



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA

Estudio energético para determinar las mejoras para lograr eficiencia
en una caldera acuotubular, que utiliza biomasa como combustible

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTOR:

Rojas López, Walter Junnior (orcid.org/0000-0001-9062-0016).

ASESOR:

Dr. Salazar Mendoza, Anibal Jesús (orcid.org/0000-0003-4412-8789)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Generación, transmisión y distribución

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo económico, empleo y emprendimiento

CHICLAYO – PERÚ

2022

Dedicatoria

En primer lugar, a Dios, por su ayudarme a terminar mi carrera profesional, por ser mi guía espiritual.

A mí amada esposa, mis hijas; quienes son mi motor y motivo, para cumplir mis metas.

Agradecimiento

A mi padre celestial, que bendice mi familia, y nos cuida a diario.

A mis padres, a mi esposa e hijos, por su apoyo incondicional.

A mis amigos y jefes de trabajo, por su apoyo a lo largo de mi formación académica, y también por sus aportes a esta investigación.

A los docentes de esta casa de estudios por sus enseñanzas brindadas y en especial por su asesoría a este trabajo de investigación.

Índice de contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO	5
III. METODOLOGÍA.....	17
3.1. Tipo y diseño de Investigación.....	17
3.2. Variables, operacionalización.....	17
3.3. Población, muestra y muestreo.....	17
3.4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos	18
3.5. Procedimientos	18
3.6. Método de análisis de datos.....	20
3.7. Aspectos éticos.....	20
IV. RESULTADOS	21
V. DISCUSIÓN.....	59
VI. CONCLUSIONES.....	63
VII. RECOMENDACIONES	65
REFERENCIAS.....	66
ANEXOS	73

Índice de tablas

Tabla 1. Ficha técnica caldera acuotubular.....	21
Tabla 2. Análisis de agua en la caldera acuotubular.....	22
Tabla 3. Datos de operación de caldera.....	23
Tabla 4. Generación de vapor caldera acuotubular.....	23
Tabla 5. Análisis de bagazo húmedo.	26
Tabla 6. Composición de los gases de combustión	28
Tabla 7. Propiedades físicas del bagazo de caña de azúcar.	30
Tabla 8. Propiedades químicas del bagazo de caña de azúcar.	31
Tabla 9. Propiedades químicas del bagazo de caña de azúcar.	31
Tabla 9. Análisis del bagazo en base húmeda.....	32
Tabla 11. Costos de materiales para la construcción del inyector secundario.	54
Tabla 12. Costos de alquiler de equipos para la construcción.	54
Tabla 13. Costos de mano de obra, construcción del inyector de aire.	55
Tabla 14. Costos de mano de obra, montaje del inyector de aire.	55
Tabla 15. Costo total de la implementación de mejora.....	56
Tabla 16. Costo de mantenimiento, inyector aire secundario.....	56
Tabla 16. Tabla análisis económico VAN, TIR, de la mejora propuesta.....	57
Tabla 18. Valor actual neto de la propuesta dada.....	57

Índice de figuras

Figura 1. Proceso de generación de energía en ingenio azucarero.	7
Figura 2. Sistema típico de cogeneración en una planta industrial.	8
Figura 3. Tipos de Calderas, Piro tubular – Acuotubular.	9
Figura 4. Esquema de los equipos de una caldera acuotubular.	11
Figura 5. Bagazo de caña de azúcar.	14
Figura 6. Diseño de ejecución para desarrollo de la investigación.	19
Figura 7. Esquema energético Caldera acuotubular.	38
Figura 8. Calentamiento del agua, diagrama de Mollier.	39
Figura 9. Energía aprovechada de los gases de combustión.	40
Figura 10. Esquema economizador.	45
Figura 11. Sistema aire sobre fuego.	52
Figura 12. Gráfica comparativa de las propuestas de mejora.	53
Figura 13. Valor actual neto de la propuesta de mejora.	58

Resumen

Mediante la presente investigación, se realizará el estudio energético para determinar las mejoras con el objetivo de mejorar la eficiencia en una caldera acuotubular, que utiliza biomasa como combustible, donde se propondrán propuestas de mejora.

La problemática actual, es el bajo rendimiento del generador de vapor en estudio, debido a problemas en su banco de generación, sumado a la falta de mantenimiento en su infraestructura refractaria, produciendo pérdidas por aislamiento térmico en la caldera.

Se empezó por levantar registros documentarios, consultando con el equipo de mantenimiento, para revisar la ficha técnica de la caldera, históricos de mantenimiento y operación, horas de trabajo, horas de parada por fallas, estado de los equipos, consumo de bagazo.

Posteriormente se procedió, a calcular el consumo de bagazo, se realizó un análisis del combustible y sus productos de la combustión, gracias al dato del consumo de bagazo se logró determinar los flujos máxicos de aire y gases.

Dada la situación actual, presentaron las propuestas de mejora, la implementación de un equipo economizador y la instalación de un sistema aire sobre fuego, donde se evaluó el consumo de bagazo según la propuesta.

Por último se realizó un análisis económico de las propuestas de mejora aire sobre fuego, ya que es la más viable y de fácil instalación, según especialistas, se determinó la factibilidad y el retorno de la inversión mediante indicadores económicos.

Palabras clave: Caldera acuotubular, eficiencia, bagazo, sistema aire sobre fuego.

Abstract

Through this research, the energy study will be carried out in a steam generator, with the aim of proposing improvement proposals, to reverse the current state of steam generation of the water tube boiler No. 01, in the Pomalca mill.

The current problem is the low performance of the steam generator under study, due to problems in its generation bank, the lack of equipment such as secondary air injector, added to the lack of maintenance in its refractory infrastructure, producing losses due to thermal insulation. in the boiler.

It began by collecting documentary records, consulting with the maintenance team, to review the technical sheet of boiler No. 01, maintenance and operation history, working hours, shutdown hours due to failures, equipment status, bagasse consumption, electrical consumption of the equipment.

Subsequently, the current efficiency of the boiler was calculated, using two methods, the first direct method; which is the result of the total useful energy used in steam, between the energy released by the fuel, which in our case study is bagasse. We also use the indirect method, where the efficiency will be found, through the losses of the boiler, such as: losses due to moisture in the fuel, losses due to dry gases, losses due to radiation, among others that are detailed in the development of this study. .

Finally, given the current situation, improvements to the boiler are proposed, such as: changing the bank of tubes, implementing a secondary air injector, and improving insulation in the boiler. Thanks to these improvements, the boiler will increase its efficiency by 8%.

Keywords: Water tube boiler, efficiency, bagasse, secondary air injector.

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la agroindustria cumple un papel fundamental en la economía de nuestra nación, y un eslabón principal es la producción del azúcar. Las empresas cuyo rubro es la agroindustria a partir de caña de azúcar, son denominadas como ingenios azucareros. Latinoamérica representa un productor potencial de caña de azúcar, donde Brasil es el mayor productor contribuyendo con 800 millones aproximadas de toneladas anuales, seguido por México y Colombia, nuestro país aporta 1.2 millones de toneladas de producción de azúcar (COMMODITIES, 2019, pág. 3).

Uno de los equipos principales en cualquier ingenio azucarero, son las calderas de tipo acuotubular, que operan a presiones altas de presión y temperatura. Estas juegan un papel muy relevante en el ingenio, son las encargadas de proporcionar energía mecánica, a partir de vapor sobrecalentado, a los turbogeneradores, en la estación de generación de energía, o planta de fuerza y energía térmica a partir de vapor saturado hacia el proceso de cocimiento y obtención del azúcar.

El agente térmico esencial en un ingenio, es el vapor de agua sobrecalentado, con un proceso complejo isobárico, a media o alta presión, dependiendo de la capacidad de la caldera, alcanzando temperaturas hasta de 850 °C, en las cámaras de combustión y 485 °C en el vapor, la combustión en el horno se genera gracias a la ignición de biomasa, donde el bagazo producto de la extracción de la sacarosa es quemado en los hornos de las calderas (Odar D. , 2019, pág. 22).

A este sistema de aprovechamiento simultáneo de electricidad y calor, se considera cogeneración, típico en un ingenio azucarero, permitiendo obtener altos índices de ahorro energético. Este sistema de cogeneración, obtendrá buenos resultados si sus equipos operan en óptimas condiciones, en especial los generadores de vapor (Muñoz, 2015, pág. 3).

En todo ingenio azucarero, la materia prima para cogenerar es el bagazo como biomasa, donde gracias a su poder calorífico 1850 kcal/kg (dependiendo del contenido de humedad y pol), se convierte en un combustible con potencial energético.

Contando con 388 plantas, Brasil es el mayor productor de energía de biomasa con base de caña de azúcar en Latinoamérica, con valores alcanzados por encima de los 12 GW, representando el 7% de la capacidad total instalada en el país (ANEEL, 2018).

En México la biomasa a partir de caña de azúcar (*Saccharum spp*) tiene un considerable potencial energético. En la zafra 2015-2016 se molieron 52,246508 tn de caña en el total de ingenios azucareros que suman 52, produciendo recurso energético en biomasa de bagazo y brosa, obteniendo un potencial energético de 57 277 234.6 TJ (De la Vequia, 2018).

La producción de energía eléctrica en el Perú a partir de renovables para el 2017 fue de 48 326 GWh, de la cual el 0.3% es biomasa (COES, 2017).

En nuestra región se sitúan cuatro ingenios azucareros AgroOlmos, Pomalca, Pucala y Tumán, donde la problemática que atraviesan, los tres últimos, es que operan con tecnología antigua y de baja eficiencia, teniendo muchas pérdidas en sus procesos, en especial sus generadores de vapor.

Estos ingenios presentan deficiencia en su sistema de cogeneración, tal es la problemática que no pueden satisfacer su propia demanda energética, también presentan problemas con su gestión de mantenimiento, y lo más preocupante el impacto ambiental que generan sus operaciones diarias.

No cuentan con sistema de automatización, operan sin medir sus parámetros e indicadores, sin contar con un sistema de monitoreo que permita tomar medidas para procurar la continuidad operacional de la caldera, trabajando sin saber su eficiencia actual de generación.

Expuesta la problemática, formulamos el problema, con la siguiente pregunta: ¿Según el estudio energético de la caldera acuatubular, que utiliza biomasa como combustible, en qué medida determinará su eficiencia?

Este trabajo de investigación, se justifica técnicamente, ya que se desarrollará ingeniería acorde a la problemática de la Caldera, para determinar cuál es el rendimiento actual de generación, donde se logrará saber en qué condiciones viene

operando el generador de vapor, por otro lado se podrá implementar un plan de operación y mantenimiento del generador de vapor.

Por otro lado se pondrá la implementación de tecnología nuevas para la caldera y su equipos, para mejorar en cuanto a la combustión, transferencia de calor y calidad de agua de alimentación.

En cuanto a la justificación social, se enfocó en la parte laboral donde se capacitará a los trabajadores en temas primordiales para su desempeño laboral, como: mantenimiento y operación de calderas acuotubulares, tecnologías nuevas para la generación de vapor, generación a partir de biomasa, y también seguridad en operación y al realizar los trabajos de mantenimiento.

Cabe mencionar que al implementar nuevos equipos para la caldera, generará trabajo en servicio interno, generando incentivos económicos para el personal, también servicio externo, generando nuevos puestos temporales de trabajo, beneficiando a más familias. También es importante mencionar que al mejorar la eficiencia de la caldera, el trabajador tendrá un mejor ambiente de trabajo.

Econmicamente, se justifica; que gracias a este estudio energético, se logrará saber que medidas tomar, o que mejoras realizar, con miras a incrementar su eficiencia, concretado esto se lograra aumentar su capacidad de generación, lo que representa la reducción del costo de generación de vapor sobrecalentado.

Una importante apreciación es la justificación ambiental, donde al determinar su eficiencia y proponer las mejoras, se logrará mitigar la contaminación por los gases de salida de la caldera, esto se logrará buscando alternativas para aprovechar esta energía. También se procurará evitar la polución del bagazo, producto de la combustión en la caldera, buscando soluciones de hermeticidad de la caldera.

En la presente investigación, el objetivo general consiste en realizar un estudio energético para determinar la eficiencia de una caldera acuotubular, que utiliza biomasa como combustible.

Para dar cumplimiento al objetivo general, se desarrollarán los siguientes objetivos específicos:

1. Realizar un diagnóstico de las condiciones de operación de la caldera.

2. Determinar el consumo actual de bagazo como combustible
3. Determinar las propuestas para la mejora de la eficiencia de la caldera.
4. Realizar un análisis económico de las propuestas para mejora energética.

Teniendo el objetivo el objetivo general y específicos de este estudio energético, se plantea la hipótesis: mediante el estudio energético de la caldera, se logrará determinar su eficiencia.

II. MARCO TEÓRICO

Para el sustento de esta investigación, existen varias investigaciones que argumentan el estudio energético de generadores de vapor.

En investigaciones realizadas a nivel nacional se encontró a (Odar G. , 2016), su investigación se desarrolló en el ingenio azucarero de Púcala; buscó elaborar una auditoría energética en el Caldero N° 05, para incrementar la eficiencia energética. Para su estudio determinó su población a las unidades generadoras de vapor del mencionado ingenio, tomando como muestra el caldero acuotubular a bagazo No 05, para lograr su objetivo aplicó la técnica observación, donde se evidenció soda en las empaquetaduras y en las uniones soldadas, significa excesiva dosificación de reactivos para el tratamiento de agua, se propusieron mejoras como cambio de tubos de agua y aislamiento de las partes de transferencia de calor, logrando incrementar en un 10% la eficiencia de la caldera.

(Huanca & Gamarra, 2017), desarrolló su investigación en Agroindustrial San Jacinto, en la ciudad de Chimbote; donde buscó, determinar la influencia del bagazo disponible en el aumento de la potencia efectiva del sistema de cogeneración, donde consideró como dimensiones e indicadores, el flujo másico y presión de vapor, consumo de bagazo, eficiencia de la caldera acuotubular, la potencia efectiva del turbogenerador. Se obtuvo el ratio en generación de vapor, siendo este 2.08 kg vapor / kg de bagazo, con una humedad de 47.5 %, se propuso la adquisición de una nueva caldera bagacera de 60 tn/hr de vapor, se determinó la capacidad máxima del ingenio 5200 toneladas de caña molida diaria, generando 137,12 tn vapor / h, para producir 15,42 MW.

(Paredes, 2017), desarrolló su investigación en la ciudad de Trujillo, en la fábrica Vitapro; donde buscó, realizar un análisis energético por método indirecto completo para determinar las medidas correctivas a realizar para mejorar el rendimiento de la caldera APIN de 400 BHP, determinando las pérdidas en la caldera, por la energía de gases residuales 0.91%, por bagazo no quemado gaseosos 1.57%, por inquemados sólidos 1.76%, por convección y radiación 1.082%, obteniendo un rendimiento de 81.2%. Dentro de las propuestas de mejora para incrementar su eficiencia, está la implementación de un precalentador de aire, cuyo gasto de montaje será de S/ 9,741.90, recuperándose en un periodo no mayor

a 9 meses, gracias a este equipo se logrará reducir la emisión de CO₂ en 415,148.93 kg de CO₂ al año, reduciendo la expansión de huella de carbono.

Así mismo, (Mamani & Ramos, 2018); su investigación la realizó en la ciudad de puno, específicamente en un comedor universitario; donde buscó, realizar la optimización energética de la caldera pirotubular marca "INTESA" de 250 BHP. Para la recolectar datos, empleó fichas de registro, donde con la ayuda de una termocupla digital, obtuvo las temperaturas necesarias para el balance térmico de la caldera, la energía en forma de calor calculada fue, calor útil para calentar el agua, el calor perdido en los gases de escape, calor perdido por combustión incompleta, siendo la eficiencia de la caldera de 66,9%. Para mejorar el rendimiento energético de la caldera, se recomienda un exceso de aire del 10%.

Por otro lado; (Guevara & Valverde, 2020), desarrollo su investigación en agroindustrial Cartavio; donde buscó, preparar una propuesta técnico económica de mejora de caldera N° 20 en base a auditoría energética para disminuir el precio de generación de vapor, aplicó una entrevista, con el objetivo de fijar aspectos operacionales, mantenimiento, para describir las características de la caldera y sus equipos, también empleo encuestas, para definir prioridades y relevancias en cuanto a costos de operación. Se realizó un balance de masa y energía de la caldera, gracias a las fichas de medición de las variables del proceso de generación de vapor, determinando la relación aire combustible 6.91 kg aire / kg bagazo, con un flujo másico de bagazo de 52.68 tn/h, la carga térmica de la caldera fue 128,264.7 kW, siendo el flujo térmico perdido 45,918.77 kW.

En investigaciones realizadas a nivel internacional se encontró a (Parra, 2017), desarrollando su investigación en la ciudad de Guayaquil, Ecuador; donde buscó, elaborar un análisis completo que nos permita conocer el proceso de generación de energía eléctrica mediante cogeneración por biomasa, donde determinó, se determinó que un sistema de cogeneración a bagazo, al producir la misma cantidad de electricidad que una central termoeléctrica convencional, es más eficiente en un 30% y contamina menos.

Para, (López, 2017); quien desarrolló su investigación en la refinería de Barrancabermeja, en la ciudad de Pereira; donde buscó, evaluar la eficiencia de los

generadores de vapor, con el método indirecto mediante la metodología de cálculo que propone la norma (ASME, 2012). Gracias a sus guías de observación, logró recopilar y registrar parámetros de funcionamiento de los generadores de vapor, estos fueron esenciales para calcular el rendimiento mediante el método indirecto, obteniendo un 87,8% para la Caldera SB2951, un 83,6% para la caldera SB2954 y 84,24% para la caldera SB2952, también se detectó un rotura de tubería en el calentador de aire de las dos primeras calderas; por otro lado los valores por pérdidas de radiación y convección son 1,14% para la caldera SB2951, 1,07% para SB2952 y 1,21% ppara SB2954.

