07/2021 23:59:55	103,90	1273,6
299	7/08/2021 0:00:00	7/08/2021 0:59:55	103,70	1344,3
300	7/08/2021 1:00:00	7/08/2021 1:59:55	103,60	1351,5
301	7/08/2021 2:00:00	7/08/2021 2:59:55	103,70	1360
302	7/08/2021 3:00:00	7/08/2021 3:59:55	103,80	1311,1

303	7/08/2021 4:00:00	7/08/2021 4:59:55	103,70	1351,9
304	7/08/2021 5:00:00	7/08/2021 5:59:55	103,30	1450,1
305	7/08/2021 6:00:00	7/08/2021 6:59:55	103,30	1422,1
306	7/08/2021 7:00:00	7/08/2021 7:59:55	103,70	1387,3
307	7/08/2021 8:00:00	7/08/2021 8:59:55	104,10	1213,2
308	7/08/2021 9:00:00	7/08/2021 9:59:55	103,80	1266,3
309	7/08/2021 10:00:00	7/08/2021 10:59:55	103,30	1345
310	7/08/2021 11:00:00	7/08/2021 11:59:55	103,50	1330,9
311	7/08/2021 12:00:00	7/08/2021 12:59:55	103,60	1318,3
312	7/08/2021 13:00:00	7/08/2021 13:59:55	103,40	1357
313	7/08/2021 14:00:00	7/08/2021 14:59:55	102,50	1332,4
314	7/08/2021 15:00:00	7/08/2021 15:59:55	103,30	1356,8
315	7/08/2021 16:00:00	7/08/2021 16:59:55	102,80	1364,1
316	7/08/2021 17:00:00	7/08/2021 17:59:55	103,30	1391,6
317	7/08/2021 18:00:00	7/08/2021 18:59:55	103,50	1364
318	7/08/2021 19:00:00	7/08/2021 19:59:55	102,70	1296,6
319	7/08/2021 20:00:00	7/08/2021 20:59:55	103,10	1277,6
320	7/08/2021 21:00:00	7/08/2021 21:59:55	103,40	1311,2
321	7/08/2021 22:00:00	7/08/2021 22:59:55	103,60	1292,7
322	7/08/2021 23:00:00	7/08/2021 23:59:55	103,30	1274,4
323	7/09/2021 0:00:00	7/09/2021 0:59:55	103,40	1462,9
324	7/09/2021 1:00:00	7/09/2021 1:59:55	103,30	1559,6
325	7/09/2021 2:00:00	7/09/2021 2:59:55	103,20	1592,8
326	7/09/2021 3:00:00	7/09/2021 3:59:55	103,60	1499,8
327	7/09/2021 4:00:00	7/09/2021 4:59:55	103,30	1540,2
328	7/09/2021 5:00:00	7/09/2021 5:59:55	103,10	1617,3
329	7/09/2021 6:00:00	7/09/2021 6:59:55	103,20	1540,4
330	7/09/2021 7:00:00	7/09/2021 7:59:55	103,00	1561,2
331	7/09/2021 8:00:00	7/09/2021 8:59:55	103,20	1468,1
332	7/09/2021 9:00:00	7/09/2021 9:59:55	103,30	1445,7
333	7/09/2021 10:00:00	7/09/2021 10:59:55	102,80	1390,2
334	7/09/2021 11:00:00	7/09/2021 11:59:55	102,50	1479
335	7/09/2021 12:00:00	7/09/2021 12:59:55	102,50	1579,2
336	7/09/2021 13:00:00	7/09/2021 13:59:55	102,60	1417,4
337	7/09/2021 14:00:00	7/09/2021 14:59:55	102,90	1438,2
338	7/09/2021 15:00:00	7/09/2021 15:59:55	102,70	1475,7
339	7/09/2021 16:00:00	7/09/2021 16:59:55	102,70	1423,8
340	7/09/2021 17:00:00	7/09/2021 17:17:55	102,50	1620
341	9/07/2021 5:20:00 p. m.	9/07/2021 5:59:55 p. m.	103,4	1515,7
342	9/07/2021 6:00:00 p. m.	9/07/2021 6:59:55 p. m.	102,6	1498,3
343	9/07/2021 7:00:00 p. m.	9/07/2021 7:59:55 p. m.	102,7	1475,7
344	9/07/2021 8:00:00 p. m.	9/07/2021 8:59:55 p. m.	103,3	1486,2
345	9/07/2021 9:00:00 p. m.	9/07/2021 9:59:55 p. m.	102,7	1477,2
346	9/07/2021 10:00:00 p. m.	9/07/2021 10:59:55 p. m.	103,5	1401,6
347	9/07/2021 11:00:00 p. m.	9/07/2021 11:59:55 p. m.	103,6	1378,8
348	10/07/2021 12:00:00 a. m.	10/07/2021 12:59:55 a. m.	103,9	1356,6

349	10/07/2021 1:00:00 a. m.	10/07/2021 1:59:55 a. m.	103,8	1342,6
350	10/07/2021 2:00:00 a. m.	10/07/2021 2:59:55 a. m.	103,8	1398,8
351	10/07/2021 3:00:00 a. m.	10/07/2021 3:59:55 a. m.	103,6	1406,4
352	10/07/2021 4:00:00 a. m.	10/07/2021 4:59:55 a. m.	103,8	1429,3
353	10/07/2021 5:00:00 a. m.	10/07/2021 5:59:55 a. m.	103,5	1493,2
354	10/07/2021 6:00:00 a. m.	10/07/2021 6:59:55 a. m.	103,0	1616,1
355	10/07/2021 7:00:00 a. m.	10/07/2021 7:59:55 a. m.	103,2	1578,7
356	10/07/2021 8:00:00 a. m.	10/07/2021 8:59:55 a. m.	103,4	1293,2
357	10/07/2021 9:00:00 a. m.	10/07/2021 9:59:55 a. m.	104,0	1221,0
358	10/07/2021 10:00:00 a. m.	10/07/2021 10:59:55 a. m.	103,1	1379,6
359	10/07/2021 11:00:00 a. m.	10/07/2021 11:59:55 a. m.	103,2	1438,6
360	10/07/2021 12:00:00 p. m.	10/07/2021 12:59:55 p. m.	103,4	1398,0
361	10/07/2021 1:00:00 p. m.	10/07/2021 1:59:55 p. m.	103,8	1320,1
362	10/07/2021 2:00:00 p. m.	10/07/2021 2:59:55 p. m.	103,6	1365,7
363	10/07/2021 3:00:00 p. m.	10/07/2021 3:59:55 p. m.	103,3	1337,4
364	10/07/2021 4:00:00 p. m.	10/07/2021 4:59:55 p. m.	103,3	1248,9
365	10/07/2021 5:00:00 p. m.	10/07/2021 5:59:55 p. m.	103,6	1118,9
366	10/07/2021 6:00:00 p. m.	10/07/2021 6:59:55 p. m.	102,8	1195,3
367	10/07/2021 7:00:00 p. m.	10/07/2021 7:59:55 p. m.	104,0	1105,7
368	10/07/2021 8:00:00 p. m.	10/07/2021 8:59:55 p. m.	103,7	1116,0
369	10/07/2021 9:00:00 p. m.	10/07/2021 9:59:55 p. m.	104,2	1032,3
370	10/07/2021 10:00:00 p. m.	10/07/2021 10:59:55 p. m.	104,5	1015,0
371	10/07/2021 11:00:00 p. m.	10/07/2021 11:59:55 p. m.	104,5	1025,6
372	11/07/2021 12:00:00 a. m.	11/07/2021 12:59:55 a. m.	104,5	1019,6
373	11/07/2021 1:00:00 a. m.	11/07/2021 1:59:55 a. m.	104,4	1060,1
374	11/07/2021 2:00:00 a. m.	11/07/2021 2:59:55 a. m.	104,5	1039,4
375	11/07/2021 3:00:00 a. m.	11/07/2021 3:59:55 a. m.	104,4	1080,0
376	11/07/2021 4:00:00 a. m.	11/07/2021 4:59:55 a. m.	104,5	1038,8
377	11/07/2021 5:00:00 a. m.	11/07/2021 5:59:55 a. m.	104,3	1077,1
378	11/07/2021 6:00:00 a. m.	11/07/2021 6:59:55 a. m.	104,3	1148,8
379	11/07/2021 7:00:00 a. m.	11/07/2021 7:59:55 a. m.	104,2	1120,3
380	11/07/2021 8:00:00 a. m.	11/07/2021 8:59:55 a. m.	104,2	1086,2
381	11/07/2021 9:00:00 a. m.	11/07/2021 9:59:55 a. m.	97,7	910,6
382	11/07/2021 10:00:00 a. m.	11/07/2021 10:59:55 a. m.	104,2	1034,6
383	11/07/2021 11:00:00 a. m.	11/07/2021 11:59:55 a. m.	103,8	1073,6
384	11/07/2021 12:00:00 p. m.	11/07/2021 12:59:55 p. m.	103,1	1031,7
385	11/07/2021 1:00:00 p. m.	11/07/2021 1:59:55 p. m.	103,9	1069,1
386	11/07/2021 2:00:00 p. m.	11/07/2021 2:59:55 p. m.	103,6	1044,4
387	11/07/2021 3:00:00 p. m.	11/07/2021 3:59:55 p. m.	103,9	1012,2
388	11/07/2021 4:00:00 p. m.	11/07/2021 4:59:55 p. m.	104,3	1013,8
389	11/07/2021 5:00:00 p. m.	11/07/2021 5:59:55 p. m.	103,9	1085,8
390	11/07/2021 6:00:00 p. m.	11/07/2021 6:59:55 p. m.	104,1	1107,2
391	11/07/2021 7:00:00 p. m.	11/07/2021 7:59:55 p. m.	104,3	1077,7
392	11/07/2021 8:00:00 p. m.	11/07/2021 8:59:55 p. m.	104,2	1147,0
393	11/07/2021 9:00:00 p. m.	11/07/2021 9:59:55 p. m.	104,0	1212,7
394	11/07/2021 10:00:00 p. m.	11/07/2021 10:59:55 p. m.	103,8	1344,1

395	11/07/2021 11:00:00 p. m.	11/07/2021 11:59:55 p. m.	103,9	1373,2
396	12/07/2021 12:00:00 a. m.	12/07/2021 12:59:55 a. m.	103,8	1375,2
397	12/07/2021 1:00:00 a. m.	12/07/2021 1:59:55 a. m.	103,8	1375,3
398	12/07/2021 2:00:00 a. m.	12/07/2021 2:59:55 a. m.	103,9	1306,3
399	12/07/2021 3:00:00 a. m.	12/07/2021 3:59:55 a. m.	103,9	1259,5
400	12/07/2021 4:00:00 a. m.	12/07/2021 4:59:55 a. m.	104,0	1319,8
401	12/07/2021 5:00:00 a. m.	12/07/2021 5:59:55 a. m.	103,9	1336,9
402	12/07/2021 6:00:00 a. m.	12/07/2021 6:59:55 a. m.	103,8	1327,7
403	12/07/2021 7:00:00 a. m.	12/07/2021 7:59:55 a. m.	103,9	1296,0
404	12/07/2021 8:00:00 a. m.	12/07/2021 8:59:55 a. m.	103,8	1371,0
405	12/07/2021 9:00:00 a. m.	12/07/2021 9:59:55 a. m.	103,2	1255,2
406	12/07/2021 10:00:00 a. m.	12/07/2021 10:59:55 a. m.	103,9	1296,5
407	12/07/2021 11:00:00 a. m.	12/07/2021 11:59:55 a. m.	104,2	1180,8
408	12/07/2021 12:00:00 p. m.	12/07/2021 12:59:55 p. m.	104,0	1295,0
409	12/07/2021 1:00:00 p. m.	12/07/2021 1:59:55 p. m.	104,3	1237,6
410	12/07/2021 2:00:00 p. m.	12/07/2021 2:59:55 p. m.	104,2	1125,8
411	12/07/2021 3:00:00 p. m.	12/07/2021 3:59:55 p. m.	104,2	1143,5
412	12/07/2021 4:00:00 p. m.	12/07/2021 4:59:55 p. m.	104,2	1108,5
413	12/07/2021 5:00:00 p. m.	12/07/2021 5:59:55 p. m.	104,1	1166,3
414	12/07/2021 6:00:00 p. m.	12/07/2021 6:59:55 p. m.	104,1	1256,5
415	12/07/2021 7:00:00 p. m.	12/07/2021 7:59:55 p. m.	104,1	1246,1
416	12/07/2021 8:00:00 p. m.	12/07/2021 8:59:55 p. m.	104,0	1234,2
417	12/07/2021 9:00:00 p. m.	12/07/2021 9:59:55 p. m.	103,9	1274,6
418	12/07/2021 10:00:00 p. m.	12/07/2021 10:59:55 p. m.	103,8	1363,4
419	12/07/2021 11:00:00 p. m.	12/07/2021 11:59:55 p. m.	104,1	1313,2
420	13/07/2021 12:00:00 a. m.	13/07/2021 12:59:55 a. m.	103,6	1451,6
421	13/07/2021 1:00:00 a. m.	13/07/2021 1:59:55 a. m.	103,5	1460,3
422	13/07/2021 2:00:00 a. m.	13/07/2021 2:59:55 a. m.	103,5	1498,6
423	13/07/2021 3:00:00 a. m.	13/07/2021 3:59:55 a. m.	103,8	1403,1
424	13/07/2021 4:00:00 a. m.	13/07/2021 4:59:55 a. m.	103,9	1343,8
425	13/07/2021 5:00:00 a. m.	13/07/2021 5:59:55 a. m.	103,7	1381,8
426	13/07/2021 6:00:00 a. m.	13/07/2021 6:59:55 a. m.	103,7	1427,1
427	13/07/2021 7:00:00 a. m.	13/07/2021 7:59:55 a. m.	103,8	1401,9
428	13/07/2021 8:00:00 a. m.	13/07/2021 8:59:55 a. m.	103,9	1349,1
429	13/07/2021 9:00:00 a. m.	13/07/2021 9:59:55 a. m.	102,2	1368,9
430	13/07/2021 10:00:00 a. m.	13/07/2021 10:59:55 a. m.	103,6	1280,9
431	13/07/2021 11:00:00 a. m.	13/07/2021 11:59:55 a. m.	104,1	1238,5
432	13/07/2021 12:00:00 p. m.	13/07/2021 12:59:55 p. m.	103,8	1304,1
433	13/07/2021 1:00:00 p. m.	13/07/2021 1:59:55 p. m.	104,0	1301,3
434	13/07/2021 2:00:00 p. m.	13/07/2021 2:59:55 p. m.	104,1	1239,6
435	13/07/2021 3:00:00 p. m.	13/07/2021 3:59:55 p. m.	103,9	1258,9
436	13/07/2021 4:00:00 p. m.	13/07/2021 4:59:55 p. m.	103,6	1181,6
437	13/07/2021 5:00:00 p. m.	13/07/2021 5:59:55 p. m.	103,9	1278,9
438	13/07/2021 6:00:00 p. m.	13/07/2021 6:59:55 p. m.	103,9	1311,7
439	13/07/2021 7:00:00 p. m.	13/07/2021 7:59:55 p. m.	103,9	1271,0
440	13/07/2021 8:00:00 p. m.	13/07/2021 8:59:55 p. m.	103,5	1487,2

