



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**

Diseño de un economizador para ahorrar el consumo de bagazo en
una caldera acuotubular, en una EAI en Lambayeque

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTOR:

Zeña Asenjo, Pedro Yvan (ORCID: 0000-0003-4445-340X)

ASESOR:

Mg. Celada Padilla, James Skinner (ORCID: 0000-0002-5901-2669)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Modelamiento y simulación de sistemas electromecánicos

CHICLAYO – PERÚ

2022

Dedicatoria

En primer lugar, a Dios, por darme las fuerzas para alcanzar mis metas, y guardarme en todo momento, también dedico este trabajo a mis padres por forjarme por el camino del bien, muchos de mis logros son gracias a su incondicional apoyo, incluyendo este que significa mucho para mí.

Agradecimiento

A mi familia, por haberme apoyado en todo momento, por el ánimo constante, a mis padres por instruirme por el camino del bien y de la verdad.

A mis amigos y compañeros de trabajo por aportar y hacer que pueda concretar esta investigación.

A esta casa de estudios, por acogerme y brindarme calidad educativa, a mis profesores que me instruyeron a lo largo de mi formación y en especial a mi asesor por apoyarme en esta investigación.

Índice de contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vii
Índice de gráficos	viii
Resumen.....	ix
Abstract.....	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA.....	22
3.1. Tipo y diseño de la investigación	22
3.2. Variables, y operacionalización.....	22
3.3. Población, muestra y muestreo.....	23
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	23
3.5. Procedimientos	25
3.6. Método de análisis de datos.....	25
3.7. Aspectos éticos	26
IV. RESULTADOS	27
V. DISCUSIÓN	63
VI. CONCLUSIONES.....	67
VII. RECOMENDACIONES	70
REFERENCIAS.....	71
ANEXOS	75

Índice de tablas

Tabla 1. El Perú y los principales productores de azúcar.....	7
Tabla 2. Tabla comparativa de tipos de calderas.	10
Tabla 3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.	24
Tabla 4. Producción de vapor promedio en caldera acuatubular de capacidad nominal de 22 Ton/H.....	27
Tabla 5. Poder calorífico del bagazo a diferentes humedades.....	30
Tabla 6. Porosidad media, valores de densidad real.....	31
Tabla 7. Tamaño de las partículas de bagazo.....	31
Tabla 8. Composición elemental típica del bagazo.	32
Tabla 9. Análisis del bagazo en base húmeda.	33
Tabla 10. Materiales estructurales del economizador.	48
Tabla 11. Propiedades químicas, tubería del serpentín.	48
Tabla 12. Propiedades mecánicas, tubería del serpentín.	48
Tabla 13. Propiedades químicas, tubería para colectores.	49
Tabla 14. Propiedades mecánicas, tubería del colector.....	49
Tabla 15. Propiedades químicas, planchas para la cubierta.	49
Tabla 16. Parámetros de operación de la caldera acuatubular.	50
Tabla 17. Ahorro de bagazo en función a la temperatura de agua.....	56
Tabla 18. Costos, materiales para confección de economizador.	57
Tabla 19. Costos, equipos para confección del economizador.	58
Tabla 20. Costos, mano de obra confección del economizador.....	58
Tabla 21. Costos, mano de obra montaje.	58

Tabla 22. Costo total proyecto economizador.	59
Tabla 23. Costo mantenimiento mensual.	59
Tabla 24. Ahorro económico en bagazo.....	59
Tabla 25. VAN y TIR, proyecto economizador.	60
Tabla 26. Valor actual neto del proyecto economizador.....	61
Tabla 27. Dimensiones del economizador.	62

Índice de figuras

Figura 1. La producción de azúcar en el mundo es 194 millones de tn.....	6
Figura 2. Parte superior de la Caldera de tres domos.....	8
Figura 3. Caldera pirotubular o de tubos múltiples de humo.....	9
Figura 4. Caldera acuotubular o de tubos de agua.....	9
Figura 5. Proceso típico de generación de energía en un ingenio azucarero.....	12
Figura 6. Bagazo con alto contenido de fibra.....	13
Figura 7. Poder calorífico superior del bagazo de 7 ingenios.....	14
Figura 8. Economizador de tubos verticales.....	16
Figura 9. Economizador de tubos horizontales.....	16
Figura 10. Economizador de tubos helicoidales.....	17
Figura 11. Flujo longitudinal de los gases.....	17
Figura 12. Flujo cruzado de los gases.....	18
Figura 13. Flujo en paralelo de gases y agua.....	18
Figura 14. Flujo a contracorriente entre gases y agua.....	18
Figura 15. Tubos de aletas, para economizadores.....	19
Figura 16. Flujograma, ejecución de la investigación.....	25
Figura 17. Gráfico temperatura de ignición en biomasa.....	32
Figura 18. Altura y longitud del economizador.....	44
Figura 19. Serpentín para el economizador.....	45
Figura 20. Ancho del economizador (Parte lateral del economizador).....	46
Figura 21. Economizador (Perspectiva).....	47
Figura 22. Esquema energético de la caldera acuotubular bagacera sin economizador.....	51
Figura 23. Esquema energético de la caldera acuotubular bagacera sin economizador.....	55

Índice de gráficos

Gráfico 1. Producción de vapor tn/h - 2017 Caldera acuotubular.....	28
Gráfico 2. Producción de vapor tn/h - 2018 Caldera acuotubular.....	29
Gráfico 3. Producción de vapor tn/h - 2019 Caldera acuotubular.....	29
Gráfico 4. Gráfico comparativo caldera c/s economizador.	56

Resumen

La investigación realizada, está enmarcada dentro de los planes de ahorro de energía que la Empresa Agroindustrial está implementando; la generación de vapor es la principal actividad energética que realiza la empresa, a fin de abastecer las necesidades de energía eléctrica y de calor de vapor para el proceso de obtención del azúcar. El diseño de un mecanismo denominado economizador en el interior de la caldera acuotubular, determinó que el consumo de bagazo de la caña, que actualmente se usa como combustible, disminuya en su cantidad.

El diseño del economizador se hizo con el modelamiento del sistema del ciclo termodinámico de Rankine real, teniendo en cuenta la variación de los parámetros de presión, temperatura y volumen específico del agua en sus diferentes fases. Se aprovechó los gases de salida, producto de la combustión del bagazo, para calentar el agua de ingreso a la caldera. El agua de alimentación ingresa a la caldera con una temperatura de 85 °C y mediante el economizador se elevará su temperatura a 145 °C, con esto se acelerará el proceso de generación de vapor de agua. Implementado el economizador en la caldera acuotubular, se ahorra un consumo de bagazo, por lo tanto, la eficiencia de la caldera.

La investigación se empezó por caracterizar el bagazo como combustible, sus propiedades tanto físicas y químicas, y su poder calorífico, como aporte en la combustión, también se determinó la energía de calor liberada al quemar un kilogramo de bagazo. Se determinaron los parámetros de diseño del economizador, la cantidad de gases que se generan por la quema de un kilogramo de bagazo húmedo, el flujo de gases que pasan por el economizador, temperatura de entrada y de salida.

Con las leyes de la termodinámica, se hizo el análisis energético de la instalación, utilizando las propiedades del agua en sus diferentes estados y fases; también se realizó el balance de energía para el economizador, la cantidad necesaria de calor para elevar la temperatura de agua de 85 a 145 °C. Un parámetro importante es la superficie de calefacción del economizador, la cual determinará las dimensiones del economizador, la cantidad de tubos y la cantidad de serpentines que lo conforman.

Posteriormente se realizó los cálculos para comparar la eficiencia actual de la caldera sin economizador y con economizador, donde se determinará el ahorro de bagazo. Mediante indicadores económicos, se determinó la viabilidad del proyecto economizador.

Palabras clave: Caldera, bagazo, gases de combustión, economizador, eficiencia.

Abstract

The research carried out is framed within the energy saving plans that the Agroindustrial Company is implementing; Steam generation is the main energy activity carried out by the company, in order to supply the electrical energy and steam heat needs for the sugar production process. The design of a mechanism called economizer inside the water-tube boiler determined that the consumption of bagasse from sugarcane, which is currently used as fuel, decreases in quantity.

The economizer design was made with the modeling of the real Rankine thermodynamic cycle system, taking into account the variation of the parameters of pressure, temperature and specific volume of water in its different phases. The exhaust gases, product of the bagasse combustion, were used to heat the water entering the boiler. The feed water enters the boiler with a temperature of 85 ° C and, through the economizer, its temperature will rise to 145 ° C, thereby accelerating the process of generating water vapor. Implemented the economizer in the water tube boiler, saving bagasse consumption, therefore, the efficiency of the boiler.

The research began by characterizing bagasse as a fuel, its physical and chemical properties, and its calorific value, as a contribution to combustion, the heat energy released when burning a kilogram of bagasse was also determined. The design parameters of the economizer, the amount of gases that are generated by the burning of one kilogram of wet bagasse, the flow of gases that pass through the economizer, inlet and outlet temperatures, were determined.

Subsequently, the calculations were made to compare the current efficiency of the boiler without an economizer and with an economizer, where the bagasse savings will be determined. Using economic indicators, the viability of the economizer project was determined.

Keywords: Boiler, bagasse, combustion gases, economizer, efficiency.

I. INTRODUCCIÓN.

En la región Lambayeque, una de los rubros económicos más importantes de transformación, es la Agroindustria, siendo la producción de azúcar, la que data de más antigüedad, por lo cual sus instalaciones están en proceso de renovación, a fin de incrementar los valores de eficiencia de la planta. (Salazar, 2017, p.11).

La generación de vapor constituye la principal fuente de energía calorífica para la cogeneración de energía en la instalación industrial. En su mayoría, los ingenios azucareros, adoptan sistemas para cogenerar, aprovechando su energía mecánica, producto del vapor de sus calderas, para obtener electricidad para su propio consumo de sus equipos; y también se aprovecha la energía térmica del escape de sus turbogeneradores, para utilizarla en el proceso de cocimiento y obtención de azúcar doméstica. (Salazar, 2017, p.11).

En el País, se está evidenciando, que existe un incremento paulatino del valor de la eficiencia en general; siendo ello consecuencia del incremento de la eficiencia de cada instalación, en el cual se tienen indicadores energéticos estándares, que determinan la utilización de energía expresados en Kilojoules por cada unidad de producto terminado. (Ministerio de Energía y Minas, 2018, p.23)

Una de las características que poseen los ingenios azucareros, es que son grandes consumidores y derrochadores de energía, esto debido porque poseen una tecnología de baja eficiencia, como es el caso de las ex cooperativas en todo el norte del país, donde siguen produciendo con tecnología antigua y obsoleta.

Uno de sus equipos de baja eficiencia, y que es el principal para cogenerar, son sus calderas acuotubulares, donde su operación es primordial para la transformación energética del bagazo en energía térmica, transformándola en trabajo útil.

En el ingenio donde se desarrolla este caso de estudio, cuenta con calderas acuotubulares modelo Sterling, donde cuentan con equipos en buenas condiciones dificultando su proceso de generación, en consecuencia, su eficiencia.

Uno de sus problemas relevantes que tiene, es su sistema de generación, consumiendo una cantidad considerable de bagazo como combustible, ya que

ingresa agua de alimentación, por debajo de la temperatura de ebullición, retardando el proceso de generación. Este equipo encargado de elevar la temperatura al agua de ingreso es el economizador, el cual en este caso de estudio se buscará implementarlo para mejorar el rendimiento de la Caldera.

Se planteó la formulación de la siguiente manera: ¿Diseñando un economizador, cuanto de bagazo se ahorrará como combustible, para la caldera acuotubular? Esta investigación fue justificada por los siguientes aspectos.

Se justificó técnicamente, ya que mediante este diseño aumentó la eficiencia de la caldera, ayudando a la reducción del consumo de bagazo. Este diseño fue una mejora para el sistema de generación, para ello se utilizaron cálculos de ingeniería acorde a la caldera. Implementando este equipo economizador, se logró aumentar la temperatura del agua condensada de 85 °C a 145 °C, aprovechando el recorrido de los gases de salida de la caldera. Por lo tanto, se realizó un análisis comparativo, para ver su rendimiento operacional y la eficiencia en el ahorro de bagazo.

Se justificó socialmente, por las siguientes razones: El bagazo como combustible, posee en sus características físicas polución, denominado bagacillo, que afecta a las vías respiratorias. La reducción del consumo de bagazo, aporta confort a los operadores de calderas, realizando sus normales funciones.

La justificación económica de la implementación de este equipo, estuvo relacionada en función a la producción de vapor. Gracias al economizador, acelerara el proceso de generación de vapor, lo cual significa ahorro en el consumo del bagazo, en consecuencia, ahorro económico. Entonces disminuyendo el costo por generación de vapor, la inversión generada será viable para la empresa.

La justificación ambiental, se sustenta por las siguientes razones: Mediante el diseño de un economizador, se logró consumir menos combustible, por lo que se disminuye la combustión en el horno de la caldera, esto permite emitir menos gases contaminantes al medio ambiente. La empresa logró obtener bonos de carbono, por dejar de emitir CO₂ al ambiente.

Al término de esta investigación, se concretó el objetivo general, que fue: diseñar un economizador para ahorrar el consumo de bagazo en una caldera acuotubular.

Para cumplir con el objetivo general, se plantearon los siguientes objetivos específicos: Descripción de la producción actual del vapor y características del bagazo, se determinaron los parámetros y se realizaron los cálculos de diseño del economizador, se realizó un análisis comparativo para determinar la eficiencia de la caldera con economizador y por último se realizó una evaluación económica del diseño.

Se planteó la siguiente hipótesis para este caso de estudio: Diseñando un economizador, se ahorrará el consumo de bagazo para la caldera acuotubular.

II. MARCO TEÓRICO.

Para sustentar esta investigación, existen aportes de proyectos argumentado la importancia de implementar un economizador en una caldera. Para mencionar algunos autores, tenemos:

Para Ruiz Cynthia (2012, p.35), “el agua de alimentación para el generador de vapor es calentada, con el fin de elevar su temperatura y acelerar el proceso de generación de vapor, para elevar dicha temperatura, se utiliza la energía residual de los gases, producto de la combustión del bagazo.”

Entonces el agua ingresada a la caldera, logra absorber todo el calor de los gases hasta su punto de ebullición, para transformarse en vapor, acumulándose en la parte superior de los domos. El agua circula al interior de la caldera de manera natural. Estos dispositivos, llamados economizadores mejoran la eficiencia de todo el sistema.

Podemos decir que la unidad de generación o caldera, depende de su parámetros y características de diseño de la caldera, las condiciones de operación y sobre todo el combustible empleado.

Para López Hugo (2017, p. 4), “la importancia de la implementación de un economizador, es resolver la situación actual de generación, donde hay pérdidas considerables de energía que se pierden en los gases de salida de la caldera. A partir de esta problemática, el economizador, lograra aprovechar el calor residual de combustión.

Guiot y Ramos (2018, p. 14), “para realizar el diseño del economizador, se parte por la caracterización de los gases, este el punto de partida, para luego analizar la temperatura de los gases saliendo del economizador y la temperatura de salida del agua de alimentación, estos valores son importantes para el diseño del economizador”.

También es necesario realizar el diseño de los cabezales, o colectores; con el fin de poder determinar la forma de alimentación del agua. Al finalizar el diseño es importante realizar los manuales de operación y mantenimiento del intercambiador

de calor, esto es una parte muy importante, ya que depende de su mantenimiento y correcta operación, será la vida útil del equipo.

Para Armijo y Salas (2018, p. 5), en su artículo científico menciona, “que el equipo o sistema caldera – economizador, reduce la alimentación de bagazo, por lo tanto, la eficiencia de la caldera – economizador, es mayor en comparación con la caldera sin economizador”.