Por otro lado, (Álvarez, 2017); quien desarrolló su investigación en el campus de la universidad autónoma de México; donde buscó, realizar una guía metodológica que contenga el procedimiento para la evaluación de una caldera con la información mínima energética que permita establecer los beneficios de la implementación del cambio por una de mayor eficiencia. Para concretar su objetivo general, realizó una ficha de registro, formato de inspección y levantamiento de información de la caldera, donde registró valores del comportamiento actual de operación.

Para el este proyecto, se emplearon teorías relacionadas al temas de investigación, que fueron de ayuda para el desarrollo de los objetivos.

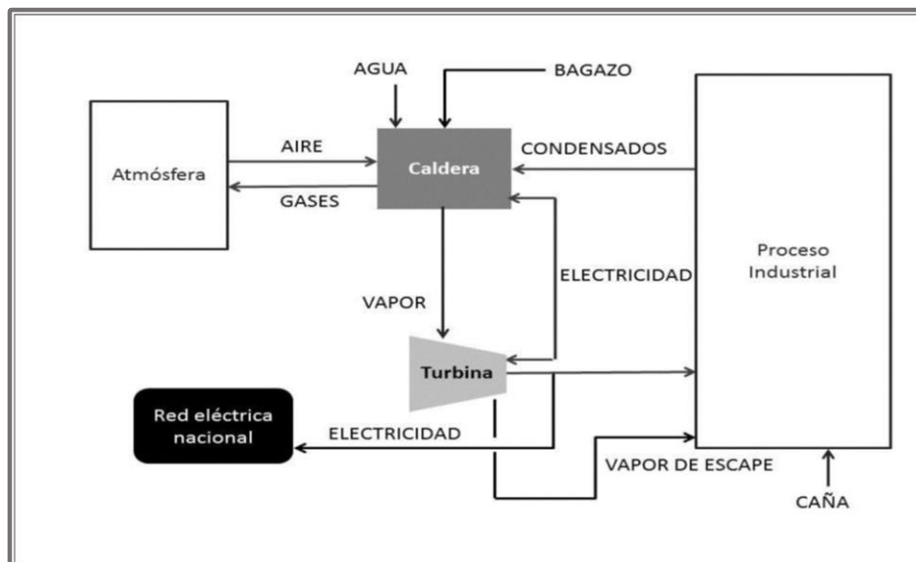


Figura 1. Proceso de generación de energía en ingenio azucarero.

Fuente: (Mesny, 1976)

Todo ingenio, emplea sistemas de cogeneración, donde el poder calorífico del bagazo se libera gracias al proceso de combustión, entonces el calor disipado se transfiere al agua que circula dentro del banco convectivo de tubos, donde se vaporiza, la energía mecánica se transforma en las bobinas del generador transformándola a energía eléctrica, el vapor saturado de escape contiene un considerable contenido calorífico, siendo utilizado para el proceso industrial (Llerena, 2018)

La cogeneración en los ingenios azucareros, establece un proceso, partiendo de la fuente de energía de la biomasa (Payne, 1991, pág. 75)

La caldera, o generador de vapor, es el corazón de todo ingenio, estos equipos son los encargados de producir energía térmica, utilizando el vapor sobrecalentado para mover las turbinas, acopladas a generadores, para luego generar energía eléctrica, el vapor de contrapresión es utilizado para el proceso del azúcar en fábrica (Siquiná, 2008, pág. 7)

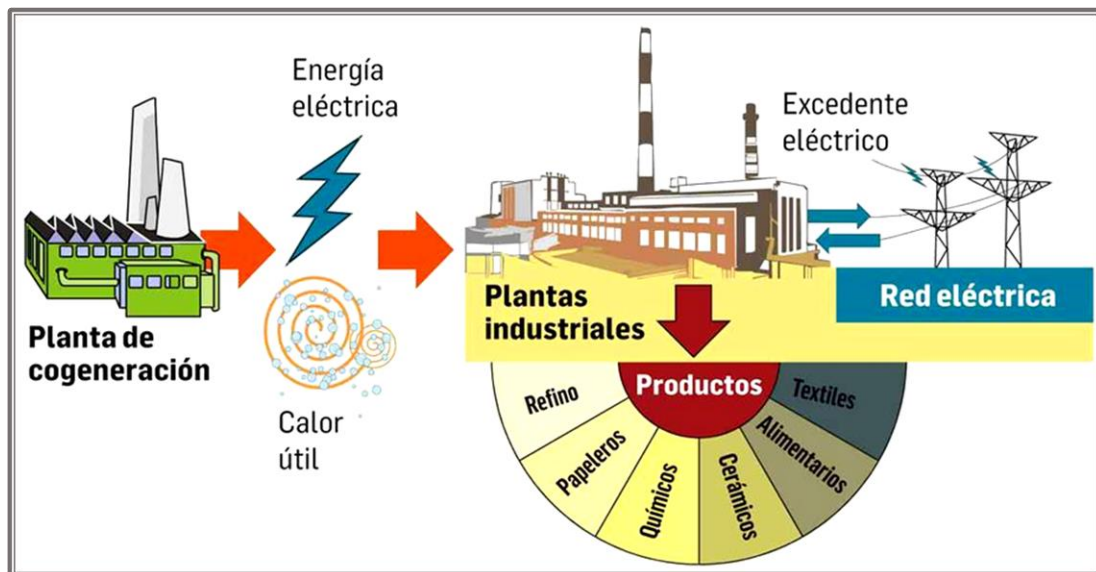


Figura 2. Sistema típico de cogeneración en una planta industrial.

Fuente: (De Miguel, 2018)

Un generador de vapor, es un equipo térmico, donde genera y entrega vapor, de calidad, en cantidad para un determinado uso, donde al aplicarse calor de un combustible, ya sea líquido, sólido o gaseoso, convierten el agua en vapor saturado o sobrecalentado para diversas aplicaciones en la industria, se dividen en dos

grandes grupos, acuotubulares y piro tubulares. (Babcock & Wilcox Company, 1992, pág. 26)

Las calderas piro tubulares, tiene la particularidad de que sus gases calientes, fluyen por el interior de los tubos, y en su interior fluye en agua de la caldera. El combustible se quema en un horno, comunmente lamado hogar (Miranda, 2018, pág. 1)

En las calderas acuotubulares ocurre lo contrario, el agua pasa por el interior de los tubos, y los gases de combustión circulan por el exterior. También están implementadas de equipos de intercambio de calor, como sobrecalentadores, economizadores y calentadores de aire. Cuentan con un hornos configurados por tubos de agua, material refractario (Uceda, 2012, pág. 71)

La mayoría de calderas que operan en la región, están equipadas por un horno u hogar de combustión, un precalentador de aire, un calentador de agua o economizador, estos equipos son sometidos a un vacío equilibrado, para lograr la combustión uniforme del bagazo, donde mediante la transferencia de calor, los gases circulan por los equipos intercambiadores de calor (Lawrence, 2000, pág. 56)

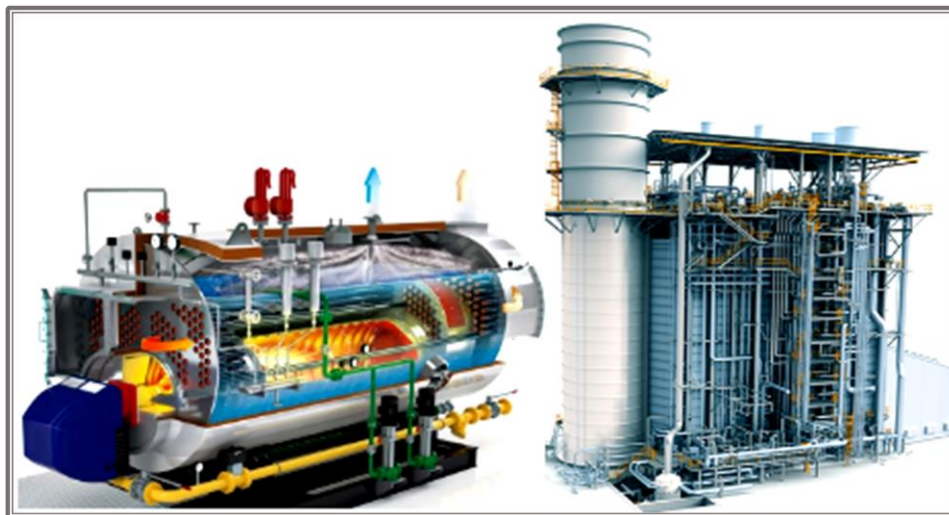


Figura 3. Tipos de Calderas, Piro tubular – Acuotubular.

Fuente: (Boilers, 2019).

El horno, u hogar de una caldera acuotubular, es equipo cerrado, donde sus lados están conformados por tuberías, o paredes de agua; el piso del horno recibe el nombre de parrilla, formada por planchas perforadas, por donde fluye el aire

primario, con el finalidad de proporcionar oxígeno necesario para la combustión del hidrógeno y carbono del bagazo como combustible (Golato, Aso, Paz, & Cárdenas, 2005, pág. 18)

El sobrecalentador, es un equipo importante de este tipo de calderas, formado por un conjunto de tuberías, ubicadas en la parte superior del hogar, dentro de los tubos circula vapor saturado, y al entrar en contacto con los gases, transfieren su calor por convección, cuyo resultado es un vapor seco, necesario para el cuidado de las turbinas, entonces el sobrecalentador, tiene como función elevar la temperatura del vapor por encima de la saturación, a la presión del domo, gracias a la ganancia termodinámica, trabajando con un fluido de mayor entalpía, se aumenta el 3% de dicha entalpía por cada 50°C, de vapor sobrecalentado (Soza, 2013, pág. 31)

El economizador, aprovecha el calor de los gases residuales, para incrementar la temperatura del agua, antes de entrar a la caldera, este equipo ayuda a aumentar la eficiencia de la caldera, permitiendo ahorrar bagazo (Restrepo, 2021, pág. 33)

El calentador de aire, conformado por un banco de tubos, donde en su interior circula el aire primario que ingresa al hogar y entra en contacto con los gases residuales, el calentador puede estar ubicado antes o después del economizador, se economiza bagazo con este equipo (Hernández, Gonzáles, & Cruz, 2006, pág. 286)

El tiro inducido, tiene la función de generar el vacío por el ventilador en el hogar de la caldera, encargado de evacuar los gases de combustión, y circularlos por los equipos de intercambio de calor

Tiro forzado, es el encargado de ingresar el aire primario a la caldera, por debajo de la parrilla para el proceso de la combustión, toma aire del ambiente y lo induce por el calentador de aire, teniendo como función, refrigeración de los tubos del calentador, y calentamiento del aire forzado (Valle, 2003, pág. 45)

El domo superior, o domo de agua – vapor, recinto donde se produce la fase de separación entre la mezcla agua vapor, en su interior se alojan bandejas rompe olas, separadores ciclónicos, separadores primarios y secundarios, es el encargado del calentamiento de agua de alimentación, también dispone de espacio para el agregado de productos químicos para la calidad de agua, se encuentran alojadas

la líneas del nivel de agua o visores de la caldera, y la función más importante es el vínculo de anclaje mecánico para todos los tubos de agua que ingresan en el (Camacho, 2008, pág. 38)

Las cenizas de la caldera producto de la ignición de bagazo, generan residuos, los cuales son evacuados de la caldera, estos desechos representan perdidas (Rubio, 2019, pág. 2)

El hollín, es generado por la combustión de orgánicos del bagazo y minerales en la caña de azúcar, que no pueden reaccionar en la combustión por el oxígeno del aire. La sílice, es básicamente la arena del campo que ha sido arrastrada y llevada al ingenio en el carguío de la caña, es por ello que es necesario lavar la caña antes de prepararla para su extracción (Feijoó, Morales, Golato, & Paz, 2012, pág. 12)

El bagazo no quemado, es una pérdida de energía importante, y esto muestra la inadecuada mezcla de aire comburente y combustible en el hogar, los residuos del hogar también se consideran una pérdida de temperatura, pero ayudan a mejorar la limpieza de los ceniceros

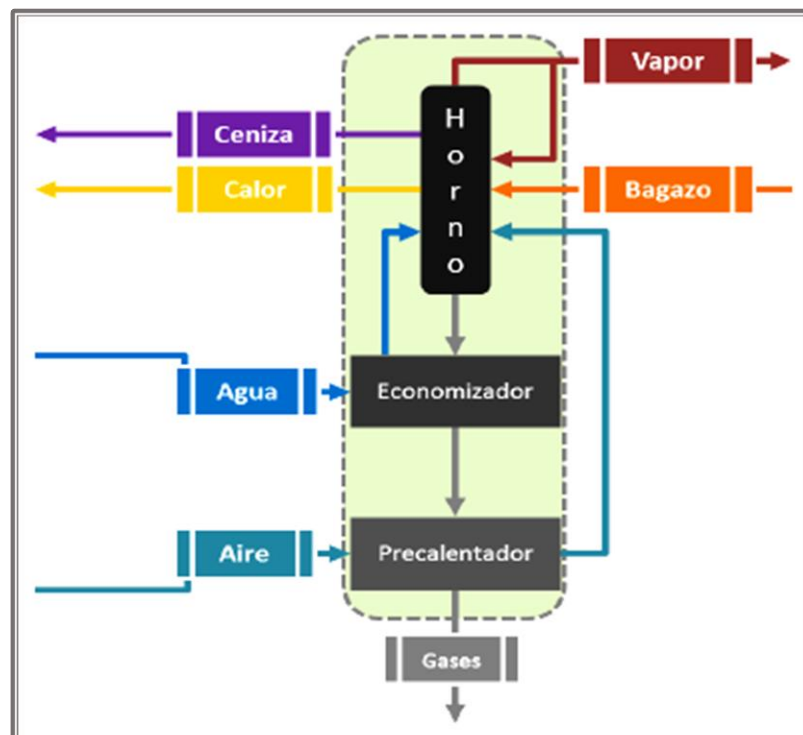


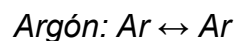
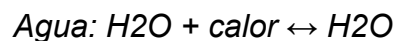
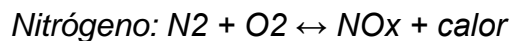
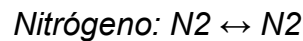
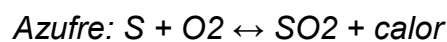
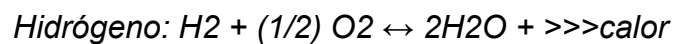
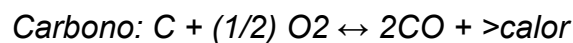
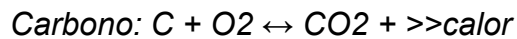
Figura 4. Esquema de los equipos de una caldera ocutubular.

Fuente: (Rodas & Machuca, 2016)

Los gases de combustión, generan una considerable la pérdida de calor en una caldera, está entre un 20% de las pérdidas totales. Esta pérdida de calor se da porque el aire primario ingresa a la caldera con una temperatura entre 27-35 °C (Rodríguez, Carrasco, López, & Jiménez, 2018, pág. 296)

El proceso de la combustión, se realiza, a través de reacciones químicas de oxidación, donde varios combustibles, como el carbono C, hidrogeno H2 y azufre S, se mezclan con el oxígeno O₂ (Borroto, 2010, pág. 40)

La combustión se lleva a cabo a temperaturas elevadas de hasta 1000 °C, junto con el flujo de gases, se generan residuos como el hollín, las cenizas, inquemados, escorias. El bagazo también contiene Nitrógeno N₂ y agua H₂O. (Muñoz, 2015, pág. 11)



Mediante el analisis de gases se miden con la finalidad de procurar condiciones mas seguras y eficientes en la caldera. Dentro de los parametros influyentes del analisis es la temperatura de los gase de salida, y las concentraciones de CO₂ y O₂, que influyen en el rendimiento de la caldera, donde una lectura de 13 – 20 % de CO₂, evidencian buena combustión del bagazo. Otro punto importante en la combustión es el exceso de aire (García, 2001, pág. 4)

$$\%CO_2 = \frac{(CO_{2max} * (\%O_{2max} - \%O_2))}{\%O_{2max}}$$

Donde:

$\%CO_2$ = Dióxido de carbono en gases secos

CO_{2max} = Dióxido máximo que generaría de todo el carbono en el bagazo

$\%O_{2max}$ = Contenido máximo de Oxígeno en el aire (20.9)

$\%O_2$ = Concentración de oxígeno

$$\gamma = \frac{\%O_{2max}}{(\%O_{2max} - \%O_2)}$$

Donde:

γ = Exceso de aire

$$P = (T_g - T_a) * \left(\left(\frac{A_2}{\%O_{2max} - \%O_2} \right) + B \right)$$

Donde:

P = Deficiencia de combustión

T_g = Temperatura de gases de salida

T_a = Temperatura de aire primario

A_2 = Constante de combustibles de biomásas y residuos (0.7)

B = Constante de combustibles de biomásas y residuos (0.012)

$$\eta_c = 100 - P$$

Donde:

η_c = Eficiencia de combustión

El bagazo, es el subproducto o residuo, proveniente del proceso de extracción y molienda del mismo de la caña de azúcar (Rein, 2012, pág. 750). Por ser un compuesto orgánico fibroso, contiene un considerable poder calorífico, que depende directamente del contenido de humedad, donde el poder calorífico real disponible para el proceso de la combustión es menor (Marcelo, Bizzo, & Alamo, 2016)



Figura 5. Bagazo de caña de azúcar.