441	13/07/2021 9:00:00 p. m.	13/07/2021 9:59:55 p. m.	100,3	1234,5
442	13/07/2021 10:00:00 p. m.	13/07/2021 10:59:55 p. m.	100,0	1211,2
443	13/07/2021 11:00:00 p. m.	13/07/2021 11:59:55 p. m.	103,6	1473,2
444	14/07/2021 12:00:00 a. m.	14/07/2021 12:59:55 a. m.	103,7	1420,8
445	14/07/2021 1:00:00 a. m.	14/07/2021 1:59:55 a. m.	103,4	1468,6
446	14/07/2021 2:00:00 a. m.	14/07/2021 2:59:55 a. m.	103,3	1527,5
447	14/07/2021 3:00:00 a. m.	14/07/2021 3:59:55 a. m.	103,3	1525,2
448	14/07/2021 4:00:00 a. m.	14/07/2021 4:59:55 a. m.	103,3	1571,3
449	14/07/2021 5:00:00 a. m.	14/07/2021 5:59:55 a. m.	103,3	1609,1
450	14/07/2021 6:00:00 a. m.	14/07/2021 6:59:55 a. m.	103,1	1705,2
451	14/07/2021 7:00:00 a. m.	14/07/2021 7:59:55 a. m.	103,4	1558,4
452	14/07/2021 8:00:00 a. m.	14/07/2021 8:59:55 a. m.	103,4	1567,2
453	14/07/2021 9:00:00 a. m.	14/07/2021 9:59:55 a. m.	103,7	1345,8
454	14/07/2021 10:00:00 a. m.	14/07/2021 10:59:55 a. m.	103,5	1412,7
455	14/07/2021 11:00:00 a. m.	14/07/2021 11:59:55 a. m.	103,2	1437,7
456	14/07/2021 12:00:00 p. m.	14/07/2021 12:59:55 p. m.	102,8	1404,7
457	14/07/2021 1:00:00 p. m.	14/07/2021 1:59:55 p. m.	103,5	1363,4
458	14/07/2021 2:00:00 p. m.	14/07/2021 2:59:55 p. m.	103,2	1428,3
459	14/07/2021 3:00:00 p. m.	14/07/2021 3:59:55 p. m.	103,3	1417,4
460	14/07/2021 4:00:00 p. m.	14/07/2021 4:59:55 p. m.	103,1	1398,9
461	14/07/2021 5:00:00 p. m.	14/07/2021 5:59:55 p. m.	103,0	1558,2
462	14/07/2021 6:00:00 p. m.	14/07/2021 6:59:55 p. m.	103,2	1645,9
463	14/07/2021 7:00:00 p. m.	14/07/2021 7:59:55 p. m.	103,2	1605,9
464	14/07/2021 8:00:00 p. m.	14/07/2021 8:59:55 p. m.	103,2	1633,3
465	14/07/2021 9:00:00 p. m.	14/07/2021 9:59:55 p. m.	102,0	1563,8
466	14/07/2021 10:00:00 p. m.	14/07/2021 10:59:55 p. m.	103,5	1650,0
467	14/07/2021 11:00:00 p. m.	14/07/2021 11:59:55 p. m.	102,6	1709,6
468	15/07/2021 12:00:00 a. m.	15/07/2021 12:59:55 a. m.	103,5	1546,9
469	15/07/2021 1:00:00 a. m.	15/07/2021 1:59:55 a. m.	103,9	1381,9
470	15/07/2021 2:00:00 a. m.	15/07/2021 2:59:55 a. m.	103,8	1401,0
471	15/07/2021 3:00:00 a. m.	15/07/2021 3:59:55 a. m.	103,8	1429,7
472	15/07/2021 4:00:00 a. m.	15/07/2021 4:59:55 a. m.	103,7	1421,9
473	15/07/2021 5:00:00 a. m.	15/07/2021 5:59:55 a. m.	103,5	1488,3
474	15/07/2021 6:00:00 a. m.	15/07/2021 6:59:55 a. m.	102,9	1762,0
475	15/07/2021 7:00:00 a. m.	15/07/2021 7:59:55 a. m.	103,4	1610,9
476	15/07/2021 8:00:00 a. m.	15/07/2021 8:59:55 a. m.	103,0	1634,2
477	15/07/2021 9:00:00 a. m.	15/07/2021 9:59:55 a. m.	102,7	1660,3
478	15/07/2021 10:00:00 a. m.	15/07/2021 10:59:55 a. m.	102,9	1557,5
479	15/07/2021 11:00:00 a. m.	15/07/2021 11:59:55 a. m.	103,1	1486,5
480	15/07/2021 12:00:00 p. m.	15/07/2021 12:59:55 p. m.	103,4	1395,6
481	15/07/2021 1:00:00 p. m.	15/07/2021 1:59:55 p. m.	103,6	1346,1
482	15/07/2021 2:00:00 p. m.	15/07/2021 2:59:55 p. m.	103,6	1256,3
483	15/07/2021 3:00:00 p. m.	15/07/2021 3:59:55 p. m.	103,6	1295,1
484	15/07/2021 4:00:00 p. m.	15/07/2021 4:59:55 p. m.	103,7	1301,4
485	15/07/2021 5:00:00 p. m.	15/07/2021 5:59:55 p. m.	103,8	1296,8
486	15/07/2021 6:00:00 p. m.	15/07/2021 6:59:55 p. m.	104,0	1276,9

487	15/07/2021 7:00:00 p. m.	15/07/2021 7:59:55 p. m.	104,0	1219,4
488	15/07/2021 8:00:00 p. m.	15/07/2021 8:59:55 p. m.	103,9	1276,5
489	15/07/2021 9:00:00 p. m.	15/07/2021 9:59:55 p. m.	102,9	1326,9
490	15/07/2021 10:00:00 p. m.	15/07/2021 10:59:55 p. m.	104,2	1268,4
491	15/07/2021 11:00:00 p. m.	15/07/2021 11:59:55 p. m.	104,0	1275,4
492	16/07/2021 12:00:00 a. m.	16/07/2021 12:59:55 a. m.	104,1	1257,7
493	16/07/2021 1:00:00 a. m.	16/07/2021 1:59:55 a. m.	103,6	1263,1
494	16/07/2021 2:00:00 a. m.	16/07/2021 2:59:55 a. m.	103,1	1590,1
495	16/07/2021 3:00:00 a. m.	16/07/2021 3:59:55 a. m.	103,4	1559,1
496	16/07/2021 4:00:00 a. m.	16/07/2021 4:59:55 a. m.	103,7	1401,8
497	16/07/2021 5:00:00 a. m.	16/07/2021 5:59:55 a. m.	103,6	1438,6
498	16/07/2021 6:00:00 a. m.	16/07/2021 6:59:55 a. m.	103,7	1423,8
499	16/07/2021 7:00:00 a. m.	16/07/2021 7:59:55 a. m.	103,5	1498,3
500	16/07/2021 8:00:00 a. m.	16/07/2021 8:59:55 a. m.	103,1	1660,3
501	16/07/2021 9:00:00 a. m.	16/07/2021 9:59:55 a. m.	102,9	1562,9
502	16/07/2021 10:00:00 a. m.	16/07/2021 10:59:55 a. m.	103,4	1479,5
503	16/07/2021 11:00:00 a. m.	16/07/2021 11:59:55 a. m.	103,3	1534,8
504	16/07/2021 12:00:00 p. m.	16/07/2021 12:59:55 p. m.	103,3	1435,9
505	16/07/2021 1:00:00 p. m.	16/07/2021 1:59:55 p. m.	103,7	1278,2
506	16/07/2021 2:00:00 p. m.	16/07/2021 2:59:55 p. m.	103,9	1225,5
507	16/07/2021 3:00:00 p. m.	16/07/2021 3:59:55 p. m.	103,6	1191,2
508	16/07/2021 4:00:00 p. m.	16/07/2021 4:59:55 p. m.	104,1	1170,1
509	16/07/2021 5:00:00 p. m.	16/07/2021 5:59:55 p. m.	103,9	1188,7
510	16/07/2021 6:00:00 p. m.	16/07/2021 6:59:55 p. m.	103,9	1221,4
511	16/07/2021 7:00:00 p. m.	16/07/2021 7:59:55 p. m.	104,1	1191,8
512	16/07/2021 8:00:00 p. m.	16/07/2021 8:59:55 p. m.	104,1	1226,5
513	16/07/2021 9:00:00 p. m.	16/07/2021 9:59:55 p. m.	103,3	1218,7
514	16/07/2021 10:00:00 p. m.	16/07/2021 10:59:55 p. m.	103,8	1256,0
515	16/07/2021 11:00:00 p. m.	16/07/2021 11:59:55 p. m.	104,2	1232,2
516	17/07/2021 12:00:00 a. m.	17/07/2021 12:59:55 a. m.	104,1	1269,2
517	17/07/2021 1:00:00 a. m.	17/07/2021 1:59:55 a. m.	103,6	1286,9
518	17/07/2021 2:00:00 a. m.	17/07/2021 2:59:55 a. m.	103,9	1346,4
519	17/07/2021 3:00:00 a. m.	17/07/2021 3:59:55 a. m.	103,8	1382,2
520	17/07/2021 4:00:00 a. m.	17/07/2021 4:59:55 a. m.	103,9	1321,0
521	17/07/2021 5:00:00 a. m.	17/07/2021 5:59:55 a. m.	103,4	1378,8
522	17/07/2021 6:00:00 a. m.	17/07/2021 6:59:55 a. m.	103,6	1374,6
523	17/07/2021 7:00:00 a. m.	17/07/2021 7:59:55 a. m.	103,7	1399,7
524	17/07/2021 8:00:00 a. m.	17/07/2021 8:59:55 a. m.	103,6	1382,0
525	17/07/2021 9:00:00 a. m.	17/07/2021 9:59:55 a. m.	103,9	1280,8
526	17/07/2021 10:00:00 a. m.	17/07/2021 10:59:55 a. m.	104,1	1231,7
527	17/07/2021 11:00:00 a. m.	17/07/2021 11:59:55 a. m.	104,0	1221,7
528	17/07/2021 12:00:00 p. m.	17/07/2021 12:59:55 p. m.	104,0	1281,6
529	17/07/2021 1:00:00 p. m.	17/07/2021 1:49:10 p. m.	103,8	1322,1

Fuente. Casa Luker S. A

E. ANEXO – PUNTOS FRÍOS

Anexo E. Identificación de puntos fríos

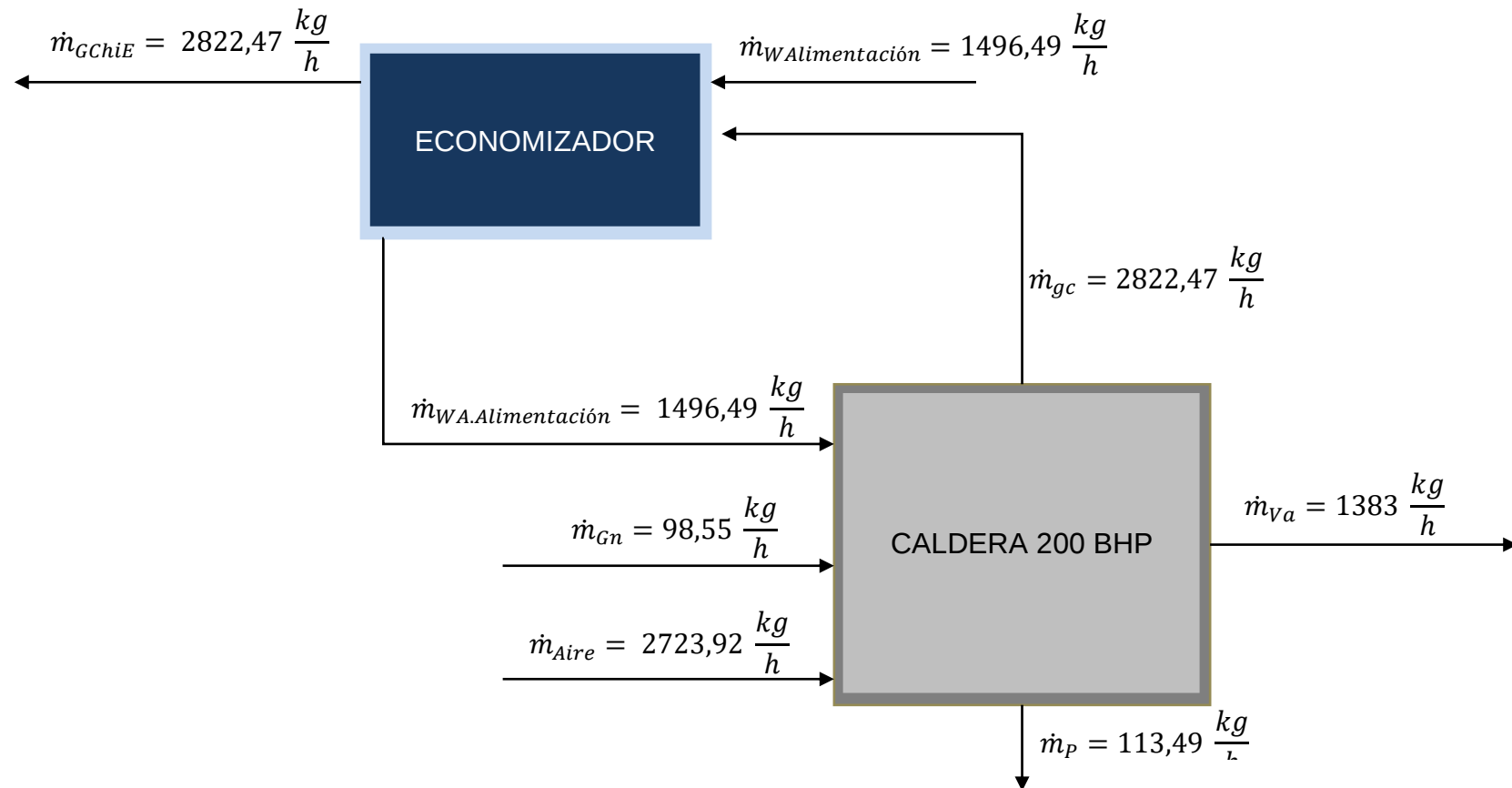
IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS FRÍOS					
ZONA	Nombre del punto	Material de tubería	Diámetro (in)	Diámetro (mm)	Fluido a transportar
Caldera	Retorno	Acero al carbón	1	25,4	Condensado
Caldera	Retorno	Acero al carbón	1/2	12,7	
Lavamoldes y lavapiezas	Alimentación del intercambiador	Acero al carbón	1	25,4	Vapor de agua
Lavamoldes y lavapiezas	Retorno intercambiador	Acero inoxidable	1	25,4	Condensado
Lavamoldes y lavapiezas	Alimentación de lavamoldes	Acero al carbón	1 1/4	31,75	Vapor de agua
Lavamoldes y lavapiezas	Alimentación de lavamoldes	Acero al carbón	1/2	12,7	Condensado
Cataluña	Vapor de agua	Acero al carbón	2	50,8	Vapor de agua
Cataluña	Sistema atemperador	Acero al carbón	1	25,4	Vapor de agua
Tanques prensa	BTQ 15	Acero al carbón	1/2	12,7	Vapor de agua
Tanques prensa	BTQ 15	Acero al carbón	1/2	12,7	Condensado
Tanques prensa	BTQ 16	Acero al carbón	1/2	12,7	Vapor de agua
Tanques prensa	BTQ 16	Acero al carbón	1/2	12,7	Condensado
Tanques prensa	BTQ 17	Acero al carbón	1/2	12,7	Vapor de agua
Tanques prensa	BTQ 17	Acero al carbón	1/2	12,7	Condensado
Instant 1	Retorno de condensados	Acero al carbón	1	25,4	Condensado
Instant 2	Retorno de condensados	Acero al carbón	2	50,8	Condensado
Grageador	Retorno eliminador de rocío	Acero al carbón	1/2	12,7	Condensado
Zona manteca	Retornos condensados BTQ 19	Acero al carbón	1/2	12,7	Condensado
Zona manteca	Zona Lavabo	Acero al carbón	1/2	12,7	Vapor de agua
Zona manteca	Zona Lavabo	Acero al carbón	1/2	12,7	Condensado
Zona manteca	Retornos condensados BTQ 21	Acero al carbón	1/2	12,7	Condensado
Zona manteca	Vapor de Agua BTQ 21	Acero al carbón	3/4	19,05	Vapor de agua
Zona manteca	Retorno caldera zona manteca	Acero al carbón	1/2	12,7	Condensado
Cavemil 1	Tubería suministro	Acero al carbón	2	50,8	Vapor de agua
Cavemil 2	Tubería suministro	Acero al carbón	1	25,4	Condensado
Cavemil 2	Tubería suministro	Acero al carbón	1	25,4	Vapor de agua
Winerotos	Vapor de agua	Acero al carbón	1/2	12,7	Vapor de agua
Cuarto BTQ	Retorno de condensados	Acero al carbón	1/2	12,7	Condensado
Cuarto BTQ	Vapor de agua	Acero al carbón	1/2	12,7	Vapor de agua
Tanques Team	Retorno de condensados	Acero al carbón	3/4	19,05	Condensado
Tanques Team	Vapor de agua	Acero al carbón	1	25,4	Vapor de agua