Entonces existe una temperatura de agua de alimentación de la caldera, donde determina la igualdad en la cantidad de gas de combustión y la requerida para el precalentamiento del agua en el economizador, esta temperatura depende del flujo de agua de alimentación a la caldera.

A continuación, se mencionan teorías relacionadas a las variables de estudios, que fueron la base teórica para el desarrollo de este trabajo.

Los ingenios azucareros en el mundo: Hoy en día aumenta la necesidad de considerar a las fuentes energéticas y alimenticias en lo primordial a los biocombustibles e hidrocarburos, como variables para la economía global.

Ante el eminente impacto ambiental por la explotación de recursos naturales, ingresa la industria azucarera como una fuente alimenticia y como biomasa energética.

La industria de la caña de azúcar, tiene grandes tanto en competitividad en el mercado y productividad. Esta producción depende directamente de tres elementos primordiales:

- a)** Calidad y cantidad de caña industrializada.
- b)** Rendimiento en fabrica
- c)** Capacidad instalada en el ingenio

Según la FAO, en el 2014 las industrias azucareras aportaron al mundo 144 millones de toneladas de azúcar domestica; siendo los aportantes 121 países.



Figura 1. La producción de azúcar en el mundo es 194 millones de tn

Fuente: Andina

He aquí la importancia en eslabón alimenticio mundial, es por ello que los ingenios azucareros utilizan diversos indicadores para encontrar su rendimiento. Citando algunos de ellos, como: rendimiento en campo (toneladas de caña por hectárea cosechada), el rendimiento en fábrica, el rendimiento agroindustrial (toneladas de sacarosa por hectárea cosechada).

Sin embargo, existen indicadores internos propios de los ingenios azucareros para medir su eficiencia, como: pérdidas en sacarosa (%), días de molienda (zafra), consumo de combustible (bagazo), capacidad instalada (tonelada de caña molida por día), sacarosa en caña (%), tiempos perdidos (horas), y la eficiencia de sus equipos. Estos parámetros revelan la eficiencia total en fábrica, desde la cosecha de la caña hasta la producción del azúcar.

Por lo tanto, es necesario, evaluar estos indicadores, empleando varias metodologías de análisis que engloben las variables del ingenio azucarero, con respecto al máximo de su capacidad, en cada etapa de su elaboración y transformación.

También nace la necesidad de optar por tecnologías nuevas para las operaciones en fábrica, como también la implementación de equipos que aporten a un buen rendimiento. Al hablar de rendimiento no solo se hace referencia a la producción, sino también al uso mínimo de materia prima para la elaboración del azúcar, este

es un punto que muchos ingenios padecen por contar con tecnología antigua, donde sus equipos consumen más, y generan poco.

La agroindustria del azúcar en el Perú, el constante desarrollo de industria azucarera en el país, es considerado una actividad muy importante en la economía nacional, tanto en su contribución del producto alimenticio al mercado interno, como también la generación de empleo.

El 2018 tuvo una producción de 1.21 millones de ton y se exportaron 89,000 ton; sin embargo, se importaron 284 000 toneladas de azúcar.

Algunos ingenios azucareros, luego de pasar muchos años de cooperativa, volvieron a la privatización, tal es el caso de la región la libertad, iniciando nuevamente su desarrollo con nuevos equipos en sus plantas molidoras.

Los proyectos de cogeneración, como es el caso de los ingenios azucareros, representa una fuente de generación a partir de biomasa, generando su propia energía para sus plantas y procesos de elaboración. El bagazo como biomasa tiene un potencial energético ideal para la generación eléctrica, por su bajo costo.

A comparación con otros países de nuestra región, el Perú, muestra pocos avances significativos en la cogeneración, una de los motivos, es que la demanda de los servicios internos en sus plantas, no hay un uso eficiente de la energía.

Tabla 1. *El Perú y los principales productores de azúcar.*

PRINCIPALES PRODUCTORES EN EL MUNDO (MILES DE TONELADAS)					
PAISES	2013/2014	2014/2015	2015/2016	2017/2018	2018/2019
India	26605	30460	27385	34110	35870
Brasil	37800	35950	34650	38870	30600
Unión Europea	16020	18449	14283	20896	19525
Tailandia	11333	10793	9743	14710	13800
China	14263	11000	9050	10300	10800
Estados Unidos	7676	7853	8155	8430	8178
Pakistán	5630	5164	5265	7425	6525
México	6382	6344	6484	6371	6386

Rusia	4400	4350	5200	6500	6100
Australia	4380	4700	4900	4800	5000
Perú	1150	1480	1206	1190	1350
Otros	40332	41039	38547	40972	41752
PRODUCCIÓN TOTAL	175971	177582	164868	194574	185886

Fuente: USDA-noviembre 2018

En la industria un generador de vapor o comúnmente llamada caldera, es un recipiente cerrado, al cual se le brinda calor, para calentar el agua. También podemos decir que es un intercambiador de energía, que aprovecha el calor liberado de la combustión de un combustible, ya sea líquido o sólido, e incluso gaseoso.

Hoy en día, el termino generador de vapor, se utiliza para hacer referencia a una caldera, la cual indica al conjunto de equipos conformados por: hogar, tubos de agua o banco de convección, sobrecalentadores, precalentadores de aire, economizadores. (Cusme y Valencia, 2014, p.26)



Figura 2. Parte superior de la Caldera de tres domos.

Fuente: Alderetes 2016.

Las calderas se dividen en dos tipos, por el recorrido de los gases en el interior de estas.

Pirotubulares, estos generadores de vapor también son conocidos como tubos múltiples de humo, o de tubos de fuego. En estas calderas los gases de la combustión, circulan por el interior de los tubos, mientras que el agua por fuera. Cuando aumenta el número de quemadores, así como también la cantidad de pasos, aumenta también el intercambio de calor, disminuyendo la temperatura de los gases de combustión; aumentando la caída de presión en el lado de los gases (Lapido y Madrigal, 2015, p.12)

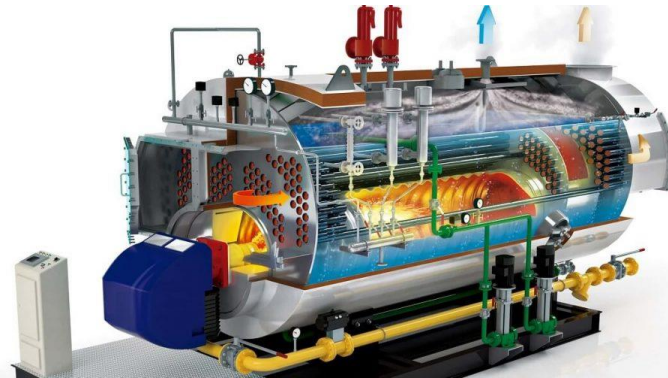


Figura 3. Caldera pirotubular o de tubos múltiples de humo.

Fuente: Manual de Calderas II, 2000

Acuotubulares, o también conocidos, por los múltiples tubos de agua, en estas calderas el agua circula en el interior de los tubos, y los gases de combustión, circulan por fuera. Está conformada por tambores o domos y tubos, de agua y vapor de manera natural; soportando presiones mayores, y se utilizan exclusivamente cuando se desea obtener elevadas presiones y mayores índices de eficiencia.

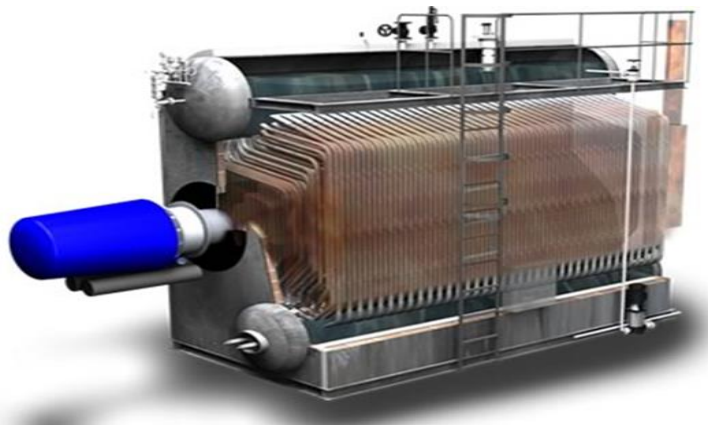


Figura 4. Caldera acuotubular o de tubos de agua.

Fuente: Manual de Calderas II, 2000

Tabla 2. Tabla comparativa de tipos de calderas.

CRITERIOS	CALDERA PIROTUBULAR	CALDERA ACUOTUBULAR
Calidad de agua de alimentación	Menor exigencia y posible funcionamiento con salinidad del agua	Mayor exigencia baja salinidad del agua para su funcionamiento
Mantenimiento	Fácil de limpieza y acceso a todas las partes de la caldera	Más difícil de limpiar y acceso más complejo a todas las partes de la caldera
Rendimiento	Mayor rendimiento y coste menor de mantenimiento	Menor rendimiento y coste mayor de mantenimiento
Contenido de agua	Mayor	Menor
Presiones	Menor	Mayor
Tiempo de puesta en marcha	Menor	Mayor

Fuente: Elaboración propia.

Según ASME, clasifica a las calderas de acuerdo a la presión de trabajo en:

- a) Calderas de baja presión: Con una presión menor a 1.05 kg/cm² para agua y vapor y calderas de presión máxima de 11.25 kg/cm² y con una temperatura de 121 °C para agua caliente.
- b) Calderas de generación fuerza: Calderas que sobrepasen los 1.05 kg/cm² y los 11.25 kg/cm² y la temperatura excede los 121 °C.
- c) Calderas miniatura: Tanques de presión que están sometidos a fuego, con una presión máxima de 7 kg/cm² y una superficie de calefacción de 1.86 m² y

Transferencia de calor en las calderas: El calor es la forma de energía, la cual se puede transmitir de un cuerpo a otro, gracias a la diferencia de temperatura (Cengel, 2007, p.256)

- d) Conducción: Se describe mediante la ley de Fourier de la conducción de calor, es la transferencia de energía desde un punto de un material hacia el otro del mismo material contiguo. Se puede expresar de la siguiente expresión:

$$Q_{conducción} = -k * A * \frac{dT}{dx}$$

Dónde:

k = Coeficiente de conductividad térmica

A = Transferencia de calor área

dT/dx = Gradiente de temperatura

- e)** Convección: Transferencia de energía entre un fluido y una superficie sólida gaseoso o también líquido, puede ser natural, causada debido a las diferencias de densidad y forzada, causada por medio de fuerzas mecánicas. Se expresa de la siguiente manera:

$$Q_{convección} = h * A_s * (T_s - T_{\infty})$$

Dónde:

A = Área superficial donde se lleva a cabo la convección

h = Coeficiente transferencia de calor convección

dT/dx = Gradiente de temperatura

- f)** Radiación: Transferencia directa de calor en energía radiante, emitida por ondas electromagnéticas. Se expresa matemáticamente según la ley de Stefan – Boltzmann de la siguiente manera.

$$Q_{emitida,max} = \sigma * A_s * T_s^4$$

Dónde:

σ = Constante de Stefan – Boltzman, igual a 5.67×10^{-8}

A_s = Área superficial donde se lleva a cabo la convección

T_s^4 = Temperatura de la superficie

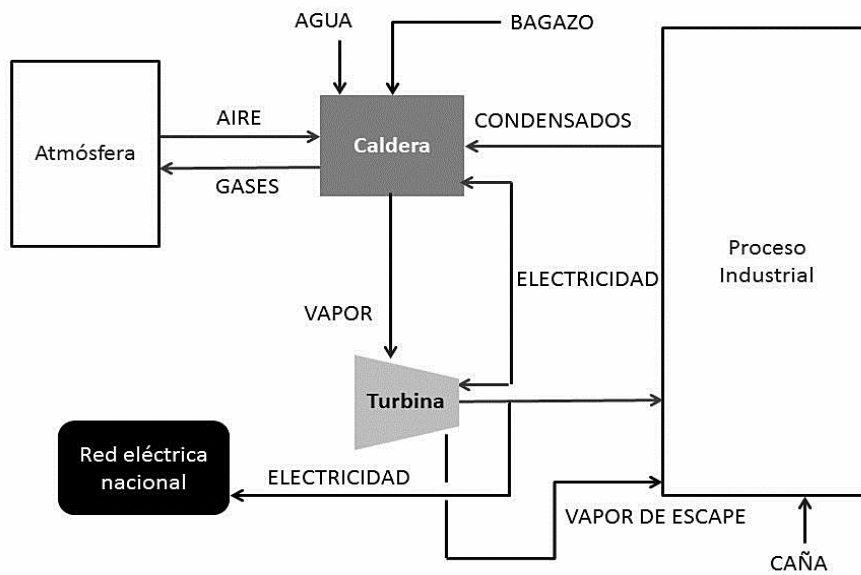


Figura 5. Proceso típico de generación de energía en un ingenio azucarero.

Fuente: Mario Muñoz, 2015.

Representa el proceso donde se dan inicio a la transformación y transferencia de la energía. El propósito es suministrar energía para los procesos de obtención de los azúcares y sus derivados, si hubiere excedente de esta energía se vende a la red del sistema interconectado.

El equipo encargado de generar el vapor como energía térmica es la caldera, que es un fluido utilizado para dar girar las turbinas, donde están unidas a generadores, generando la energía eléctrica, tanto para consumo interno en la planta como uso externo.

A este proceso descrito se le denomina cogeneración, estos ingenios obtienen su energía eléctrica y térmica operando sus plantas en ciclos termodinámicos basados en el ciclo Rankine y Rankine con recuperación de calor.

Mayormente en los ingenios azucareros se lleva a cabo el ciclo de contrapresión o también llamado de escape, donde los turbogeneradores aprovechan el 25 a 40 % de la energía entalpía del vapor, y todo el vapor de escape se envían a fábrica para la elaboración del azúcar en los diferentes cuerpos de evaporación.

El bagazo, es el subproducto resultante del proceso de extracción y molienda de la caña de azúcar. Contiene un alto poder calorífico, por ser un compuesto orgánico fibroso.



Figura 6. Bagazo con alto contenido de fibra.

Fuente: Elaboración propia.

En cada temporada de molienda o zafra, la fibra seca de caña oscila entre un 12 a 15 % de su volumen, representando así una oportunidad de generar energía con biomasa. Como mencionamos líneas arriba, el bagazo como biocombustible, depende de su poder calorífico que dispone dependiendo de su humedad, dentro de cada hogar de combustión en la caladera.

Poder calorífico del bagazo, gracias al contenido de humedad en el bagazo, el poder calorífico real disponible es menor.

El PCS, es la cantidad de calor que se logra obtener de la combustión completa de la unidad de masa o volumen de un combustible. En este proceso se asume que el vapor de agua ha entregado totalmente su calor latente de vaporización y se encuentra por ende condensado (Alderetes, 2016, p.49).

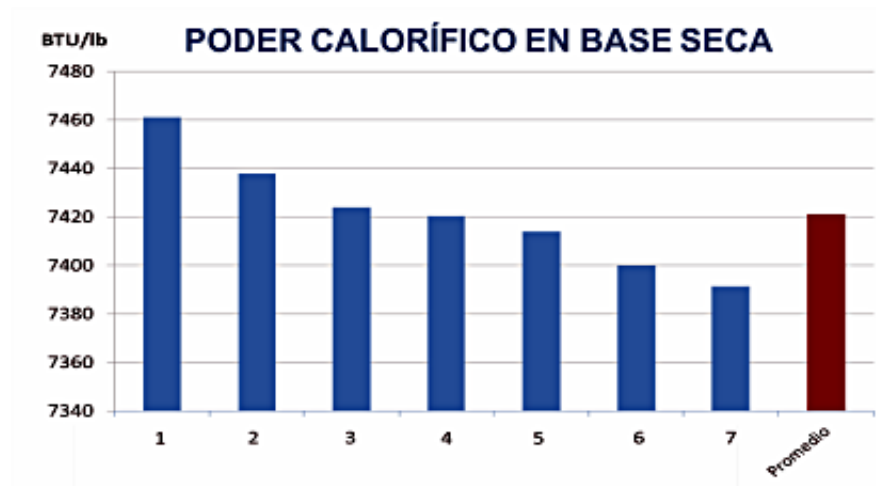


Figura 7. Poder calorífico superior del bagazo de 7 ingenios.