Fuente: (Rico, 2016)

El poder calorífico superior (PCS), es el calor obtenido por una completa combustión cuando los productos de combustión alcanzan la misma temperatura (25°C) que el combustible y el aire, cuando el agua producida por la combustión y el agua de la combustión las combustiones se queman por completo. La humedad del propio combustible está en fase líquida después de la combustión. En este proceso, se supone que el vapor de agua ha abandonado por completo su calor latente de vaporización y, por tanto, se condensa (Alderetes, 2016, pág. 49)

$$PCS = 4600 - 46 * w - 13 * s = [kcal/kg]$$

Donde:

w = Humedad en el bagazo

s = Pol o sacarosa en bagazo

Poder calorífico inferior (PCI), significa que cuando los productos de combustión alcanzan la misma temperatura (25°C) que el combustible y el aire antes de la combustión, así como el agua y la humedad producida por la combustión. El combustible en sí está en fase gaseosa, es decir, no se abandonan El calor latente de vaporización (Laca, 2020, pág. 86)

$$PCI = 17793.9 - (50.20 * s) - (203 * w) = [kJ/kg]$$

La relación de ambos poderes caloríficos, ya sea de bagazo seco o húmedo, pueden ser referidos como base seca y base húmeda (Colombres, Golato, Morales, Cruz, & Paz, 2011, pág. 6)

Están dados por la siguiente expresión:

$$H_s - H_i = r * \left(\frac{9H}{100} + \frac{w}{100} \right)$$

Donde:

w = Humedad en el bagazo

H = Porcentaje de hidrogeno en el bagazo

r = Calor latente de vaporización del vapor 540 kcal / kg

Eficiencia en calderas acuotubulares, es una medida para determinar el aprovechamiento del combustible por la caldera al generar una cantidad de vapor, la eficiencia siempre será menor al 100%, pero cabe resaltar que algunas perdidas caloríficas, se pueden reducir al mínimo o eliminarse, mediante la correcta operación y mantenimiento (Bonilla, y otros, 2011, pág. 13)

En conclusión, la eficiencia optima se obtiene cuando la combustión es completa y se reduce al mino las perdidas en el sistema de generación (Gaffert, 1981, pág. 235)

$$\eta = \frac{mv * (hv - hw)}{mc * (PCI - 207.63 * w - 196.09 * z - 31.14 * s)}$$

Donde:

η = Rendimiento de caldera

mv = Flujo másico de vapor

hv = Entalpía vapor sobrecalentado

hw = Entalpía agua de alimentación

mc = Consumo de bagazo

PCI = Poder calorífico inferior del bagazo

w = % de humedad en el bagazo

z = % de ceniza en el bagazo

s = % de pol en el bagazo

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de Investigación.

Tipo de investigación: Según el Registro Nacional Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica (RENACYT, 2021), esta investigación es de tipo aplicada, ya que se pretende conocer como determinar la eficiencia de una caldera acuotubular, aplicando metodologías de varios investigadores.

Diseño de la investigación: El proyecto de investigación se desarrolla dentro del método científico cuantitativo, se considero diseño no experimental.

3.2. Variables, operacionalización.

Variante independiente: Estudio energético de Caldera acuotubular

La realización de un estudio energético a una caldera acuotubular, conciste de pautas y acciones definidas para asegurar el desarrollo y ejecución de la misma para que, posteriormente den como resultado parámetros que hay que corregir (Míguez, 2013, pág. 52)

Variable dependiente: Eficiencia

La eficiencia energética de un generador de vapor acuotubular, se puede definir como: “la relación entre la energía liberada por el combustible y la energía total liberada por el combustible entregado a la caldera” (Hugot, 1963, pág. 596).

3.3. Población, muestra y muestreo

Población: Se consideró como población a las calderas acuotubulares del ingenio azucarero.

- **Criterio de inclusión:** Participan las calderas con una generación mayor a 21 toneladas de vapor hora y que utilizan como combustible bagazo.

Muestra: La muestra es la caldera acuotubular bagacera de 22 tn/h de vapor, por ser una muestra no aleatoria simple.

Muestreo: No se aplicó ninguna técnica estadística, por lo tanto el muestreo fue intencionado, por el investigador.

3.4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

Técnicas de recolección de datos: En esta investigación se emplea la técnica de la observación, análisis documental, y cuestionario, donde dicha información servirá de soporte para el desarrollo de los objetivos, se consultó libros, revistas técnicas, históricos de mantenimiento de la caldera.

Instrumentos de recolección de datos: Para la toma y registro de datos, se utilizará guía de observación, servirá para el registro de temperatura de los gases de salida en la chimenea de la caldera, también para el registro de los equipos y partes de la caldera y su estado actual. También se utilizó ficha de investigación y ficha de cuestionario.

Validez y confiabilidad: Para el desarrollo de esta investigación, se consultará con especialistas en temas de calderas acuosotubulares bagaceras, y personal técnico que labora en ingenios azucareros, en el área de generación de vapor, por lo cual se realizó una interpretación correcta del desarrollo de los objetivos, obteniendo resultados consistentes y coherentes.

3.5. Procedimientos

Se realizaron las coordinaciones con el personal encargado del área de calderas del ingenio donde se desarrolla el proyecto, para la recolección de datos necesarios para el proyecto.

También se enviarán digitalmente los instrumentos de recolección de información para su aprobación y/o visto bueno, donde también se aceptarán las sugerencias, aportes o sugerencias al tema de investigación.

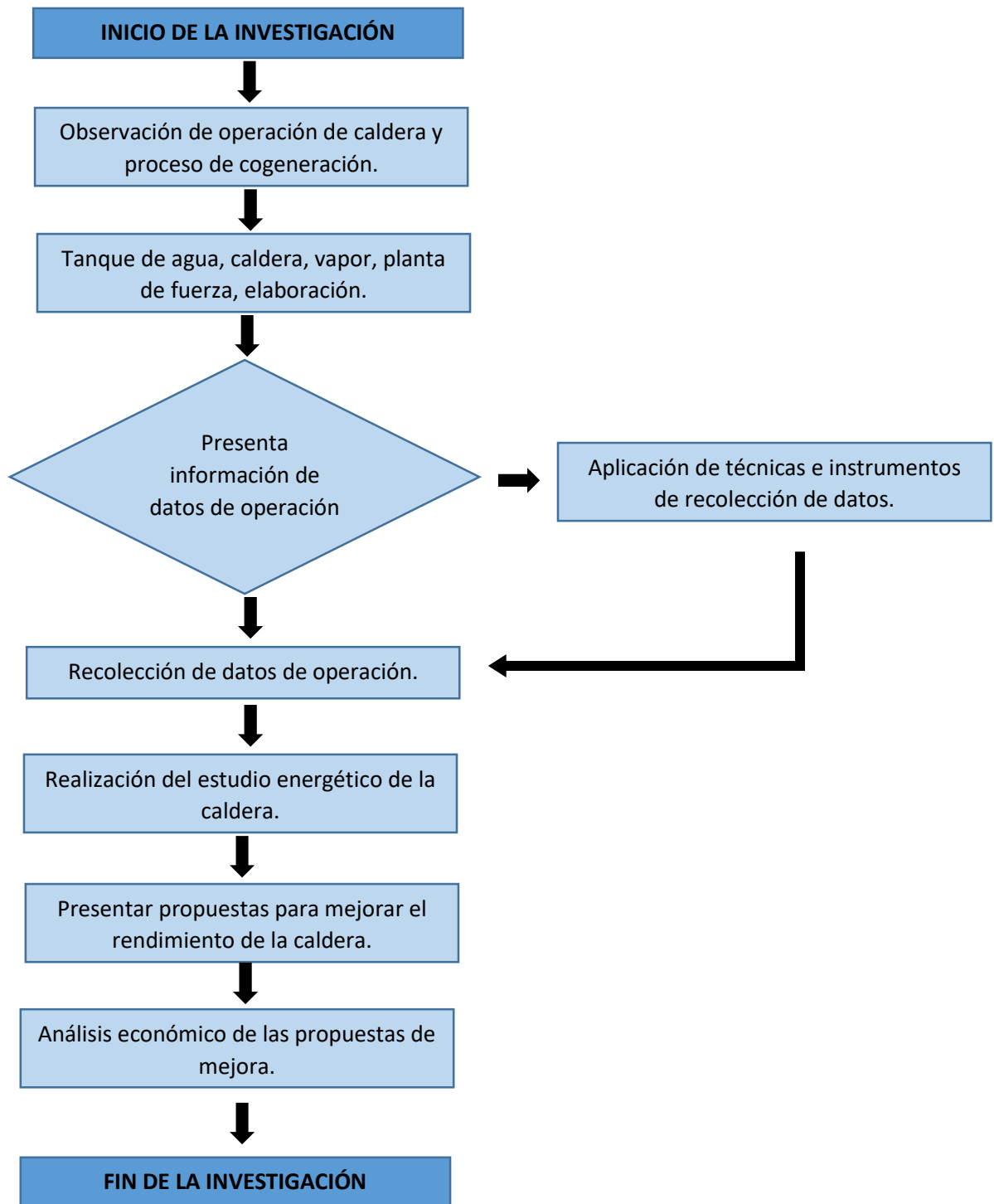


Figura 6. Diseño de ejecución para desarrollo de la investigación.

Fuente: Elaboración propia.

3.6. Método de análisis de datos.

Para el análisis de datos, se procesará la información recopilada en tablas y gráficas. Los resultados del proyecto de investigación se presentarán y desarrollarán de acuerdo al orden de los objetivos específicos, con la finalidad de llegar a concretar el objetivo general de la investigación. Los cálculos necesarios, se realizarán con la ayuda del software Microsoft Excel.

3.7. Aspectos éticos

Se respetan los derechos de propiedad intelectual de los autores mencionados en esta investigación. Por otro lado, los resultados mostraron datos confiables y precisos, y fueron verificados por expertos en la materia de investigación.

IV. RESULTADOS

4.1. Realizar un diagnóstico de las condiciones de operación de la caldera.

4.1.1 Parámetros de operación de la caldera

La caldera en estudio, pertenece al tándem de generadores de vapor que cuenta un ingenio azucarero de la región de Lambayeque. Esta caldera es de tubos curvos, de fabricación Babcock & Wilcox, utilizando como combustible único bagazo. A continuación, se presenta ficha técnica de la caldera acuotubular.

Tabla 1. *Ficha técnica caldera acuotubular.*

CALDERA ACUOTUBULAR	
Fabricación	Babcock & Wilcox
Modelo	Sterling
Capacidad Nominal	25 tn/h
Presión de trabajo	30 kgf/cm ²
Domos	3 de vapor y 1 lodo
Banco de tubos	624 tubos
Superficie de calefacción	951 m ²
Hornos	3 hornos Ward
Calentador de aire	824 tubos
Sobrecalentador	117 tubos
Ventilador Tiro Inducido	150 hp
Ventilador Tiro Forzado	50 hp
Ventilador esparcidor de bagazo	5 hp

Fuente: Ingenio azucarero.

Se consulto con el registro del área de Calderas y se obtuvo la ficha técnica del fabricante, fue el punto de partida para la recolección de data para el desarrollo de la investigación, se describe el modelo de la caldera su capacidad de generación de vapor y la presión de trabajo, como también los diferentes equipos que la conforman.

Parámetros de operación de la caldera

Actualmente la caldera tiene un flujo real de vapor de 18 tn/h, el sistema de alimentación de agua para el tándem de calderas, depende de una bomba multietápica, accionada por un motor de 450 hp, cabe resaltar que la caldera recibe el agua condensada producto de la evaporación del jugo, jarabes y miele, por lo que no cuenta con ablandadores de agua de reposición (makeup).

El agua de alimentación es otro parámetro operacional, donde se controla el pH y los sólidos en la caldera, cada 4 horas. Se consultó con el laboratorio del ingenio para obtener los datos del análisis de agua de un determinado día.

Tabla 2. *Análisis de agua en la caldera acuatubular.*

ANÁLISIS DE AGUA		
Fecha	10/04/2022	
Hora	pH	STD
06:00 a.m.	10.92	1510
10:00 a.m.	10.76	1670
02:00 p.m.	10.81	1620
06:00 p.m.	10.87	1590
10:00 p.m.	10.65	1540
02:00 a.m.	10.72	1610

Fuente: Laboratorio, Ingenio azucarero.

El pH es una medida de la naturaleza ácida o alcalina de una solución acuosa y mide la concentración de iones hidrógeno. El rango del pH en el agua de las calderas es de 8.5 – 11.5. Los sólidos disueltos o salinidad total, es una medida de la cantidad de materia disuelta en el agua, determinada por evaporación de un volumen de agua previamente filtrada. Se expresa en ppm y su valor oscila entre 1400 – 1800 (Alderetes, 2016).

Como datos de operación de la caldera acuatubular, tenemos:

Tabla 3. *Datos de operación de caldera.*

PARÁMETRO	UNIDAD
Presión de trabajo	30 kgf/cm ²
Generación de vapor	18 tn/h
Temperatura de vapor	330 °C
Combustible	Bagazo
Temperatura de bagazo	30 °C
Temperatura de agua	85 °C
Temperatura de aire	135 °C

Fuente: Ingenio azucarero.

La tabla 03, presenta los parámetros de operación de la caldera, estos valores fueron obtenidos del área de calderas y de laboratorio del ingenio, servirán para efectuar los cálculos y determinar el flujo másico de combustible, entalpías de agua y vapor, rendimiento de la caldera.

El sistema de alimentación de bagazo, producto del proceso de extracción, es mediante siete conductores de bagazo, tipo tablilla con cadena de arrastre.

Tabla 4. *Generación de vapor caldera acuatubular.*

GENERACIÓN DE VAPOR			
Fecha	ton/d	ton/h	T°C
01/02/2022	435.1	18.13	335
02/02/2022	434.4	18.10	330
03/02/2022	434.5	18.10	331
04/02/2022	433.2	18.05	325
05/02/2022	432.8	18.03	331
06/02/2022	432.7	18.03	332
07/02/2022	432.6	18.03	329
08/02/2022	432.7	18.03	327
09/02/2022	432.1	18.00	335
10/02/2022	432.3	18.01	331
11/02/2022	432.4	18.02	330
12/02/2022	432.3	18.01	325

13/02/2022	432.1	18.00	332
14/02/2022	431.9	18.00	331
15/02/2022	430.5	17.94	330
16/02/2022	430.1	17.92	332
17/02/2022	428.5	17.85	329
18/02/2022	420.1	17.50	328
19/02/2022	418.2	17.43	325
20/02/2022	410.5	17.10	329

Fuente: Departamento de energía, Ingenio azucarero.

En cuanto a la generación de vapor, se consultó al departamento de calderas, donde se revisó el archivo de generación de vapor, la tabla 04 presenta datos correspondientes al mes de febrero, registra los valores de la generación por día y la temperatura del vapor sobrecalentado. El flujo de vapor sobrecalentado, sirve para encontrar el rendimiento de la caldera.

Estado actual de la caldera

Gracias a la técnica de observación se logró realizar un diagnóstico de la situación actual de la caldera, donde existen ciertas deficiencias en la caldera, haciendo que su capacidad de generación sea inferior a la nominal.

Infraestructura refractaria: La caldera cuenta con pared interna de ladrillos refractarios y pared externa de ladrillo de arcilla, también bloquetas refractarias que cubre el bafle y deflectores de gases, los cuales están en un estado deficiente.

Banco convectivo: La caldera cuenta con 624 tubos de los cuales, el 10% se encuentran con poca área de transferencia de calor producto de las incrustaciones y depósitos de sólidos.

Calentador de aire: La caldera cuenta con 824 tubos que conforman el calentador de aire, los cuales están cubiertos por hollín y ceniza el 20% están picados producto de la abrasión por el paso de gases y particulado. Cabe mencionar que la caldera no cuenta con soplador de hollín.

Banco de generación: La caldera cuenta con 117 tubos, que conforman el sobrecalentador, de los cuales el 8% están anulados por presentar rotura por desgaste por el continuo trabajo.

Ventiladores: La caldera cuenta con ventilador Tiro Inducido accionado por un motor de 150 hp, encargado de extraer los gases de combustión, circulando por los diferentes equipos de transferencia de calor. También cuenta con ventilador Tiro Forzado, de 50 hp, encargado de ingresar el aire primario, que es precalentado para ingresar a los hornos de combustión del bagazo. La caldera no tiene con ventilador aire sobre fuego (aire secundario), solo cuenta con un ventilador esparcidor de bagazo de 5 hp.

Hornos de combustión: La caldera cuenta con tres hornos tipo herradura, no cuenta con parrilla, la montura de hierro fundido se encuentra con desgaste y toberas de aire se encuentran obstruidas.

4.1.2 Cantidad de aire y gases por kg de combustible

Exceso de aire

$$\lambda = \frac{0.196}{\%CO_2}$$

Donde:

λ = Exceso de aire

$\% CO_2 = 0.17 \%$ de CO_2 en lo gases de salida

$$\lambda = 1.15$$

Según (Hugot, 1963), el coeficiente de exceso de aire se define la proporción entre la cantidad de aire real y la necesaria para una combustión exacta. Cuando es menor que 1 se trata de una combustión con defecto de aire, si es mayor que 1 se trata de una combustión con exceso de aire. Este coeficiente es útil para los cálculos de la combustión del bagazo como combustible.

Relación aire / combustible

Se necesita saber el contenido de humedad del bagazo, para este y posteriores cálculos la siguiente tabla muestra el análisis de bagazo de una determinada semana de extracción.

Tabla 5. Análisis de bagazo húmedo.

ANÁLISIS DE BAGAZO				
Fecha	Pol %	Humedad %	Caudal m ³ /h	T °C
05/04/2022	2.85	50.3	20	75
06/04/2022	2.75	50	20	80
07/04/2022	2.75	50.1	20	78
08/04/2022	2.3	49.8	20	77
09/04/2022	2.76	50.2	20	76
10/04/2022	2.4	49.9	20	72
11/04/2022	2.93	50.2	20	82
Promedio	2.7	50.07	20	77.14

Fuente: Laboratorio, Ingenio azucarero.