Planta de Chocolates	Retorno de condensados	Acero al carbón	2	50,8	Condensado
Planta de Chocolates	Retorno de condensados Tubería Naranja	Acero al carbón	2	50,8	Condensado
Planta de Chocolates	Vapor de agua	Acero al carbón	1	25,4	Vapor de agua
Planta de Chocolates	Retorno de condensados	Acero al carbón	1	25,4	Condensado
TQ Mezzanin (x6)	Vapor de agua	Acero al carbón	3/4	19,05	Vapor de agua
TQ Mezzanin (x6)	Vapor de agua	Acero al carbón	1	25,4	Vapor de agua
Distribuidor Cocos	Vapor de agua	Acero al carbón	1/2	12,7	Vapor de agua
Prensa	LCS	Acero al carbón	3/4	19,05	Vapor de agua
Prensa	LCS	Acero al carbón	3/4	19,05	Condensado
Prensa	GDO	Acero al carbón	3/4	19,05	Condensado
Prensa	Vapor de agua	Acero al carbón	2	50,8	Vapor de agua
Prensa	Retorno de condensados	Acero al carbón	1/2	12,7	Condensado
Cuarto Oscuro	Vapor de agua	Acero al carbón	1/2	12,7	Vapor de agua
Cuarto Oscuro	Vapor de agua	Acero al carbón	2	52,07	Vapor de agua
Cuarto Oscuro	Retorno de condensados	Acero al carbón	1	25,4	Condensado
Cuarto Oscuro	Retorno de condensados	Acero al carbón	2	52,07	Condensado

Fuente. Autores

F. ANEXO – BALANCE DE MASA

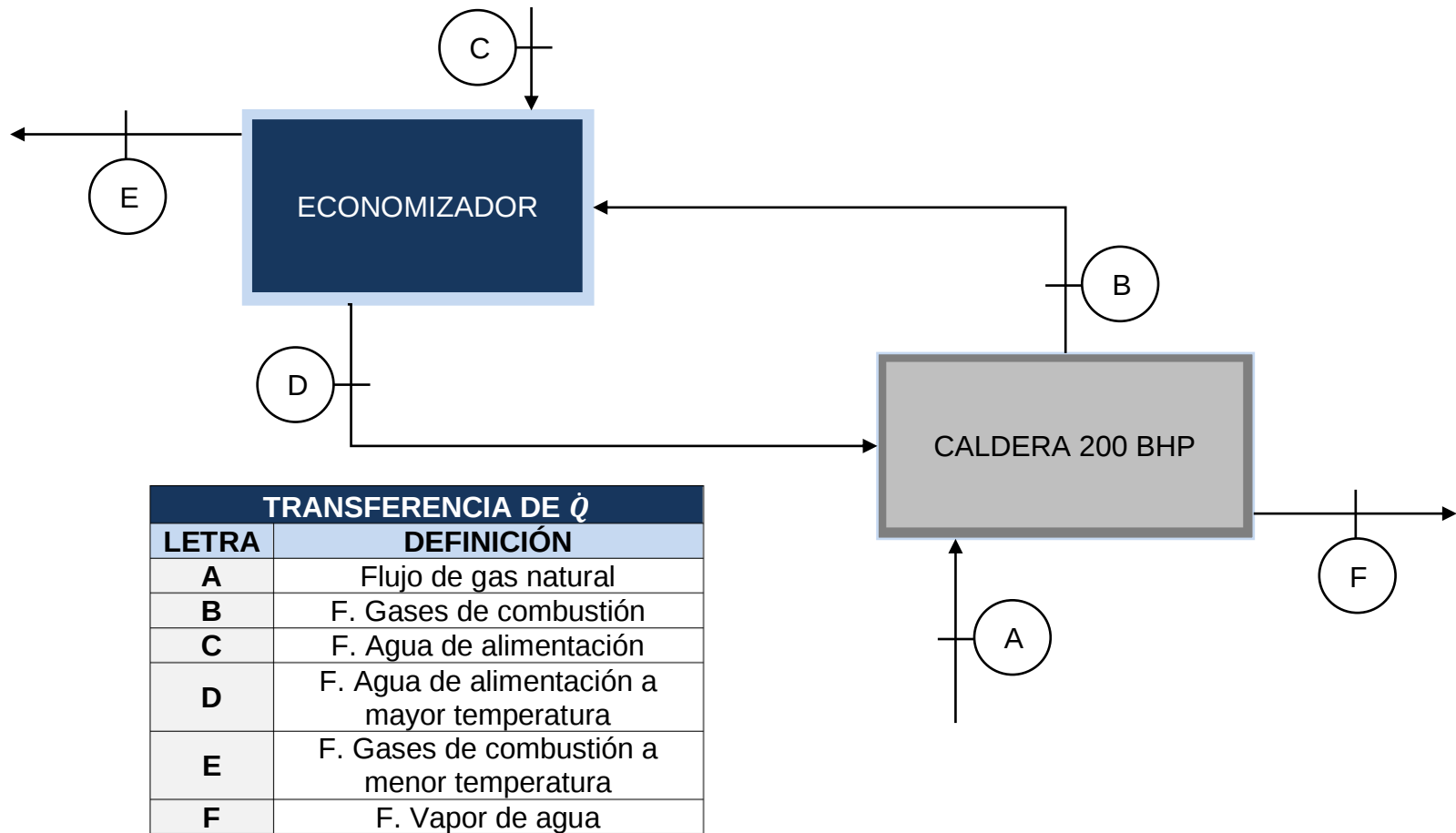
Anexo F. Balance de masa



Fuente. Autores

G. ANEXO – BALANCE DE ENERGÍA

Anexo G. Balance de energía



Fuente. Autores

H. ANEXO – EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA CALDERA 200 BHP POWERMASTER

Anexo H. Eficiencia energética actual

EFICIENCIA ACTUAL DE LA CALDERA 200 BHP															
FECHA Y HORA	ENTALPÍA ENTRADA DE LA CALDERA (h ₁)				ENTALPÍA A LA SALIDA DE LA CALDERA (h ₂)						Producción de vapor (kg/h)	Consumo de combustible (kg/h)	LHV (MJ/m³)	LHV (KJ/m³)	Eficiencia (%)
	Presión (MPa)	T (°C)	F (°F)	Entalpía (KJ/kg)	Presión (MPa)	T (°F) Vapor SobreCa	T (°C) Vapor	Interpolación con 0,6 MPa (h (KJ/Kg))	Interpolación con 0,8 MPa (h (KJ/Kg))	Entalpía (KJ/kg)					
	Líquido Comprimido				Vapor saturado										
26/06/2021 12:00:00 AM	0,786	75	167	314	0,786	337,331	169,63	2780,96	2766,41	2767,41	1550,3	116	40,35	40350	81,26
26/06/2021 1:00:00 AM	0,781	75	167	314	0,781	336,796	169,33	2780,28	2765,69	2767,10	1481,3	114,0	40,35	40350	79,00
26/06/2021 2:00:00 AM	0,788	75	167	314	0,788	337,465	169,70	2781,13	2766,59	2767,49	1460,0	109,0	40,35	40350	81,44
26/06/2021 3:00:00 AM	0,788	75	167	314	0,788	337,532	169,74	2781,22	2766,68	2767,53	1431,1	105,0	40,35	40350	82,88
26/06/2021 4:00:00 AM	0,788	75	167	314	0,788	337,532	169,74	2781,22	2766,68	2767,53	1403,4	104,0	40,35	40350	82,05
26/06/2021 5:00:00 AM	0,789	75	167	314	0,789	337,599	169,78	2781,30	2766,77	2767,57	1385,1	103,0	40,35	40350	81,77
26/06/2021 6:00:00 AM	0,788	75	167	314	0,788	337,465	169,70	2781,13	2766,59	2767,49	1444,0	114,0	40,35	40350	77,02
26/06/2021 7:00:00 AM	0,788	75	167	314	0,788	337,532	169,74	2781,22	2766,68	2767,53	1473,4	150,0	40,35	40350	59,73
26/06/2021 8:00:00 AM	0,790	75	167	314	0,790	337,732	169,85	2781,47	2766,95	2767,65	1373,1	139,0	40,35	40350	60,07
26/06/2021 9:00:00 AM	0,793	75	167	314	0,793	338,000	170,00	2781,81	2767,31	2767,81	1136,1	140,0	40,35	40350	49,35
26/06/2021 10:00:00 AM	0,792	75	167	314	0,792	337,933	169,96	2781,73	2767,22	2767,77	1141,4	135	40,35	40350	51,41
26/06/2021 11:00:00 AM	0,790	75	167	314	0,790	337,732	169,85	2781,47	2766,95	2767,65	1302,5	136	40,35	40350	58,24
26/06/2021 12:00:00 PM	0,788	75	167	314	0,788	337,532	169,74	2781,22	2766,68	2767,53	1396,0	169	40,35	40350	50,23
26/06/2021 1:00:00 PM	0,790	75	167	314	0,790	337,666	169,81	2781,39	2766,86	2767,61	1349,2	111	40,35	40350	73,91
26/06/2021 2:00:00 PM	0,788	75	167	314	0,788	337,532	169,74	2781,22	2766,68	2767,53	1384,1	106	40,35	40350	79,40
26/06/2021 3:00:00 PM	0,789	75	167	314	0,789	337,599	169,78	2781,30	2766,77	2767,57	1390,6	147	40,35	40350	57,52
26/06/2021 4:00:00 PM	0,790	75	167	314	0,790	337,732	169,85	2781,47	2766,95	2767,65	1337,9	105	40,35	40350	77,48
26/06/2021 5:00:00 PM	0,788	75	167	314	0,788	337,532	169,74	2781,22	2766,68	2767,53	1414,0	111	40,35	40350	77,46
26/06/2021 6:00:00 PM	0,788	75	167	314	0,788	337,532	169,74	2781,22	2766,68	2767,53	1371,1	106	40,35	40350	78,65

26/06/2021 7:00:00 PM	0,789	75	167	314	0,789	337,599	169,78	2781,30	2766,77	2767,57	1337,2	105	40,35	40350	77,44
26/06/2021 8:00:00 PM	0,791	75	167	314	0,791	337,799	169,89	2781,56	2767,04	2767,69	1244,8	97	40,35	40350	78,04
26/06/2021 9:00:00 PM	0,792	75	167	314	0,792	337,933	169,96	2781,73	2767,22	2767,77	1028,2	84	40,35	40350	74,44
26/06/2021 10:00:00 PM	0,793	75	167	314	0,793	338,000	170,00	2781,81	2767,31	2767,81	1011,8	82	40,35	40350	75,04
26/06/2021 11:00:00 PM	0,792	75	167	314	0,792	337,933	169,96	2781,73	2767,22	2767,77	1052,5	84	40,35	40350	76,20
27/06/2021 12:00:00 AM	0,793	75	167	314	0,793	338,000	170,00	2781,81	2767,31	2767,81	1050,6	84	40,35	40350	76,06
27/06/2021 1:00:00 AM	0,788	75	167	314	0,788	337,532	169,74	2781,22	2766,68	2767,53	1027,2	86	40,35	40350	72,63
27/06/2021 2:00:00 AM	0,792	75	167	314	0,792	337,933	169,96	2781,73	2767,22	2767,77	1133,2	84	40,35	40350	82,04
27/06/2021 3:00:00 AM	0,793	75	167	314	0,793	338,000	170,00	2781,81	2767,31	2767,81	1140,4	82	40,35	40350	84,57
27/06/2021 4:00:00 AM	0,792	75	167	314	0,792	337,866	169,93	2781,64	2767,13	2767,73	1160,0	84	40,35	40350	83,98
27/06/2021 5:00:00 AM	0,792	75	167	314	0,792	337,866	169,93	2781,64	2767,13	2767,73	1153,2	85	40,35	40350	82,50
27/06/2021 6:00:00 AM	0,788	75	167	314	0,788	337,532	169,74	2781,22	2766,68	2767,53	1426,7	108	40,35	40350	80,33
27/06/2021 7:00:00 AM	0,788	75	167	314	0,788	337,532	169,74	2781,22	2766,68	2767,53	1437,8	109	40,35	40350	80,21
27/06/2021 8:00:00 AM	0,790	75	167	314	0,790	337,732	169,85	2781,47	2766,95	2767,65	1325,9	100	40,35	40350	80,63
27/06/2021 9:00:00 AM	0,792	75	167	314	0,792	337,866	169,93	2781,64	2767,13	2767,73	1194,1	91	40,35	40350	79,80
27/06/2021 10:00:00 AM	0,793	75	167	314	0,793	338,000	170,00	2781,81	2767,31	2767,81	1090,0	85	40,35	40350	77,98
27/06/2021 11:00:00 AM	0,792	75	167	314	0,792	337,933	169,96	2781,73	2767,22	2767,77	1068,5	82	40,35	40350	79,24
27/06/2021 12:00:00 PM	0,792	75	167	314	0,792	337,933	169,96	2781,73	2767,22	2767,77	1105,2	85	40,35	40350	79,07
27/06/2021 1:00:00 PM	0,792	75	167	314	0,792	337,866	169,93	2781,64	2767,13	2767,73	1069,1	83	40,35	40350	78,33
27/06/2021 2:00:00 PM	0,792	75	167	314	0,792	337,933	169,96	2781,73	2767,22	2767,77	1038,9	79	40,35	40350	79,97
27/06/2021 3:00:00 PM	0,792	75	167	314	0,792	337,933	169,96	2781,73	2767,22	2767,77	1064,3	83	40,35	40350	77,98
27/06/2021 4:00:00 PM	0,792	75	167	314	0,792	337,866	169,93	2781,64	2767,13	2767,73	1084,9	85	40,35	40350	77,62
27/06/2021 5:00:00 PM	0,791	75	167	314	0,791	337,799	169,89	2781,56	2767,04	2767,69	1129,2	87	40,35	40350	78,93
27/06/2021 6:00:00 PM	0,790	75	167	314	0,790	337,732	169,85	2781,47	2766,95	2767,65	1258,1	91	40,35	40350	84,07
27/06/2021 7:00:00 PM	0,791	75	167	314	0,791	337,799	169,89	2781,56	2767,04	2767,69	1203,9	89	40,35	40350	82,26
27/06/2021 8:00:00 PM	0,791	75	167	314	0,791	337,799	169,89	2781,56	2767,04	2767,69	1221,2	91	40,35	40350	81,60
27/06/2021 9:00:00 PM	0,790	75	167	314	0,790	337,666	169,81	2781,39	2766,86	2767,61	1331,5	99	40,35	40350	81,78
27/06/2021 10:00:00 PM	0,789	75	167	314	0,789	337,599	169,78	2781,30	2766,77	2767,57	1410,9	112	40,35	40350	76,60
27/06/2021 11:00:00 PM	0,788	75	167	314	0,788	337,465	169,70	2781,13	2766,59	2767,49	1446,0	151	40,35	40350	58,23
28/06/2021 12:00:00 AM	0,788	75	167	314	0,788	337,465	169,70	2781,13	2766,59	2767,49	1475,4	173	40,35	40350	51,86
28/06/2021 1:00:00 AM	0,780	75	167	314	0,780	336,729	169,29	2780,19	2765,60	2767,06	1352,4	188	40,35	40350	43,73
28/06/2021 2:00:00 AM	0,785	75	167	314	0,785	337,197	169,55	2780,79	2766,23	2767,34	1657,1	201	40,35	40350	50,13