Fuente: Alderetes, 2016.

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

Dónde:

s = Pol en bagazo

w = Humedad en el bagazo

El PCI, es la cantidad de calor que se puede obtener de la combustión completa de la unidad de masa o volumen del combustible sin haber entregado su calor latente de vaporización (Alderetes, 2016, p.49).

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

La relación de ambos poderes caloríficos, son referidos como base seca y base húmeda (Baerhr, 1992, p.120)

Se representa mediante la siguiente expresión:

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

Dónde:

H = Hidrogeno en el bagazo %

w = Humedad en el bagazo

r = Calor latente de vaporización (540 kcal / kg)

La eficiencia en un Caldera siempre será menor al 100%, pero algunas pérdidas caloríficas, se pueden reducir, mediante la correcta operación, mantenimiento e implementación de mejoras. La eficiencia, se obtiene cuando la combustión es completa minimizando las pérdidas en el generador de vapor.

Se puede hallar la eficiencia de la caldera, mediante la energía ganada entre la energía cedida.

$$\eta = \frac{m_v * (\Delta h)}{m_c * PCI} * 100 = \%$$

Dónde:

η = Rendimiento de la caldera %

m_c = Consumo de combustible

m_v = Producción de vapor

Δh = Diferencia de entalpías, vapor y agua

PCI = Poder calorífico del combustible

El economizador, es un equipo intercambiador de calor, que pueden ser tubos lisos o aletados, donde se puede recuperar el calor, producto de la combustión en la caldera, ahorrando así combustible y optimizando el rendimiento de la Caldera. (Behn, 2011, p.50)

Los economizadores se pueden clasificar, según su disposición geométrica en:

Tubos verticales, cuenta con dos colectores de agua inferior y superior. En este economizador el agua de alimentación ingresa por la parte inferior, subiendo por los tubos hasta llegar a la parte superior, los gases pasan a lo largo de los serpentines, parte la superior y luego baja en forma recta o propiamente dicho a contracorriente del fluido.

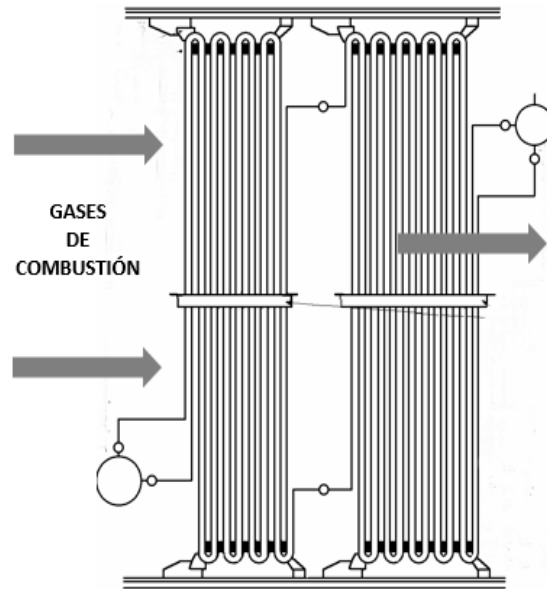


Figura 8. Economizador de tubos verticales.

Fuente: Elaboración propia.

Tubos horizontales, este economizador cuenta con un colector inferior, por donde ingresa el agua de alimentación, también posee una tubería en forma de serpentin horizontal, que viene hacer la superficie de calefacción, y el colector superior.

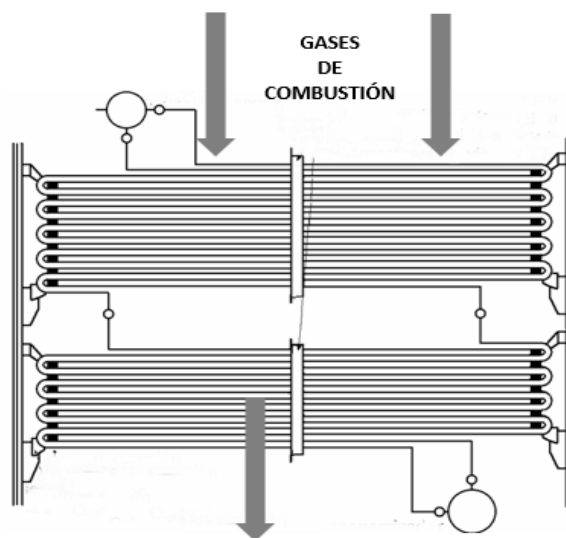


Figura 9. Economizador de tubos horizontales.

Fuente: Elaboración propia.

Tubos helicoidales, cuenta con un colector superior y otro inferior, siendo el serpentin de tubos uno de los medios baratos de transferencia de calor.

Particularmente se confeccionan de tubos de cobre, acerados o aleaciones, para dar forma helicoidal.

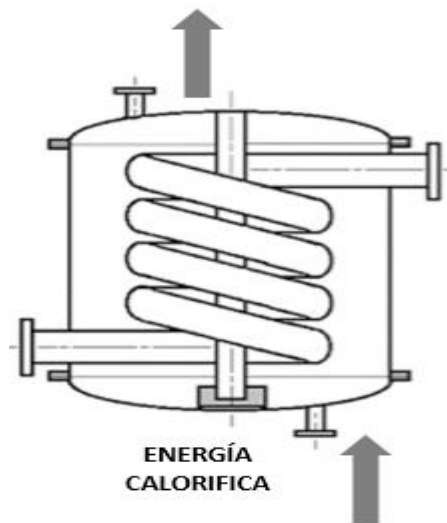


Figura 10. Economizador de tubos helicoidales.

Fuente: Elaboración propia.

Los economizadores, también se clasifican, según la dirección de los gases con respecto a los tubos en:

Flujo longitudinal, en ellos, los gases de combustión se desplazan dentro del economizador en la misma dirección del flujo de agua de alimentación.



Figura 11. Flujo longitudinal de los gases.

Fuente: Elaboración propia.

Flujo cruzado, en estos, los gases de combustión, se desplazan dentro del economizador de manera perpendicular a la dirección del flujo de agua de alimentación.

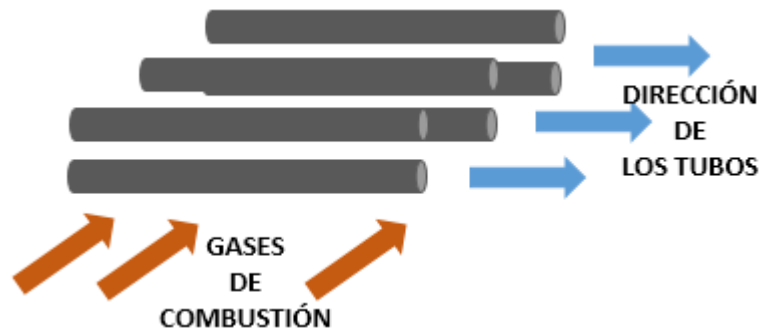


Figura 12.

Flujo cruzado de los gases.

Fuente: Elaboración propia.

También se pueden clasificar, según la dirección relativa del flujo del agua y gas:

Flujo en paralelo, cuando los dos fluidos (gases de combustión y agua de alimentación), entran por el mismo extremo del economizador, siendo la dirección en el mismo sentido.



Figura 13. Flujo en paralelo de gases y agua.

Fuente: Elaboración propia.

Flujo en contracorriente, cuando ambos fluidos, gases y agua; ingresan por los extremos opuestos del economizador, aquí aumenta la cantidad de transferencia de calor, por lo tanto, el fluido caliente tiende alcanzar la temperatura de entrada del agua.



Figura 14. Flujo a contracorriente entre gases y agua.

Fuente: Elaboración propia.

Tubos lisos son general para un economizador este es un diseño muy común y fiable. Estos tubos minimizan las posibilidades de erosión y obturación de polvos y cenizas en los gases de combustión. El banco convectivo del economizador, es de fácil limpieza y mantenimiento. (Ruiz, 2012, p.30).

Tubos aletados, estos son elementos principales de cualquier intercambiador de calor gas – líquido flujo (Fig. 13), para mejorar la transferencia térmica de los gases se construyen economizadores aletados para reducir los costes de inversión.

Debido a la concentración de ceniza y polvo, sumado a ello la erosión, no se emplean comúnmente en las calderas por sus complicaciones operativas y de mantenimiento. (Carvajal y Silva, 2007, p.85).

Aletas longitudinales, presentan una mejor resistencia hidráulica, pero su confección tiene un costo relativamente alto, mayormente se utilizan para calentamiento de líquido viscosos. (TIRADO, 2014, p.34).



Figura 15. Tubos de aletas, para economizadores.

Fuente: Elaboración propia.

La energía necesaria para evaporar el agua en la superficie de calefacción de las calderas, está dada por las siguientes expresiones:

Sin economizador

$$Q_W = G_W * (i_v - i_w)$$

Dónde:

Q_W = Energía para evaporar el agua sin economizador.

G_W = Cantidad de agua.

i_v = Entalpia de vapor saturado

i_w = Entalpia de agua de alimentación.

Con economizador

$$Q_e = G_W * (i_v - i_w)$$

Dónde:

Q_e = Energía para evaporar el agua con economizador.

G_W = Cantidad de agua.

i_v = Entalpia de vapor saturado.

i_e = Entalpia de agua de alimentación precalentada con economizador.

Cantidad de calor transmitido por el calentador

$$M = \alpha * P * C * (T_0 - T) = pc * (t - t_0)$$

$$T - t_0 = (T_0 - t)e^{\frac{-k(1-r)^S}{\alpha * P * C}}$$

Dónde:

M = cantidad de calor transmitido kcal/h

α = coeficiente < 1, en general entre 0.90 y 0.95; frecuentemente, 0.93

P = peso del gas en el calentador, en kg/h

C = calor específico de gases

c = calor específico del agua = 1

To = temperatura de gases a la entrada, en °C

T = temperatura de gases a la salida, en oC

p = peso del agua de alimentación, en k/h

e = calor específico del agua = 1

to = temperatura del agua a la entrada, en oC

t = temperatura del agua a la salida, en oC

k = coeficiente de transmisión del calor kcal/m²OC/h,

S = superficie de calefacción, en m²

r = relación

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de la investigación

Tipo de investigación: Tipo Aplicativa, con este proposito de dió respuesta a la problemática de este caso de estudio, donde se pudo concretar el diseño de un ecomizador.

Diseño de la investigación: No experimental.

3.2. Variables, y operacionalización

Definición conceptual: Constituye una idea concreta adecuación a los términos prácticos de la investigación, en pocas palabras refiere a lo vinculado al concepto, significado, idea o juicio.

Definición operacional: Indica todas las operaciones o actividades necesarias para medir o manipular una variable (Rosel, 1986, p.114).

Las variables para esta investigación fueron determinadas de la siguiente manera:

- **Variable independiente:** Diseño de un economizador para una caldera acuotubular.
- **Variable dependiente:** Ahorrar el consumo de bagazo como combustible.

3.3. Población, muestra y muestreo

Población: Las Calderas acuotubulares bagaceras de Lambayeque.

- **Criterio:** Se consideró inclusión, ya que describe y son considerados parte de la población.

Muestra: Es una muestra aleatoria simple. Se considera muestra a la Caldera acuotubular bagacera de 22 Tn/h de vapor.

Muestreo: El muestreo fue intencionado, por el investigador, ya que no se aplicó ninguna técnica estadística.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En la presente investigación se utilizaron las siguientes técnicas de recolección:

a) Observación:

Observar la condición actual de operación de la Caldera acuotubular bagacera.

b) Análisis documentario:

Ficha técnica de la caldera.

Fichas históricas de consumo de bagazo de la caldera.

c) Entrevista

Instrumentos de recolección de datos: Se utilizaron los siguientes instrumentos, haciendo más sencillo el acopio de datos:

a) Guía de observación

Análisis de bagazo.

Estado actual de la caldera acuotubular.

b) Ficha de registro

Histórico del mantenimiento programada a la caldera.

Consumo de bagazo como combustible en la caldera.

c) Guía de entrevista

Se realizó una entrevista a un especialista del tema de investigación.

Validez y confiabilidad:

Validez: Esta investigación fue revisada por especialistas, dando una interpretación correcta y cuidado en el proceso metodológico de los resultados que se obtuvieron.

Confiabilidad: Grado en que un instrumento produce resultados coherentes y consistentes

Tabla 3. *Técnicas e instrumentos de recolección de datos.*

TÉCNICA	INSTRUMENTO	OBJETO	OBJETIVO
Observación	Guía de observación	Caldera acuotubular	Se utilizó para realizar observar la condición actual de operación de la caldera acuotubular.
Análisis documentario	Ficha de registro	Caldera acuotubular	Se utilizó, para registrar el consumo de bagazo como combustibles de la caldera, también para registrar el histórico de mantenimiento.
Entrevista	Guía de entrevista	Personal especialista en diseño de equipos para calderas.	Se utilizó, para registrar datos relevantes para el diseño, como parámetros de diseño.

Fuente: Elaboración propia.

3.5. Procedimientos

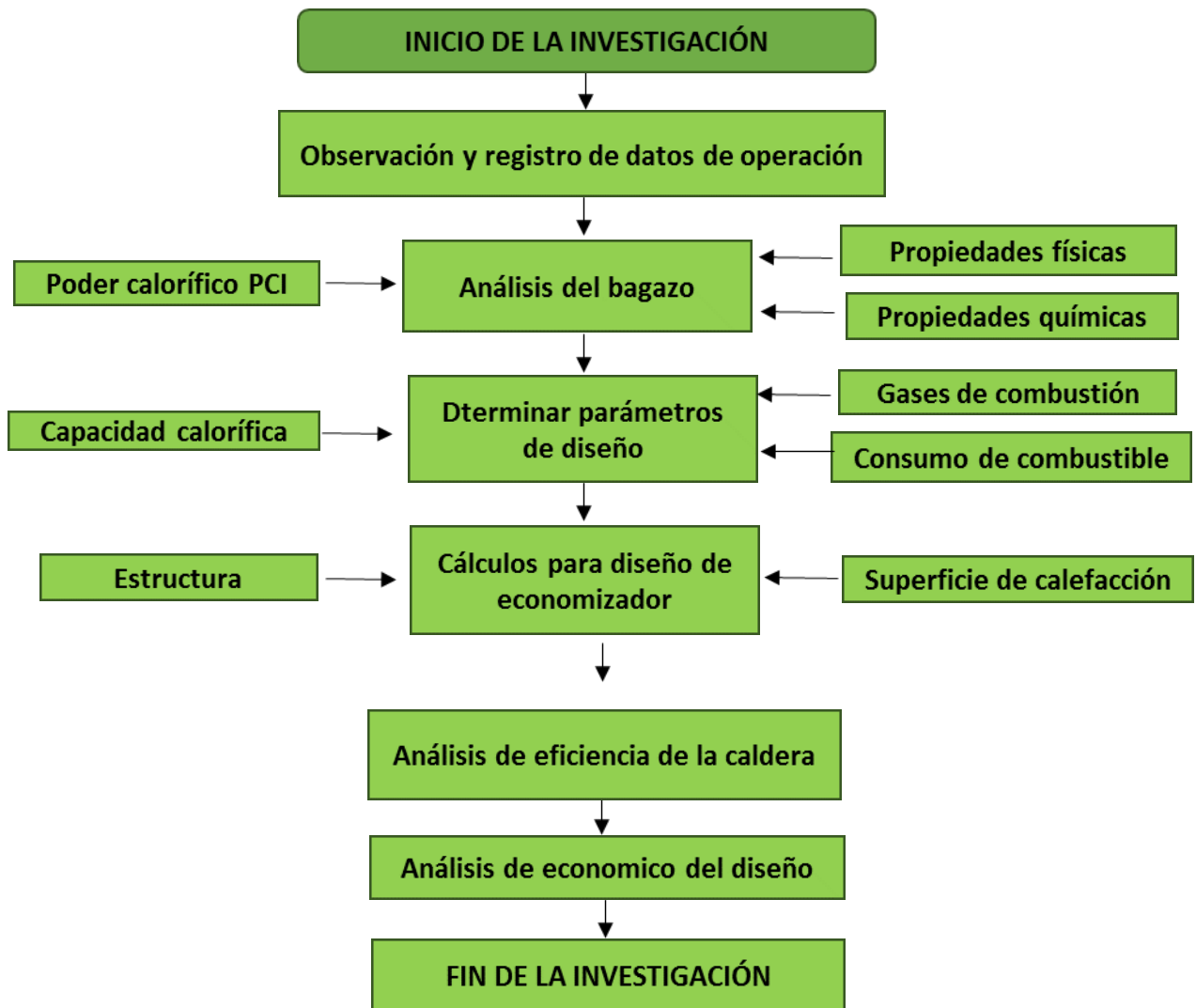


Figura 16. Flujograma, ejecución de la investigación.