Gracias a laboratorio del ingenio, se obtuvieron los datos del análisis de bagazo, donde el porcentaje de pol y humedad, es necesario para los cálculos posteriores como flujo másico de aire y gases de la caldera, poder calorífico inferior del bagazo.

$$G_a = 5,75 (1 - w) \lambda = [peso]$$

$$V_a = 4.47 (1 - w) \lambda = [volumen]$$

Donde:

G_a = Relación aire – combustible kg

V_a = Relación aire – combustible m³

w = Humedad del bagazo 50 %

λ = Exceso de aire 1,15

$$G_a = 3.306 \text{ kg aire / kg combustible}$$

$$V_a = 2.53 \text{ m}^3 \text{ aire / kg combustible}$$

Relación gas / combustible

$$G_g = 5,75 (1 - w) \lambda + 1 = [\text{peso}]$$

$$G_v = 4.47 (1 - w) \lambda + 0.572 * w + 0.672 = [\text{volumen}]$$

Donde:

G_a = Relación gas – combustible kg

V_a = Relación gas – combustible Nm³

$$G_g = 4.306 \text{ kg gases / kg combustible}$$

$$G_v = 3.528 \text{ m}^3 \text{ gases / kg combustible}$$

Composición de los gases

Nitrógeno (N₂)

$$N_2 = 1.330 * \frac{76.85}{23.15} * (1 - w) * \lambda$$

$$N_2 = 2.538 \text{ kg}$$

Agua (H₂O)

$$H_2O = 0.585 * (1 - w) + w$$

$$H_2O = 0.772 \text{ kg}$$

Oxígeno (O₂)

$$O_2 = 1.33 * (1 - w) * (\lambda - 1)$$

$$O_2 = 0.099 \text{ kg}$$

Ácido carbónico CO₂

$$H_2O = 1.72 * (1 - w)$$

$$H_2O = 0.86 \text{ kg}$$

Tabla 6. Composición de los gases de combustión

COMPOSICIÓN DE LOS GASES		
Gases	kg	%
N ₂	2.538	59.452
H ₂ O	0.772	18.084
O ₂	0.099	2.319
CO ₂	0.86	20.145
Total	4.269	100

Fuente: Elaboración propia.

Según (Hugot, 1963), gracias a la relación gas / combustible, se conoce el peso total de los gases, la tabla 6 muestra el peso individual de los gases y su porcentaje.

4.1.3 Poder calorífico inferior del bagazo

$$PCI = 4324 - (12.3 * s) - (49.04 * w)$$

Donde:

w = Humedad del bagazo 50 %

s = Sacarosa en bagazo 2.7 %

$$PCI = 1833.87 \text{ kcal/kg} \approx 7678.046 \text{ kJ/kg}$$

Según, (Hessey), el cálculo teórico del PCI se basa, en primer lugar, en la composición centesimal del bagazo húmedo, que está dada en la tabla 5, donde se determinó experimentalmente y que se verifica bien en la práctica.

4.1.4 Pérdidas por calor sensible en los gases

$$q = t(1 - w) \left(1.4 * \gamma + \frac{0.50}{1 - w} - 0.12 \right) * 4.184 = [kJ / kg]$$

Donde:

q = Pérdida de calor sensible en los gases

t = Temperatura de los gases en la chimenea 170° C

w = Humedad del bagazo 50 %

γ = Exceso de aire = 1.15

$$q = 885.543 [kJ/kg] \approx 211.508 [kcal/kg]$$

En la formula del PCI, el valor toma en cuenta la pérdida de calor sensible o latente del vapor de agua en los gases de combustión que son arrastrados hacia la chimenea de la caldera.

4.1.5 Energía transmitida al vapor

El calor que proporciona la combustión de un kg de bagazo al vapor, está relacionado con las pérdidas de la caldera.

Estas pérdidas, están representadas por coeficientes para efectos de este cálculo, y son:

1. **Coeficiente de pérdidas por combustión incompleta:** Este coeficiente está relacionado con la humedad del bagazo, la temperatura en el horno de combustión y el exceso de aire.
2. **Coeficiente de pérdidas por radiación en el horno:** Este coeficiente está relacionado con el aislamiento de la caldera.
3. **Coeficiente de pérdidas por solidos no quemados:** Este coeficiente está relacionado con el tiro inducido de la caldera.

$$Q = \left(4250 - 4850 w - \frac{q}{4.184} \right) * \alpha * \beta * \eta * 4.184 = [kJ/kg]$$

Donde:

Q = Calor transmitido al vapor kJ/Kg

w = Humedad del bagazo 0.50 %

q = Pérdida de calor sensible en los gases 885.543 kJ/kg

α = Coeficiente sólidos no quemados 0.98

β = Coeficiente que incluye las pérdidas debidas a la radiación 0.91

η = Coeficiente que incluye las pérdidas combustión incompleta 0.92

$$Q = 5538 [kJ/kg] \approx 1322.8 [kcal/kg]$$

4.2. Determinar el consumo actual de bagazo como combustible.

4.2.1 Análisis del combustible

El bagazo, como residuo del proceso extractivo del jugo de la caña de azúcar es utilizado como combustible para la Caldera, es aprovechado por su poder calorífico que desprende en la combustión, esto depende del porcentaje de humedad que contenga.

Tabla 7. *Propiedades físicas del bagazo de caña de azúcar.*

PROPIEDADES FISICAS DEL BAGAZO	
Cantidad de Bagazo	250 - 300 kg / tn caña
Fibra % Bagazo	45 - 50%
Humedad del Bagazo	48 - 52%
Densidad a granel	80 - 120 kg/m ³
Densidad en Pila	160 - 240 kg/m ³

Fuente: (Alderetes, 2016)

En la tabla 7, se muestran los valores promedios de algunas propiedades físicas que son de gran importancia para las instalaciones de almacenaje y transporte en conductores de bagazo.

Tabla 8. *Propiedades químicas del bagazo de caña de azúcar.*

PROPIEDADES QUIMICAS DEL BAGAZO	
Carbono	0.47
Hidrógeno	0.065
Oxígeno	0.44
Cenizas	0.025

Fuente: (Hugot, 1963)

Análisis del bagazo en base seca

Se consideró la composición química elemental en masa del bagazo, propuesta por Hugot, pero despreciando la ceniza; bagazo en base seca.

Tabla 9. *Propiedades químicas del bagazo de caña de azúcar.*

ANALISIS BAGAZO SECO			
Composición	% (X)	Peso molar (i)	Fracción molar (Xi)
Carbono	47	12.0107	3.913
Hidrógeno	6.5	1.00784	6.449
Oxígeno	44	16	2.75

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

$$X_i = x/i \approx C_{3.913}H_{6.449}O_{2.750}$$

Entonces la masa molar de la base seca sin ceniza será:

$$m_{bs} = C(i * Xi) + H(i * Xi) + O(i * Xi)$$

Donde:

m_{bs} = Masa molar de bagazo sin ceniza

$$m_{bs} = 97.497 \text{ [kg bag seco sin ceniza/kmol bag seco sin ceniza]}$$

Análisis del bagazo húmedo

Para efectos de estos cálculos, se toma como referencia los valores de la tabla 5, como la humedad del bagazo 50 % y una Pol (sacarosa) en bagazo de 2.7 %.

$$h = x * (1 - w) = \text{kg de } Y / \text{kg de bagazo}$$

Mediante la expresión mencionada se obtuvieron los siguientes valores para cada composición del bagazo.

Tabla 10. Análisis del bagazo en base húmeda.

ANALISIS BAGAZO HUMEDO			
Composición	% (X)	% Humedad (w)	Base húmeda (h)
Carbono (C)	0.47	0.5	0.235
Hidrógeno (H)	0.065	0.5	0.0325
Oxígeno (O)	0.44	0.5	0.220
Cenizas (Cz)	0.025	0.5	0.013

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 9, se muestra la composición del bagazo, teniendo en cuenta la humedad que para este caso de estudio es el 50%.

4.2.2 Combustión del bagazo

Cálculo del oxígeno mínimo

$$O_{min} = 2.664 * C + 7.93 * H - O = [\text{Peso}]$$

$$V_{min} = 1.864 * C + 5.556 * H - 0.7 * O = [\text{Volumen}]$$

$$O_{min} = 0.6637 \text{ kg } O_2/\text{kg bagazo}$$

$$V_{min} = 0.4646 \text{ m}^3 O_2/\text{kg bagazo}$$

Cálculo de CO₂

$$G_{CO_2} = 3.664 * C + 0.0004 * \lambda * G_a = [\text{peso}]$$

$$V_{CO_2} = 1.864 * C + 0.0003 * \lambda * V_a = [Volumen]$$

Donde:

C = Contenido de carbono 0.235

λ = Exceso de aire 1.15

G_a/V_a = Relación aire combustible 3.306 kg / 2.53 Nm³

$$G_{CO_2} = 0.862 \text{ kg } CO_2/\text{kg bagazo}$$

$$V_{CO_2} = 0.438 \text{ Nm}^3 \text{ } CO_2/\text{kg bagazo}$$

CO₂ producto de la combustión + contenido en el aire atmosférico, donde interviene el exceso de aire.

Cálculo de H₂O

$$x = 0.622 * \frac{ps}{\frac{p}{\varphi} * ps} = [Peso]$$

$$f = \varphi * \frac{ps}{p - ps} = [Volumen]$$

Donde:

x/f = Peso y volumen del aire húmedo

φ = % humedad relativa ambiental 0.8

ps = Presión de saturación del vapor agua 42.42 mbar

p = Presión de mezcla aire seco – agua 1000 mbar

$$x = 0.02184 \text{ kg agua / kg aire}$$

$$f = 0.03543 \text{ Nm}^3 \text{ agua / kg aire}$$

H₂O producto de la combustión + humedad del bagazo + la humedad ambiental, es necesario saber la masa y volumen del aire húmedo:

Entonces:

$$G_{H_2O} = 8.937 * H + w + x * G_a = [Peso]$$

$$V_{H_2O} = 11.2 * H + 1.244 * w + f * V_a = [Volumen]$$

Donde:

H = Contenido de hidrógeno 0.0325

w = Humedad en el bagazo 0.50 %

$$G_{H_2O} = 0.8626 \text{ kg } H_2O / \text{ kg bagazo}$$

$$V_{H_2O} = 1.0756 \text{ Nm}^3 H_2O / \text{ kg bagazo}$$

Cálculo de N₂: Proveniente del aire ambiental

$$G_{N_2} = 0.7548 * \lambda * G_a = [Peso]$$

$$V_{N_2} = (79 * \lambda * V_{min}) / 21 = [Volumen]$$

Donde:

λ = Exceso de aire 1.15

G_a = Relación aire combustible 3.306 kg

V_{min} = Oxígeno mínimo volumen 0.4646

$$G_{N_2} = 2.869 \text{ kg } N_2 / \text{ kg bagazo}$$

$$V_{N_2} = 2.009 \text{ Nm}^3 H_2O / \text{ kg bagazo}$$

Cálculo de Ar: Argón proveniente del aire ambiental

$$G_{ar} = 0.0127 * \lambda * G_a = [Peso]$$

$$V_{ar} = 0.0092 * \lambda * V_a = [Volumen]$$

$$G_{ar} = 0.048 \text{ kg Ar/kg bagazo}$$

$$V_{ar} = 0.0267 \text{ Nm}^3 \text{ Ar/kg bagazo}$$

Cálculo del O₂: Aportado – consumido.

$$G_{O_2} = 0.232 * (\lambda - 1) * G_a = [Peso]$$

$$V_{O_2} = V_{min} * (\lambda - 1) = [Volumen]$$

$$G_{O_2} = 0.115 \text{ kg O}_2/\text{kg bagazo}$$

$$V_{O_2} = 0.0696 \text{ Nm}^3 \text{ O}_2/\text{kg bagazo}$$

4.2.3 Consumo de bagazo en la combustión de la caldera

Se tuvo en cuenta el cálculo de la energía transmitida al vapor.

$$m_c = \frac{m_v * (h_{vs} - h_a)}{Q} = [kg/seg]$$

Donde:

m_c = Consumo de combustible tn/h

m_v = Flujo másico de vapor = 18 tn/h

h_{vs} = Entalpia de vapor sobrecalentado 3068.43 kJ/kg

h_a = Entalpia de agua de alimentación 356.015 kJ/kg

Q = Calor transmitido al vapor =5538 kJ/kg

$$m_c = 9.795 [tn/h]$$

4.2.4 Flujo másico y volumétrico de aire que ingresa a la caldera

$$m_a = G_a * m_c = [Peso]$$

$$m_{av} = V_a * m_c = [Volumen]$$

Donde:

m_a/m_{av} = Flujo másico y volumétrico de aire

G_a = Relación aire – combustible 3.306 kg aire / kg bagazo

V_a = Relación aire – combustible 2.53 m³ aire / kg bagazo

m_c = Consumo de combustible 9.795 tn/h

$$m_a = 32.382 \text{ tn aire/h}$$

$$m_{av} = 24.781 \text{ m}^3 \text{ aire/h}$$

4.2.5 Flujo másico y volumétrico de gases de combustión

$$m_g = G_g * m_c = [Peso]$$

$$m_{gv} = V_g * m_c = [Volumen]$$

Donde:

m_a/m_{av} = Flujo másico y volumétrico de aire

G_g = Relación gases – combustible 4.306 kg gases / kg bagazo

V_g = Relación gases – combustible 3.528 m³ gases / kg bagazo

m_c = Consumo de combustible 9.795 tn/h

$$m_g = 42.177 \text{ tn gases/h}$$

$$m_{gv} = 34.559 \text{ m}^3 \text{ gases/h}$$

4.2.6 Rendimiento actual de la caldera

Mediante el método directo se determinará la eficiencia actual de la caldera:

$$\eta = \frac{m_v * (h_v - h_w)}{m_{cb} * PCI} * 100 = \%$$

Donde:

η = Rendimiento de la Caldera

m_v = Flujo másico de vapor 18 tn/h

h_{vs} = Entalpia de vapor sobrecalentado 3044.15 kJ/kg

h_a = Entalpia de agua de alimentación 356.015 kJ/kg

PCI = Poder calorífico inferior 7678.046 kJ/ kg

m_{cb} = Consumo de bagazo en la caldera 9.795 tn/h

Entonces:

$$\eta = 64\%$$

4.2.7 Esquema balance energético de la caldera

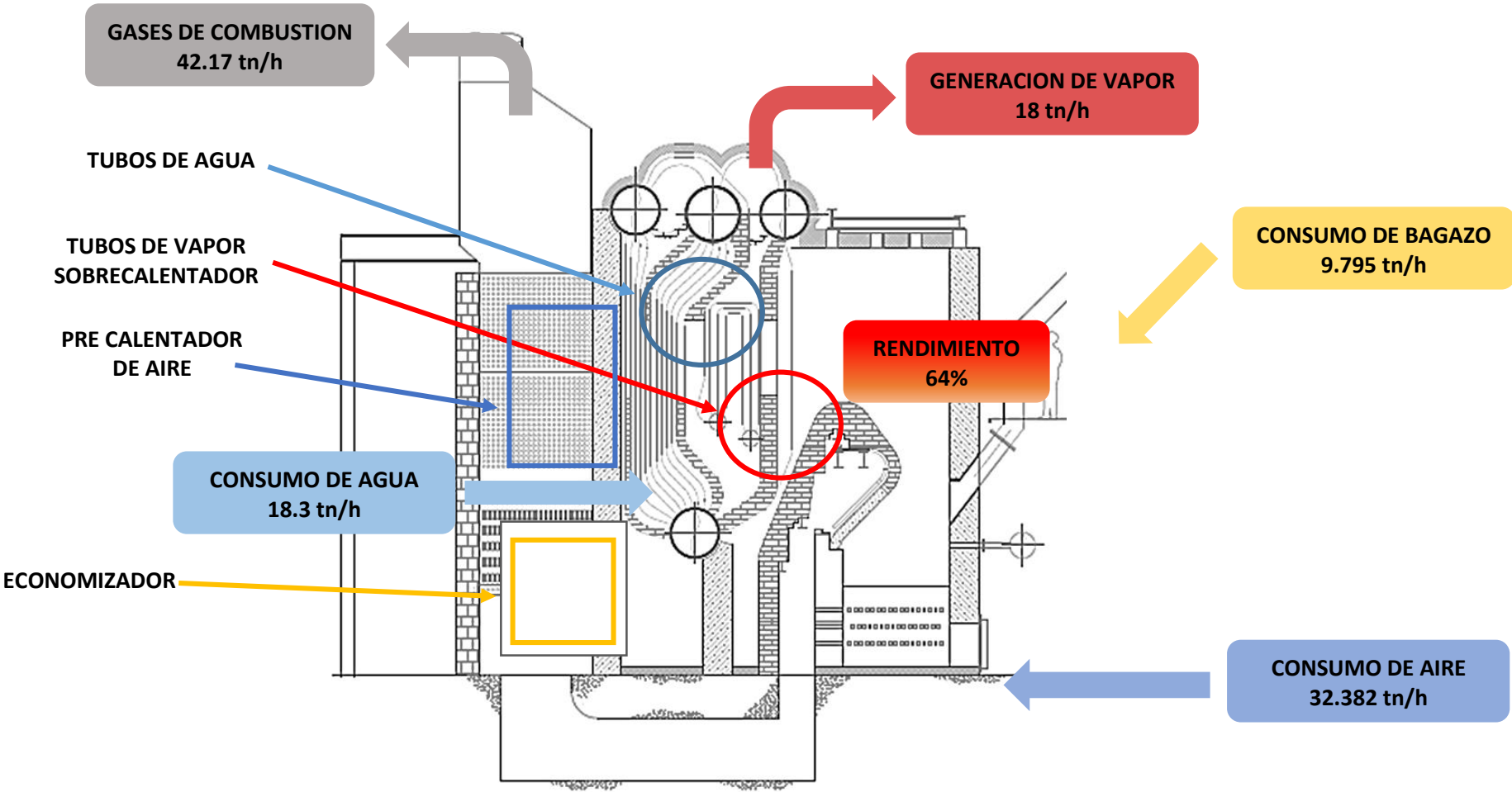


Figura 7. Esquema energético Caldera acuotubular.
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 6, se muestra el tipo de la caldera en estudio, según (Babcock & Wilcox Company, 1992), donde se señalan los principales equipos de la caldera, se describe los diferentes flujos másicos que intervienen en la operación de la caldera: consumo de agua, bagazo, aire, gases de combustión y la generación de vapor.

4.3. Determinar las propuestas para la mejora de la eficiencia de la caldera.

Teniendo en cuenta los parámetros actuales de la caldera (caso de estudio) en la tabla 1, se presentan propuestas y medidas para mejorar la eficiencia de la caldera acuotubular. Dentro de las propuestas se pretende implementar un economizador o implementar un sistema de aire sobre fuego.