28/06/2021 3:00:00 AM	0,788	75	167	314	0,788	337,465	169,70	2781,13	2766,59	2767,49	1560,1	192	40,35	40350	49,41
28/06/2021 4:00:00 AM	0,786	75	167	314	0,786	337,264	169,59	2780,87	2766,32	2767,38	1578,7	196	40,35	40350	48,97
28/06/2021 5:00:00 AM	0,787	75	167	314	0,787	337,398	169,67	2781,05	2766,50	2767,45	1505,5	190	40,35	40350	48,18
28/06/2021 6:00:00 AM	0,788	75	167	314	0,788	337,532	169,74	2781,22	2766,68	2767,53	1427,0	178	40,35	40350	48,75
28/06/2021 7:00:00 AM	0,788	75	167	314	0,788	337,532	169,74	2781,22	2766,68	2767,53	1471,1	178	40,35	40350	50,25
28/06/2021 8:00:00 AM	0,788	75	167	314	0,788	337,465	169,70	2781,13	2766,59	2767,49	1462,9	185	40,35	40350	48,08
28/06/2021 9:00:00 AM	0,786	75	167	314	0,786	337,264	169,59	2780,87	2766,32	2767,38	1579,5	187	40,35	40350	51,36
28/06/2021 10:00:00 AM	0,787	75	167	314	0,787	337,398	169,67	2781,05	2766,50	2767,45	1512,0	165	40,35	40350	55,72
28/06/2021 11:00:00 AM	0,787	75	167	314	0,787	337,398	169,67	2781,05	2766,50	2767,45	1520,5	158	40,35	40350	58,51
28/06/2021 12:00:00 PM	0,788	75	167	314	0,788	337,532	169,74	2781,22	2766,68	2767,53	1471,7	161	40,35	40350	55,58
28/06/2021 1:00:00 PM	0,792	75	167	314	0,792	337,866	169,93	2781,64	2767,13	2767,73	1193,2	162	40,35	40350	44,79
28/06/2021 2:00:00 PM	0,792	75	167	314	0,792	337,866	169,93	2781,64	2767,13	2767,73	1167,6	137	40,35	40350	51,83
28/06/2021 3:00:00 PM	0,791	75	167	314	0,791	337,799	169,89	2781,56	2767,04	2767,69	1162,6	160	40,35	40350	44,19
28/06/2021 4:00:00 PM	0,790	75	167	314	0,790	337,666	169,81	2781,39	2766,86	2767,61	1198,3	163	40,35	40350	44,70
28/06/2021 5:00:00 PM	0,791	75	167	314	0,791	337,799	169,89	2781,56	2767,04	2767,69	1163,2	138	40,35	40350	51,26
28/06/2021 6:00:00 PM	0,790	75	167	314	0,790	337,666	169,81	2781,39	2766,86	2767,61	1290,4	146	40,35	40350	53,74
28/06/2021 7:00:00 PM	0,788	75	167	314	0,788	337,532	169,74	2781,22	2766,68	2767,53	1407,9	138	40,35	40350	62,03
28/06/2021 8:00:00 PM	0,789	75	167	314	0,789	337,599	169,78	2781,30	2766,77	2767,57	1364,4	163	40,35	40350	50,90
28/06/2021 9:00:00 PM	0,790	75	167	314	0,790	337,666	169,81	2781,39	2766,86	2767,61	1360,2	179	40,35	40350	46,21
28/06/2021 10:00:00 PM	0,789	75	167	314	0,789	337,599	169,78	2781,30	2766,77	2767,57	1347,9	174	40,35	40350	47,10
28/06/2021 11:00:00 PM	0,788	75	167	314	0,788	337,532	169,74	2781,22	2766,68	2767,53	1450,0	177	40,35	40350	49,81
29/06/2021 12:00:00 AM	0,788	75	167	314	0,788	337,465	169,70	2781,13	2766,59	2767,49	1452,8	181	40,35	40350	48,80
29/06/2021 1:00:00 AM	0,781	75	167	314	0,781	336,863	169,37	2780,36	2765,78	2767,14	1158,9	176	40,35	40350	40,03
29/06/2021 2:00:00 AM	0,787	75	167	314	0,787	337,398	169,67	2781,05	2766,50	2767,45	1522,2	160	40,35	40350	57,85
29/06/2021 3:00:00 AM	0,787	75	167	314	0,787	337,398	169,67	2781,05	2766,50	2767,45	1562,5	151	40,35	40350	62,92
29/06/2021 4:00:00 AM	0,785	75	167	314	0,785	337,197	169,55	2780,79	2766,23	2767,34	1652,3	199	40,35	40350	50,48
29/06/2021 5:00:00 AM	0,787	75	167	314	0,787	337,398	169,67	2781,05	2766,50	2767,45	1605,8	190	40,35	40350	51,39
29/06/2021 6:00:00 AM	0,783	75	167	314	0,783	337,064	169,48	2780,62	2766,05	2767,26	1716,6	195	40,35	40350	53,52
29/06/2021 7:00:00 AM	0,786	75	167	314	0,786	337,264	169,59	2780,87	2766,32	2767,38	1647,4	195	40,35	40350	51,37
29/06/2021 8:00:00 AM	0,785	75	167	314	0,785	337,197	169,55	2780,79	2766,23	2767,34	1616,0	182	40,35	40350	53,99
29/06/2021 9:00:00 AM	0,784	75	167	314	0,784	337,130	169,52	2780,70	2766,14	2767,30	1607,7	186	40,35	40350	52,55
29/06/2021 10:00:00 AM	0,787	75	167	314	0,787	337,398	169,67	2781,05	2766,50	2767,45	1494,6	171	40,35	40350	53,14

29/06/2021 11:00:00 AM	0,786	75	167	314	0,786	337,331	169,63	2780,96	2766,41	2767,41	1478,4	155	40,35	40350	57,99
29/06/2021 12:00:00 PM	0,788	75	167	314	0,788	337,532	169,74	2781,22	2766,68	2767,53	1409,8	190	40,35	40350	45,12
29/06/2021 1:00:00 PM	0,790	75	167	314	0,790	337,732	169,85	2781,47	2766,95	2767,65	1265,5	180	40,35	40350	42,75
29/06/2021 2:00:00 PM	0,788	75	167	314	0,788	337,532	169,74	2781,22	2766,68	2767,53	1324,5	175	40,35	40350	46,02
29/06/2021 3:00:00 PM	0,789	75	167	314	0,789	337,599	169,78	2781,30	2766,77	2767,57	1356,1	156	40,35	40350	52,86
29/06/2021 4:00:00 PM	0,788	75	167	314	0,788	337,465	169,70	2781,13	2766,59	2767,49	1426,6	155	40,35	40350	55,96
29/06/2021 5:00:00 PM	0,789	75	167	314	0,789	337,599	169,78	2781,30	2766,77	2767,57	1387,3	170	40,35	40350	49,62
29/06/2021 6:00:00 PM	0,785	75	167	314	0,785	337,197	169,55	2780,79	2766,23	2767,34	1554,9	162	40,35	40350	58,36
29/06/2021 7:00:00 PM	0,786	75	167	314	0,786	337,331	169,63	2780,96	2766,41	2767,41	1561,2	195	40,35	40350	48,68
29/06/2021 8:00:00 PM	0,784	75	167	314	0,784	337,130	169,52	2780,70	2766,14	2767,30	1641,1	193	40,35	40350	51,70
29/06/2021 9:00:00 PM	0,786	75	167	314	0,786	337,331	169,63	2780,96	2766,41	2767,41	1536,8	168	40,35	40350	55,62
29/06/2021 10:00:00 PM	0,786	75	167	314	0,786	337,331	169,63	2780,96	2766,41	2767,41	1553,7	141	40,35	40350	67,00
29/06/2021 11:00:00 PM	0,786	75	167	314	0,786	337,264	169,59	2780,87	2766,32	2767,38	1527,9	112	40,35	40350	82,95
30/06/2021 12:00:00 AM	0,783	75	167	314	0,783	336,997	169,44	2780,53	2765,96	2767,22	1518,6	110	40,35	40350	83,93
30/06/2021 1:00:00 AM	0,784	75	167	314	0,784	337,130	169,52	2780,70	2766,14	2767,30	1460,2	117	40,35	40350	75,88
30/06/2021 2:00:00 AM	0,788	75	167	314	0,788	337,532	169,74	2781,22	2766,68	2767,53	1432,9	106	40,35	40350	82,20
30/06/2021 3:00:00 AM	0,788	75	167	314	0,788	337,532	169,74	2781,22	2766,68	2767,53	1415,5	104	40,35	40350	82,76
30/06/2021 4:00:00 AM	0,788	75	167	314	0,788	337,465	169,70	2781,13	2766,59	2767,49	1424,6	105	40,35	40350	82,50
30/06/2021 5:00:00 AM	0,786	75	167	314	0,786	337,331	169,63	2780,96	2766,41	2767,41	1515,0	110	40,35	40350	83,74
30/06/2021 6:00:00 AM	0,784	75	167	314	0,784	337,130	169,52	2780,70	2766,14	2767,30	1657,3	122	40,35	40350	82,59
30/06/2021 7:00:00 AM	0,785	75	167	314	0,785	337,197	169,55	2780,79	2766,23	2767,34	1652,9	123	40,35	40350	81,71
30/06/2021 8:00:00 AM	0,786	75	167	314	0,786	337,264	169,59	2780,87	2766,32	2767,38	1552,7	153	40,35	40350	61,70
30/06/2021 9:00:00 AM	0,788	75	167	314	0,788	337,465	169,70	2781,13	2766,59	2767,49	1432,5	185	40,35	40350	47,08
30/06/2021 10:00:00 AM	0,790	75	167	314	0,790	337,666	169,81	2781,39	2766,86	2767,61	1374,2	175	40,35	40350	47,75
30/06/2021 11:00:00 AM	0,788	75	167	314	0,788	337,465	169,70	2781,13	2766,59	2767,49	1383,3	134	40,35	40350	62,77
30/06/2021 12:00:00 PM	0,787	75	167	314	0,787	337,398	169,67	2781,05	2766,50	2767,45	1460,2	148	40,35	40350	59,99
30/06/2021 1:00:00 PM	0,786	75	167	314	0,786	337,331	169,63	2780,96	2766,41	2767,41	1490,5	125	40,35	40350	72,50
30/06/2021 2:00:00 PM	0,787	75	167	314	0,787	337,398	169,67	2781,05	2766,50	2767,45	1459,1	108	40,35	40350	82,15
30/06/2021 3:00:00 PM	0,786	75	167	314	0,786	337,331	169,63	2780,96	2766,41	2767,41	1486,3	110	40,35	40350	82,16
30/06/2021 4:00:00 PM	0,787	75	167	314	0,787	337,398	169,67	2781,05	2766,50	2767,45	1484,4	112	40,35	40350	80,59
30/06/2021 5:00:00 PM	0,786	75	167	314	0,786	337,331	169,63	2780,96	2766,41	2767,41	1515,3	111	40,35	40350	83,00
30/06/2021 6:00:00 PM	0,788	75	167	314	0,788	337,465	169,70	2781,13	2766,59	2767,49	1467,4	108	40,35	40350	82,62

30/06/2021 7:00:00 PM	0,785	75	167	314	0,785	337,197	169,55	2780,79	2766,23	2767,34	1572,5	140	40,35	40350	68,29
30/06/2021 8:00:00 PM	0,785	75	167	314	0,785	337,197	169,55	2780,79	2766,23	2767,34	1604,4	160	40,35	40350	60,97
30/06/2021 9:00:00 PM	0,787	75	167	314	0,787	337,398	169,67	2781,05	2766,50	2767,45	1562,0	155	40,35	40350	61,27
30/06/2021 10:00:00 PM	0,786	75	167	314	0,786	337,331	169,63	2780,96	2766,41	2767,41	1552,1	178	40,35	40350	53,02
30/06/2021 11:00:00 PM	0,787	75	167	314	0,787	337,398	169,67	2781,05	2766,50	2767,45	1507,0	182	40,35	40350	50,35
01/07/2021 12:00:00 AM	0,780	75	167	314	0,780	336,729	169,29	2780,19	2765,60	2767,06	1512,4	189	40,35	40350	48,65
01/07/2021 1:00:00 AM	0,788	75	167	314	0,788	337,532	169,74	2781,22	2766,68	2767,53	1475,8	192	40,35	40350	46,74
01/07/2021 2:00:00 AM	0,788	75	167	314	0,788	337,465	169,70	2781,13	2766,59	2767,49	1483,6	162	40,35	40350	55,68
01/07/2021 3:00:00 AM	0,788	75	167	314	0,788	337,465	169,70	2781,13	2766,59	2767,49	1508,1	173	40,35	40350	53,01
01/07/2021 4:00:00 AM	0,787	75	167	314	0,787	337,398	169,67	2781,05	2766,50	2767,45	1485,6	178	40,35	40350	50,75
01/07/2021 5:00:00 AM	0,788	75	167	314	0,788	337,465	169,70	2781,13	2766,59	2767,49	1492,1	180	40,35	40350	50,40
01/07/2021 6:00:00 AM	0,783	75	167	314	0,783	337,064	169,48	2780,62	2766,05	2767,26	1691,2	195	40,35	40350	52,73
01/07/2021 7:00:00 AM	0,785	75	167	314	0,785	337,197	169,55	2780,79	2766,23	2767,34	1647,1	194	40,35	40350	51,62
01/07/2021 8:00:00 AM	0,786	75	167	314	0,786	337,264	169,59	2780,87	2766,32	2767,38	1598,2	195	40,35	40350	49,83
01/07/2021 9:00:00 AM	0,786	75	167	314	0,786	337,331	169,63	2780,96	2766,41	2767,41	1556,4	189	40,35	40350	50,07
01/07/2021 10:00:00 AM	0,788	75	167	314	0,788	337,532	169,74	2781,22	2766,68	2767,53	1411,5	164	40,35	40350	52,33
01/07/2021 11:00:00 AM	0,788	75	167	314	0,788	337,465	169,70	2781,13	2766,59	2767,49	1390,4	175	40,35	40350	48,31
01/07/2021 12:00:00 PM	0,788	75	167	314	0,788	337,532	169,74	2781,22	2766,68	2767,53	1375,7	175	40,35	40350	47,80
01/07/2021 1:00:00 PM	0,789	75	167	314	0,789	337,599	169,78	2781,30	2766,77	2767,57	1320,1	172	40,35	40350	46,67
01/07/2021 2:00:00 PM	0,787	75	167	314	0,787	337,398	169,67	2781,05	2766,50	2767,45	1400,8	175	40,35	40350	48,67
01/07/2021 3:00:00 PM	0,788	75	167	314	0,788	337,532	169,74	2781,22	2766,68	2767,53	1375,1	160	40,35	40350	52,26
01/07/2021 4:00:00 PM	0,788	75	167	314	0,788	337,465	169,70	2781,13	2766,59	2767,49	1382,1	175	40,35	40350	48,02
01/07/2021 5:00:00 PM	0,788	75	167	314	0,788	337,532	169,74	2781,22	2766,68	2767,53	770,1	168	40,35	40350	27,87
01/07/2021 6:00:00 PM	0,786	75	167	314	0,786	337,331	169,63	2780,96	2766,41	2767,41	1343,4	160	40,35	40350	51,05
01/07/2021 7:00:00 PM	0,788	75	167	314	0,788	337,465	169,70	2781,13	2766,59	2767,49	1405,6	179	40,35	40350	47,75
01/07/2021 8:00:00 PM	0,787	75	167	314	0,787	337,398	169,67	2781,05	2766,50	2767,45	1437,4	147	40,35	40350	59,46
01/07/2021 9:00:00 PM	0,788	75	167	314	0,788	337,465	169,70	2781,13	2766,59	2767,49	1430,0	159	40,35	40350	54,69
01/07/2021 10:00:00 PM	0,788	75	167	314	0,788	337,532	169,74	2781,22	2766,68	2767,53	1420,3	174	40,35	40350	49,63
01/07/2021 11:00:00 PM	0,788	75	167	314	0,788	337,465	169,70	2781,13	2766,59	2767,49	1428,9	185	40,35	40350	46,96
02/07/2021 12:00:00 AM	0,781	75	167	314	0,781	336,796	169,33	2780,28	2765,69	2767,10	1448,6	187	40,35	40350	47,09
02/07/2021 1:00:00 AM	0,784	75	167	314	0,784	337,130	169,52	2780,70	2766,14	2767,30	1356,9	179	40,35	40350	46,09
02/07/2021 2:00:00 AM	0,781	75	167	314	0,781	336,863	169,37	2780,36	2765,78	2767,14	1338,3	170	40,35	40350	47,86

02/07/2021 3:00:00 AM	0,599	75	167	314	0,599	317,690	158,72	2763,50	2755,94	2763,52	864,5	63	40,35	40350	83,30
02/07/2021 4:00:00 AM	0,792	75	167	314	0,792	337,866	169,93	2781,64	2767,13	2767,73	1177,4	163	40,35	40350	43,93
02/07/2021 5:00:00 AM	0,794	75	167	314	0,794	338,067	170,04	2781,90	2767,40	2767,85	1058,8	146	40,35	40350	44,10
02/07/2021 6:00:00 AM	0,790	75	167	314	0,790	337,732	169,85	2781,47	2766,95	2767,65	1238,5	174	40,35	40350	43,28
02/07/2021 7:00:00 AM	0,789	75	167	314	0,789	337,599	169,78	2781,30	2766,77	2767,57	1293,7	173	40,35	40350	45,47
02/07/2021 8:00:00 AM	0,786	75	167	314	0,786	337,331	169,63	2780,96	2766,41	2767,41	1287,6	178	40,35	40350	43,98
TEMPERATURA PROMEDIO DEL VAPOR DE AGUA							169,65	VAPOR DE AGUA PROMEDIO PRODUCIDO			1383	EFICIENCIA ACTUAL DE LA CALDERA BHP 200			61,85

Fuente. Autores

I. ANEXO - DETERMINACIÓN DE ALCALINIDAD 2320B

En el presente anexo se evidencian las técnicas analíticas para determinar la alcalinidad del agua según lo establecido en el libro Métodos Normalizados para Análisis de Aguas Potables y Residuales; con su correspondiente diagrama de flujo para el respectivo procedimiento.