Fuente: Elaboración propia.

3.6. Método de análisis de datos

Para el análisis de datos se analizaron los datos recopilados, se utilizaron cálculos para el desarrollo metodológico del proyecto.

- Se analizó el bagazo como combustible, tanto sus propiedades físicas y químicas.

- Se registraron datos de operación de la caldera, para efectuar calculos sobre el rendimiento actual.
- Se determinaron los parametros de diseño del economizador.
- Se realizaron los calculos respectivos para el diseño del economizador.
- Se realizó un analisis del rendimiento de la caldera, implementado el economizador.
- Se determinó el ahorro economico, gracias al economizador, por concepto de ahorro de bagazo como combustible.

Para registrar datos, se utilizó el programa microsoft excel, para agrupar los valores en datos, tambien para realizar los calculos para el diseño. Tambien se utilizó el software solidworks, solo para dibujar el economizador.

3.7. Aspectos éticos

Se respetó la propiedad intelectual de cada investigador mencionado en esta investigación, por otro lado, se evitó filtrar datos ajenos.

IV. RESULTADOS

4.1. Descripción de la producción actual del vapor y características del bagazo

4.1.1. Producción de vapor.

La producción horaria de vapor en la Instalación estuvo en función a la oferta de bagazo como combustible, como también a la demanda de energía para producir energía eléctrica y vapor para los procesos de elaboración del azúcar. Para lo cual se detalla, la producción horaria en promedio del bagazo

Tabla 4. Producción de vapor promedio en caldera acuotubular de capacidad nominal de 22 Ton/H

Año	Mes	Producción de Vapor (Ton/H)	% Plena Carga
2017	Enero	14.5	65.91
	Febrero	13.8	62.73
	Marzo	13.7	62.27
	Abril	12.6	57.27
	Mayo	14.7	66.82
	Junio	11.1	50.45
	Julio	12.7	57.73
	Agosto	13.2	60.00
	Setiembre	12.8	58.18
	Octubre	14.2	64.55
	Noviembre	12.7	57.73
	Diciembre	14.2	64.55
2018	Enero	14.7	66.82
	Febrero	13.2	60.00
	Marzo	14.2	64.55
	Abril	14.2	64.55
	Mayo	15.1	68.64
	Junio	13.2	60.00
	Julio	11.2	50.91
	Agosto	11.8	53.64
	Setiembre	10.9	49.55
	Octubre	13.1	59.55
	Noviembre	12.8	58.18
	Diciembre	11.8	53.64
2019	Enero	13.7	62.27
	Febrero	13.1	59.55

Marzo	12.1	55.00
Abril	10.8	49.09
Mayo	9.9	45.00
Junio	11.8	53.64
Julio	12.8	58.18
Agosto	12.7	57.73
Setiembre	11.8	53.64
Octubre	13.8	62.73
Noviembre	13.1	59.55
Diciembre	14.1	64.09

Fuente: Area de generación AEI Lambayeque, 2019

Se pudo evidenciar que la producción de vapor tiene valores oscilantes en promedio de los 3 últimos años; con valores de porcentaje de plena carga entre el 45 y 68%.

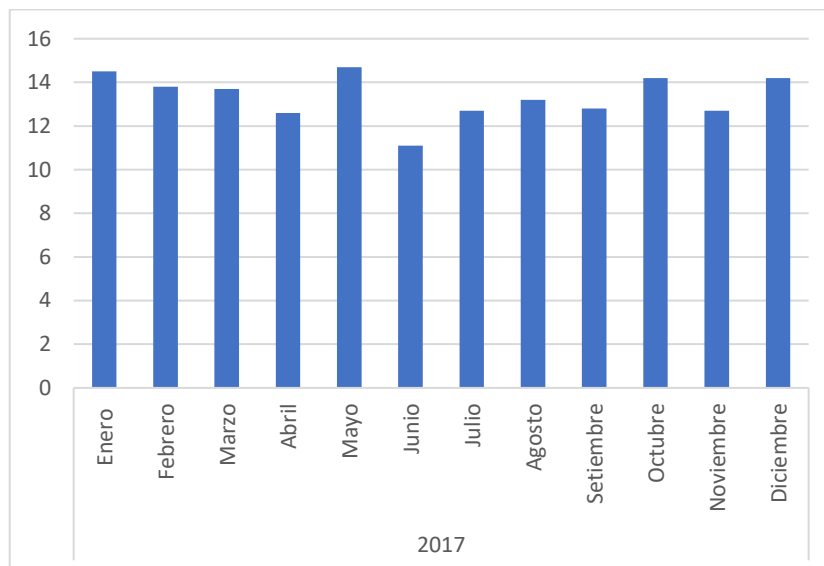


Gráfico 1. Producción de vapor tn/h - 2017 Caldera acuotubular.

Fuente: Elaboración propia.

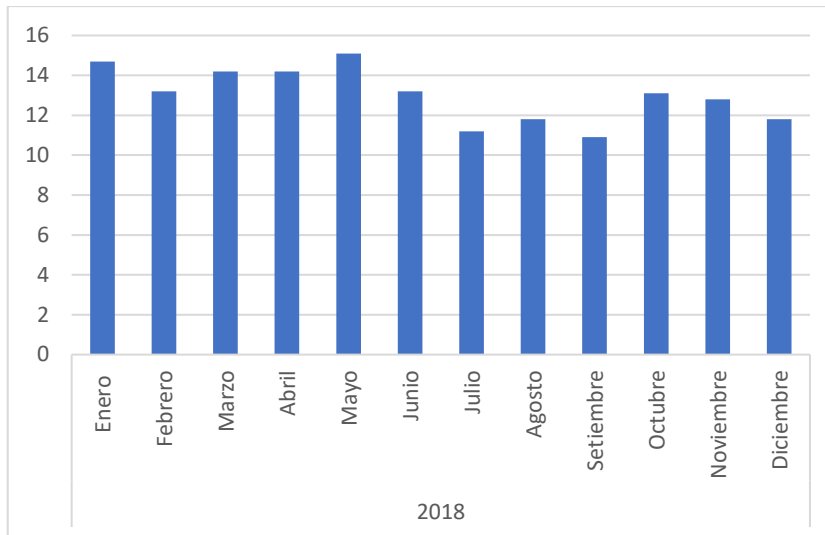


Gráfico 2. Producción de vapor tn/h - 2018 Caldera acuotubular

Fuente: Elaboración propia.

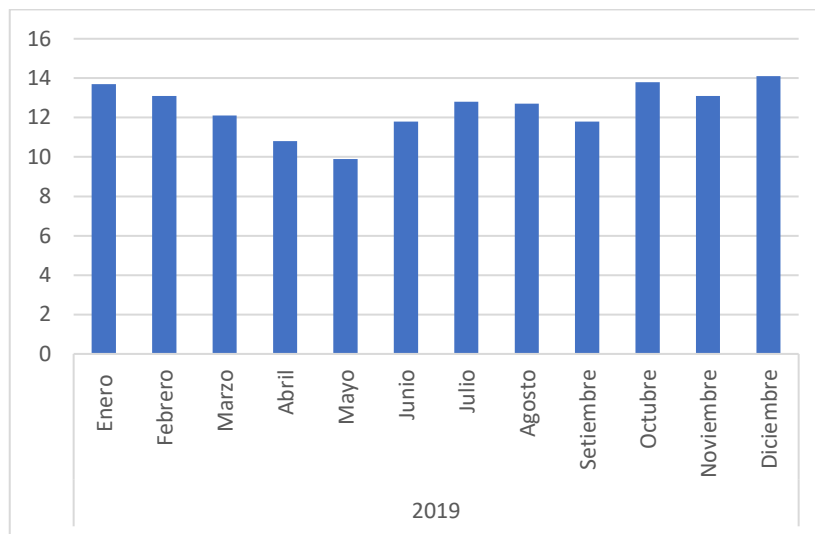


Gráfico 3. Producción de vapor tn/h - 2019 Caldera acuotubular.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Propiedades físicas del bagazo.

El bagazo como combustible, llega a las calderas, es el residuo, después de haber pasado por un proceso de extracción por el tándem de molinos que cuenta el trapiche.

Las propiedades físicas del bagazo, juegan un papel importante en el diseño térmico del hogar (horno donde se lleva a cabo la combustión); consecuentemente influyen de manera directa en el proceso de la combustión. En esta investigación se describirán las propiedades físicas relativas a cuestiones térmicas.

Dentro estas propiedades tenemos:

Humedad: Esta es la más importante, ya que influye de manera directa al poder calorífico del bagazo, y en consecuencia al proceso de combustión. Durante la volatilización es liberada esta humedad y se reduce mientras el bagazo se va quemando. La humedad es una variable en el bagazo y depende del proceso de extracción en el trapiche.

Tabla 5. Poder calorífico del bagazo a diferentes humedades.

HUMEDAD	PODER CALORIFICO
W (%)	kcal/kg
44	2116
46	2019
48	1922
50	1855
52	1725
54	1631
56	1534

Fuente: Hugot, 2017.

Porosidad: Esta propiedad afecta a la reactividad del combustible, es decir, la porosidad en el bagazo permite la liberación y difusión de los productos formados. El valor promedio de la porosidad en el bagazo oscila alrededor de 0.5 (50%).

Tabla 6. Porosidad media, valores de densidad real.

DIÁMETRO	VALOR
mm	Adimensional
1.595	0.578
1.015	0.587
0.63	0.603
0.358	0.682
0.253	0.683
0.157	0.747

Fuente: Cortez, 1982.

Tamaño y forma de las partículas: La morfología varía desde partículas pequeñas como el bagacillo, hasta partículas grandes e irregulares como la fibra. El tamaño de las partes del bagazo varía entre 1 – 5 mm, pueden llegar a medir hasta 25 mm de longitud, con un ancho de 0.3 – 10 mm y un espesor de 0.1 – 5 mm. El grado de preparación de la caña y de la extracción en el trapiche influye en estos valores.

Tabla 7. Tamaño de las partículas de bagazo.

TAMAÑO DE PARTÍCULA mm	HUMEDAD DEL BAGAZO %
$\emptyset > 4.75$	34
$0.85 < \emptyset < 4.75$	44
$0.45 < \emptyset < 0.85$	15
$0.25 < \emptyset < 0.45$	4
$\emptyset < 0.25$	3

Fuente: Alderetes, 2016.

Temperatura de ignición: Esta temperatura oscila entre 220 y 290 °C, para el bagazo y esta depende del contenido de humedad, volátiles de cenizas y cantidad de oxígeno.

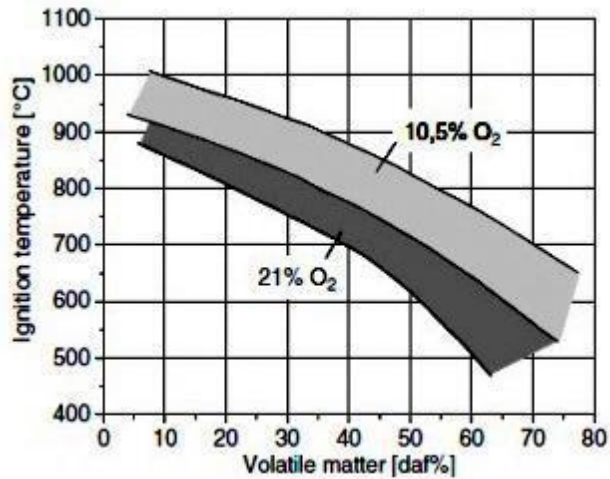


Figura 17. Gráfico temperatura de ignición en biomasa.

Fuente: Alderetes, 2016

Propiedades químicas del bagazo.

La composición química del bagazo a pesar de la variedad de caña, presenta una gran similitud a nivel mundial.

Tabla 8. Composición elemental típica del bagazo.

COMPOSICIÓN PROMEDIO BASE SECA DE BAGAZO					
AUTOR	C	H	O	N	Cz
Deer	46.5	6.5	46		1
Tromp	44	6	48		2
Hugot	47	6.5	44		2.5
Chenú	46.4	6.4	44.2		3
Copersucar	49.5	6.2	44.3		
Wienese	44.3	5.7	42		4
Gabra	45.2	5.4	41.8	0.2	
US DOE	48.4	6	41.6	0.2	
Media	46.4	6.1	44	0.2	2.5
Desviación	1.9	0.4	2.2		1.1

Fuente: Alderetes, 2016.

Análisis del bagazo

Análisis del bagazo húmedo

Se obtuvieron datos de laboratorio, como la humedad del bagazo 50 % y una Pol (sacarosa) en bagazo de 2.7.

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

Se obtuvieron los siguientes valores para cada composición del bagazo.

Tabla 9. Análisis del bagazo en base húmeda.

ANALISIS BAGAZO HUMEDO			
COMPOSICIÓN (Y)	% (X)	% HUMEDAD (w)	BASE HUMEDA (h)
Carbono (C)	0.47	0.5	0.235
Hidrógeno (H)	0.65	0.5	0.325
Oxígeno (O)	0.44	0.5	0.220
Cenizas (Cz)	0.025	0.5	0.013

Fuente: Elaboración propia.

Energía liberada en la combustión del bagazo por unidad de masa.

Esta energía está determinada directamente por el PCI y PCS, en el caso del bagazo depende de la cantidad de humedad y Pol que contenga, se tomaron valores promedios de una molienda en condiciones normales.

Cálculo del PCI

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

Dónde:

w = Humedad en bagazo 50 %

s = Pol en bagazo 2.7 %

$$PCI = 7508.36 [kJ/kg] \approx 1793.340[kcal/kg]$$

Cálculo del poder calorífico superior – PCS

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

$$PCS = 2264.9 \text{ [kcal/kg]} \approx 9482.683 \text{ [kJ/kg]}$$

Pérdidas por calor sensible en los gases de combustión

Un parámetro importante en este trabajo de investigación es el flujo masico de combustión.

Según el registro documentario del análisis de gases realizado a la Caldera, la temperatura en promedio es 160 °C; pero se pueden obtener temperaturas de 180 a 195 °C, dependiendo de buena operatividad y rendimiento de la Caldera.