4.3.1 Instalar un economizador

El vapor de escape de las turbinas es empleado para el cocimiento del jugo, jarabes y mieles, en los cuerpos de evaporación, esta agua evaporada sirve como líquido de alimentación a las calderas, estableciendo un ciclo cerrado.

El agua condensada es enviada a la sala de bombas de la caldera con una temperatura de 85°C, lo que se propone es implementar a la caldera un economizador con la finalidad de incrementar la temperatura del agua a 145°C y acelerar el proceso para obtener vapor. Este incremento de temperatura se da gracias al paso de los gases de salida con una temperatura de 250°C producto de la combustión, se pretende aprovechar esta energía.

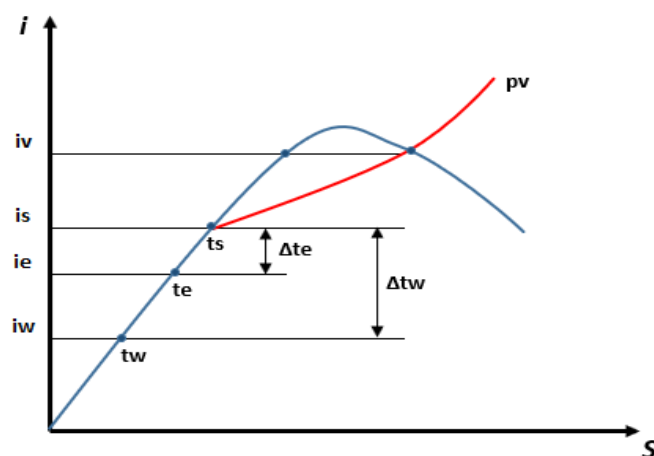


Figura 8. Calentamiento del agua, diagrama de Mollier.

Fuente: Cengel, 1994.

Donde:

i_w = Entalpía de agua de alimentación de la caldera.

i_e = Entalpía de agua precalentada en el economizador.

i_s = Entalpía de líquido saturado a presión.

i_v = Entalpía de vapor saturado a presión.

t_e = Temperatura de agua precalentada en el economizador.

t_w = Temperatura de agua de alimentación de la caldera (condensada).

t_s = Temperatura de saturación a presión.

p_v = presión de vapor saturado.

c_{pe} = Calor específico.

$$Q_E = m_W * c_{pe} * (t_s - t_e) + (i_v - i_s)$$

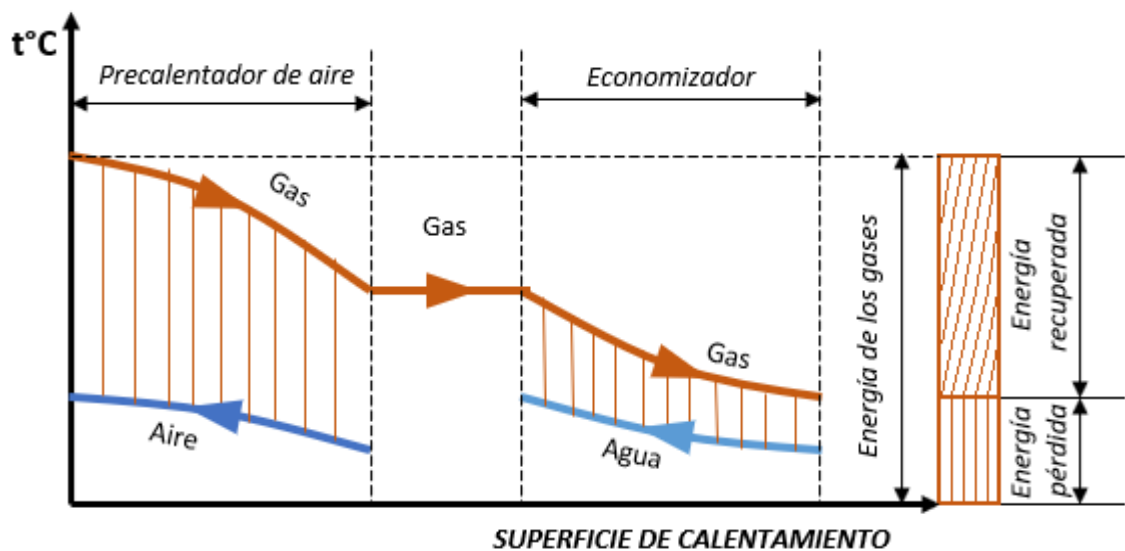


Figura 9. Energía aprovechada de los gases de combustión.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 8, se muestra la variación de las temperaturas de los gases, y del agua en el economizador y del aire en el precalentador correspondiente.

Balance de energía del economizador

Calor necesario para elevar la temperatura del agua

$$Q_E = m_W * (i_v - i_w) = kcal/h$$

Donde:

Q_E = Calor necesario para aumentar la temperatura al agua

m_W = Consumo de agua de la caldera 18 tn/h

i_v = Entalpía del agua a la salida del economizador a 145 °C - 654.389 kcal/kg

t_w = Entalpía de entrada al economizador a 85 °C - 61.148 kcal/kg

$$Q_E = 10678.338 kcal/h$$

Temperatura salida de los gases del economizador

$$t_2 = t_1 - \left(m_W * \frac{(t_e - t_w)}{m_g * c} \right)$$

Donde:

t_2 = Temperatura de los gases a la salida del economizador

t_1 = Temperatura de los gases a la entrada del economizador 285 °C

m_W = Consumo de agua de la caldera 18 tn/h

m_g = Cantidad de gases entrando al economizador 34.559 tn de gases/h

c = calor específico de los gases 0.283

t_e = Temperatura del agua a la salida del economizador 145 °C

t_w = Temperatura de entrada al economizador 85 °C

$$t_2 = 175 \text{ }^\circ\text{C}$$

Caída de temperatura en los gases

$$t_1 - t_2 = \text{ }^\circ\text{C}$$

Donde:

t_2 = Temperatura de los gases a la salida del economizador 175 °C

t_1 = Temperatura de los gases a la entrada del economizador 285 °C

$$t_1 - t_2 = 110 \text{ }^\circ\text{C}$$

Temperatura media de los gases

$$t_m = (t_1 + t_2)/2 = \text{ }^\circ\text{C}$$

Donde:

t_m = Temperatura media de los gases de combustión

t_2 = Temperatura de los gases a la salida del economizador 175 °C

t_1 = Temperatura de los gases a la entrada del economizador 285 °C

$$t_m = 230 \text{ }^\circ\text{C}$$

Aumento de temperatura en el agua de alimentación:

$$t_e - t_w = \text{ }^\circ\text{C}$$

Donde:

t_e = Temperatura del agua a la salida del economizador 145 °C

t_w = Temperatura de entrada al economizador 85 °C

$$t_e - t_w = 60 \text{ }^\circ\text{C}$$

Temperatura media del agua:

$$t_m = (t_e + t_w)/2 = \text{°C}$$

Donde:

t_e = Temperatura del agua a la salida del economizador 145 °C

t_w = Temperatura de entrada al economizador 85 °C

Entonces:

$$t_m = 115 \text{ °C}$$

Salto de temperatura gases vs salto de temperatura agua

$$R_t = \frac{(t_1 - t_2)}{(t_e - t_w)} = \text{°C/°C}$$

Donde:

R_t = Salto de temperatura en los gases

t_2 = Temperatura de los gases a la salida del economizador 175 °C

t_1 = Temperatura de los gases a la entrada del economizador 285 °C

t_e = Temperatura del agua a la salida del economizador 145 °C

t_w = Temperatura de entrada al economizador 85 °C

$$R_t = 1.83333 \text{ °C/°C}$$

Cálculo de la diferencia logarítmica media de temperaturas

$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_i - \Delta t_d}{\ln(\Delta t_i/\Delta t_d)} = \text{°C}$$

Donde:

Δt_m = Diferencia logarítmica media de temperatura

Δt_i = Diferencia de temperatura de los gases 110 °C

Δt_d = Diferencia de temperatura del agua 60 °C

$$\Delta t_m = 82^\circ\text{C}$$

Calor a transferir en el economizador

$$Q_E = m_g * c * (t_1 - t_2) = \text{kcal/h}$$

Donde:

Q_E = Transferencia de calor en el economizador

t_1 = Temperatura de los gases a la entrada del economizador 285 °C

t_2 = Temperatura de los gases a la salida del economizador 175 °C

m_g = Cantidad de gases entrando al economizador 34559 kg/h

c = calor específico de los gases 0.283

$$Q_E = 1075821.67 \text{ kcal/h}$$

Cálculo de la superficie del Economizador

Para realizar este cálculo, es necesario tener el coeficiente de transmisión de calor, este coeficiente está relacionado directamente con la geometría del diseño, según varios autores y fabricantes, este valor oscila entre 60 - 78 kcal/h.m². °C. Asumiremos un valor para el coeficiente de transmisión de calor k , en los economizadores según Trom = 74 kcal/m²/°C/h.

$$S_E = \frac{Q_E}{k * \Delta t_m}$$

Donde:

S_E = Superficie del economizador

Q_E = Transferencia de calor en el economizador 1075821.67 kcal/h

k = Coeficiente de transmisión de calor 74 kcal/h.m²°C

Δt_m = Diferencia logarítmica media de temperatura 82°C

Entonces:

$$S_E = 205 \text{ m}^2$$

Superficie de calefacción del tubo del economizador

Se emplearán tubos de material ASTM 192, de 2 pulgadas de diámetro.

$$S_T = \pi * D_e * Lt = m^2/\text{tubo}$$

Donde:

S_T = Superficie de calefacción del tubo

D_e = Diámetro exterior del tubo: 0.0508 m

Lt = Longitud del tubo 6 m

Entonces:

$$S_T = 0.9575 \text{ m}^2/\text{tubo}$$

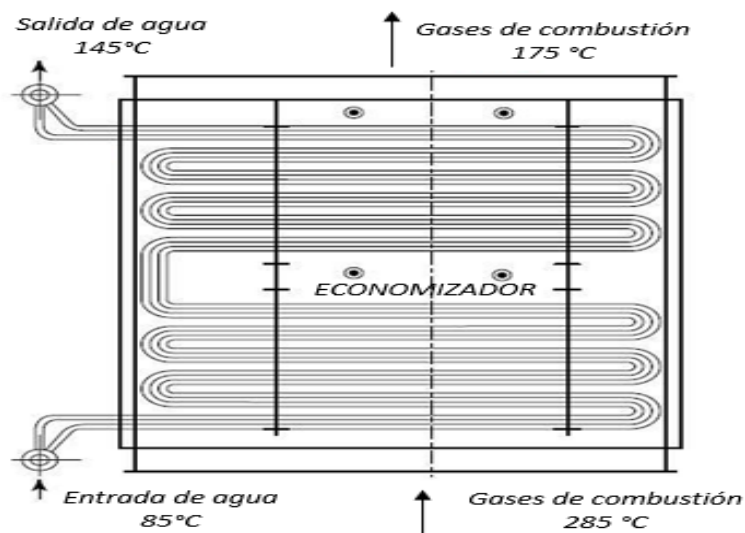


Figura 10. Esquema economizador.

Fuente: Elaboración propia.

La figura 9, muestra un economizador de tipo exterior, ya que es un equipo no encerrado en la caldera y esta soportado independientemente, posee dos colectores de entrada y salida de agua (Mesny, 1976).

4.3.2 Consumo de bagazo implementado el economizador

Energía necesaria para elevar la temperatura el agua sin economizador

La energía necesaria para evaporar 1 tn / h, con agua de alimentación a 85 °C será:

$$Q_w = m_w(h_v - h_w) = kJ/kg$$

Donde:

Q_w = Energía de necesaria para evaporar el agua de alimentación

m_w = Flujo másico de agua 1 tn/h

h_v = Entalpía de vapor saturado 2796.782 kJ/kg

h_w = Entalpía de agua de alimentación 356.015 kJ/kg

Entonces:

$$Q_w = 2440.767 kJ/kg$$

Energía necesaria para elevar la temperatura el agua con economizador

Se pretende elevar la temperatura de agua de alimentación de 85 a 145 °C, para efectos de este cálculo, tomaremos como referencia el aumento de temperatura para 1 tn de agua.

$$Q_e = m_w(h_v - h_e) = kJ/kg$$

Donde:

m_w = Flujo másico de agua 1 tn/h

h_v = Entalpía de vapor saturado 2796.782 kJ/kg

h_e = Entalpia del agua precalentada en el economizador 610.638 kJ / kg

Q_e = Energía de necesaria para evaporar agua (1 tn /h) kcal / h

Entonces:

$$Q_e = 2186.144 \text{ kJ/kg}$$

Ahorro del bagazo por tonelada de agua consumida

$$a_b = \frac{Q_w - Q_e}{PCI * \eta} = \text{kg bagazo / tn agua}$$

Donde:

a_b = Ahorro en bagazo kg bagazo / ton agua

Q_w = Energía de necesaria para evaporar el agua s/e 2419.743 kJ/kg

Q_e = Energía de necesaria para evaporar el agua c/e 2186.144 kJ/kg

PCI = Poder calorífico inferior 76 kJ/ kg

η = Rendimiento de la Caldera 0.64 %

Entonces:

$$a_b = 47.537 \text{ kg bagazo / tn agua}$$

Gracias a la instalación del economizador se logrará ahorrar 47.537 kg de bagazo por cada tonelada de agua consumida.

Consumo de bagazo

$$m_{ce} = m_{cb} - (a_b * m_w) = [\text{tn/h}]$$

Donde:

m_{ce} = Flujo másico de combustible con economizador tn/h

m_{cb} = Consumo de bagazo en la caldera 9.795 tn/h

a_b = Ahorro en bagazo kg bagazo / ton agua 0.047537 tn

m_w = Consumo de agua de alimentación 18 tn/h

El flujo de combustible, instalando el economizador es:

$$m_{ce} = 8.939 \text{ [tn/h]}$$

Ahorro del bagazo como combustible

$$A_B = m_{cb} - m_{ce} = \text{tn/h}$$

Donde:

A_B = Ahorro de bagazo por hora.

m_{cb} = Flujo másico de combustible sin economizador 9.795 tn/h

m_{ce} = Flujo másico de combustible con economizador 8.939 tn/h

Entonces:

$$A_B = 0.856 \text{ tn/h}$$

Por lo tanto, se generaría un ahorro de bagazo al día de 20.544 tn/d. Ese stock de bagazo es importante para las horas de parada por liquidación o termino de zafra.

4.3.3 Instalar un sistema aire sobre fuego

Para la instalación del sistema aire sobre fuego, se necesita realizar algunas modificaciones en la caldera, ya que aumentará el flujo de aire, Se aumentará un 35 % de aire, por lo el exceso de aire será del 50 %.

Relación aire combustible con exceso de aire.

$$G_{ar} = 5.75 * (1 - w) * \lambda = 4.3125 \text{ [kg aire/kg bagazo]}$$

$$V_{ar} = 4.47 * (1 - w) * \lambda = 3.3525 \text{ [m}^3 \text{ aire/kg bagazo]}$$

Donde:

λ = Exceso de aire 1.5

w = Humedad en el bagazo 0.5 %

G_{ar} = Relación aire real húmedo - combustible kg aire/kg bagazo húmedo

V_{ar} = Volumen de aire real húmedo – combustible kg air /kg bagazo húmedo

Relación gas combustible con exceso de aire.

$$G_{gh} = 5.75 * (1 - w) * \lambda + 1 = 5.3125 \text{ [kg gases/kg bagazo]}$$

$$V_{gh} = 4.47 * (1 - w) * \lambda + 0.57 * w + 0.672 = 4.3095 \text{ [m}^3 \text{ gases/kg bagazo]}$$

Donde:

λ = Exceso de aire 1.5

w = Humedad en el bagazo 0.5 %

G_{ar} = Relación gases húmedos - combustible kg gases/kg bagazo húmedo

V_{ar} = Volumen de gases húmedos – combustible kg gases /kg bagazo húmedo

También, se instalará un ducto, o tubería que pasa por el interior del deflector, y se colocará toberas tangencialmente, donde el aire secundario ingresará, provocando la rotación de la masa gaseosa en combustión.

Mejora con sistema aire sobre fuego

Contribuye favorablemente al quemado de bagazo en suspensión en porcentajes óptimos, ya que permite un mezclado más íntimo del bagazo con el aire, y mayor retención del quemado de las partículas.

Gracias al exceso de aire la temperatura de combustión aumentará, y en consecuencia el rendimiento de la caldera será mayor.

Pérdida del calor sensible en los gases con exceso de aire

$$q = t(1 - w) \left(1.4 * \gamma + \frac{0.50}{1 - w} - 0.12 \right) = [kcal / kg]$$

Donde:

q = Pérdida de calor sensible en los gases

t = Temperatura de los gases en la chimenea 170° C

w = Humedad del bagazo 50 %

γ = Exceso de aire = 1.5

$$q = 253.3 [kcal/kg] \approx 1060.516 [kJ/kg]$$

Energía transmitida al vapor por kg de bagazo con exceso de aire

$$Q = \left(4250 - 4850 w - \frac{q}{4.184} \right) * \alpha * \beta * \eta = [kJ/kg]$$

Donde:

Q = Calor transmitido al vapor kcal/kg

w = Humedad del bagazo 0.50 %

q = Pérdida de calor sensible en los gases 253.3 kcal/kg

α = Pérdidas en los sólidos no quemados 0.98

β = Pérdidas debidas a la radiación 0.91

η = Pérdidas combustión incompleta 0.92

$$Q = 1447.661 [kcal/kg] \approx 6061.067 [kJ/kg]$$

4.3.4 Consumo de combustible con exceso de aire

$$m_{cb} = \frac{m_v * (h_{vs} - h_a)}{Q} [kg/seg]$$

Donde:

m_{cb} = Cantidad de bagazo tn/h

\dot{m}_v = Flujo másico de vapor 18 tn/h

h_{vs} = Entalpia de vapor sobrecalentado 3068.43 kJ/kg

h_a = Entalpia de agua de alimentación 356.015 kJ/kg

Q = Calor transmitido al vapor 6061.067 kJ/kg

El flujo de combustible con exceso de aire, para la caldera será:

$$m_{cb} = 8.055 [tn/h]$$

Ahorro del bagazo como combustible

$$A_B = m_{cb} - m_{ce} = tn/h$$

Donde:

A_B = Ahorro de bagazo por hora.