La alcalinidad depende principalmente de su contenido en carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, por lo que suele tomarse como una indicación de la concentración de estos componentes. Algunos valores pueden incluir también la contribución de boratos, fosfatos, silicatos y otras bases, cuando se hallen presentes (IDEAM, 2005).

Descripción método potenciométrico de alcalinidad 2320B

Para la determinación de la alcalinidad se utiliza el método potenciométrico, donde inicialmente se toma una muestra de agua de 50 ml en un Erlenmeyer, posterior a ello se le añaden 3 gotas de fenolftaleína; la fenolftaleína es usado como indicador de pH (ácido-base) donde de 0 a 8 es incoloro indicando acidez y 8 a 12 se torna a rosado indicando alcalinidad.

Una vez la muestra presente un cambio en su tonalidad a rosado se debe titular con ácido sulfúrico hasta que la muestra sea incolora, después de ello se deben añadir 4 gotas de verde bromocresol. Por otro lado, si la solución no presenta cambios en su tonalidad, es decir incolora, se debe añadir 4 gotas de verde bromocresol. Para finalizar, si luego de añadir las gotas de verde bromocresol la muestra presenta un color azul se debe titular nuevamente con ácido sulfúrico hasta obtener una muestra incolora, si por el contrario su tonalidad es amarilla luego de las gotas de verde bromocresol se determina una titulación igual a cero.

Con este procedimiento realizado se da lugar para iniciar con los correspondientes cálculos de determinación, titulación potenciométrica a pH de punto final, titulación potenciométrica de calidad baja y cálculo de relaciones de alcalinidad.

Titulación potenciométrica a pH de punto final:

$$\text{Alcalinidad, mg Ca} \frac{\text{CO}_3}{\text{l}} = \frac{A * N * 50000}{\text{muestra en ml}}$$

A = ml utilizados de ácido estándar

N = Normalidad del ácido estándar

$$\text{Alcalinidad, mg Ca} \frac{\text{CO}_3}{\text{l}} = \frac{A * t * 1000}{\text{muestra en ml}}$$

$A = \text{ml utilizados de ácido estándar}$
 $t = \text{Título del ácido estándar, mg Ca CO}_3/\text{ml}$

Titulación potenciométrica de calidad baja

$$\text{Alcalinidad, mg Ca } \frac{\text{CO}_3}{\text{l}} = \frac{(2B - C) * N * 50000}{\text{muestra en ml}}$$

$C = \text{ml de titulante para alcanzar un pH inferior a 0,3 unidades.}$

$B = \text{ml de titulante para primer pH registrado.}$

$N = \text{Normalidad del ácido.}$

Cálculo de relaciones de alcalinidad

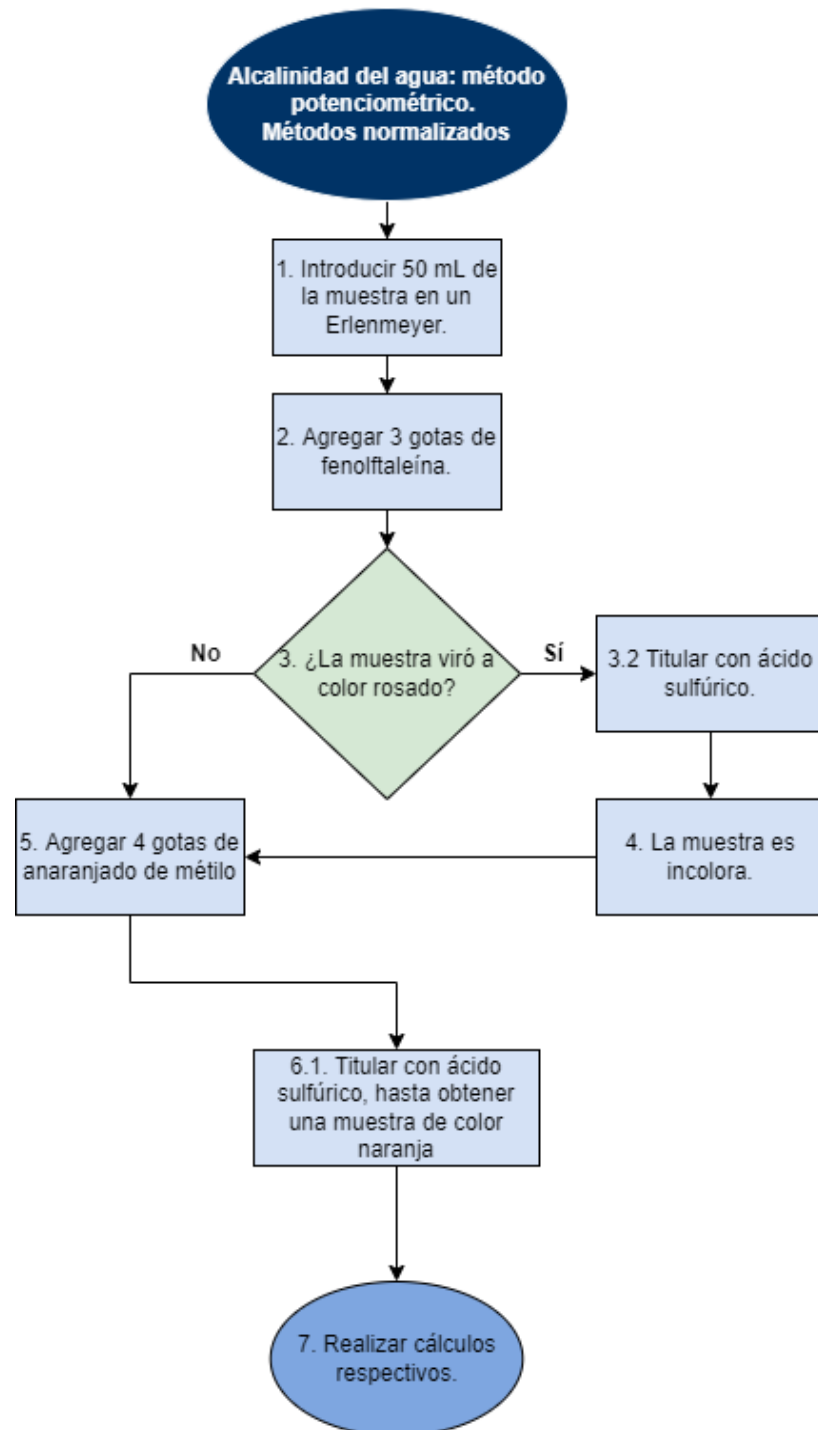
Tabla 32 Relaciones de alcalinidad

Resultado de la titulación	Alcalinidad de hidróxidos como CaCO_3	Alcalinidad de carbonatos como CaCO_3	Concentración de bicarbonatos como CaCO_3
$P = 0$	0	0	T
$P < \frac{1}{2}T$	0	2P	$T - 2P$
$P = \frac{1}{2}T$	0	2P	0
$P > \frac{1}{2}T$	$2P - T$	$2(T - P)$	0
$P = T$	T	0	0

* Clave: P = alcalinidad de fenolftaleína; T = alcalinidad total.

Fuente. (American Public Health Association (APHA), 1992).

Anexo I. Alcalinidad del agua: método potenciométrico



Fuente. (American Public Health Association (APHA), 1992).

ANEXO – DETERMINACIÓN DE DUREZA 2340C

En el presente anexo se evidencian las técnicas analíticas para determinar la dureza del agua según lo establecido en el libro Métodos Normalizados para Análisis de Aguas Potables y Residuales; con su correspondiente diagrama de flujo para el respectivo procedimiento.

La dureza total se define como la suma de las concentraciones de magnesio y calcio, los dos expresados como carbonato cálcico, en miligramos por litro. Dentro del concepto se agrupa la dureza de carbonato y la dureza no carbonatada (IDEAM, 2005).

Descripción método titulométrico EDTA 2340C

Para la determinación de la dureza se utiliza el método titulométrico EDTA, donde inicialmente se toma una muestra de agua de 25 ml en un Erlenmeyer, posterior a ello se le añade, al mismo Erlenmeyer, 25 ml de agua destilada y 1 ml de solución tampón (Buffer pH 10).

Si la muestra presenta un cambio en su tonalidad, se debe titular con EDTA hasta que la muestra sea incolora. Por el contrario, si la solución no presenta cambios en su tonalidad, es decir incolora, se debe añadir media espátula del inhibidor - NET, para luego realizar la titulación con EDTA. Por último, la muestra debe conservar un color azul claro y se deben realizar los respectivos cálculos.

Una vez obtenido el valor de la dureza total y éste es inferior a 5 mg/l, se debe realizar nuevamente el procedimiento y los cálculos, aumentando la cantidad de muestra (100-1000 ml) y reactivos (American Public Health Association (APHA), 1992).

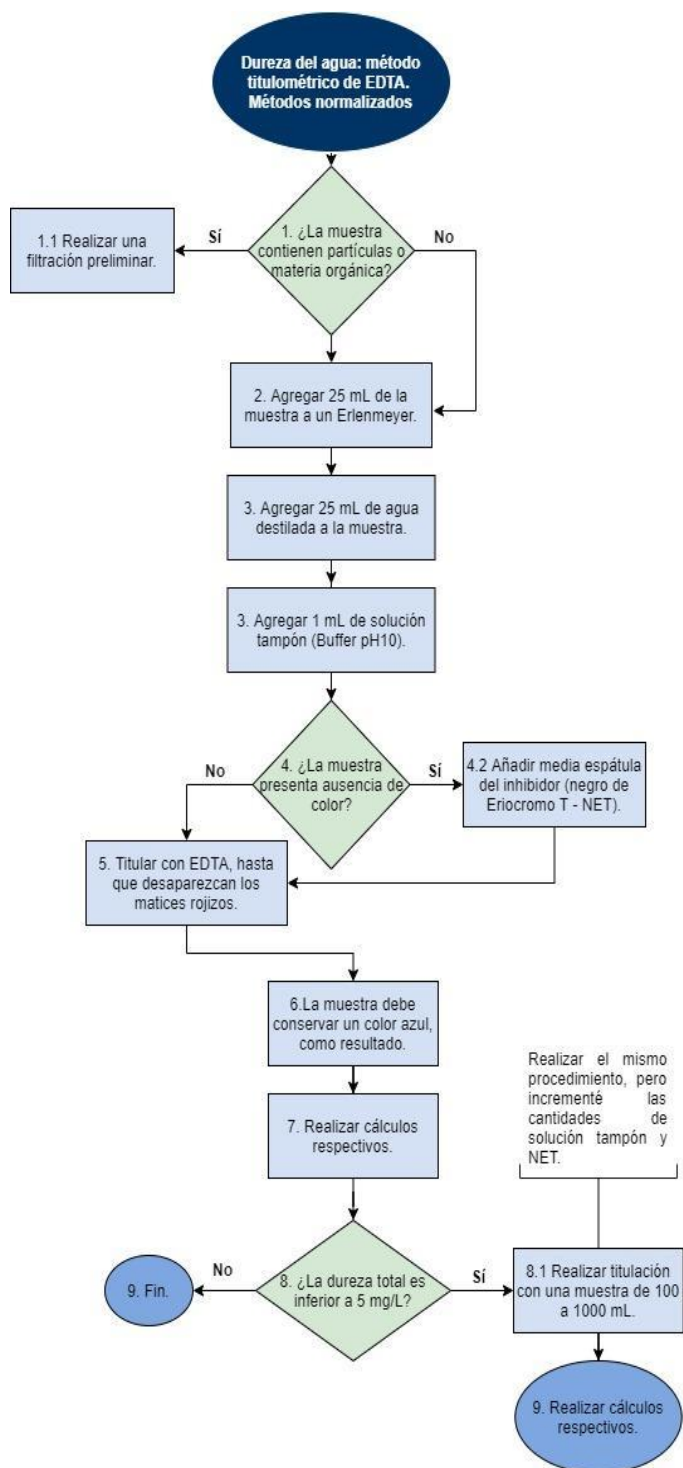
$$Dureza\ EDTA\ Ca\ CO_3 \frac{mg}{L} = \frac{A * B * 1000}{V_{Muestra}}$$

$$V_{Muestra} = \text{Volumen de la muestra (mL)}$$

$$A = \text{Volumen de la titulación para la muestra (mL)}$$

$$B = \text{mg Ca CO}_3 \text{ equivalente a 1,0 ml de titulante EDTA}$$

Anexo J. Dureza del agua: método titulométrico de EDTA



Fuente. (American Public Health Association (APHA), 1992).

J. ANEXO - DESCRIPCIÓN DE LAS CALDERAS PIROTUBULARES EXISTENTES

Los procesos industriales usualmente requieren de calderas de generación de vapor para llevar a cabo operaciones unitarias del proceso, PowerMaster empresa líder en calderas cuenta con variedad de modelos de calderas pirotubulares para la producción de vapor (anexo D).

Anexo K. Descripción de las calderas Pirotubulares existentes PowerMaster

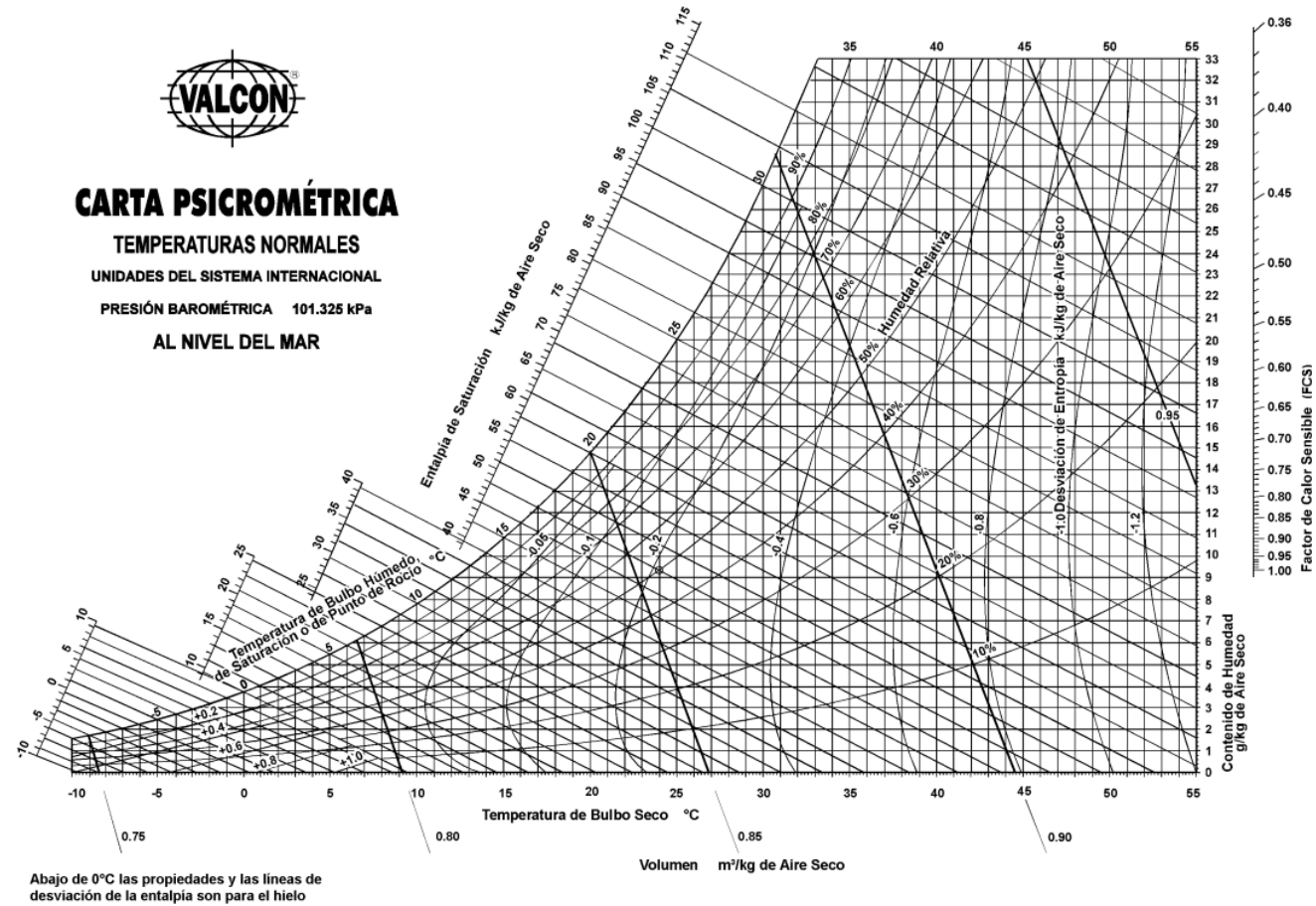
Caldera	Características
POWERMASTER SWB 	Marca: Powermaster. Caldera de generación de: Vapor saturado. Modelo: SWB. Diseño: Horizontal Semi-Wet-Back. Combustibles: Gas LP, Gas Natural, Diesel o Biogás. Tipo: Paquete, Horizontal, Tubos de humo, Escocés Marino. Capacidades: 10 – 60 HP. Presión de diseño estándar: 10.5 Kg/cm2 (150 PSIG). Presión de diseño especial: hasta 21 Kg/cm2 (300 PSIG). Número de pasos: 3. Superficie de calefacción: 5 ft 2/HP. Operación: Automática en Modulante/Dos Flamas/Una Flama. Equipos Auxiliares incluidos: Ninguno.
POWERMASTER WB-2A-3P 	Marca: Powermaster Caldera de generación de: Vapor saturado Modelo: WB-A2-3P Diseño: Horizontal Wet-Back Combustibles: Gas LP, Gas Natural, Diesel, Combustóleo o Biogás Tipo: Paquete, Horizontal, Tubos de humo, Escocés Marino Capacidades: 80 – 1500 HP Presión de diseño estándar: 10.5 Kg/cm2 (150 PSIG) Presión de diseño especial: hasta 21 Kg/cm2 (300 PSIG) / hasta 17.5 Kg/cm2 (250 PSIG) / hasta 14 Kg/cm2 (200 PSIG) Número de pasos: 3 Superficie de calefacción: 5 ft 2/HP hasta 700 HP – variable a partir de 800 HP Operación: Automática en Modulante/Dos Flamas/Una Flama