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

Dónde:

q = Perdida de calor sensible en los gases

t = Temperatura gases en la chimenea 160° C

w = Humedad del bagazo 50 %

γ = Exceso de aire = 1.5

$$q = 997.466 \text{ [kJ/kg]} \approx 238.2405 \text{ [kcal/kg]}$$

Cálculo de la energía transmitida al vapor por kg de bagazo

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

Dónde:

Q = Calor transmitido al vapor kJ/Kg

w = Humedad bagazo 0.50 %

q = Pérdida de calor sensible en los gases 997.466 kJ/kg

α = Coeficiente pérdidas en sólidos no quemados 0.99

β = Coeficiente pérdidas debidas a la radiación 0.87

η = Coeficiente pérdidas combustión incompleta 0.85

$$Q = 4859.958 [kJ/kg] \approx 1107.358[kcal/kg]$$

Cálculo del flujo másico de combustible en la Caldera

Este cálculo fue necesario, para saber la cantidad de gases producto de la combustión.

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

Dónde:

m_c = Flujo másico de combustible kg/s

m_v = Flujo másico de vapor = 22 tn/h = 6.11 kg/seg

h_{vs} = Entalpia de vapor sobrecalentado 3162.77 kJ/kg

h_a = Entalpia de agua de alimentación 377.039 kJ/kg

Q = Calor transmitido al vapor = 4859.958 kJ/kg

El flujo de combustible para la caldera será:

$$m_c = 3.503 [kg/seg] \approx 12.610 [tn/h]$$

4.2. Se determinó los parámetros y realizar los cálculos de diseño del economizador

Gases de combustión

Relación gases / combustible

$$P_g = 5.75 * (1 - w) * m + 1 = kg \text{ gases/kg bagazo}$$

Dónde:

P_g = Relación gases / combustible

m = Exceso de aire 1.5

w = Humedad de bagazo 0.5

Entonces:

$$P_g = 5.3125 \text{ kg gases/kg bagazo}$$

Flujo de másico de gases entrando al economizador

$$m_g = P_g * m_c = \text{kg de gases/h}$$

Dónde:

m_g = Cantidad de gases entrando al economizador

P_g = Relación gases / combustible 5.3125 kg gases / kg de bagazo

m_c = Flujo másico de combustible 12610 kg/h

Entonces:

$$m_g = 66990.625 \text{ kg de gases/h}$$

Volumen de gases

$$V_g = 4.47 * (1 - w) * m + 0.572w + 0.672 = m^3 \text{ gases/kg bagazo}$$

Dónde:

V_g = Volumen de gases combustión

w = Humedad de bagazo 50%

Entonces:

$$V_g = 4.3105 m^3 \text{ gases/kg bagazo}$$

Flujo volumétrico a temperatura de trabajo

La caldera acuotubular, tiene una temperatura de vapor sobrecalentado de 370 °C, se aplicó la ley de Mariotte, mediante la siguiente expresión:

$$V_{gt} = \frac{V_g * (273 + t)}{273}$$

Dónde:

V_{gt} = Volumen de gases a temperatura de trabajo de la caldera.

V_g = Volumen de gases de combustión 4.3105 m³ gases/kg bagazo

t = Temperatura de vapor sobrecalentado 370 °C.

Entonces:

$$V_{gt} = 10.153 \text{ m}^3 \text{ gases/kg bagazo}$$

Velocidad de los gases

$$G_v = \frac{m_c * V_{gt}}{3600} = \text{m}^3/\text{h}$$

Dónde:

G_v = Velocidad de los gases de combustión

m_c = Flujo másico de combustible 12610 kg/h

V_{gt} = Volumen de gases a temperatura de trabajo de la caldera 10.153 m³ gases /
kg bagazo

Entonces:

$$G_v = 35.563 \text{ m}^3/\text{s}$$

Balance de energía

Calor para elevar la temperatura del agua de alimentación

$$Q_E = m_W * (t_e - t_w) = \text{kcal/h}$$

Dónde:

Q_E = Calor para aumentar la temperatura del agua

m_W = Consumo de agua caldera 22 tn/h

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

t_w = Temperatura a la entrada al economizador 85 °C

Entonces:

$$Q_E = 1320000 \text{ kcal/h}$$

Temperatura salida gases a la salida del economizador

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

Dónde:

t_2 = Temperatura de gases a la salida

t_1 = Temperatura de gases a la entrada 260 °C

m_w = Consumo de agua 22 tn/h

m_g = Flujo de gases en el economizador 66.990625 tn de gases/h

c = calor específico los gases 0.283

t_e = Temperatura de agua a la salida 145 °C

t_w = Temperatura de entrada 85 °C

Entonces:

$$t_2 = 190.28 \text{ °C}$$

Caída de temperatura en los gases

$$t_1 - t_2 = \text{°C}$$

Dónde:

t_2 = Temperatura de gases a la salida 190.28 °C

t_1 = Temperatura de gases a la entrada 260 °C

Entonces:

$$t_1 - t_2 = 69.72 \text{ °C}$$

Temperatura media de los gases

$$t_m = (t_1 + t_2)/2 = \text{°C}$$

Dónde:

t_2 = Temperatura media los gases

t_2 = Temperatura de gases a la salida 190.28 °C

t_1 = Temperatura los gases a la entrada 260 °C

Entonces

$$t_m = 225.14 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Salto de temperatura en el agua de alimentación:

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

Dónde:

t_e = Temperatura de agua a la salida 145 °C

t_w = Temperatura de entrada 85 °C

Entonces:

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

Temperatura media del agua:

$$t_m = (t_e + t_w)/2 = \text{ } ^\circ\text{C}$$

Dónde:

t_e = Temperatura de agua a la salida 145 °C

t_w = Temperatura de entrada 85 °C

Entonces:

$$t_m = 115 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Salto de temperatura en los gases vs salto de temperatura en el agua

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

Dónde:

R_t = Salto de temperatura en gases

t_2 = Temperatura de los gases a la salida 190.28 °C

t_1 = Temperatura de los gases a la entrada 260 °C

t_e = Temperatura del agua a la salida 145 °C

t_w = Temperatura de agua entrada 85 °C

Entonces:

$$R_t = 1.17 \text{ °C/°C}$$

Diferencia logarítmica media de temperaturas

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

Dónde:

Δt_m = Diferencia logarítmica media de temperatura

Δt_i = Diferencia de temperatura de gases 69.72 °C

Δt_2 = Diferencia de temperatura de agua 60 °C

Entonces:

$$\Delta t_m = 64.9 \cong 65 \text{ °C}$$

Calor a transferir en el economizador

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

Dónde:

Q_E = Transferencia de calor en el economizador

t_1 = Temperatura de los gases a la entrada 260 °C

t_2 = Temperatura de los gases a la salida 190.28 °C

m_g = Flujo másico entrando al economizador 66990.625 kg de gases/h

c = calor específico de los gases 0.283

Entonces:

$$Q_E = 1321763.612 \text{ kcal/h}$$

Cálculo para el diseño del economizador

Superficie del Economizador

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

Dónde:

S_E = Superficie del economizador

Q_E = Transferencia de calor 1321763.612 kcal/h

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

Δt_m = Diferencia logarítmica media de temperatura 65°C

Entonces:

$$S_E = 274.78 \text{ m}^2$$

Superficie de calefacción de los tubos

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

Dónde:

S_T = Superficie de calefacción del tubo

D_e = Diámetro exterior 0.0508 m

Lt = Longitud del tubo 6 m

Entonces:

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

Tubos necesarios para el Economizador

$$n_T = \frac{S_E}{S_T} = \text{tubos}$$

Dónde:

n_T = Tubos necesarios para la confección del economizador

S_T = Superficie de calefacción del tubo 0.638 m²

S_E = Superficie del economizador 337.184 m²

Entonces:

$$n_T = 287 \text{ tubos}$$

Se necesitan 287 tubos de material ASTM 192, de 2" de diámetro

Sección de pasaje para el agua

Para la circulación del agua se adoptará una velocidad de 0.35 m/seg

Caudal de agua

$$Q_W = \frac{m_W}{3600 * \gamma_W} = m^3/s$$

Dónde:

Q_W = Caudal del agua de alimentación

m_W = Flujo agua de la caldera 22 tn/h

γ_W = Densidad del agua a temperatura media 115 °C \approx 947.082 kg/m³

Entonces:

$$Q_W = 0.00645 m^3/s$$

La sección necesaria para desarrollar esta velocidad será

$$S_W = \frac{Q_W}{C_W} = m^2$$

Dónde:

S_W = Sección necesaria

Q_W = Caudal del agua de alimentación 0.00645 m³/s

C_W = Velocidad de circulación de agua 0.35 m/s

Entonces:

$$S_W = 0.01842 \text{ m}^2 =$$

Sección en tubos para desarrollar

Diámetro interior

$$D_i = D_e - 2(\text{espesor del tubo}) = 42.06 \text{ mm}$$

Dónde:

D_e = Diámetro exterior del tubo 50.8 mm

Sección de paso del tubo

$$S_{PT} = \frac{\pi * D_i^2}{4} = 0.0014 \text{ m}^2$$

Dónde:

D_i = Diámetro interior del tubo 42.06 mm

Cálculo de la cantidad de tubos / paso

Los tubos serán alimentados por el colector y se distribuirán con un paso horizontal de 120 mm, donde determinarán el ancho del equipo.

$$n_{tp} = \frac{S_W}{S_{PT}} = \text{tubos}$$

Dónde:

n_{tp} = Cantidad de tubos por paso

S_W = Sección necesaria para desarrollar la velocidad adecuada 0.0184 m²

S_{PT} = Sección del paso del tubo 0.0014 m²

Entonces:

$$n_{tp} = 14 \text{ tubos}$$

Dimensiones del economizador

Altura del economizador

$$A_E = P_h * n_{tp} = m$$

Dónde:

A_E = Ancho del economizador

P_h = Paso horizontal del economizador 150 mm

n_{tp} = Cantidad de tubos por paso 14 tubos

Entonces:

$$A_E = 2100 \text{ mm} \cong 2.1 \text{ m}$$

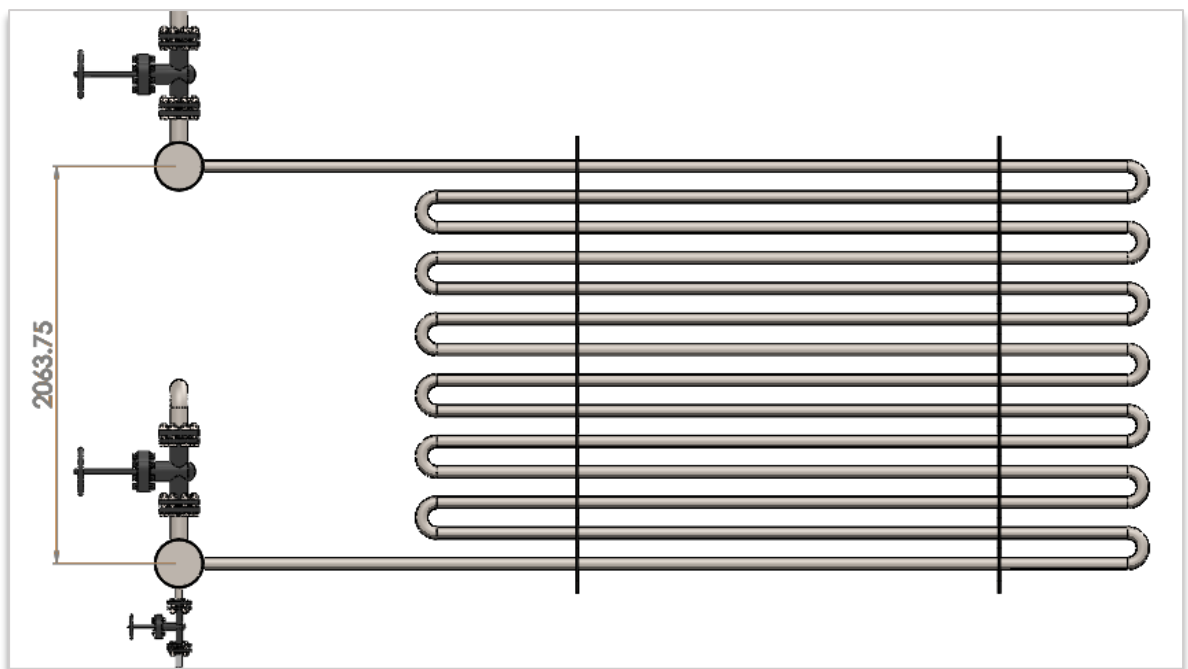


Figura 18. Altura y longitud del economizador.

Fuente: Elaboración propia.

Serpentines necesarios

Superficie de la hilera superior:

$$F_{ht} = \pi * D_e * L_t * n_{tp} = m^2 / hilera$$

Dónde:

F_{ht} = Superficie de la hilera superior

D_e = Diámetro exterior del tubo 0.0508 m

Lt = Longitud del tubo 6 m

n_{tp} = Cantidad de tubos por paso 14 tubos

Entonces:

$$F_{ht} = \pi * D_e * Lt * n_{tp} = 13.406 \text{ m}^2/\text{hilera}$$

Hileras necesarias para la superficie de calefacción

$$N_{ht} = \frac{n_T}{F_{ht}} = \text{Número de serpentines}$$

Dónde:

N_{ht} = Numero de serpentines para el economizador

n_T = Tubos necesarios para la confección del economizador 287

F_{ht} = Superficie de la hilera superior 13.406 m²/hilera

Entonces:

$$N_{ht} = 21.408 \approx 22 \text{ serpentines}$$

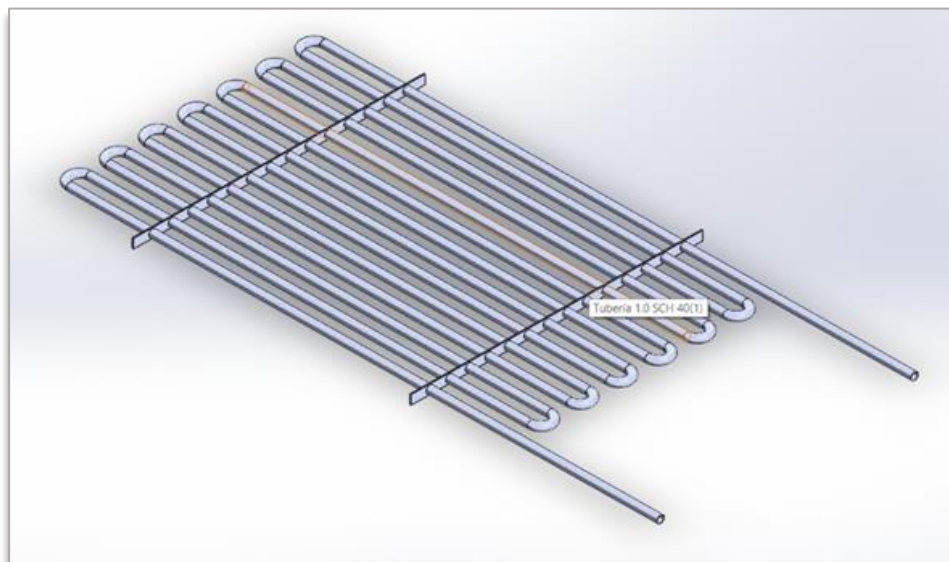


Figura 19. Serpentín para el economizador.