\dot{m}_{cb} = Flujo másico de combustible sin sistema de aire sobre fuego 9.795 tn/h

m_{ce} = Flujo másico de combustible con sistema aire sobre fuego 8.055 tn/h

Entonces:

$$A_B = 1.74 tn/h$$

Por lo tanto, se generaría un ahorro de bagazo al día de 41.76 tn/d.

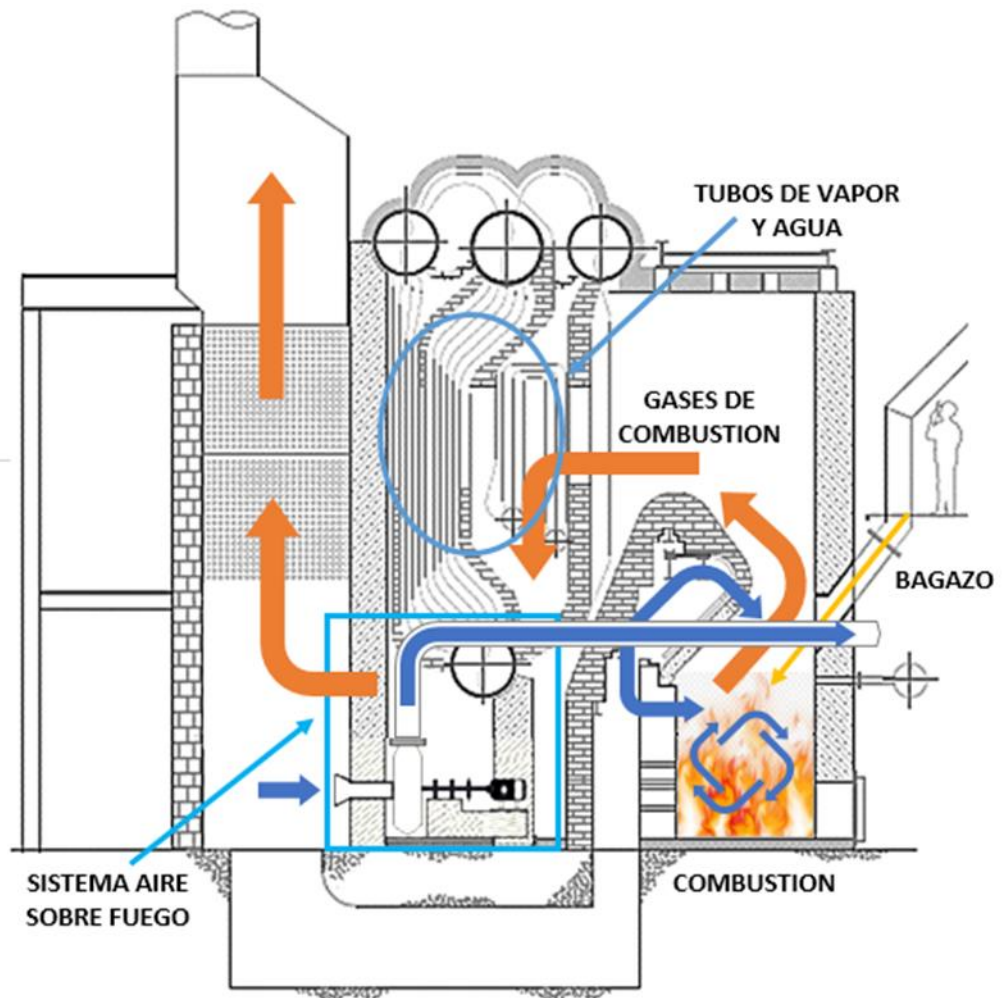


Figura 11. Sistema aire sobre fuego.

Fuente: Elaboración propia.

La figura 11, grafica la turbulencia que producirá el aire gracias al sistema sobre fuego para una mejora combustión, gracias a ello se reducirá el tiempo de residencia del bagazo (Alderetes, 2016).

4.3.5 Análisis de las propuestas

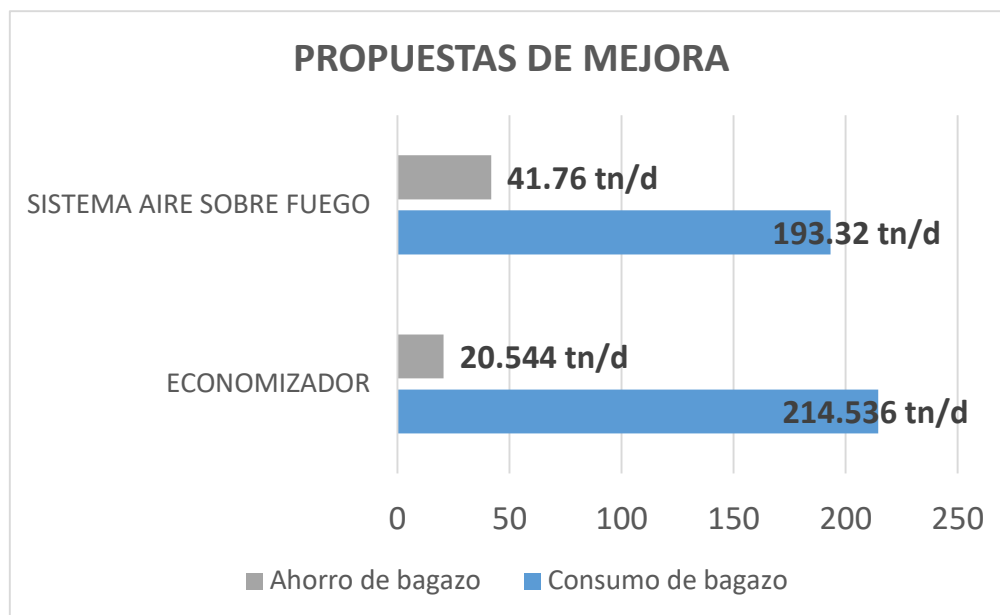


Figura 12. Gráfica comparativa de las propuestas de mejora.

Fuente: Elaboración propia.

Esta gráfica muestra las dos mejoras de propuestas y su beneficio en cuanto al ahorro de bagazo, siendo el sistema aire sobre fuego el más viable ya que se obtiene un mayor ahorro de bagazo.

Teniendo en cuenta el ahorro de bagazo como combustible, se optará por realizar el análisis económico del sistema aire sobre fuego.

4.4. Realizar un análisis económico de la propuesta de mejora.

4.4.1. Costos de construcción y montaje del inyector aire secundario

En la siguiente tabla se detallan los costos que demandan la construcción del inyector de aire secundario, donde incluyen los materiales y equipos para su confección, mano de obra de confección y montaje del equipo. Para la elaboración del analisis economico se consultó con especialistas en proyectos de calderas acuotubulares.

Tabla 11. Costos de materiales para la construcción del inyector secundario.

INVERSIÓN DEL PROYECTO - MATERIALES - EQUIPOS				
MATERIALES	CANT	UNIDAD	PREC UNIT	TOTAL
Plancha de fierro ASTM A36, para la construcción de ventilador	4	Pieza	375.08	1,500.32
Plancha de fierro ASTM A34, para construcción de ducto de aire	6	Pieza	333.08	1,998.48
Inyectores de acero fundido	9	Pieza	150.00	1,350.00
Eje para ventilador de 2 1/2"	1	Pieza	4,000.00	4,000.00
Chumaceras completas para eje de 2 1/2"	2	Pieza	914.05	1,828.10
Motor eléctrico 40 Hp	1	Pieza	13,475.00	13,475.00
Soldadura cellorcord 6011 - 1/8"	44	kg	12.55	552.20
Soldadura supercito 7018 - 1/8"	44	kg	12.25	539.00
Disco de corte 12" x 1" x 5 mm	30	Pieza	12.00	360.00
Disco de desbaste 7" x 1" x 5 mm	20	Pieza	7.00	140.00
Acetileno	16	m ³	10.00	160.00
Oxigeno	24	m ³	10.00	240.00
Pernos G8 5/8"x4"	32	Pieza	8.00	256.00
SUB TOTAL				S/26,143.10

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. Costos de alquiler de equipos para la construcción.

INVERSIÓN DEL PROYECTO - EQUIPOS				
EQUIPOS	CANT	DÍAS	PRECIO/DIA	TOTAL
Máquina de soldar	2	20	100.00	4,000.00
Equipo oxicorte	1	4	70.00	280.00
Amoladora	2	20	30.00	1,200.00
Dobladora de tubos	1	6	200.00	1,200.00
Cortadora	1	2	60.00	120.00
SUB TOTAL				S/6,800.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Costos de mano de obra, construcción del inyector de aire.

INVERSIÓN DEL PROYECTO - MANO DE OBRA CONFECCIÓN				
PERSONAL	CANT	DÍAS	PRECIO / DIA	TOTAL
Supervisor	1	14	150.00	2,100.00
Soldador	2	14	120.00	3,360.00
Armador	1	14	80.00	1,120.00
Biselador	1	14	60.00	840.00
Oficial	1	14	50.00	700.00
SUB TOTAL				S/8,120.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14. Costos de mano de obra, montaje del inyector de aire.

INVERSIÓN DEL PROYECTO - MANO DE OBRA MONTAJE				
PERSONAL	CANT	DÍAS	PRECIO / DIA	TOTAL
Supervisor	1	4	150.00	600.00
Soldador	2	4	120.00	960.00
Armador	1	4	80.00	320.00
Mecánico	1	4	60.00	240.00
Oficial	1	4	50.00	200.00
Tecla 1 tn	2	4	40.00	320.00
Máquina de soldar	2	4	100.00	800.00
TOTAL				S/3,440.00

Fuente: Elaboración propia

4.4.2. Costos total o inversión de la mejora inyector de aire secundario.

En la siguiente tabla se muestra el costo total del proyecto, inyector de aire secundario. Este costo será la inversión, que se tomado para el análisis económico de la propuesta de mejora.

Tabla 15. Costo total de la implementación de mejora.

COSTO DE LA INVERSIÓN PROYECTO INYECTOR AIRE SECUNDARIO	
Costo de materiales para construcción del inyector aire secundario	S/26,143.10
Costo de alquiler de equipos para la construcción del inyector	S/6,800.00
Costo de la mano de obra para la construcción del inyector	S/8,120.00
Costo de la mano de obra para el montaje del inyector de aire	S/3,440.00
Costo total del proyecto	S/44,503.10

Fuente: Elaboración propia

4.4.3. Costos total o inversión de la mejora inyector de aire secundario.

En la siguiente tabla se muestra los costos de mantenimiento que se realizarán en el equipo inyector de aire secundario. Estos costos serán tomados como egresos, para el análisis económico de la propuesta de mejora.

Tabla 16. Costo de mantenimiento, inyector aire secundario.

COSTO MANTENIMIENTO PERIODICO				
MANTENIMIENTO	PERIODO	CANT	PRECIO UNIT	TOTAL
Cambio de rodamientos eje ventilador	Anual	2	495.75	991.50
Cambio de rodamientos del motor de 40 Hp	Anual	2	125.35	250.70
Mantenimiento de motor	Anual	1	580.00	580.00
Grasa especial - Lubricación chumaceras	Mensual	1	120.00	1,440.00
Tecla 1 tn	Anual	1	80.00	80.00
Mecánicos	Mensual	1	80.00	960.00
Costo mantenimiento anual				S/4,302.20

Fuente: Elaboración propia

4.4.1 Análisis económico de la propuesta dada.

Dada la propuesta, y según el cálculo, gracias al inyector de aire se conseguirá, un ahorro de 1.53 tn/h de bagazo, contando con 21 horas efectivas de molienda se conseguirá un ahorro al día de 32.13 tn/d. Contando con 24 días de molienda mensuales por 11 meses efectivos de molienda al año, se conseguirá ahorrar 8482.32 tn al año, sabiendo que el bagazo está a S/20.00 la tonelada, constituye un ingreso económico anual de S/169 646.40.

Esta propuesta es viable, ya que el retorno de la inversión, incluyendo los costos de mantenimiento del equipo, se retornara en un lapso de tres meses aproximadamente, por lo que se considera a corto plazo.

Tabla 17. *Tabla análisis económico VAN, TIR, de la mejora propuesta.*

INDICADORES	AÑO 0	AÑO 1
Egresos	s/44,503.10	S/4,302.20
Ingresos	0	S/169,646.40
Flujo efectivo	-s/44,503.10	S/165,344.20
Tasa descuento		15%
Valor actual neto - van		S/99,274.47
Tasa interna de retorno - tir		272%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18. *Valor actual neto de la propuesta dada.*

TASA DESCUENTO	VAN
30%	S/82,684.75
60%	S/58,837.03
90%	S/42,520.16
120%	S/30,653.35
150%	S/21,634.58
180%	S/14,548.40
210%	S/8,833.74
240%	S/4,127.55

270%	S/184.52
300%	-S/3,167.05
330%	-S/6,050.96
360%	-S/8,558.71

Fuente: Elaboración propia



Figura 13. Valor actual neto de la propuesta de mejora.

Fuente: Elaboración propia

Gracias a programa Microsoft Excel, se logró realizar el cálculo con indicadores económicos VAN y TIR, para la mejora de propuesta sistema de aire sobre fuego.

V. DISCUSIÓN

Gracias al empleo del análisis documental y guías de observación, se logró recopilar data de manera puntual y ordenada, que sirvió de base para el desarrollo de la investigación.

Para (Odar G. , 2016) afirma que es de vital importancia conocer el principio de funcionamiento de los generadores de vapor, para ello consultó bibliografía relacionada con calderas acuatubulares de preferencia que utilicen como combustible el bagazo, también requirió la ayuda de la documentación del área de mantenimiento donde realizaba su investigación.

Efectivamente para el levantamiento de información del objeto de estudio (caldera bagacera), se recurrió al departamento de mantenimiento del área de calderas, para consultar ficha técnica de la caldera, donde se obtuvieron los datos de diseño, como su capacidad nominal de generación, presión de trabajo y los equipos que conforman la caldera.

El bagazo, libera su energía en la combustión, y está determinada por su PCI (poder calorífico inferior), este valor representa la cantidad de calor que puede producir la combustión de un kilogramo de bagazo húmedo.

(Huanca & Gamarra, 2017), en su investigación menciona que el PCI, está directamente con el contenido de humedad y sacarosa del bagazo. El contenido de humedad, es una variable que depende directamente del proceso de extracción, según datos de laboratorio del ingenio se pudo constatar que este valor oscilar entre el 48% al 52%, mientras que el de la sacarosa esta entre el 2.7% y 3.5%.

Para tener una combustión teórica completa, sin dejar bagazo no quemado, y que todo el carbono se convierta en CO₂, es necesario de proporcionar a la combustión cierto exceso de aire. (Mamani & Ramos, 2018), menciona que, en la práctica, las condiciones de la combustión nunca son completa, por lo que es necesario adicionar cierta cantidad de aire. La caldera en estudio solo tiene un exceso de aire del 15%.

(Paredes, 2017), menciona que el consumo de combustible, es un parámetro fundamental para determinar el rendimiento de la caldera. Concuero con su

afirmación, para obtener este valor se calculó la energía que aportada al vapor 5538 kJ/kg, también fue necesario conocer las entalpías de agua de alimentación 356.015 kJ/kg, y de vapor sobrecalentado 3068.43 kJ/kg, donde se determinó el consumo siendo este 9.795 tn/h.

El consumo de bagazo va en aumento, debido a las incrustaciones de particulado, ceniza y hollín en las toberas del aire primario en el horno de combustión, sumado a ello las incrustaciones de sólidos, aumentando la pared de la tubería de agua, producto de los sólidos en suspensión del agua de alimentación que ingresa a la caldera.

Para determinar el rendimiento actual de la caldera (López, 2017), empleó el método directo donde cuantificación de los flujos y entalpías de agua y vapor, como también el flujo de combustible y aporte calorífico., de la misma manera se logró encontrar la eficiencia para este caso de estudio, hallando toda la energía que consume la generación de vapor, entre la energía que aporta el bagazo como combustible, siendo la eficiencia actual por el método directo 64%. Según, (Hugot, 1963, pág. 597) la eficiencia de las calderas de tubos de agua con hornos de herradura, es del $\geq 60\%$.

Se logró determinar el balance de energía para la caldera en estudio con un consumo de agua de 18.3 tn/h, consumo e bagazo de 9.795 tn/h, gases de combustión que realizan la transferencia de calor interna de la caldera 42.17 tn/h y cantidad de aire que ingresa al horno de combustión 32.382 tn/h, obteniendo un rendimiento del 64%, aplicando el método directo.

Con la intención de mejorar el rendimiento de la caldera (Mamani & Ramos, 2018); presentó como propuesta de mejora en su investigación, el aprovechamiento del calor de los gases de salida de caldera con la finalidad de calentar el agua de alimentación de la caldera. Por otro lado, (Mesny, 1976) estima que por cada 5,5 a 6 °C, que aumenta la temperatura del agua de alimentación en el economizador, la eficiencia de la caldera acuatubular aumenta en 1 %.

Esta propuesta de implementar un economizador, fue presentada con la intención de incrementar el agua de alimentación de 85°C a 145°C, aprovechando el paso

de los gases de combustión, donde se transferirá al economizador 1075821.67 kcal/kg, en una superficie de 205 m². Esta propuesta está enfocada también en el ahorro del bagazo como combustible, donde se ahorra en aproximado el 9 % de bagazo del flujo másico de combustible, obteniendo un consumo de bagazo por hora de 8.939 tn.