	Equipos Auxiliares incluidos: Ninguno.
POWERMASTER WB-2A-4P 	Marca: Powermaster. Caldera de generación de: Vapor saturado. Modelo: WB-A2-4P. Diseño: Horizontal Wet-Back. Combustibles: Gas LP, Gas Natural, Diesel, Combustóleo o Biogás. Tipo: Paquete, Horizontal, Tubos de humo, Escocés Marino. Capacidades: 80 – 1000 HP. Presión de diseño estándar: 10.5 Kg/cm2 (150 PSIG). Presión de diseño especial: hasta 17.5 Kg/cm2 (250 PSIG) / hasta 14 Kg/cm2 (200 PSIG). Número de pasos: 4. Superficie de calefacción: 5 ft 2/HP hasta 700 HP – variable a partir de 800 HP. Operación: Automática en Modulante/Dos Flamas/Una Flama. Equipos Auxiliares incluidos: Ninguno.
POWERMATIC VT2 	Marca: Powermatic Caldera de generación de: Vapor saturado. Modelo: VT2. Diseño: Vertical Dry Back. Combustibles: Gas LP, Gas Natural. Tipo: Paquete, Vertical, Tubos de humo. Capacidades: 5 – 40 HP. Presión de diseño estándar: 10.5 Kg/cm2 (150 PSIG). Presión de diseño especial: no disponible. Número de pasos: 2. Superficie de calefacción: 5 ft 2/HP. Operación: Automática en Modulante/Dos Flamas/Una Flama. Equipos Auxiliares incluidos: Ninguno.

Fuente. Modificado de (Calderas - Termo Dinámica Duncan, n.d.)

K. ANEXO – EFICIENCIA ENERGÉTICA ACTUAL

Anexo L. Tablas psicométricas



Fuente. (Psicometría, n.d.)

L. ANEXO – TABLAS DE VAPOR SATURADO

Anexo M. Tablas de vapor saturado

TABLA A-9

Propiedades del agua saturada

Temp., T °C	Presión de saturación, P _{sat} , kPa	Densidad, ρ kg/m ³		Entalpía de vaporización, h _{fg} , kJ/kg	Calor específico, C _p , J/kg · K		Conductividad térmica, k W/m · K		Viscosidad dinámica, μ kg/m · s		Número de Prandtl, Pr		Coeficiente de expansión volumétrica, β 1/K
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2 501	4 217	1 854	0.561	0.0171	1.792 × 10 ⁻³	0.922 × 10 ⁻⁵	13.5	1.00	-0.068 × 10 ⁻³
5	0.8721	999.9	0.0068	2 490	4 205	1 857	0.571	0.0173	1.519 × 10 ⁻³	0.934 × 10 ⁻⁵	11.2	1.00	0.015 × 10 ⁻³
10	1.2276	999.7	0.0094	2 478	4 194	1 862	0.580	0.0176	1.307 × 10 ⁻³	0.946 × 10 ⁻⁵	9.45	1.00	0.733 × 10 ⁻³
15	1.7051	999.1	0.0128	2 466	4 185	1 863	0.589	0.0179	1.138 × 10 ⁻³	0.959 × 10 ⁻⁵	8.09	1.00	0.138 × 10 ⁻³
20	2.339	998.0	0.0173	2 454	4 182	1 867	0.598	0.0182	1.002 × 10 ⁻³	0.973 × 10 ⁻⁵	7.01	1.00	0.195 × 10 ⁻³
25	3.169	997.0	0.0231	2 442	4 180	1 870	0.607	0.0186	0.891 × 10 ⁻³	0.987 × 10 ⁻⁵	6.14	1.00	0.247 × 10 ⁻³
30	4.246	996.0	0.0304	2 431	4 178	1 875	0.615	0.0189	0.798 × 10 ⁻³	1.001 × 10 ⁻⁵	5.42	1.00	0.294 × 10 ⁻³
35	5.628	994.0	0.0397	2 419	4 178	1 880	0.623	0.0192	0.720 × 10 ⁻³	1.016 × 10 ⁻⁵	4.83	1.00	0.337 × 10 ⁻³
40	7.384	992.1	0.0512	2 407	4 179	1 885	0.631	0.0196	0.653 × 10 ⁻³	1.031 × 10 ⁻⁵	4.32	1.00	0.377 × 10 ⁻³
45	9.593	990.1	0.0655	2 395	4 180	1 892	0.637	0.0200	0.596 × 10 ⁻³	1.046 × 10 ⁻⁵	3.91	1.00	0.415 × 10 ⁻³
50	12.35	988.1	0.0831	2 383	4 181	1 900	0.644	0.0204	0.547 × 10 ⁻³	1.062 × 10 ⁻⁵	3.55	1.00	0.451 × 10 ⁻³
55	15.76	985.2	0.1045	2 371	4 183	1 908	0.649	0.0208	0.504 × 10 ⁻³	1.077 × 10 ⁻⁵	3.25	1.00	0.484 × 10 ⁻³
60	19.94	983.3	0.1304	2 359	4 185	1 916	0.654	0.0212	0.467 × 10 ⁻³	1.093 × 10 ⁻⁵	2.99	1.00	0.517 × 10 ⁻³
65	25.03	980.4	0.1614	2 346	4 187	1 926	0.659	0.0216	0.433 × 10 ⁻³	1.110 × 10 ⁻⁵	2.75	1.00	0.548 × 10 ⁻³
70	31.19	977.5	0.1983	2 334	4 190	1 936	0.663	0.0221	0.404 × 10 ⁻³	1.126 × 10 ⁻⁵	2.55	1.00	0.578 × 10 ⁻³
75	38.58	974.7	0.2421	2 321	4 193	1 948	0.667	0.0225	0.378 × 10 ⁻³	1.142 × 10 ⁻⁵	2.38	1.00	0.607 × 10 ⁻³
80	47.39	971.8	0.2935	2 309	4 197	1 962	0.670	0.0230	0.355 × 10 ⁻³	1.159 × 10 ⁻⁵	2.22	1.00	0.633 × 10 ⁻³
85	57.83	968.1	0.3536	2 296	4 201	1 977	0.673	0.0235	0.333 × 10 ⁻³	1.176 × 10 ⁻⁵	2.08	1.00	0.670 × 10 ⁻³
90	70.14	965.3	0.4235	2 283	4 206	1 993	0.675	0.0240	0.315 × 10 ⁻³	1.193 × 10 ⁻⁵	1.96	1.00	0.702 × 10 ⁻³
95	84.55	961.5	0.5045	2 270	4 212	2 010	0.677	0.0246	0.297 × 10 ⁻³	1.210 × 10 ⁻⁵	1.85	1.00	0.716 × 10 ⁻³
100	101.33	957.9	0.5978	2 257	4 217	2 029	0.679	0.0251	0.282 × 10 ⁻³	1.227 × 10 ⁻⁵	1.75	1.00	0.750 × 10 ⁻³
110	143.27	950.6	0.8263	2 230	4 229	2 071	0.682	0.0262	0.255 × 10 ⁻³	1.261 × 10 ⁻⁵	1.58	1.00	0.798 × 10 ⁻³
120	198.53	943.4	1.121	2 203	4 244	2 120	0.683	0.0275	0.232 × 10 ⁻³	1.296 × 10 ⁻⁵	1.44	1.00	0.858 × 10 ⁻³
130	270.1	934.6	1.496	2 174	4 263	2 177	0.684	0.0288	0.213 × 10 ⁻³	1.330 × 10 ⁻⁵	1.33	1.01	0.913 × 10 ⁻³
140	361.3	921.7	1.965	2 145	4 286	2 244	0.683	0.0301	0.197 × 10 ⁻³	1.365 × 10 ⁻⁵	1.24	1.02	0.970 × 10 ⁻³
150	475.8	916.6	2.546	2 114	4 311	2 314	0.682	0.0316	0.183 × 10 ⁻³	1.399 × 10 ⁻⁵	1.16	1.02	1.025 × 10 ⁻³
160	617.8	907.4	3.256	2 083	4 340	2 420	0.680	0.0331	0.170 × 10 ⁻³	1.434 × 10 ⁻⁵	1.09	1.05	1.145 × 10 ⁻³
170	791.7	897.7	4.119	2 050	4 370	2 490	0.677	0.0347	0.160 × 10 ⁻³	1.468 × 10 ⁻⁵	1.03	1.05	1.178 × 10 ⁻³
180	1 002.1	887.3	5.153	2 015	4 410	2 590	0.673	0.0364	0.150 × 10 ⁻³	1.502 × 10 ⁻⁵	0.983	1.07	1.210 × 10 ⁻³
190	1 254.4	876.4	6.388	1 979	4 460	2 710	0.669	0.0382	0.142 × 10 ⁻³	1.537 × 10 ⁻⁵	0.947	1.09	1.280 × 10 ⁻³
200	1 553.8	864.3	7.852	1 941	4 500	2 840	0.663	0.0401	0.134 × 10 ⁻³	1.571 × 10 ⁻⁵	0.910	1.11	1.350 × 10 ⁻³
220	2 318	840.3	11.60	1 859	4 610	3 110	0.650	0.0442	0.122 × 10 ⁻³	1.641 × 10 ⁻⁵	0.865	1.15	1.520 × 10 ⁻³
240	3 344	813.7	16.73	1 767	4 760	3 520	0.632	0.0487	0.111 × 10 ⁻³	1.712 × 10 ⁻⁵	0.836	1.24	1.720 × 10 ⁻³
260	4 688	783.7	23.69	1 663	4 970	4 070	0.609	0.0540	0.102 × 10 ⁻³	1.788 × 10 ⁻⁵	0.832	1.35	2.000 × 10 ⁻³
280	6 412	750.8	33.15	1 544	5 280	4 835	0.581	0.0605	0.094 × 10 ⁻³	1.870 × 10 ⁻⁵	0.854	1.49	2.380 × 10 ⁻³
300	8 581	713.8	46.15	1 405	5 750	5 980	0.548	0.0695	0.086 × 10 ⁻³	1.965 × 10 ⁻⁵	0.902	1.69	2.950 × 10 ⁻³
320	11 274	667.1	64.57	1 239	6 540	7 900	0.509	0.0836	0.078 × 10 ⁻³	2.084 × 10 ⁻⁵	1.00	1.97	—
340	14 586	610.5	92.62	1 028	8 240	11 870	0.469	0.110	0.070 × 10 ⁻³	2.255 × 10 ⁻⁵	1.23	2.43	—
360	18 651	528.3	144.0	720	14 690	25 800	0.427	0.178	0.060 × 10 ⁻³	2.571 × 10 ⁻⁵	2.06	3.73	—
374.14	22 090	317.0	317.0	0	—	—	—	—	0.043 × 10 ⁻³	4.313 × 10 ⁻⁵	—	—	—

Fuente. (Incropera & DeWitt, 1999)

M. ANEXO – BALTABLAS DE CAPACIDADES CALORÍFICAS

Anexo N. Capacidades caloríficas

Tabla 3-3a. VALORES PUNTUALES PARA c_p° DE GASES INORGÁNICOS.
(c_p° en unidades molares consistentes)

T (K)	H ₂	N ₂	CO	Aire	O ₂	NO	H ₂ O	CO ₂
100	6.729		6.955		6.958	7.714		
200	6.561	6.957	6.956	6.958	6.961	7.278		
300	6.895	6.961	6.965	6.973	7.019	7.134	8.026	8.894
400	6.974	6.991	7.013	7.034	7.194	7.162	8.185	9.871
500	6.993	7.070	7.120	7.145	7.429	7.289	8.415	10.662
600	7.008	7.197	7.276	7.282	7.670	7.468	8.677	11.311
700	7.035	7.351	7.451	7.463	7.885	7.657	8.959	11.849
800	7.078	7.512	7.624	7.627	8.064	7.833	9.254	12.300
900	7.139	7.671	7.737	7.785	8.212	7.990	9.559	12.678
1000	7.217	7.816	7.932	7.928	8.335	8.126	9.816	12.995
1100	7.308	7.947	8.058	8.050	8.440	8.243	10.145	13.260
1200	7.404	8.063	8.168	8.161	8.530	8.342	10.413	13.490
1300	7.505	8.165	8.265	8.258	8.608	8.426	10.668	13.680
1400	7.610	8.253	8.349	8.342	8.676	8.498	10.909	13.850
1500	7.713	8.330	8.419	8.416	8.739	8.560	11.134	13.990
1600	7.814	8.399	8.431	8.483	8.801	8.614	11.340	14.100
1700	7.911	8.459	8.536	8.543	8.859	8.660	11.530	14.200
1800	8.004	8.512	8.585	8.597	8.917	8.702	11.710	14.300
1900	8.092	8.560	8.627	8.647	8.994	8.738	11.870	14.400
2000	8.175	8.602	8.665	8.692	9.030	8.771	12.010	14.500
2100	8.254	8.640	8.699	8.734	9.085	8.801	12.140	14.600
2200	8.328	8.674	8.730	8.771	9.140	8.828	12.260	14.600
2300	8.398	8.705	8.758	8.808	9.195	8.852	12.370	14.700
2500	8.526	8.759	8.806	8.873	9.302	8.895	12.560	14.800
3000	8.791	8.861	8.898	9.006	9.552	8.981	12.900	15.000
3500	8.993	8.934	8.963	9.108	9.763	9.049	13.200	15.200
4000	9.151	8.989	9.015	9.187	9.933	9.107	13.300	15.300
4500	9.282	9.035	9.059	9.251	10.063	9.158	13.400	15.500
5000	9.389	9.076	9.096	9.315	10.157	9.208	13.500	15.60

Fuente. (Yunus A., 2013)

N. ANEXO – REGISTRO DE DOSIFICACIÓN DE LOS QUÍMICOS INYECTADOS AL TK DE ALIMENTACIÓN

Anexo O. Registro de dosificación de los químicos inyectados al tk de alimentación