Fuente: Elaboración

Ancho del calentador

$$H_E = N_{ht} * Pv = m$$

Dónde:

H_E = Altura del economizador

N_{ht} = Numero de serpentines para el economizador 22

Pv = Paso vertical del economizador 100 mm

Entonces:

$$H_E = 2200 \text{ m}$$

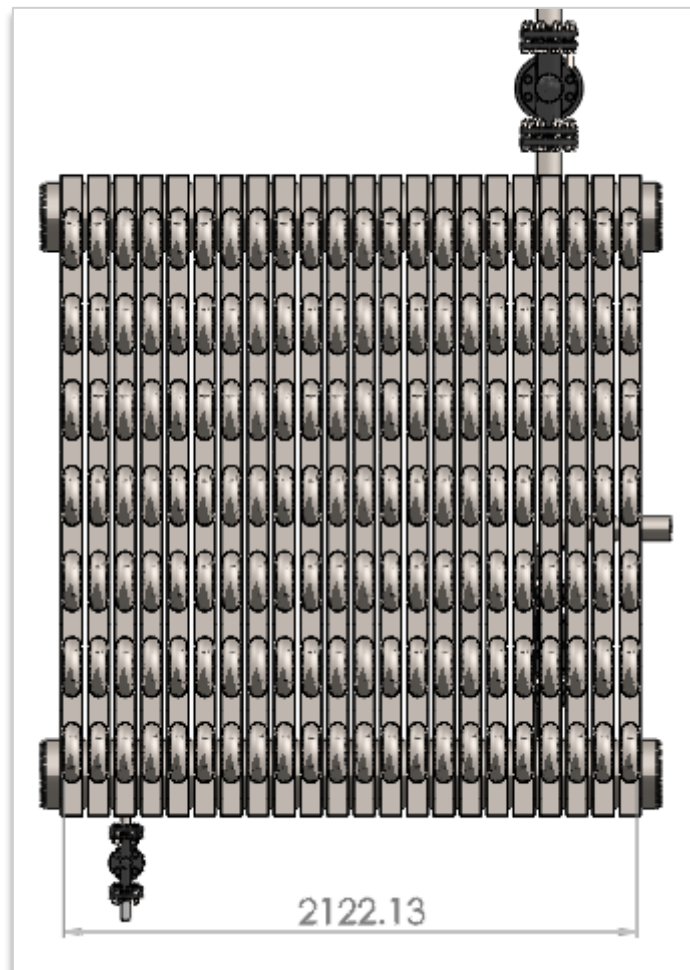


Figura 20. Ancho del economizador (Parte lateral del economizador)

Fuente: Elaboración

Longitud del economizador

Para la longitud del economizador se aprovechará la medida de la caldera que es 5 m.

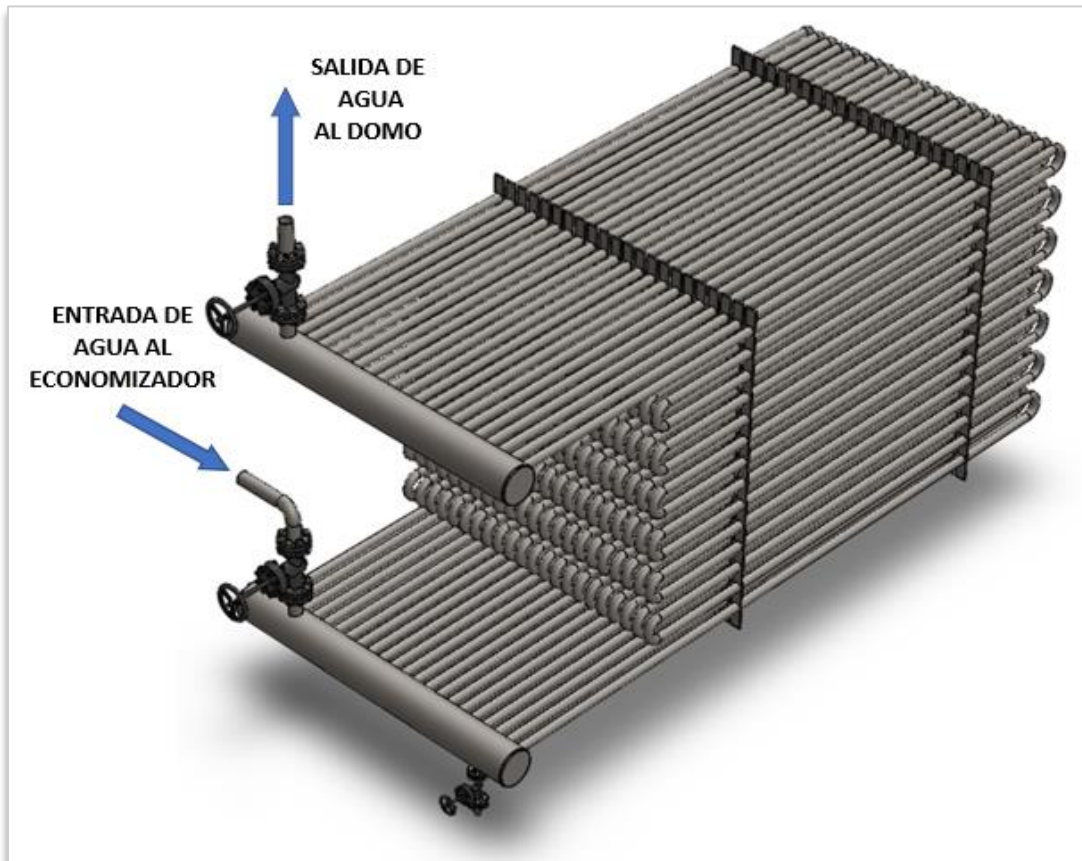


Figura 21. Economizador (Perspectiva).

Fuente: Elaboración

Materiales para el economizador

A continuación, se describe los materiales que conforman la estructura del economizador.

Tabla 10. *Materiales estructurales del economizador.*

MATERIALES ECONOMIZADOR	
PIEZA	MATERIAL
Tubería para el serpentín	ASTM - ASME A192
Tubería para los colectores	ASTM - ASME A53 - GR B
Planchas para cubierta	ASTM - ASME A516 - GR70
Aislante	Lana Mineral

Fuente: Elaboración propia.

Descripción del material para el serpentín

A continuación, se describen las propiedades químicas y mecánicas del material ASTM – ASME A192 para la confección del serpentín para el economizador. Tubería de acero al carbono sin costura Schedule 40.

Tabla 11. *Propiedades químicas, tubería del serpentín.*

PROPIEDADES QUÍMICAS ASTM - ASME A192				
C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)
0.06 - 0.18	≤ 0.25	≤ 0.25 - 0.63	≤ 0.035	≤ 0.035

Fuente: IMPOFERRI

Tabla 12. *Propiedades mecánicas, tubería del serpentín.*

PROPIEDADES MECÁNICAS ASTM - ASME A192	
Esfuerzo por tensión (N / mm ²)	≥ 325
Límite elástico (N / mm ²)	≥ 180
Elongación (%)	35

Fuente: IMPOFERRI

Descripción del material para los colectores

Se describen las propiedades químicas y mecánicas del material ASTM – ASME A53 – GR B para la confección del serpentín para el economizador. Tubería de acero al carbono sin costura Schedule 80.

Tabla 13. *Propiedades químicas, tubería para colectores.*

PROPIEDADES QUÍMICAS ASTM - ASME A53 - GR B							
C (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)	V (%)
0.3	1.2	0.05	0.045	0.4	0.4	0.15	0.08

Fuente: IMPOFERRI

Tabla 14. *Propiedades mecánicas, tubería del colector.*

PROPIEDADES MECÁNICAS ASTM - ASME A53 - GR B	
Esfuerzo por tensión (N / mm ²)	510 - 650
Límite elástico (N / mm ²)	240 - 335

Fuente: IMPOFERRI

Descripción del material para la cubierta

Se describen las propiedades químicas y mecánicas del material ASTM – ASME A516 – GR 70 para la cubierta de todo el equipo economizador, con un espesor de 1/8 de pulgada.

Tabla 15. *Propiedades químicas, planchas para la cubierta.*

PROPIEDADES QUÍMICAS ASTM - ASME A516 - GR 70									
C (%)	Mn (%)	P (%)	Si (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)	V (%)	Al (%)	Ti (%)
0.1 - 0.22	1 - 1.7	0.03	0.6	0.3	0.3	0.08	0.02	0.02	0.03

Fuente: IMPOFERRI

Descripción del material aislante

Se utilizará lana mineral. Material aislante, usado en equipos térmicos, como lo son las calderas. Este material es fácil de manipular, lo cual facilita su instalación en superficies curvas.

Este tipo de aislante ayuda a prevenir la condensación entre las planchas, previniendo la oxidación.

4.3. Realizar un análisis comparativo para determinar la eficiencia de la caldera con economizador.

Eficiencia actual de la caldera

Para encontrar el rendimiento actual de la caldera, tendremos en cuenta ciertos parámetros de operación.

Tabla 16. *Parámetros de operación de la caldera acuotubular.*

PARAMETROS	VALOR	UNIDADES
Consumo de combustible	12.61	tn / h
Vapor producido	22	tn / h
Presión de trabajo	30	kg / cm ²
Temperatura de vapor	370	°C
Temperatura de agua	85	°C

Fuente: Elaboración propia.

Mediante la siguiente expresión, determinará la eficiencia actual de la caldera, se utilizará el método directo.

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

Dónde:

η = Eficiencia de la Caldera sin economizador %

m_v = Producción de vapor 22 tn/h

h_{vs} = Entalpia de vapor sobrecalentado 3162.77 kJ/kg

h_a = Entalpia de agua de alimentación 356.015 kJ/kg

PCI = Poder calorífico inferior 7508.36 kJ/ kg

m_{cb} = Flujo de bagazo en la caldera 12.610 tn/h

Entonces:

$$\eta = 0.652 \cong 65\%$$

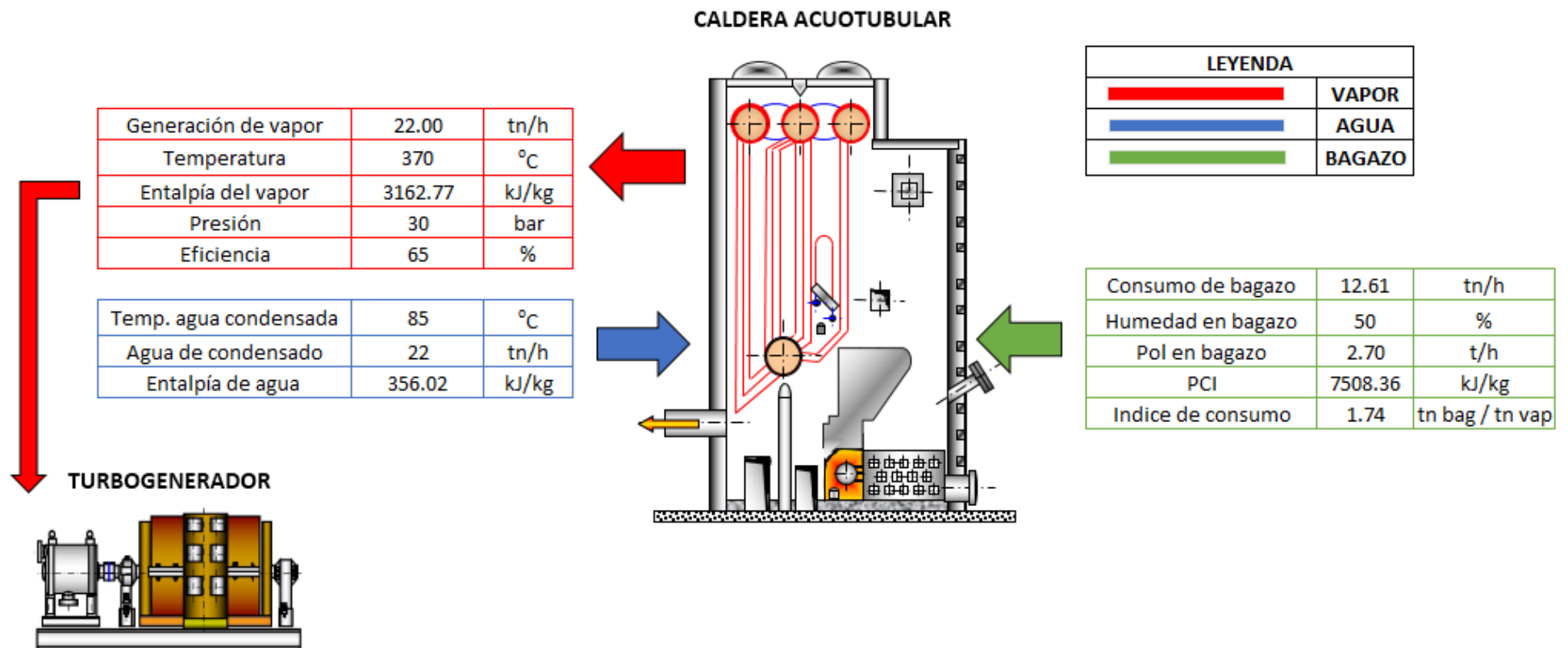


Figura 22. Esquema energético de la caldera acuotubular bagacera sin economizador.

Fuente: Elaboración propia.

Consumo de bagazo con economizador

Energía necesaria para aumentar temperatura el agua sin economizador

Para evaporar 1 tn / h, con agua de alimentación a 85 °C será:

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

Dónde:

Q_w = Energía de necesaria para evaporar el agua

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 aumentar la temperatura el agua con economizador

Tomaremos como referencia el aumento de temperatura para 1 tn de agua.

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

Dónde:

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:

$$Q_e = 2186.144 kJ/kg$$

Ahorro de bagazo por tonelada de agua consumida

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

Dónde:

a_b = Ahorro en bagazo kg bagazo / ton agua

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

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

PCI = Poder calorífico inferior 7508.36 kJ/ kg

η = Eficiencia de la Caldera 65 %

Entonces:

$$a_b = 0.05217 \approx 52.17 \text{ kg bagazo} / \text{tn agua}$$

Consumo de bagazo

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

Dónde:

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

m_{cb} = Consumo de bagazo en la caldera 12.610 tn/h

a_b = Ahorro en bagazo kg bagazo / ton agua 0.05217 tn

m_w = Consumo de agua de alimentación 22 tn/h

Entonces:

$$m_{ce} = 11.46226 [\text{tn/h}]$$

Ahorro del bagazo

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

Dónde:

A_B = Ahorro de bagazo

m_{cb} = Cantidad de bagazo sin economizador 12.61 tn/h

m_{ce} = Cantidad de bagazo con economizador 11.462 tn/h

Entonces:

$$A_B = 1.148 \text{ tn/h}$$

Se tendrá un ahorro de bagazo al día de 22.638 tn/d, se tiene en cuenta que solo son 21 horas efectivas de molienda al día.