(Guevara & Valverde, 2020), en su investigación propuesta técnico económica para mejora de caldera acuatubular, presentó como mejora la instalación de un ventilador aire secundario, con la finalidad de añadir un exceso de aire que proporcione una mejor combustión. También se presentó esta propuesta como una alternativa para mejorar el rendimiento de la caldera acuatubular bagacera, el sistema de aire sobre fuego creará una turbulencia en el horno de combustión, debido a sus toberas de aire tangenciales en el horno de la caldera.

Efectivamente con la instalación del sistema de aire secundario o aire sobre fuego se logrará tener una mejor presencia de la partícula del combustible bagazo en el hogar donde disminuirá el porcentaje de incremento lo que significa una menor emisión de particular hoy ceniza al medio ambiente.

Con la instalación de este sistema se añadirá un exceso de aire del 50%, lo que permitirá tener una combustión más completa, gracias a esta mejora se logrará reducir el consumo de bagazo en un 17%, donde el consumo de bagazo por hora será de 8.055 tn.

Según el encargado de área la opción más factible en términos económicos, técnicos y tiempo de instalación es la implementación del sistema aire sobre fuego, donde se tendrá un ahorro de 41.76 tn de bagazo al día, mientras que implementando el economizador solo se ahorrará 20.544 tn de bagazo al día.

Se analizó económicamente la propuesta del sistema aire sobre fuego, donde la inversión del proyecto es de 44,503.00 soles, donde incluyendo los gastos de materiales, equipos para la construcción, mano de obra para la construcción y montaje, por otro lado, este sistema tendrá un gasto anual por concepto de mantenimiento de 4,302.20 soles. Ahora en cuanto a los ingresos económicos tenemos; sabiendo que contamos con 24 días de molienda mensuales por 11

meses efectivos de molienda al año, se conseguirá ahorrar 8482.32 tn al año, sabiendo que el bagazo está a S/20.00 la tonelada, constituye un ingreso económico anual de S/169 646.40.

Se determinó que el proyecto es viable con una tasa de descuento del 15%, el retorno de la inversión tendrá un retorno en un plazo no mayor a 3 meses.

VI. CONCLUSIONES

- Se realizó un diagnóstico de las condiciones de operación de la caldera acuotubular, se determinaron los parámetros de operación de la caldera, con una generación de 18 tn/h de vapor, trabajando solo con bagazo como combustible, en cuanto al estado de sus equipos presenta deficiencias en el banco de tubos de agua, el calentador de aire, como también en el banco de generación (sobrecalentadores). Se realizó un análisis a los gases combustión donde la relación es 4.306 kg de gases por un kilogramo de bagazo húmedo quemado. Por otro lado, se determinó el poder calorífico del bagazo como combustible siendo de 1833.87 kcal/kg.
- Se determinó el consumo actual de la caldera, para ello se realizó un análisis al bagazo, con un contenido de humedad del 50% y una pol de 2.7%, también se analizaron los productos de la combustión. El consumo de bagazo es de 9.795 tn/h; por otro lado, se cuantificaron los flujos máxicos de aire (32.382 tn/h) y gases (42.177 tn/h), se determinó el rendimiento de la caldera siendo 64%, con exceso de aire del 15%.
- Se presentaron dos propuestas de mejora para incrementar la eficiencia de la caldera, la primera es la implementación de un economizador, donde se pretende elevar la temperatura de agua de alimentación de 85°C a 145°C, aprovechando 1075821.67 kcal/h gracias al paso de los gases de combustión, mediante este equipo se logrará un ahorro de bagazo del 9%. La otra propuesta de mejora es la implementación de un sistema aire sobre fuego, donde se incrementará el exceso de aire de 15% a 50%, mediante la instalación de un ducto que pasa por el interior del deflector de gases, se colocarán toberas tangenciales en el interior del horno, proporcionando una turbulencia de la masa gaseosa de combustión, logrando que el bagazo logre quemarse en suspensión. Gracias a esta implementación se logrará un ahorro del consumo de bagazo de un 17%.
- Según especialistas la propuesta mas viable es la instalación del sistema aire sobre fuego (aire secundario), por temas de tiempo de ejecución e instalación

como también los gastos para su fabricación, por lo que se realizó el análisis económico de la propuesta, donde los gastos de inversión del proyecto que incluyen los gastos de materiales, equipos, mano de obra de ejecución y montaje asciende a 44,503.00 soles. Gracias a este sistema se logrará un ingreso económico de S/169,646.40 anuales por concepto de ahorro de bagazo. Según los indicadores económicos VAN – TIR, el proyecto es rentable, con una tasa de interés del 15%, el proyecto tendrá un retorno de la inversión en un plazo de 3 meses.

VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda al jefe de área realizar limpieza mecánica al banco de tubos de agua, mediante el sondeo hidrostático para remover los sólidos depositados, esta actividad se debe realizar cada mantenimiento mensual programado. También es necesario implementar un ablandador de agua de reposición.
- Se recomienda al jefe de control e instrumentación, instalar equipos de medición para ver la temperatura de los gases de combustión, aire precalentado, también instalara caudalímetros para medir la generación de vapor, como también implementar un sistema automático de alimentación de bagazo.
- Se recomienda al jefe de mantenimiento de calderas, implementar sopladores de hollín, para limpiar incrustaciones en la superficie de los tubos de agua, aire y vapor.
- A la gerencia de fábrica, se recomienda realizar capacitación al personal técnico de operación y mantenimiento de calderas, por parte de terceros; al menos dos veces por año.
- Al jefe de área se recomienda Implementar una gestión de mantenimiento en el área de Calderas, respetando las horas de trabajo de los equipos (motores, bombas, ventiladores, tuberías, colectores, válvulas, reductores), como también los elementos rotativos (rodamientos, chumaceras, acoples), para su cambio o mantenimiento. Así reducir los tiempos perdidos por fallas mecánicas.
- Al departamento de SSOMA, siendo el área de Calderas de alto riesgo en probabilidades de accidentes, por las altas de temperaturas del vapor, temperaturas altas al limpiar los hogares, la polución que genera la combustión incompleta; se recomienda la implementación de los equipos de protección a todo el personal de operación y de mantenimiento.

REFERENCIAS

- Alderetes, C. (2016). *Calderas a Bagazo - Proyecto, operación y mantenimiento* (Primera edición ed.). Argentina: Impreso en Argentina.
- Álvarez, P. (2017). *Propuesta metodológica para el levantamiento de información para determinar la eficiencia térmica de una caldera*. México, D.F: Universidad Nacional Autónoma de México. Obtenido de https://repositorio.unam.mx/contenidos/propuesta-metodologica-para-el-levantamiento-de-informacion-para-determinar-la-eficiencia-termica-de-una-caldera-448630?c=r5j0Y4&d=false&q=*&i=1&v=1&t=search_0&as=0
- ANEEL, A. N. (2018). *Asociación iberoamericana de entidades reguladoras de la energía*. Obtenido de <https://www.ariae.org/servicio-documental/cuadros-tarifarios-vigentes-agencia-nacional-de-energia-electrica-aneel>
- ASME. (2012). *Ejemplos de uso de códigos y normas para los estudiantes de ingeniería mecánica y otros campos*. USA: ASME, Normas y Certificación. Obtenido de [https://www.asme.org/wwwasmeorg/media/resourcefiles/aboutasme/who%20we%20are/standards_and_certification/scstudentbr_aug15r3-\(002\).pdf](https://www.asme.org/wwwasmeorg/media/resourcefiles/aboutasme/who%20we%20are/standards_and_certification/scstudentbr_aug15r3-(002).pdf)
- Babcock & Wilcox Company. (1992). *Steam: Its Generation and Use*. USA: Bibliolife DBA of Biblio Bazaar II. Obtenido de https://books.google.com.pe/books?id=QzspvgAACAAJ&dq=STEAM+its+generation+and+use.+USA&hl=es&sa=X&redir_esc=y
- Boilers, A. I. (2019). Generador de vapor con recuperación de calor HRSG. *Direct Industry*, 5. Obtenido de <https://www.directindustry.es/prod/ge-power/product-205105-2079295.html>
- Bonilla, J., Carranza, M., Castillo, M., Belthetón, A., Juárez, E., Lemus, F., . . . Donis, R. (2011). Termodinámica de equipos industriales: Eficiencia energética de una caldera. *Laboratorio de Termodinámica*, 17. Obtenido de https://fgsalazar.net/LANDIVAR/ING-PRIMERO/boletin13/URL_13 QUI03.pdf

- Borroto, A. (2010). *Combustión y generación de vapor*. La Habana: Félix Varela. Obtenido de https://books.google.com.pe/books?id=Voi6tAEACAAJ&dq=Combusti%C3%B3n+y+generaci%C3%B3n+de+vapor&hl=es&sa=X&redir_esc=y
- Camacho, J. (2008). *Diseño de una caldera acuotubular*. UCA. Cádiz: Universidad de Cádiz. Obtenido de <https://rodin.uca.es/bitstream/handle/10498/6414/b34208008.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- COES. (2017). *Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional*. Obtenido de <https://www.coes.org.pe/portal/>
- Colombres, F., Golato, M., Morales, W., Cruz, C., & Paz, D. (2011). Rendimiento térmico de calderas bagaceras modernas. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán*, 88, 19. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Marcos-Golato-2/publication/260778248_Rendimiento_termico_de_calderas_bagaceras_modernas_en_Tucuman_R_Argentina/links/548b0bd30cf2d1800d7dafd8/Rendimiento-termico-de-calderas-bagaceras-modernas-en-Tucuman-R-Argentina.p](https://www.researchgate.net/profile/Marcos-Golato-2/publication/260778248_Rendimiento_termico_de_calderas_bagaceras_modernas_en_Tucuman_R_Argentina/links/548b0bd30cf2d1800d7dafd8/Rendimiento-termico-de-calderas-bagaceras-modernas-en-Tucuman-R-Argentina.pdf)
- COMMODITIES. (20 de Setiembre de 2019). *Producción de Azúcar - 2019*. Recuperado el 12 de Julio de 2020, de <https://www.midagri.gob.pe/portal/analisis-2019>
- De la Vequia, D. (2018). Energía disponible a partir de biomasa de residuos de caña de azúcar (*Saccharum spp.*). *IX(2631-2476)*, 7ma edición, 69. Veracruz, México: Agroproductividad. Recuperado el Julio de 9 de 2020, de <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/792/657>
- De Miguel, D. (2018). Sistema típico de cogeneración en una planta industrial. *Diario de Navarra*. Obtenido de <https://www.diariodenavarra.es/noticias/navarra/2018/04/06/plantas-cogeneratoras-energia-piden-alargar-vida-util-hasta-2030-585200-300.html>

- Feijóo, E., Morales, W., Golato, M., & Paz, D. (2012). Monitoreo de emisiones de material particulado de chimeneas de generadores de vapor de la industria azucarera en Tucumán, R. Argentina. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán*, 89, 8. Obtenido de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-30182012000100002
- Gaffert, A. (1981). *Centrales de vapor*. Barcelona: REVERTÉ S.A.
- García, R. (2001). *Combustión y combustibles*. Artículo, Buenos aires. Obtenido de <https://www.kimerius.com/app/download/5780666669/Combusti%C3%B3n+y+combustibles.pdf>
- Golato, M., Aso, G., Paz, D., & Cárdenas, G. (2005). Inyección de aire secundario caliente en calderas de vapor bagaceras y su influencia en el rendimiento térmico. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán*, 82, 8. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Marcos-Golato-2/publication/262700838_Inyeccion_de_aire_secundario_caliente_en_calderas_de_vapor_bagaceras_y_su_influencia_en_el_rendimiento_termico/links/548b4f380cf225bf669f87dc/Inyeccion-de-aire-secundario-caliente-
- Guevara, M., & Valverde, L. (2020). *Propuesta de mejora de caldera NR.20 en base a auditoría energética para reducir el costo en la generación de vapor en Agroindustrial Cartavio SAA*. Trujillo: Universidad César Vallejo. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/57505>
- Hernández, M., Gonzáles, M., & Cruz, O. (2006). *Diseño exergoeconómico de la geometría de un*. Coyoacán: UNAM. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-77432009000400001&script=sci_abstract
- Huanca, J., & Gamarra, E. (2017). *Influencia del bagazo disponible en el incremento de la potencia efectiva del sistema de cogeneración - Agroindustrias San Jacinto S.A.A*. Nuevo Chimbote: Universidad Nacional del Santa.

Obtenido de <http://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/UNS/2987/46317.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Hugot, E. (1963). *Manual para ingenieros azucareros* (Primera edición ed.). México: CECSA.
- Laca, S. (2020). *Diseño y balance energético de una caldera bagacera para la producción de panela mediante tecnología a vapor*. Universidad de Piura. Piura: Universidad de Piura. Obtenido de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4657/IME_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Lawrence, A. (2000). *Manual de calderas* (Vol. 2da edición). Madrid: EDIGRAFOS S.A.
- Llerena, O. (2018). Análisis energético, exergético, económico de un sistema de cogeneración: Caso para una planta azucarera de San Pablo. *INGENIUS*, 19, 11. Obtenido de http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1390-860X2018000100029&lng=es&nrm=iso
- López, L. (2017). *Evaluación de la eficiencia de generador de vapor - Estudio caso: ECOPEPETROL S.A.* Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. Obtenido de <https://repositorio.utp.edu.co/items/e73eaec2-bfe9-48ee-a5f2-69b95fdcd16>
- Mamani, C., & Ramos, F. (2018). *Optimización energética del generador de vapor (caldera) del comedor universitario de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno con capacidad de 150 kg*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano - UNA. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/7374>
- Marcelo, M., Bizzo, W., & Alamo, V. (2016). Evaluación del potencial energético azucarero de los residuos de la caña de azúcar en el Perú. *XXIII Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente (XXIII-SPES)*, XVIII, 13. Obtenido de

<http://xxiiispes.perusolar.org/wp-content/uploads/2016/10/Ponencia-N%C2%AA-26-Viernes-304.pdf>

- Mesny, M. (1976). *Generación de vapor*. Madrid: Gráficas Arias Montrano S.A.
- Míguez, C. (2013). *La eficiencia energética en el uso de la biomasa para la generación de energía eléctrica: optimización energética y exergética*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid. Obtenido de <https://eprints.ucm.es/id/eprint/17794/1/T34108.pdf>
- Miranda, R. (2018). *Calderas: Clasificación, usos y mecanismos de transferencia de calor*. Puebla: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/326904671_CALDERAS_CLASIFICACION_USOS_Y_MECANISMOS_DE_TRANSFERENCIA_DE_CALOR
- Muñoz, M. (2015). *Guía para determinar pérdidas en una caldera*. Guatemala: CENGICANA. Obtenido de <https://cengicana.org/files/20170103101530429.pdf>
- Odar, D. (2019). *Diseño de un lavador de gases para determinar la disminución del material particulado de la caldera acuatubular n°06 en Agroindustrial Pomalca*. Tesis de grado, Universidad César Vallejo, Chiclayo. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/36536/Pacherres_OD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Odar, G. (2016). *Propuesta de auditoría energética del caldero n°5 para incrementar la eficiencia de la empresa Industrial Pucala s.a.c- 2016*. Universidad César Vallejo. Chiclayo: Universidad César Vallejo. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/8915>
- Paredes, T. (2017). *Propuesta de mejora en caldera apin pirotubular de 400 BHP en base a análisis energético indirecto para aumentar el rendimiento en la fábrica VITAPRO S.A.* Trujillo: Universidad César Vallejo. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/23057>

- Parra, J. (2017). *Estudio del sistema de cogeneración a partir de biomasa en los ingenios azucareros*. Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/4743>
- Payne, J. (1991). *Cogeneration in the Cane Sugar Industry*. New York: Elsevier Science Publishing Company INC. Obtenido de [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=9v4kuSj4aY0C&oi=fnd&pg=PP1&dq=Payner.+H.+\(1991\).+Cogeneration+in+the+cane+sugar+industry.+Amsterdam&ots=BZUGjmq3An&sig=fabON-ceTRFXC-5bsvquZhuYmiE#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=9v4kuSj4aY0C&oi=fnd&pg=PP1&dq=Payner.+H.+(1991).+Cogeneration+in+the+cane+sugar+industry.+Amsterdam&ots=BZUGjmq3An&sig=fabON-ceTRFXC-5bsvquZhuYmiE#v=onepage&q&f=false)
- Rein, P. (2012). *Ingeniería de la caña de azúcar*. Alemania: Bartens.
- RENACYT. (16 de Agosto de 2021). *CONCYTEC*. Obtenido de <https://ctivitaec.concytec.gob.pe/renacyt-ui/#/login>
- Restrepo, N. (2021). *Diseño de un intercambiador de calor (economizador) para una caldera pirotubular de 300 BHP*. Medellín: Universidad de Antioquía. Obtenido de https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/19758/15/RestrepoNeysser_2021_EconomizadorCalderaPirotubular.pdf
- Rico, J. (2016). Cada vez más bagazo de caña de azúcar en el etanol europeo. *Renewable Energy Magazine*, 2. Obtenido de <https://www.energias-renovables.com/bioenergia/-/1/cada-vez-mas-bagazo-de-cana-de-20160707>
- Rodas, E., & Machuca, P. (2016). *Análisis comparativo de la eficiencia térmica en la caldera bagacera n°4 en funcionamiento convencional y con inyector secundario de aire caliente en la empresa Agroindustrial Pomalca s.a.a. USS*. Chiclayo: Universidad Señor de Sipán. Obtenido de <https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/4413/Rodas%20Flores%20-%20Vargas%20Machuca.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rodríguez, A., Carrasco, S., López, E., & Jiménez, R. (2018). *Metodología para la evaluación del proceso de co/combustión de biomasa a partir de diferentes*

tecnologías en una caldera Retal. Cuba: Universidad de Cienfuegos. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v11n1/2218-3620-rus-11-01-295.pdf>