RECOMENDACIONES Y/O COMENTARIOS							
Agua Alimentación: Tener presente que a mayor temperatura se pueden disminuir los fenómenos de corrosión al sistema y la disminución de secuestrante de oxígeno, la calidad del agua de alimentación a la caldera repercute directamente sobre el buen funcionamiento de la misma, así como sobre la vida de muchas de las partes y piezas que forman el equipo del generador de vapor. La presencia de gases no condensables son los causantes de la corrosión en las tuberías. A mayor temperatura del agua menos los riesgos de fenómenos de corrosión. La preparación de la química es realizada garantizando el consumo del producto de 8 mil/min, para obtener una protección al sistema y que la bomba dosificadora no succione en vacío ocasionando daño a los diafragmas. Es una recomendación a CASA LUKER, montar un proyecto de proporción directa de vapor para aumentar temperatura. El programa químico continuo establecido inicialmente. Agua purga caldera (150 BHP): La recomendación al momento de poner en funcionamiento el equipo es el aumentar tanto el Stroke (70) y el Speed (70), de la bomba dosificadora durante el primer día (24 horas), y después restablecer la dosificación Strokes (30) y el Speed (30), y 24 horas después de iniciar el sobreconsumo de producto iniciar un régimen de purga severo cada 4 horas por 6 segundos, luego de las 24 horas iniciar el régimen de purga convencional. Agua purga caldera (200 BHP): Por los valores encontrados nos permite establecer la frecuencia de purga de fondo de tal forma que nos con lleve a estabilizar el sistema, con las recomendaciones de la purga severa, mejoro notablemente la calidad del agua químicamente, después de realizar nuevamente la dosificación. Agua Condensados: El retorno de condensado en el sistema de vapor saturado, es el proceso que permite reutilizar el agua y el calor sensible, que puede llevar a ahorros significativos de energía, tratamiento químico y reposición de agua y, evidentemente considerables ahorros de costes. Cabe anotar que los condensados en la actualidad no tienen ningún tratamiento. Por los valores encontrados podeos evidenciar un retorno de condensado con presencia de Hierro Total, ppm, la conductividad presenta valores que se encuentran entro de los parámetros de control.							
STOCK PRODUCTOS	NOVA F-130	15,0 Kg	NOVA F-127	30,0 Kg	NOVA BO-461	20,0 Kg	i. Para la caldera de 200 BHP; Realizar purga de fondo así; 7 segundos cada 3 horas. ii. Para la caldera de 150 BHP; Realizar purga de fondo así; 4 segundos cada 12 horas. iii. Es recomendación determinar desocupar la parte cilíndrica del sistema para iniciar y evacuar el sistema.
DOSIS QUIMICOS	3,0	Kg /día	2,5	Kg /día	2,0	Kg /día	iv. Cerrar la salida de vapor y llenar completamente el interior de la caldera con el agua de alimentación y las dosis sugeridas anteriormente, y en lo posible subir la presión de 5 a 10 psi. v. Purgar de forma continua el dispositivo de seguridad de la mirilla del McDonnell de la caldera 150 BHP vi. Purgar de forma continua el dispositivo de seguridad de la mirilla del McDonnell de la caldera 200 BHP vii. Ya se cuenta con retorno de condensado, se realizará seguimiento para determinar la estabilidad para determinar el consumo de producto.
DIAS DE OPERACIÓN AL MES	30	JUSTIFICACIÓN CAMBIOS DE OPERACIÓN					

Fuente. Casa Luker S.A

O. ANEXO – TB, TRANSFERENCIA DE CALOR SIN AISLAMIENTO Y TRANSFERENCIA DE CALOR CON AISLAMIENTO PARA CONDENSADOS

Tabla 33 Datos de entrada para estimar la transferencia de calor para los condensados

DATOS DE ENTRADA		
Datos Q sin aislamiento térmico		
m punto por tramo	0,0158	kg/s en cda tramo
Cp del agua	4184	J/kg*°C
Datos Q con aislamiento térmico		
T Interna de entrada de los condensados (TA)	75	°C
T supuesta de salida de los condensados (TB)	72	°C
T1 (TA+TB) /2	73,5	°C
T4 (TC) - Suponiendo aislamiento térmico	30	°C
T1-T4	43,5	°C
Constante de conductividad térmica de la lana de vidrio	0,034	W/m*°C
Constante de conductividad térmica de la cubierta de aluminio	230	W/m*°C
Cp Agua	4184	J/kg*°C

Fuente. Autores.

Anexo P. TB, transferencia de calor sin aislamiento y transferencia de calor con aislamiento para condensados

CALCULOS PARA HALLAR r3 Y Q EN LAS TUBERÍAS DE CONDENSADO																							
ZONA	Nombre del punto	TA (°C)	T2 (°C)	r1 (cm)	r2 (cm)	Longitud (m)	K (Constante de conductividad	$\frac{TA/2-T_c+((\ln r2/r1)/(2\pi LK1 \cdot m) \cdot CpTA$	Coefficiente de aislamiento térmico de la tubería	m·Cp	m·Cp· Coeficiente	TB	Transferencia de calor (Q) sin aislamiento	Q	(T1-T4)/Q	Coefficiente de resistencia de la tubería (W/°C)	2πLK2	Ln (r3/r2) = valor hallado	(r2/r3)=e^valor anterior	r3 (cm)	Espesor del aislamiento	Coefficiente de resistencia del aislamiento (W/°C)	Transferencia de calor con aislamiento térmico (W)
Caldera	Retorno	75	40	1,270	1,608	2,56	50	-1,046	0,0003	66,11	-0,48	2,18	4814,34	198,33	0,22	0,000293	0,55	0,12	1,13	1,81	0,20	0,22	198,329
Lavamoldes y lavapiezas	Retorno intercambiador	75	45,5	1,270	1,547	5,50	16,3	-6,264	0,0004	66,11	-0,48	13,14	4089,74	198,33	0,22	0,000	1,17	0,26	1,29	2,00	0,45	0,22	198,329
Lavamoldes y lavapiezas	Alimentación de lavamoldes	75	45,5	0,635	0,912	6,15	50	-7,072	0,0002	66,11	-0,49	14,50	3999,49	198,33	0,22	0,000	1,31	0,29	1,33	1,22	0,30	0,22	198,329
Tanques prensa	BTQ 15	75	62,3	0,635	0,912	11,40	50	-24,299	0,0001	66,11	-0,49	49,26	1701,91	198,33	0,22	0,000	2,44	0,53	1,71	1,56	0,64	0,22	198,329
Tanques prensa	BTQ 16	75	66,75	0,635	0,912	1,03	50	-23,706	0,0011	66,11	-0,43	55,64	1280,04	198,33	0,22	0,001	0,22	0,05	1,05	0,96	0,04	0,22	198,329
Tanques prensa	BTQ 17	75	70,65	0,635	0,912	9,71	50	-32,562	0,0001	66,11	-0,49	66,16	584,32	198,33	0,22	0,000	2,07	0,45	1,58	1,44	0,52	0,22	198,329
Instant 1	Retorno de condensados	75	40,2	1,270	1,608	16,42	50	-2,473	0,0000	66,11	-0,50	4,98	4629,21	198,33	0,22	0,000	3,51	0,77	2,16	3,47	1,86	0,22	198,329
Instant 2	Retorno de condensados	75	45,3	2,540	2,931	4,98	50	-7,346	0,0001	66,11	-0,49	14,87	3975,02	198,33	0,22	0,000	1,06	0,23	1,26	3,70	0,77	0,22	198,329
Grageador	Retorno eliminador de rocío	75	66,75	0,635	0,912	6,19	50	-28,328	0,0002	66,11	-0,49	58,08	1118,32	198,33	0,22	0,000	1,32	0,29	1,34	1,22	0,31	0,22	198,329
Zona manteca	Retorno condensados BTQ 19	75	60,5	0,635	0,912	5,71	50	-22,000	0,0002	66,11	-0,49	45,21	1969,70	198,33	0,22	0,000	1,22	0,27	1,31	1,19	0,28	0,22	198,329
Zona manteca	Zona Lavabo	75	58,5	0,635	0,912	6,74	50	-20,153	0,0002	66,11	-0,49	41,24	2232,04	198,33	0,22	0,000	1,44	0,32	1,37	1,25	0,34	0,22	198,329
Zona manteca	Retorno condensados BTQ 21	75	63,3	0,635	0,912	5,74	50	-24,805	0,0002	66,11	-0,49	50,96	1589,12	198,33	0,22	0,000	1,23	0,27	1,31	1,19	0,28	0,22	198,329
Zona manteca	Retorno caldera zona manteca	75	31,4	0,635	0,912	30,67	50	6,286	0,0000	66,11	-0,50	-12,64	5793,52	198,33	0,22	0,000	6,55	1,44	4,21	3,84	2,92	0,22	198,329
Cavemil 2	Tubería suministro	75	33,6	1,270	1,608	17,82	50	4,109	0,0000	66,11	-0,50	-8,26	5504,53	198,33	0,22	0,000	3,81	0,83	2,30	3,70	2,10	0,22	198,329
Cuarto BTQ	Retorno de condensados	75	62,3	0,635	0,912	7,71	50	-24,059	0,0001	66,11	-0,49	49,09	1713,01	198,33	0,22	0,000	1,65	0,36	1,43	1,31	0,40	0,22	198,329

Tanques Team	Retorno de condensados	75	65,4	0,953	1,240	12,08	50	-27,556	0,0001	66,11	-0,50	55,62	1281,06	198,33	0,22	0,000	2,58	0,57	1,76	2,18	0,94	0,22	198,329				
Planta de Chocolates	Retorno de condensados	75	40,2	2,540	2,931	30,64	50	-2,626	0,0000	66,11	-0,50	5,26	4610,29	198,33	0,22	0,000	6,55	1,44	4,20	12,32	9,39	0,22	198,329				
Planta de Chocolates	Retorno de condensados Tuberia Naranja	75	60	2,540	2,931	20,14	50	-22,388	0,0000	66,11	-0,50	44,91	1989,24	198,33	0,22	0,000	4,30	0,94	2,57	7,53	4,60	0,22	198,329				
Planta de Chocolates	Retorno de condensados	75	48,5	1,270	1,608	18,03	50	-10,794	0,0000	66,11	-0,50	21,71	3523,20	198,33	0,22	0,000	3,85	0,84	2,33	3,74	2,13	0,22	198,329				
Prensa	LCS	75	71,3	0,953	1,240	4,24	50	-32,820	0,0002	66,11	-0,49	67,40	502,34	198,33	0,22	0,000	0,91	0,20	1,22	1,51	0,27	0,22	198,329				
Prensa	GDO	75	72,5	0,953	1,240	1,18	50	-31,477	0,0007	66,11	-0,45	69,48	364,82	198,33	0,22	0,001	0,25	0,06	1,06	1,31	0,07	0,22	198,329				
Prensa	Retorno de condensados	75	67,1	0,635	0,912	4,17	50	-28,231	0,0003	66,11	-0,48	58,60	1084,12	198,33	0,22	0,000	0,89	0,20	1,22	1,11	0,20	0,22	198,329				
Cuarto Oscuro	Retorno de condensados	75	62,3	1,270	1,608	5,00	50	-24,056	0,0002	66,11	-0,49	49,09	1713,19	198,33	0,22	0,000	1,07	0,23	1,26	2,03	0,42	0,22	198,329				
Cuarto Oscuro	Retorno de condensados	75	66,75	2,604	2,995	25,56	50	-29,164	0,0000	66,11	-0,50	58,46	1093,33	198,33	0,22	0,000	5,46	1,20	3,31	9,92	6,92	0,22	198,329				
CALOR TRANSFERIDO (Q) SIN AISLAMIENTO													61155,900		CALOR TRANSFERIDO (Q) CON AISLAMIENTO											4759,888	

Fuente. Autores.

P. ANEXO – TB, TRANSFERENCIA DE CALOR SIN AISLAMIENTO Y TRANSFERENCIA DE CALOR CON AISLAMIENTO PARA EL VAPOR DE AGUA

Tabla 34 Datos de entrada para estimar la transferencia de calor para el vapor de agua

DATOS DE ENTRADA		
Datos Q sin aislamiento térmico		
m punto por tramo	0,025611111	kg/s en cda tramo
Cp del vapor de agua	2470,05	J/kg*°C
Datos Q con aislamiento térmico		
T Interna de entrada del vapor de agua (TA)	169,65	°C
T supuesta de salida del vapor de agua (TB)	164,65	°C
T1 (TA+TB)/2	167,15	°C
T4 (TC) - Suponiendo aislamiento térmico	30	°C
T1-T4	137,15	°C
Constante de conductividad térmica de la lana de vidrio	0,034	W/m*°C

Fuente. Autores.

Anexo Q. TB, transferencia de calor sin aislamiento y transferencia de calor con aislamiento para el vapor de agua

CALCULOS PARA HALLAR r3 Y Q PARA EL VAPOR DE AGUA

ZONA	Nombre del punto	TA (°C)	T2 (°C)	r1 (cm)	r2 (cm)	Longitud (m)	K (Constante de conductividad térmica)	$\frac{TA/2 - T_c + (Ln r2/r1)}{(2\pi LK1) * m}$ CpTA	Coefficiente de aislamiento térmico de la tubería	m*Cp	m*Cp* Coeficiente	TB	Transferencia de calor (Q) sin aislamiento	Q	$(T1-T4)/Q$	Coefficiente de resistencia de la tubería (W/°C)	2mLK2	Ln (r3/r2) = valor hallado	$(r2/r3)=e^{valor anterior}$	r3 (cm)	Espesor	Coefficiente de resistencia del aislamiento (W/°C)	Transferencia de calor con aislamiento térmico (W)
Lavamoldes y lavapiezas	Alimentación intercambiador	169,65	89,8	1,270	1,608	6,47	50	-3,73	0,00012	63,26	-0,49	7,57	10253,26	316,30	0,43	0,00012	1,38	0,60	1,82	2,93	1,32	0,43	316,30
Lavamoldes y lavapiezas	Alimentación de lavamoldes	169,65	82,7	1,588	1,943	12,66	50	2,67	0,00005	63,26	-0,50	-5,38	11072,23	316,30	0,43	0,00005	2,70	1,17	3,23	6,28	4,33	0,43	316,30
Cataluña	Vapor de agua	169,65	91,3	2,540	2,931	1,55	50	-3,32	0,00029	63,26	-0,48	6,89	10296,08	316,30	0,43	0,00029	0,33	0,14	1,15	3,38	0,45	0,43	316,30
Cataluña	Sistema atemperadora	169,65	77,3	1,270	1,608	2,16	50	11,26	0,00035	63,26	-0,48	-23,55	12221,69	316,30	0,43	0,00035	0,46	0,20	1,22	1,96	0,36	0,43	316,30
Tanques prensa	BTQ 15	169,65	88,2	0,635	0,912	5,16	50	-0,98	0,00022	63,26	-0,49	2,02	10604,62	316,30	0,43	0,00022	1,10	0,48	1,61	1,47	0,56	0,43	316,30
Tanques prensa	BTQ 16	169,65	80,5	0,635	0,912	4,26	50	7,23	0,00027	63,26	-0,48	-14,96	11678,84	316,30	0,43	0,00027	0,91	0,39	1,48	1,35	0,44	0,43	316,30
Tanques prensa	BTQ 17	169,65	75,05	0,635	0,912	4,12	50	12,77	0,00028	63,26	-0,48	-26,49	12407,74	316,30	0,43	0,00028	0,88	0,38	1,46	1,34	0,42	0,43	316,30
Zona manteca	Zona Lavabo	169,65	80,5	0,635	0,912	5,88	50	6,43	0,00020	63,26	-0,49	-13,18	11565,99	316,30	0,43	0,00020	1,26	0,54	1,72	1,57	0,66	0,43	316,30
Zona manteca	Vapor de Agua BTQ 21	169,65	86,7	0,953	1,240	1,53	50	4,01	0,00055	63,26	-0,47	-8,61	11276,72	316,30	0,43	0,00055	0,33	0,14	1,15	1,43	0,19	0,43	316,30
Cavemil 1	Tubería suministro	169,65	81,4	2,540	2,931	10,50	50	3,89	0,00004	63,26	-0,50	-7,83	11227,22	316,30	0,43	0,00004	2,24	0,97	2,64	7,75	4,82	0,43	316,30
Cavemil 1	Tubería suministro	169,65	81,4	2,540	2,931	10,50	50	3,89	0,00004	63,26	-0,50	-7,83	11227,22	316,30	0,43	0,00004	2,24	0,97	2,64	7,75	4,82	0,43	316,30
Cavemil 2	Tubería suministro	169,65	86,2	1,270	1,608	2,53	50	1,81	0,00030	63,26	-0,48	-3,76	10970,06	316,30	0,43	0,00030	0,54	0,23	1,26	2,03	0,42	0,43	316,30
Winerotos	Vapor de agua	169,65	120,6	0,635	0,912	0,98	50	-23,16	0,00118	63,26	-0,43	54,42	7289,71	316,30	0,43	0,00118	0,21	0,09	1,09	1,00	0,09	0,43	316,30
Cuarto BTQ	Vapor de agua	169,65	153,1	0,635	0,912	16,70	50	-67,53	0,00007	63,26	-0,50	136,26	2112,36	316,30	0,43	0,00007	3,57	1,55	4,70	4,28	3,37	0,43	316,30
Tanques Team	Vapor de agua	169,65	84,3	1,270	1,608	7,25	50	1,64	0,00010	63,26	-0,49	-3,32	10941,96	316,30	0,43	0,00010	1,55	0,67	1,96	3,15	1,54	0,43	316,30
Planta de Chocolates	Vapor de agua	169,65	93,7	1,270	1,608	18,03	50	-8,43	0,00004	63,26	-0,50	16,95	9660,20	316,30	0,43	0,00004	3,85	1,67	5,31	8,54	6,93	0,43	316,30
TQ Mezzanin (x6)	Vapor de agua	169,65	108,3	0,953	1,240	17,55	50	-22,96	0,00005	63,26	-0,50	46,20	7809,29	316,30	0,43	0,00005	3,75	1,63	5,08	6,30	5,06	0,43	316,30
TQ Mezzanin (x6)	Vapor de agua	169,65	108,3	0,953	1,240	17,55	50	-22,96	0,00005	63,26	-0,50	46,20	7809,29	316,30	0,43	0,00005	3,75	1,63	5,08	6,30	5,06	0,43	316,30
TQ Mezzanin (x6)	Vapor de agua	169,65	111,6	1,270	1,608	11,13	50	-26,05	0,00007	63,26	-0,50	52,55	7407,79	316,30	0,43	0,00007	2,38	1,03	2,80	4,51	2,90	0,43	316,30