Eficiencia de la caldera con economizador

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

Dónde:

η = Rendimiento de la Caldera con economizador %

m_v = Generación de vapor 22 tn/h

h_{vs} = Entalpia de vapor sobrecalentado 3162.77 kJ/kg

h_a = Entalpia de agua de alimentación 356.015 kJ/kg

PCI = Poder calorífico inferior 7508.36 kJ/ kg

m_{cb} = Consumo de bagazo 11.462 tn/h

Entonces:

$$\eta = 0.717 \cong 72 \%$$

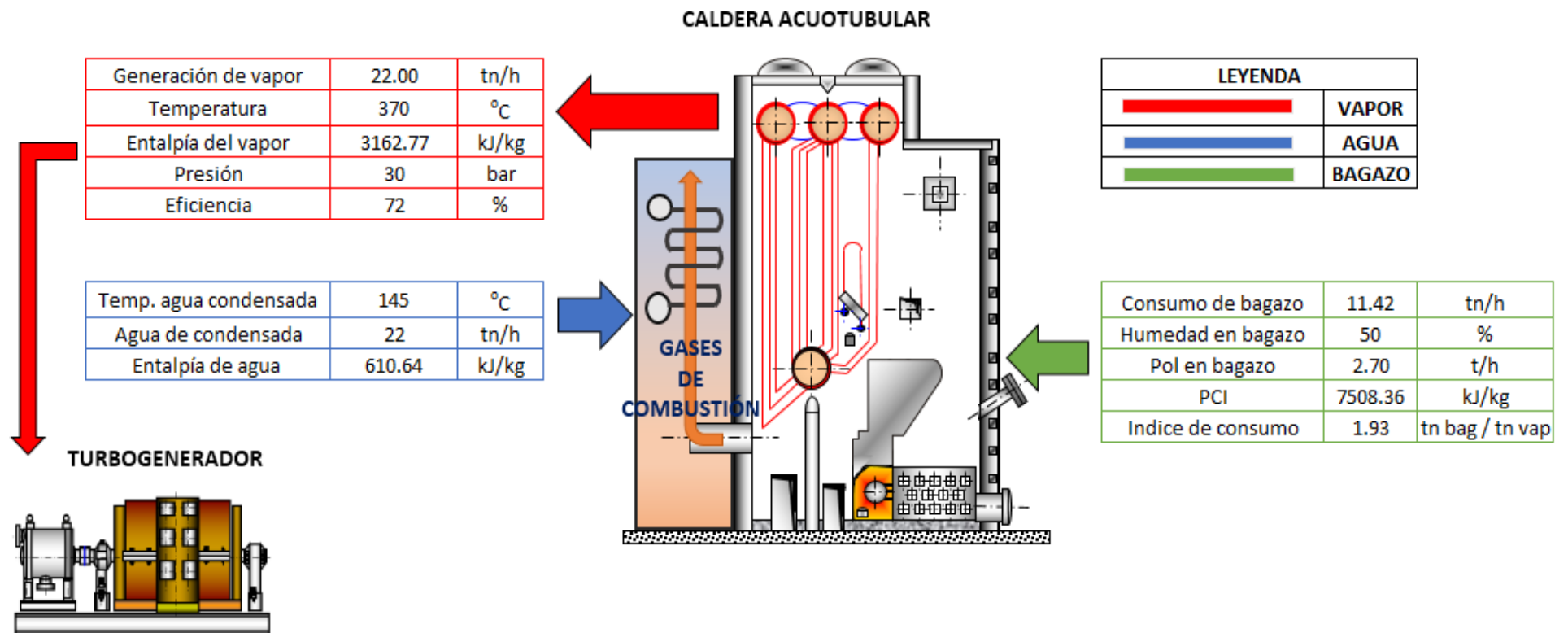


Figura 23. Esquema energético de la caldera acuotubular bagacera sin economizador.

Fuente: Elaboración propia.

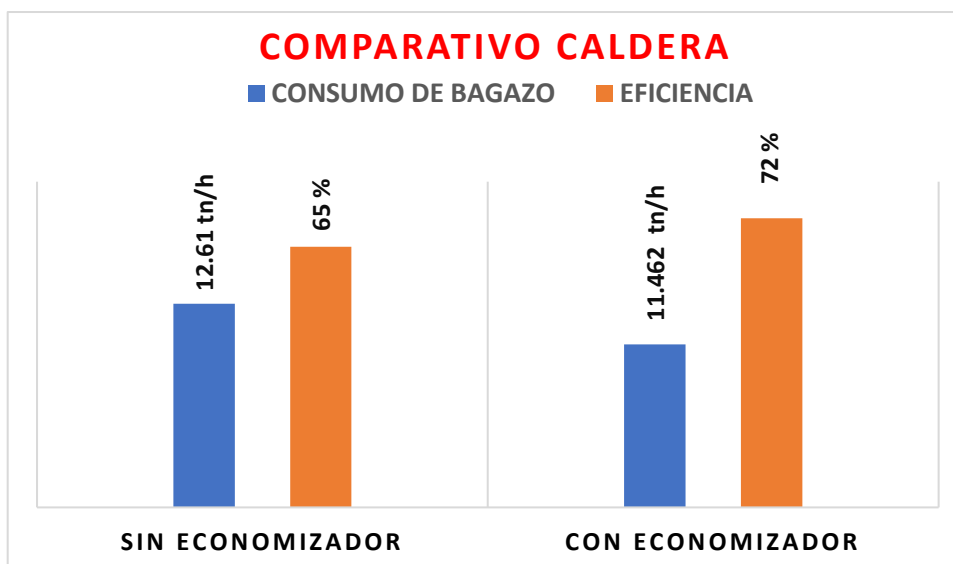


Gráfico 4. Gráfico comparativo caldera c/s economizador.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17. Ahorro de bagazo en función a la temperatura de agua.

AHORRO DE BAGAZO - TEMPERATURA DE AGUA				
TEMP AGUA (°C)	ENTALPIA DEL AGUA (kj/kg)	TEMP SALIDA GASES (°C)	CONSUMO DE BAGAZO (tn/h)	AHORRO DE BAGAZO (%)
85	356.015	260	12.7	0
90	377.039	254.2	12.61	0.71
95	398.089	248.4	12.52	1.42
100	419.166	242.6	12.42	2.20
105	440.274	236.8	12.33	2.91
110	461.415	231	12.23	3.70
115	482.593	225.9	12.13	4.49
120	503.812	219.4	12.04	5.20
125	525.074	213.6	11.9	6.30
130	546.384	207.8	11.84	6.77
135	567.745	202	11.75	7.48
140	589.162	196.2	11.65	8.27
145	610.638	190.4	11.55	9.06
150	632.179	184.6	11.45	9.84
155	653.79	178.8	11.35	10.63
160	675.473	173	11.26	11.34

Fuente: Elaboración propia.

4.4. Se realizó una evaluación del diseño del economizador

Costos del proyecto, diseño del economizador

Tabla 18. Costos, materiales para confección de economizador.

INVERSIÓN DEL PROYECTO - MATERIALES				
MATERIALES	CANT	UNIDAD	PRECIO UNIT	TOTAL
Tubo de acero 2" x 24"x 4.19 mm ASTM - A 192	287	Pieza	237.42	68,139.54
Tubo de acero 10" x 91"x 12.7 mm ASTM - A 106	2	Pieza	1,470.00	2,940.00
Platina de acero 3/8" x 3" x 6 m ASTM - 36	8	Pieza	122.03	976.24
Válvula 3" CLASE 600	2	Pieza	750.00	1,500.00
Válvula 1" CLASE 601	1	Pieza	220.00	220.00
Tubo 3" Schedule 40	2	Pieza	350.00	700.00
Tubo 1" Schedule 41	1	Pieza	150.00	150.00
Empaquetadura espiro metálica 3" CLASE 600	2	Pieza	40	80
Soldadura cellorcord 6011 - 1/8"	44	kg	12.55	552.20
Soldadura supercito 7018 - 1/8"	44	kg	250.00	11,000.00
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	8	m ³	10.00	80.00
Oxigeno	12	m ³	10.00	120.00
Pernos G8 3/4"x4"	16	Pieza	8.00	128.00
TOTAL				S/86,957.98

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19. Costos, equipos para confección del economizador.

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
TOTAL				S/6,800.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20. Costos, mano de obra confección del economizador.

MANO DE OBRA CONFECCIÓN				
PERSONAL	CANT	DÍAS	PRECIO / DIA	TOTAL
Supervisor	1	20	150.00	3,000.00
Soldador	2	20	120.00	4,800.00
Armador	1	20	80.00	1,600.00
Biselador	1	20	60.00	1,200.00
Oficial	1	20	50.00	1,000.00
TOTAL				S/11,600.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21. Costos, mano de obra montaje.

MANO DE OBRA MONTAJE				
PERSONAL	CANT	DÍAS	PRECIO / DIA	TOTAL
Supervisor	1	3	150.00	450.00
Soldador	2	3	120.00	720.00
Armador	1	3	80.00	240.00
Mecánico	1	1	60.00	60.00
Oficial	1	3	50.00	150.00
Tecla 1 tn	2	3	40.00	240.00
Máquina de soldar	2	3	100.00	600.00
TOTAL				S/2,460.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22. Costo total proyecto economizador.

PROYECTO ECONOMIZADOR	
Materiales para confección del economizador	S/86,957.98
Alquiler de equipos para la confección del economizador	S/6,800.00
Mano de obra para la confección del economizador	S/11,600.00
Mano de obra para el montaje del economizador	S/2,460.00
COSTO TOTAL DEL PROYECTO	S/107,817.98

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al mantenimiento del equipo, este se realizará periódicamente cada mes, aprovechando el mantenimiento programado. Solo se tiene en cuenta el costo de dos mecánicos que se encargan de la limpieza y mantenimiento del economizador (revisión y lubricación de válvulas, limpieza de todo el equipo, prueba hidrostática para verificar fugas).

Tabla 23. Costo mantenimiento mensual.

COSTO MANTENIMIENTO MENSUAL			
MANTENIMIENTO	CANT	PRECIO UNIT	TOTAL
Mecánicos	2	70.00	S/140.00
COSTO MANTENIMIENTO ANUAL			S/1,680.00

Fuente: Elaboración propia.

Ahorro económico en bagazo

Tabla 24. Ahorro económico en bagazo.

CALDERA CON ECONOMIZADOR	TN/H	TN/D (23 HR EFECTIVAS)	PRECIO TN BAGAZO	AHORRO DIA (S/)	AHORRO MES (S/)	AHORRO AÑO (S/)
Ahorro de bagazo	1.148	24.108	S/20.00	S/482.16	S/11,571.84	S/138,862.08
INVERSIÓN TOTAL DEL PROYECTO (S/)						S/107,817.98
TIEMPO DE RETORNO DE LA INVERSIÓN (MESES)						9.32

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta una producción de bagazo de 21 horas al día, se tiene un ahorro de 24.108 tn, el precio de bagazo es de S/ 20.00, anualmente se tiene un ahorro de S/ 138,862.08 (se tiene en cuenta una molienda de 24 días al mes).

La inversión para el proyecto es de S/ 107,817.98 por lo tanto dicha inversión se recuperará en un periodo no mayor de 9 meses, con 10 días.

Análisis del proyecto con indicadores económicos VAN y TIR

Valor Actual Neto -VAN del proyecto economizador

$$VAN = -I + \sum \frac{FNE}{(1+i)^n}$$

Dónde:

$-I$ = Inversión inicial CAPEX S/ 5,600.00

FNE = Flujo neto de caja S/137,182.08

i = Tasa 15 %

n = Periodos 1 año OPEX

Con ayuda del programa Microsoft Excel, se determinó el VAN y el TIR.

Tabla 25. VAN y TIR, proyecto economizador.

INDICADORES	AÑO 0	AÑO 1
EGRESOS	S/107,817.98	S/1,680.00
INGRESOS	0	S/138,862.08
FLUJO EFECTIVO	-S/107,817.98	S/137,182.08
TASA DESCUENTO		15%
VALOR ACTUAL NETO - VAN		S/11,470.79
TASA INTERNA DE RETORNO - TIR		27%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26. Valor actual neto del proyecto economizador.

TASA DESCUENTO	VAN
3%	S/25,368.51
6%	S/21,599.08
9%	S/18,037.14
12%	S/14,666.02
15%	S/11,470.79
18%	S/8,438.02
21%	S/5,555.64
24%	S/2,812.73
27%	S/199.41
30%	-S/2,293.30
33%	-S/4,673.56
36%	-S/6,948.80



Fuente: Elaboración propia.

4.5. Se diseñó un economizador para ahorrar el consumo de bagazo en una caldera acuotubular.

Mediante esta investigación, se logró diseñar un economizador, tomando como referencia para este caso de estudio, una caldera acuotubular bagacera de 22 Tn / h de vapor, y con un consumo de bagazo como combustible de 12.61 Tn / h.

Para determinar el flujo de gases útiles para economizador, se describió el bagazo, tanto como sus características físicas y químicas, obteniendo un dato muy importante para la combustión de la caldera, que es su poder calorífico, que está relacionado directamente con la humedad del bagazo y sacarosa para este caso de estudio, se trabajó con una humedad del 50 % y sacarosa de 2.7 %, obteniendo un poder calorífico inferior de 1793.34 kcal/kg de bagazo húmedo.

Se cuantifico el flujo másico de gases, obteniendo la relación gases -combustible 5.3125 kg de gases / kg de bagazo, que, multiplicado por el flujo de combustible, se obtuvo 66990.625 kg gases / h, logrando transferir al economizador 1321763.612 kcal / h.

Se calculó la superficie de calefacción del economizador, siendo de 274.74 m², gracias a este dato, se determinó la cantidad de tubos necesarios para el equipo, donde 287 tubos se distribuirán en 22 serpentines. Se dimensionó el economizador, obteniendo una altura de 2.1 m, un ancho de 2.2 m y una longitud de 5 m.

Tabla 27. Dimensiones del economizador.

DIMENSIONES ECONOMIZADOR	
Altura	2.1 m
Ancho	2.2 m
Longitud	5 m
Tubos	287
Serpentines	22
Superficie de Calefacción	274.74 m ²

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó un análisis comparativo de la eficiencia de la caldera sin / con economizador, obteniendo un rendimiento del 65% y un consumo de bagazo de 12.61 Tn / h; un rendimiento del 72 % y una reducción en el consumo de bagazo de 11.46 Tn / h.

Con una inversión para el diseño del economizador de S/107817.98 y un costo de mantenimiento mensual de S/1680.00; se logrará un ingreso económico anual, por concepto de ahorro de bagazo de S/138862.08, por lo tanto, este proyecto resultó ser rentable para cualquier empresa azucarera que requiera implementarlo en sus calderas acuatubulares.

V. DISCUSIÓN

La caldera en estudio, tiene como combustible el bagazo, que es el residuo, generado en la extracción de la caña en el trapiche. Una de las propiedades físicas del bagazo es la humedad y depende del estado en que se encuentran los equipos de extracción, entonces la humedad del bagazo como combustible influirá directamente en su poder calorífico, en la tabla 5, se describe el poder calorífico del bagazo a diferentes humedades.

En cuanto a su composición química, la tabla 8, muestra a diferentes autores, describiendo la composición promedio base seca del bagazo, para los cálculos que se realizaron la composición según Hugot C47%, H6.5%, O44% y 2.5% de cenizas.

Para hallar el PCI, se tuvieron en cuenta valores como la sacarosa en el bagazo 2.7% y la humedad 50%, donde se obtuvo 7508.36 kJ, al quemar un kg de bagazo. Gracias al valor obtenido de la pérdida de calor en gases de salida 997.466 kJ/kg, con una temperatura de salida 160 ° C, logró cuantificar la cantidad de consumo de bagazo de la caldera, siendo 12.6 tn/h.

En el presente trabajo de investigación se confirma la idea de, Ruiz Cynthia (2012), donde menciona que, para acelerar el proceso de generación de vapor, se debe precalentar el agua de alimentación de la caldera, aprovechando los gases de salida, mediante el equipo economizador.

Partiendo de la idea expuesta, se calculó la cantidad de calor, para lograr aumentar la temperatura del agua de alimentación, siendo 1320000 kcal/h. Se realizaron los cálculos para determinar el calor de transferencia en el equipo economizador, siendo 1321763.612 kcal/h.

Es un punto a favor para la caldera, el aprovechar los gases de salida, producto de la combustión del bagazo, para nuestro caso de estudio, estos tienen una temperatura de 260 °C, estos gases que salen por la chimenea representan uno de los mayores porcentajes de pérdidas generados en la Caldera estas pérdidas están asociadas a los productos de la combustión en teoría representan alrededor de un 18%, y en calderas antiguas hasta un 28%, entonces el agua absorbe todo el calor

proporcionado por los gases elevando su temperatura de ingreso de 85 °C a 145 °C.

Esta temperatura de los gases, dependerá de las condiciones de operación del caldero y sobre todo el poder calorífico del bagazo como combustible.