- Rubio, A. (2019). *Estudio de la pérdida de calor por combustión incompleta volátil en calderas Retal*. Santa Clara, Cuba: Universidad Central de las Villas. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Angel-Rubio-Gonzalez/publication/333852880_ESTUDIO_DE_LA_PERDIDA_DE_CALOR_POR_INCOMBUSTION_MECANICA_VOLATIL_EN_CALDERAS_RETAL_MEDIANTE_SIMULACION_AERODINAMICA/links/5d08fd82299bf1f539ce69d6/E-STUDIO-DE-LA-PERDIDA-DE-CAL
- Siquiná, R. (2008). *Análisis termodinámico para el mejoramiento de la eficiencia de operación de la caldera del ingenio Tululá*. San Carlos: Universidad de San Carlos de Guatemala. Obtenido de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0621_M.pdf
- Soza, J. (2013). *Evaluación Tecnológica de las Calderas No. 6, No. 7 y sus equipos*. Mangua: Universidad Nacional de Ingeniería - Nicaragua. Obtenido de <http://ribuni.uni.edu.ni/821/1/38831.pdf>
- Uceda, J. (2012). *Guía básica de calderas industriales eficientes*. Madrid: Gráficas Arias Montano, S. A. Obtenido de <https://www.ingenieros.es/files/proyectos/Guia-basica-calderas-industriales-eficientes-fenercom-2013.pdf>
- Valle, F. (2003). *Documentación de procedimientos y operación de procesos de una caldera acuotubular de 225 lb vapor/hr en un ingenio azucarero (Ingenio Magdalena S.A)*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Obtenido de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0401_M.pdf

ANEXO 1: Cuadro de operacionalización de variables

VARIABLES DE ESTUDIO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Variable Independiente: Estudio energético de caldera acuotubular.	El estudio energético de una caldera acuotubular, se basa en un diagnóstico integral de todo el generador y sus componentes, para determinar el rendimiento actual, y cuantificar el consumo de combustible, análisis del combustible, producción de vapor, pérdidas de calor en el sistema, como parte del estudio se realizan propuestas para mejorar el rendimiento de la caldera. (Odar, 2018)	Será medida mediante el análisis documentario y la observación. También se realizará un cuestionario con preguntas necesarias para la recopilación de datos sobre el estado actual de la caldera, mantenimiento y operación.	Combustible	Análisis de bagazo	Intervalo
				Consumo de combustible (ton/h)	Razón
			Generación de vapor	Producción de vapor (ton/h)	Razón
			Agua de alimentación	Temperatura (°C)	Intervalo
			Entalpías	Energía kJ/kg	Razón

VARIABLES DE ESTUDIO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Variable dependiente: Eficiencia	Para determinar la eficiencia en un generador de vapor acuotubular, se cuantifica la energía cedida y la energía gastada, mediante el balance de masas y el balance energético. Existen dos métodos para encontrar la eficiencia de una caldera, el método directo; que es la energía ganada por el vapor sobrecalentado entre la energía cedida por el poder calorífico de todo el combustible. El otro método es el indirecto que consiste en cuantificar todas las pérdidas en porcentaje. (Alderetes, 2016)	Será medida mediante el análisis documental y la observación. También se realizará un cuestionario con preguntas necesarias para la recopilación de datos sobre el estado actual de la caldera, mantenimiento y operación.	Balance de masas	Combustible (ton/h)	
				Flujo másico de gases (ton/h)	Razón
				Flujo másico de aire (ton/h)	Razón
				Exceso de aire (%)	Razón
			Balance energético	PCI (kJ/kg)	Razón
				Energía gastada (kJ/kg)	Razón
				Eficiencia (%)	Razón

ANEXO 3: Validación de instrumentos de recolección de datos

FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

DATOS GENERALES DEL EXPERTO

Apellidos y Nombres:

Odar Pacherez David

Profesión:

Ingeniero Mecánico Electricista

Grado Académico:

Ingeniero

Actividad laboral actual:

Ingeniero Integral de Fábrica
Agroindustrial Ponalca.

Mediante la matriz de evaluación, Ud. tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una X en las columnas de relevancia.

Donde:

MUY DEFICIENTE	DEFICIENTE	ACEPTABLE	BUENA	EXCELENTE
1	2	3	4	5

DAVID ODAR PACHERREZ
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
REG CIP 244881

Tablas termodinámicas de vapor de agua

Vapor de agua sobrecalentado																
T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K
	$P = 0.01 \text{ MPa (45.81}^\circ\text{C)}^*$				$P = 0.05 \text{ MPa (81.32}^\circ\text{C)}$				$P = 0.10 \text{ MPa (99.61}^\circ\text{C)}$							
Sat. ¹	14.670	2437.2	2583.9	8.1488	3.2403	2483.2	2645.2	7.5931	1.6941	2505.6	2675.0	7.3589				
50	14.867	2443.3	2592.0	8.1741												
100	17.196	2515.5	2687.5	8.4489	3.4187	2511.5	2682.4	7.6953	1.6959	2506.2	2675.8	7.3611				
150	19.513	2587.9	2783.0	8.6893	3.8897	2585.7	2780.2	7.9413	1.9367	2582.9	2776.6	7.6148				
200	21.826	2661.4	2879.6	8.9049	4.3562	2660.0	2877.8	8.1592	2.1724	2658.2	2875.5	7.8356				
250	24.136	2736.1	2977.5	9.1015	4.8206	2735.1	2976.2	8.3568	2.4062	2733.9	2974.5	8.0346				
300	26.446	2812.3	3076.7	9.2827	5.2841	2811.6	3075.8	8.5387	2.6389	2810.7	3074.5	8.2172				
400	31.063	2969.3	3280.0	9.6094	6.2094	2968.9	3279.3	8.8659	3.1027	2968.3	3278.6	8.5452				
500	35.680	3132.9	3489.7	9.8998	7.1338	3132.6	3489.3	9.1566	3.5655	3132.2	3488.7	8.8362				
600	40.296	3303.3	3706.3	10.1631	8.0577	3303.1	3706.0	9.4201	4.0279	3302.8	3705.6	9.0999				
700	44.911	3480.8	3929.9	10.4056	8.9813	3480.6	3929.7	9.6626	4.4900	3480.4	3929.4	9.3424				
800	49.527	3665.4	4160.6	10.6312	9.9047	3665.2	4160.4	9.8883	4.9519	3665.0	4160.2	9.5682				
900	54.143	3856.9	4398.3	10.8429	10.8280	3856.8	4398.2	10.1000	5.4137	3856.7	4398.0	9.7800				
1000	58.758	4055.3	4642.8	11.0429	11.7513	4055.2	4642.7	10.3000	5.8755	4055.0	4642.6	9.9800				
1100	63.373	4260.0	4893.8	11.2326	12.6745	4259.9	4893.7	10.4897	6.3372	4259.8	4893.6	10.1698				
1200	67.989	4470.9	5150.8	11.4132	13.5977	4470.8	5150.7	10.6704	6.7988	4470.7	5150.6	10.3504				
1300	72.604	4687.4	5413.4	11.5857	14.5209	4687.3	5413.3	10.8429	7.2605	4687.2	5413.3	10.5229				
	$P = 0.20 \text{ MPa (120.21}^\circ\text{C)}$				$P = 0.30 \text{ MPa (133.52}^\circ\text{C)}$				$P = 0.40 \text{ MPa (143.61}^\circ\text{C)}$							
Sat.	0.88578	2529.1	2706.3	7.1270	0.60582	2543.2	2724.9	6.9917	0.46242	2553.1	2738.1	6.8955				
150	0.95986	2577.1	2769.1	7.2810	0.63402	2571.0	2761.2	7.0792	0.47088	2564.4	2752.8	6.9306				
200	1.08049	2654.6	2870.7	7.5081	0.71643	2651.0	2865.9	7.3132	0.53434	2647.2	2860.9	7.1723				
250	1.19890	2731.4	2971.2	7.7100	0.79645	2728.9	2967.9	7.5180	0.59520	2726.4	2964.5	7.3804				
300	1.31623	2808.8	3072.1	7.8941	0.87535	2807.0	3069.6	7.7037	0.65489	2805.1	3067.1	7.5677				
400	1.54934	2967.2	3277.0	8.2236	1.03155	2966.0	3275.5	8.0347	0.77265	2964.9	3273.9	7.9003				
500	1.78142	3131.4	3487.7	8.5153	1.18672	3130.6	3486.6	8.3271	0.88936	3129.8	3485.5	8.1933				
600	2.01302	3302.2	3704.8	8.7793	1.34139	3301.6	3704.0	8.5915	1.00558	3301.0	3703.3	8.4580				
700	2.24434	3479.9	3928.8	9.0221	1.49580	3479.5	3928.2	8.8345	1.12152	3479.0	3927.6	8.7012				
800	2.47550	3664.7	4159.8	9.2479	1.65004	3664.3	4159.3	9.0605	1.23730	3663.9	4158.9	8.9274				
900	2.70656	3856.3	4397.7	9.4598	1.80417	3856.0	4397.3	9.2725	1.35298	3855.7	4396.9	9.1394				
1000	2.93755	4054.8	4642.3	9.6599	1.95824	4054.5	4642.0	9.4726	1.46859	4054.3	4641.7	9.3396				
1100	3.16848	4259.6	4893.3	9.8497	2.11226	4259.4	4893.1	9.6624	1.58414	4259.2	4892.9	9.5295				
1200	3.39938	4470.5	5150.4	10.0304	2.26624	4470.3	5150.2	9.8431	1.69966	4470.2	5150.0	9.7102				
1300	3.63026	4687.1	5413.1	10.2029	2.42019	4686.9	5413.0	10.0157	1.81516	4686.7	5412.8	9.8828				
	$P = 0.50 \text{ MPa (151.83}^\circ\text{C)}$				$P = 0.60 \text{ MPa (158.83}^\circ\text{C)}$				$P = 0.80 \text{ MPa (170.41}^\circ\text{C)}$							
Sat.	0.37483	2560.7	2748.1	6.8207	0.31560	2566.8	2756.2	6.7593	0.24035	2576.0	2768.3	6.6616				
200	0.42503	2643.3	2855.8	7.0610	0.35212	2639.4	2850.6	6.9683	0.26088	2631.1	2839.8	6.8177				
250	0.47443	2723.8	2961.0	7.2725	0.39390	2721.2	2957.6	7.1833	0.29321	2715.9	2950.4	7.0402				
300	0.52261	2803.3	3064.6	7.4614	0.43442	2801.4	3062.0	7.3740	0.32416	2797.5	3056.9	7.2345				
350	0.57015	2883.0	3168.1	7.6346	0.47428	2881.6	3166.1	7.5481	0.35442	2878.6	3162.2	7.4107				
400	0.61731	2963.7	3272.4	7.7956	0.51374	2962.5	3270.8	7.7097	0.38429	2960.2	3267.7	7.5735				
500	0.71095	3129.0	3484.5	8.0893	0.59200	3128.2	3483.4	8.0041	0.44332	3126.6	3481.3	7.8692				
600	0.80409	3300.4	3702.5	8.3544	0.66976	3299.8	3701.7	8.2695	0.50186	3298.7	3700.1	8.1354				
700	0.89696	3478.6	3927.0	8.5978	0.74725	3478.1	3926.4	8.5132	0.56011	3477.2	3925.3	8.3794				
800	0.98966	3663.6	4158.4	8.8240	0.82457	3663.2	4157.9	8.7395	0.61820	3662.5	4157.0	8.6061				
900	1.08227	3855.4	4396.6	9.0362	0.90179	3855.1	4396.2	8.9518	0.67619	3854.5	4395.5	8.8185				
1000	1.17480	4054.0	4641.4	9.2364	0.97893	4053.8	4641.1	9.1521	0.73411	4053.3	4640.5	9.0189				
1100	1.26728	4259.0	4892.6	9.4263	1.05603	4258.8	4892.4	9.3420	0.79197	4258.3	4891.9	9.2090				
1200	1.35972	4470.0	5149.8	9.6071	1.13309	4469.8	5149.6	9.5229	0.84980	4469.4	5149.3	9.3898				
1300	1.45214	4686.6	5412.6	9.7797	1.21012	4686.4	5412.5	9.6955	0.90761	4686.1	5412.2	9.5625				

Propiedades físicas de los gases de combustión							
(B=1.01 x 10 ⁵ Pa; ρ_{CO_2} = 0.13; ρ_{H_2O} =0.11; ρ_{N_2} =0.76)							
t °C	ρ kg/m ³	Cp kJ/kg °C	$\lambda \times 10^2$ W/(m °C)	a x 10 ⁶ m ² /s	$\mu \times 10^5$ Pa.s	v x 10 ⁶ m ² /s	Pr
0	1.295	1.042	2.28	16.9	15.8	12.2	0.72
100	0.95	1.068	3.13	30.8	20.4	21.54	0.69
200	0.748	1.097	4.01	48.9	24.5	32.8	0.67
300	0.617	1.122	4.84	69.9	28.2	45.81	0.65
400	0.525	1.151	5.7	94.3	31.7	60.38	0.64
500	0.457	1.185	6.56	121.1	34.8	76.3	0.63
600	0.405	1.214	7.42	150.9	37.9	93.61	0.62
700	0.363	1.239	8.27	183.8	40.7	112.1	0.61
800	0.33	1.264	9.15	219.7	43.4	131.8	0.6
900	0.301	1.29	10	258	45.9	152.5	0.59
1000	0.275	1.306	10.9	303.4	48.4	174.3	0.58
1100	0.257	1.323	11.75	345.5	50.7	197.1	0.57
1200	0.24	1.34	12.62	392.4	53	221	0.56

Agua saturada. Tabla de temperaturas

Temp., T °C	Pres. sat., P _{sat} kPa	Volumen específico, m ³ /kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, kJ/kg · K		
		Liq. sat., v _f	Vapor sat., v _g	Liq. sat., u _f	Evap., u _{fg}	Vapor sat., u _g	Liq. sat., h _f	Evap., h _{fg}	Vapor sat., h _g	Liq. sat., s _f	Evap., s _{fg}	Vapor sat., s _g
0.01	0.6117	0.001000	206.00	0.000	2374.9	2374.9	0.001	2500.9	2500.9	0.0000	9.1556	9.1556
5	0.8725	0.001000	147.03	21.019	2360.8	2381.8	21.020	2489.1	2510.1	0.0763	8.9487	9.0249
10	1.2281	0.001000	106.32	42.020	2346.6	2388.7	42.022	2477.2	2519.2	0.1511	8.7488	8.8999
15	1.7057	0.001001	77.885	62.980	2332.5	2395.5	62.982	2465.4	2528.3	0.2245	8.5559	8.7803
20	2.3392	0.001002	57.762	83.913	2318.4	2402.3	83.915	2453.5	2537.4	0.2965	8.3696	8.6661
25	3.1698	0.001003	43.340	104.83	2304.3	2409.1	104.83	2441.7	2546.5	0.3672	8.1895	8.5567
30	4.2469	0.001004	32.879	125.73	2290.2	2415.9	125.74	2429.8	2555.6	0.4368	8.0152	8.4520
35	5.6291	0.001006	25.205	146.63	2276.0	2422.7	146.64	2417.9	2564.6	0.5051	7.8466	8.3517
40	7.3851	0.001008	19.515	167.53	2261.9	2429.4	167.53	2406.0	2573.5	0.5724	7.6832	8.2556
45	9.5953	0.001010	15.251	188.43	2247.7	2436.1	188.44	2394.0	2582.4	0.6386	7.5247	8.1633
50	12.352	0.001012	12.026	209.33	2233.4	2442.7	209.34	2382.0	2591.3	0.7038	7.3710	8.0748
55	15.763	0.001015	9.5639	230.24	2219.1	2449.3	230.26	2369.8	2600.1	0.7680	7.2218	7.9898
60	19.947	0.001017	7.6670	251.16	2204.7	2455.9	251.18	2357.7	2608.8	0.8313	7.0769	7.9082
65	25.043	0.001020	6.1935	272.09	2190.3	2462.4	272.12	2345.4	2617.5	0.8937	6.9360	7.8296
70	31.202	0.001023	5.0396	293.04	2175.8	2468.9	293.07	2333.0	2626.1	0.9551	6.7989	7.7540
75	38.597	0.001026	4.1291	313.99	2161.3	2475.3	314.03	2320.6	2634.6	1.0158	6.6655	7.6812
80	47.416	0.001029	3.4053	334.97	2146.6	2481.6	335.02	2308.0	2643.0	1.0756	6.5355	7.6111
85	57.868	0.001032	2.8261	355.96	2131.9	2487.8	356.02	2295.3	2651.4	1.1346	6.4089	7.5435
90	70.183	0.001036	2.3593	376.97	2117.0	2494.0	377.04	2282.5	2659.6	1.1929	6.2853	7.4782
95	84.609	0.001040	1.9808	398.00	2102.0	2500.1	398.09	2269.6	2667.6	1.2504	6.1647	7.4151
100	101.42	0.001043	1.6720	419.06	2087.0	2506.0	419.17	2256.4	2675.6	1.3072	6.0470	7.3542
105	120.90	0.001047	1.4186	440.15	2071.8	2511.9	440.28	2243.1	2683.4	1.3634	5.9319	7.2952
110	143.38	0.001052	1.2094	461.27	2056.4	2517.7	461.42	2229.7	2691.1	1.4188	5.8193	7.2382
115	169.18	0.001056	1.0360	482.42	2040.9	2523.3	482.59	2216.0	2698.6	1.4737	5.7092	7.1829
120	198.67	0.001060	0.89133	503.60	2025.3	2528.9	503.81	2202.1	2706.0	1.5279	5.6013	7.1292



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, SALAZAR MENDOZA ANIBAL JESUS, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - CHICLAYO, asesor de Tesis titulada: "Estudio energético para determinar las mejoras para lograr eficiencia en una caldera acuotubular, que utiliza biomasa como combustible", cuyo autor es ROJAS LOPEZ WALTER JUNNIOR, constato que la investigación cumple con el índice de similitud establecido, y verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

CHICLAYO, 22 de Julio del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
SALAZAR MENDOZA ANIBAL JESUS DNI: 16720249 ORCID 0000-0003-4412-8789	Firmado digitalmente por: AJSALAZARM el 22-07- 2022 20:20:19

Código documento Trilce: TRI - 0361851