TQ Mezzanin (x6)	Vapor de agua	169,65	111,6	1,270	1,608	11,13	50	-26,05	0,00007	63,26	-0,50	52,55	7407,79	316,30	0,43	0,00007	2,38	1,03	2,80	4,51	2,90	0,43	316,30			
Distribuidor Cocos	Vapor de agua	169,65	108,9	0,635	0,912	2,08	50	-18,13	0,00055	63,26	-0,46	39,00	8265,16	316,30	0,43	0,00055	0,44	0,19	1,21	1,11	0,19	0,43	316,30			
Prensa	LCS	169,65	152,3	0,953	1,240	3,55	50	-64,94	0,00024	63,26	-0,49	133,88	2262,75	316,30	0,43	0,00024	0,76	0,33	1,39	1,72	0,48	0,43	316,30			
Prensa	Vapor de agua	169,65	80	2,540	2,931	1,70	50	7,70	0,00027	63,26	-0,48	-15,95	11740,99	316,30	0,43	0,00027	0,36	0,16	1,17	3,43	0,50	0,43	316,30			
Cuarto Oscuro	Vapor de agua	169,65	85,3	0,635	0,912	22,32	50	0,08	0,00005	63,26	-0,50	-0,16	10742,21	316,30	0,43	0,00005	4,77	2,07	7,90	7,21	6,29	0,43	316,30			
Cuarto Oscuro	Vapor de agua	169,65	85,3	0,635	0,912	22,32	50	0,08	0,00005	63,26	-0,50	-0,16	10742,21	316,30	0,43	0,00005	4,77	2,07	7,90	7,21	6,29	0,43	316,30			
Cuarto Oscuro	Vapor de agua	169,65	85,3	0,635	0,912	22,32	50	0,08	0,00005	63,26	-0,50	-0,16	10742,21	316,30	0,43	0,00005	4,77	2,07	7,90	7,21	6,29	0,43	316,30			
Cuarto Oscuro	Vapor de agua	169,65	85,3	0,635	0,912	22,32	50	0,08	0,00005	63,26	-0,50	-0,16	10742,21	316,30	0,43	0,00005	4,77	2,07	7,90	7,21	6,29	0,43	316,30			
Cuarto Oscuro	Vapor de agua	169,65	85,3	0,635	0,912	22,32	50	0,08	0,00005	63,26	-0,50	-0,16	10742,21	316,30	0,43	0,00005	4,77	2,07	7,90	7,21	6,29	0,43	316,30			
Cuarto Oscuro	Vapor de agua	169,65	87,6	2,604	2,931	14,68	50	-2,50	0,00003	63,26	-0,50	5,01	10414,94	316,30	0,43	0,00003	3,14	1,36	3,90	11,42	8,49	0,43	316,30			
Cuarto Oscuro	Vapor de agua	169,65	87,6	2,604	2,931	14,68	50	-2,50	0,00003	63,26	-0,50	5,01	10414,94	316,30	0,43	0,00003	3,14	1,36	3,90	11,42	8,49	0,43	316,30			
Cuarto Oscuro	Vapor de agua	169,65	87,6	2,604	2,931	14,68	50	-2,50	0,00003	63,26	-0,50	5,01	10414,94	316,30	0,43	0,00003	3,14	1,36	3,90	11,42	8,49	0,43	316,30			
CALOR TRANSFERIDO (Q) SIN AISLAMIENTO													302464,836		CALOR TRANSFERIDO (Q) CON AISLAMIENTO										9805,412	

Fuente. Autores.

Q. ANEXO – COTIZACIÓN ECONOMIZADOR

Anexo R. Cotización del economizador

HRG INGENIERÍA LTDA.
www.hrging.com
Calle 68 No 90 a 20 Barrio la Florida
Google Maps @: [HRG Ingeniería Ltda](#)
Bogotá D.C. – Colombia
Teléfono: 0571 438 23 80
Email: camilorod@hrging.com
gerencia@hrging.com



El valor total **NO** incluye costos accesorios, transporte, montaje, obras civiles, ni nada que no sea mencionado en esta cotización

4. CONDICIONES COMERCIALES

FORMA DE PAGO	60% ANTICIPO 40% CONTRAENTREGA
PLAZO DE ENTREGA	: 4 semanas a partir de pago de anticipo.
SITIO DE ENTREGA	: En nuestra planta HRG ingeniería.
GARANTÍAS	: POLIZA CALIDAD DEL 15% POR UN (1) AÑO. CONTRA DESPERFECTOS MECANICOS (1 año).
VALIDEZ DE LA OFERTA	: 1 MES

En espera de su respuesta nos suscribimos.

Cordialmente,

HERNÁN RODRÍGUEZ GÓMEZ
ING. MECÁNICO
GERENTE
ingenieria@hrging.com



DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MAQUINARIA. VENTILACIÓN Y CALEFACCIÓN INDUSTRIAL. INTERCAMBIADORES DE CALOR CARCAZA -TUBO, RADIADORES, TUBERÍA ALETEADA, GASIFICADORES DE BIOMASA, GASIFICADORES DE CARBÓN, CALENTADORES DE AGUA DE CONTACTO DIRECTO, VENTILADORES AXIALES-CENTRÍFUGOS, CABINAS DE PINTURA DE FILTRO SECO Y HÚMEDO, CÁMARAS DE SECADO PARA MADERA Y PROCESO FITOSANITARIO, DESHIDRATADORES DE FRUTAS, SECADORES INDUSTRIALES, MEZCLADORES, TANQUES, MARMITAS, AGITADORES, REDES HIDRÁULICAS Y NEUMÁTICAS, ESTRUCTURAS METÁLICAS, ASESORÍAS Y CONSULTORÍAS EN EL ÁREA TÉRMICA.

HRG INGENIERÍA LTDA.
www.hrging.com
Calle 68 No 90 a 20 Barrio la Florida
Google Maps @: [HRG Ingeniería Ltda](https://www.google.com/maps/@4.610556,-84.388056,15z)
Bogotá D.C. – Colombia
Teléfono: 0571 438 23 80
Email: camilorod@hrging.com
gerencia@hrging.com



ENERGIA LIMPIA - TRANSFERENCIA DE CALOR

Bogotá D.C. 24 de enero de 2022

Señores:

Claudia Lorena Rodríguez León
claudiarodriguezl@usantotomas.edu.co
telf.: 318 290 4468

Anayenci Faizulli Parra Leon
anayenciparra@usantotomas.edu.co
telf.: 321 430 8680



Ref. Cotización: 873464_0

Cordial saludo:

De acuerdo a su amable invitación para cotizar, presentamos a continuación nuestra propuesta para el DISEÑO, Y FABRICACIÓN de:

RECUPERADOR DE CALOR DE CALOR GASES DE COMBUSTION - AGUA

1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EQUIPO

A. INTERCAMBIADOR DE CALOR- GASES DE COMBUSTIÓN – AGUA.

Descripción General del equipo:

Tipo	: Área expandida
Capacidad térmica del equipo	: 26.5 kW (90.000 Btu/h)
Presión máxima de operación	: 80 psi
Presión de prueba	: 250 psi
Flujo masico gases de combustión	: 2035 kg/h
Flujo volumétrico de gases de combustión	: 2100 CFM (3570 m3/h)
Temperatura gases de combustión a la entrada al recuperador	: 158.0 °C
Temperatura gases de combustión a la salida del recuperador	: 118.6 °C
Caudal de agua	: 1500 kg/h
Temperatura de entrada agua	: 75 °C
Temperatura salida agua	: 90 °C
Peso APROXIMADO	: 295 Kg
Dimensiones del equipo	A : 1100 mm H : 630 mm P: 375 mm
Ducto	Ancho 1000 mm aprox. Alto 530 mm aprox. Profundidad 250 mm aprox.

*No se cuentan las dimensiones de los colectores

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MAQUINARIA, VENTILACIÓN Y CALEFACCIÓN INDUSTRIAL, INTERCAMBIADORES DE CALOR CARCAZA –TUBO, RADIADORES, TUBERÍA ALETEADA, GASIFICADORES DE BIOMASA, GASIFICADORES DE CARBÓN, CALENTADORES DE AGUA DE CONTACTO DIRECTO, VENTILADORES AXIALES-CENTRIFUGOS, CABINAS DE PINTURA DE FILTRO SECO Y HÚMEDO, CÁMARAS DE SECADO PARA MADERA Y PROCESO FITOSANITARIO, DESHIDRATADORES DE FRUTAS, SECADORES INDUSTRIALES, MEZCLADORES, TANQUES, MARMITAS, AGITADORES, REDES HIDRÁULICAS Y NEUMÁTICAS, ESTRUCTURAS METÁLICAS, ASESORÍAS Y CONSULTORÍAS EN EL ÁREA TÉRMICA.

HRG INGENIERÍA LTDA.
www.hrging.com
 Calle 68 No 90 a 20 Barrio la Florida
 Google Maps @: [HRG Ingeniería Ltda](#)
 Bogotá D.C. – Colombia
 Teléfono: 0571 438 23 80
 Email: camilorod@hrging.com
gerencia@hrging.com



ENERGIA LIMPIA - TRANSFERENCIA DE CALOR

Numero de filas : 6 (12-11-12-11-12-11)
 Numero de aletas por pulgada : 5
 Diámetro aleta : ~ 40 mm

Materiales del equipo:

En lo relativo a materiales se mantiene la misma relación especificada en el código de diseño entre la tensión de diseño y la de rotura.

Tubería aleteada:

En espiral continuo de acero inoxidable tipo corrugada, para obtener una alta eficiencia de transferencia. La unión de aleta-tubo se hará por presión mecánica.

Tubería	: Ø 1/2" NPS Sch 10 AISI 304
Aleta	: AISI 430
Tipo	: corrugada
Espesor de aleta	: 0,4mm
Conexiones	: Bridas 1 1/2" slip on clase 150 DIN 304 (entrada y salida)
Colectores	: Acero inoxidable AISI 304
Espejos	: Acero inoxidable AISI 304
Unión tubería	: mediante proceso de soldadura tig
Tapas colectoras	: cuentas con tapones para acceso a colectores de los pasos para limpieza.

Pruebas al equipo:

Prueba hidrostática:

- Se Realiza la prueba según Norma ASME Sección VIII; adicionalmente la presión de prueba será de 250 PSI durante 2 horas con registro digital.

2.- TRANSICIONES

Dimensiones: 1000x 500x400 mm a diámetro 390 mm

- transición de sección cuadrada de 1000X 500 mm x 400 mm de altura a sección redonda de 300 mm de diámetro. Peso aproximado 30 Kg.
- Material lamina de acero inoxidable calidad AISI 304 Calibre 16
- Acopladas a recuperador de calor, con bridas del mismo material, mediante tornillería de acero.
- Bridas para acople a ducto chimenea de diámetro 390 mm el lamina de 1/8"
- Empaques para alta temperatura
- Cantidad 2

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MAQUINARIA, VENTILACIÓN Y CALEFACCIÓN INDUSTRIAL, INTERCAMBIADORES DE CALOR CARCAZA -TUBO, RADIADORES, TUBERÍA ALETEADA, GASIFICADORES DE BIOMASA, GASIFICADORES DE CARBÓN, CALENTADORES DE AGUA DE CONTACTO DIRECTO, VENTILADORES AXIALES-CENTRÍFUGOS, CABINAS DE PINTURA DE FILTRO SECO Y HÚMEDO, CÁMARAS DE SECADO PARA MADERA Y PROCESO FITOSANITARIO, DESHIDRATADORES DE FRUTAS, SECADORES INDUSTRIALES, MEZCLADORES, TANQUES, MARMITAS, AGITADORES, REDES HIDRÁULICAS Y NEUMÁTICAS, ESTRUCTURAS METÁLICAS, ASESORÍAS Y CONSULTORÍAS EN EL ÁREA TÉRMICA.

HRG INGENIERÍA LTDA.
www.hrging.com
 Calle 68 No 90 a 20 Barrio la Florida
 Google Maps @: [HRG Ingeniería Ltda](#)
 Bogotá D.C. – Colombia
 Teléfono: 0571 438 23 80
 Email: camilorod@hrging.com
gerencia@hrging.com



ENERGIA LIMPIA - TRANSFERENCIA DE CALOR

B. ENTREGABLES

Se entrega junto con el equipo:

- Dossier de fabricación con, calificación de soldador y procedimiento.
- Data Sheet de diseño
- Planos as built
- Certificación de materiales, prueba hidrostática.
- Manual de operación y mantenimiento.
- Oferta de mantenimiento

Trabajos a realizar

- Cronograma para planeación y seguimiento de las actividades a desarrollar
- Generación de planos en conjunto y despieces para fabricación
- Certificación del soldador y procedimiento de soldadura y fabricación
- Suministro de materiales por parte de proveedores certificados
- Verificación de los certificados de calidad de los materiales utilizados
- Fabricación de la tubería helicoidal
- Fabricación de partes del equipo
- Ensamble general del equipo
- Realización de prueba hidrostática
- Certificados de pruebas
- Suministro de planos
- Entrega del equipo

2. CÓDIGOS Y NORMAS APLICABLES

Para la fabricación de los equipos, se seguirán las siguientes normas y códigos aplicables.

- ASME Código de calderas y tanques a presión, sección II, sección IV, sección VII división y sección IX

3. PROPUESTA ECONÓMICA

Ítem	Descripción	Cantidad	Valor unitario (COP)	Valor Total (COP)
A	Intercambiador gases de combustión - agua	1	\$ 27.250.000	\$ 27.250.000
B	Transiciones para acople a chimenea y recuperador	2	\$ 2.750.000	\$ 5.500.000
C	DOSSIER, MANUAL Y CERTIFICACIONES	1	\$ 1.750.000	\$ 1.750.000
D	Transporte y montaje	1	\$ 3.350.000	\$ 3.350.000
VALOR TOTAL				\$ 37.850.000

NOTAS: El valor total **NO** incluye IVA

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MAQUINARIA, VENTILACIÓN Y CALEFACCIÓN INDUSTRIAL, INTERCAMBIADORES DE CALOR CARCAZA –TUBO, RADIADORES, TUBERÍA ALETEADA, GASIFICADORES DE BIOMASA, GASIFICADORES DE CARBÓN, CALENTADORES DE AGUA DE CONTACTO DIRECTO, VENTILADORES AXIALES-CENTRÍFUGOS, CABINAS DE PINTURA DE FILTRO SECO Y HÚMEDO, CÁMARAS DE SECADO PARA MADERA Y PROCESO FITOSANITARIO, DESHIDRATADORES DE FRUTAS, SECADORES INDUSTRIALES, MEZCLADORES, TANQUES, MARMITAS, AGITADORES, REDES HIDRÁULICAS Y NEUMÁTICAS, ESTRUCTURAS METÁLICAS, ASESORÍAS Y CONSULTORÍAS EN EL ÁREA TÉRMICA.

Fuente. HGR Ingeniería.