Uno de los parámetros para el diseño del economizador, es la cantidad de gases de combustión, para llegar a cuantificar los gases, se determinó la relación gases / combustible, siendo 5.31 kg de gases por la quema de un kg de bagazo. Obtenida esta relación y conociendo el flujo másico de combustible 12.6 tn/h, se obtuvo 66990.625 kg de gases/h.

Para el cálculo de la superficie de calefacción del economizador, se tuvo en cuenta el coeficiente de transmisión de calor, que está directamente relacionado con la estructura del diseño, según fabricante este valor oscila entre 60 y 78 kcal kcal/h.m².°C, para este diseño se cuenta con una superficie de 274.78 m², donde será instalado el economizador contando con 287 tubos de 2" de diámetro de material ASTM 192, que serán distribuidos en 22 serpentines.

López Hugo (2017), sostiene que la importancia de instalar un economizador, ayudará a mejorar el rendimiento de la caldera; ya que en los gases de salida se pierde mucha energía calorífica.

Efectivamente concuerdo con este comentario, ya que este intercambiador de energía, captará la mayor cantidad contenida en los gases de combustión, esta energía deberá ser mayor el calor necesario para evaporar el agua a 145 °C.

La temperatura del agua de alimentación de la caldera, es muy importante en el sistema de generación, en teoría está relacionado con la cantidad de calor necesario para el calentamiento del fluido (sensible) y el cambio de fase (latente). Según la corporación Interamericana internacional por sus siglas CII, el rendimiento de la Caldera aumentará con el incremento de la temperatura de agua de alimentación, ya que se necesitará menos energía para generar vapor, cómo regla de dedo, según autores como Peter Rein, al aumentar 5 grados de temperatura de alimentación de agua a la Caldera implicará un aumento del 1% de la eficiencia de

la Caldera, para calderas antiguas de tubos curvos como la de este estudio por cada 8 grados que incrementa el agua aumentará 1% de la eficiencia de la Caldera lo cual concuerda con los cálculos efectuados.

Entonces los gases de salida disminuirán considerablemente, lo que representa menos emisiones de CO₂, al medio ambiente; contribuyendo así con mejorar la calidad del aire.

Guiot y Ramos (2018), menciona que, un parámetro importante para el diseño del economizador es caracterizar los gases de combustión, con el propósito de analizar la temperatura de entrada y salida de los gases en el economizador.

Efectivamente, se necesita saber la cantidad de energía que aportara los gases de combustión al equipo economizador, también es necesario saber cuál es flujo masico de los gases, para poder determinar la superficie de calefacción necesaria para instalar el economizador; pero para llegar a cuantificar los gases de combustión es necesario conocer la cantidad de combustible que utiliza la caldera, para este caso es el bagazo.

Obteniendo estos valores, se podrá estimar la cantidad de tubos necesarios para la confección de los serpentines que integraran el equipo economizador en la caldera.

Armijo y Salas (2018), afirma que, instalando el economizador, se reducirá el consumo de combustible para la caldera, en consecuencia, aumentará el rendimiento de la caldera.

Se calculó el rendimiento de la caldera teniendo en cuenta parámetros de operación descritos en la tabla 16. Mediante el método directo se calculó la eficiencia obteniendo un 65%. Es notable que la eficiencia del sistema caldera economizador es mayor en relación a una Caldera sin economizador, efectúa el cálculo y demuestra que aumentó la eficiencia en un 7%, logrando un rendimiento del 72%.

Gracias al economizador se consiguió 52.17 de bagazo por tonelada de agua consumida reduciendo el consumo de bagazo en un 9 a 10%, lo que significa que la eficiencia de la caldera aumentó en un 7%. Se logró consumir 11.4 tn de bagazo

por hora, lo que significa un ahorro de 24.108 tn de bagazo al día. El ahorro de bagazo, significa un ahorro económico para el ingenio, lo cual nos indica que este proyecto es viable y quedando comprobado el retorno de la inversión en no mayor a un año.

En la tabla 17, se puede observar la diferente temperatura de agua que ingresa a la caldera acuotubular, también se describe las entalpías del agua, las temperaturas de gases y el consumo de bagazo en función a la temperatura del agua y cuanto es ahorro de bagazo que se consigue.

El principal beneficio de un economizador es la importante reducción de los gastos de combustible, como resultado del mejoramiento de la eficiencia de las calderas permitiendo quemar una menor cantidad de combustible para portar el calor referido en la generación de vapor. Por otro lado, el mismo hecho de necesitar menor cantidad de combustible se puede traducir en una reducción de las emisiones contaminantes de una Caldera ya que éstas están directamente relacionadas con la cantidad de combustible que se quema en los hornos de la Caldera. Asimismo, en temas operacionales asociados al funcionamiento de la Caldera teniendo una temperatura de agua de alimentación más elevada permitirá operar una presión más estable reduciendo las fluctuaciones de presión presentes al bombear el agua de alimentación, cómo también se evitará los choques térmicos producidos cuando el agua de alimentación a Baja temperatura entra en contacto con la superficie caliente del generador de vapor.

Se determinó los gastos totales del proyecto diseño de un economizador, siendo la inversión total de S/107,817.98, como se muestra en la tabla 24, el costo del bagazo es de 20 soles, lo que cual significa un ahorro económico de S/482.16 al día, generando un ingreso económico al año de S/ 138,862.02, comparado con los gastos de inversión, el proyecto tendrá un tiempo de retorno no mayor de 9.3 meses, lo cual significa un proyecto viable y rentable para empresa.

VI. CONCLUSIONES

- Uno de los parámetros en el diseño del economizador, es el combustible de la caldera, en esta investigación se emplea el bagazo como combustible, es necesario saber sus características, con las cuales interviene en la combustión.

Por lo que se determinó sus características físicas, siendo la humedad un valor importante en el proceso de combustión, para esta investigación se realizaron los cálculos en base a una humedad del 50% y una Pol en bagazo de 2.7%.

También se determinó el poder calorífico (PCI) del bagazo con 50% de humedad, siendo 7508.36 kJ/kg. Para determinar el flujo másico de combustible en la caldera, se efectuaron cálculos para encontrar la energía transmitida al vapor por la combustión de un kilogramo de bagazo húmedo, siendo 4859.958 kJ/kg. Gracias a estos valores se pudo calcular la cantidad de bagazo consumido por la caldera, siendo 3.5 kg/seg, o 12.610 tn/h.

- Para el diseño del economizador, fue necesario calcular el flujo másico de gases de combustión, los cuales serán aprovechados para elevar la temperatura de agua en la caldera de 85 °C a 145 °C.

Se aprovecharon 66.99 tn/h de gases de combustión con una temperatura de entrada de 260 °C y salida 190.28 °C. También se calculó el calor necesario para evaporar las 22 tn/h de agua que ingresara al economizador en la caldera, siendo 5526576 kJ/h. Se determinó la cantidad de calor a transferir en el economizador, siendo 5533957.328 kJ/h, cantidad superior a la que se necesita para evaporar el agua de alimentación.

Otro parámetro importante en el diseño fue la superficie de calefacción del economizador, la cual fue de 274.78 m². También se encontró la superficie de calefacción de cada tubo. Obtenido este valor, se pudo calcular la cantidad necesaria de tubos para confección del economizador, 287 tubos.

Con un paso horizontal de 120 mm y un paso vertical de 100 mm, entre tubo y tubo, se necesitarán 22 serpentines que conformarán el equipo economizador. Por último, se obtuvieron las dimensiones del economizador, siendo estas:

altura 2.1 m, ancho 2.2 m y una longitud de 5 m, para esta longitud se aprovechará el ancho de la caldera.

- Para comprobar que en realidad el economizador sea de utilidad y provecho para el sistema de generación de vapor, se realizó un análisis comparativo entre la caldera sin economizador, versus la caldera con economizador. Se determinó primero, la eficiencia actual de la caldera, obteniendo un 65% de rendimiento, consumiendo el 100% del bagazo como combustible.

Con el economizador en la caldera la eficiencia aumentó un 7%, y se pudo ahorrar un 9.06% de bagazo, ahorrándose 1.148 de tn/h de bagazo. Con el economizador implementado se logró elevar la temperatura de agua de alimentación a la caldera, ahorrar bagazo y en consecuencia mejorar la eficiencia actual de la caldera.

- Para concluir con esta investigación se realizó una evaluación económica sobre el proyecto economizador, para determinar su viabilidad. Se mencionan todos los gastos de inversión para el proyecto; donde incluyen costos de materiales, alquiler de equipos, mano de obra para la confección y mano de obra para el montaje, por un total de S/107 817. 98. Asimismo también se mencionan los gastos de mantenimiento los cuales serán mensuales por un costo menor de S/ 1 680, donde incluyen mano de obra para el mantenimiento y limpieza del economizador.

También se calculó el ingreso económico que generaría el ahorro del bagazo, teniendo en cuenta el precio del bagazo de S/ 20.00 la tonelada, se tendrá un ahorro económico anual de S/ 138 862. 08. Gracias a los indicadores económicos VAN y TIR, se determinó que el proyecto economizado e viable, donde el retorno de inversión, será en periodo no mayor a un año, con una tasa de descuento del 15%.

- Mediante esta investigación, se logró el diseño de un economizador para una caldera acuotublar de 22 Tn / h de vapor, se realizaron los cálculos determinando una superficie de calefacción de 274.74 m², con un total de 287, distribuidos en 22 serpentines.

Con un ingreso económico de S/ por concepto de ahorro de bagazo de S/138862.08 y un costo de inversión de S/107817.98 y un costo de mantenimiento mensual de S/1680.00, se concluye mencionando que este proyecto es viable para cualquier empresa azucarera que requiera implementarlo en sus calderas acuotubulares.

VII. RECOMENDACIONES

- Este economizador de tubos lisos, puede ser repotenciado a partir de materiales con alta conductibilidad térmica, con arreglos en su superficie (tubo aletado).
- Se recomienda la simulación de esta investigación por un programa de diseño certificado.
- Se recomienda realizar los cálculos para la estructura soporte del economizador donde será instalado el economizador.
- Realizar prueba hidrostática al economizador, antes de realizar su mantenimiento programado, para constatar si hay fugas en la tubería del serpentín.

REFERENCIAS

REIN, Peter. Ingeniería de la caña de azúcar. Impreso en Alemania, 2012. 879 pp.
ISBN: 9783870401429

HOWARD, Payner. Cogeneration in the cane sugar industry. ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS B.V. Amsterdam, 1991. 329 pp.
ISBN: 0444888268

ALDERETES, Carlos. Calderas a Bagazo – Proyecto, Operación y Mantenimiento. 1.ª ed. Impreso en Argentina, 2016. 670 pp.
ISBN: 978-987-42-0250-5

HUGOT, Émile. Manual para Ingenieros Azucareros. ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS B.V. Amsterdam, 1972. 804 pp. ISBN: 9780444408969.

CENGEL, Yunes y BOLES, Michael. Termodinámica. 7.ª ed. Impreso en México, 2011. 1041 pp.
ISBN: 978-0-07-352932-5

BEHN, Arnulfo. Tratamiento de aguas para calderas [en línea]. 2002 [fecha de consulta: 04 de febrero del 2020]. Disponible en http://www.thermal.cl/docs/articulos_tecnicos/articulo_tratamiento_de_agua_en_calderas

El almacenamiento de bagazo para la industria de derivados por Rafael Zuares [et al.] Editorial Científico – Técnica, 1982. 80 pp.

MUÑOZ, Mario. Guía para determinar y reducir pérdidas de energía en generadores de vapor. CENGICAÑA, 2015. 76 pp.

FERNÁNDEZ, Pedro. Centrales térmicas [en línea]. 2008 [fecha de consulta: 06 de febrero del 2020]. Disponible en <http://libros.redsauce.net/>

KOHAN, Anthony. Manual de Calderas. Volumen I. Mc Graw Hill. Impreso en España, 2000. 420 pp.
ISBN: 84-481-2801-X

SANZ, Manuel y PATIÑO, Rosario. Manual del operador de calderas industriales. Editorial Paraninfo. Impreso en España, 2014. 352 pp. ISBN: 978-84-283-3435-8

BORROTO, Aníbal y RUBIO, Ángel. Combustión y generación de vapor. Editorial Félix Varela. Impreso en La Habana Cuba, 2009. 80 pp.
ISBN: 959-07-425-610-4

López, H. (2017). Captar energía de gases de escape mediante un economizador para mejorar el rendimiento de una caldera pirotubular de 200 BHP. (Tesis de grado). Universidad del Centro del Perú UNCP.

Chucuya, H. (2017). Ahorro de energía primaria mediante precalentamiento del aire y agua en una unidad de generación de vapor. (Artículo científico). Universidad Nacional de Santa, Chimbote Perú.

Armijo, J y Salas, C. (2016). Ahorro de energía en una caldera utilizando economizadores. (Artículo científico). Universidad Nacional de Mayor de San Marcos.

Ruiz, C. (2012). Análisis energético de caldera bagacera marca Babcock & Wilcox: propuesta de instalación de economizador. (Tesis de grado). Universidad Veracruzana.

Blanco, V y Arce, E. (2014). Economic and social evaluation of the use of bagasse to generate electricity. Nicaragua.

- Puentes, J y Landa, J. (2008). Cálculo para economizador para calderas EKE – 45/18. (Artículo científico). Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”. Cuba.
- Iglesias, J y Quilcate, L. (2021). Diseño de precalentador de aire por gases residuales para reducir el consumo de combustible en motor de combustión internavehicular. (Tesis de grado). Universidad César Vallejo – UCV. Trujillo Perú.
- Montaño, R y Guerrero. J. (2015). Diseño de un dispositivo para maximizar eficiencia en el consumo de bagazo para alimentación de un caldera. (Tesis de grado). Universidad Autónoma de Occidente, Santiago de Cali.
- Guiot, J y Ramos, D. (2018). Diseño de un economizador para una caldera de 500 BHP. (Tesis de grado). Universidad de América, Bogotá.
- Oelker, B. (2008). Economizadores. (Artículo técnico). Consultor Procesos Térmicos, Thermal Engineering Ltda.
- Díaz, F., Alvarez, H., y Chávez, A. (2017). CFD Simulation of sugarcane bagasse combustion in an industrial grate boiler. Universidad Nacional de Colombia.
- Shrivastav, S. and Hussain, I., Design of bagasse dryer to recover energy of water tube boiler in a sugar factory. International Journal of Science and Research (IJSR), 2(8), pp. 356-358, 2013.
- Sánchez-Castro, Z. and Mendieta-Menjura, O.A., Setting of a mathematical model for the sugarcane bagasse combustion in a WardCimpa chamber. Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecu., 15(2), pp. 133- 151, 2014.

Performance evaluation Of Boiler In 46mw Bagasse Based Cogeneration Power Plant. International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 13, Number 6 (2018) pp. 149-158.

Nanda Kumar R. and Nagesh Kumar L. (2015), 'Efficiency improvement in a cane sugar plant using a bagasse dryer', International Society of Sugar Cane Technologist, Vol. 24, pp. 250-252.

Soza, Jason. (2013). Evaluación tecnológica de las Calderas No 6 y No 7 y sus equipos periféricos del Ingenio Monte Rosa en el periodo de zafra 2011-2012. (Tesis de grado). Recuperado de <http://repositorio.cnu.edu.ni/Record/RepoUNI821>

Miguez, C. (2013). La eficiencia energetica en el uso de la biomasa para la generacion de energia electrica: optimizacion. (Tesis de doctorado). Recuperado de <https://eprints.ucm.es/id/eprint/17794/1/T34108.pdf>

ANEXO 1: CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLES DE ESTUDIO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
<p align="center">Variable independiente:</p> <p align="center">Diseñar un economizador para una caldera acuotubular.</p>	<p>Un economizador, es un intercambiador de calor, que logra capturar el calor perdido de los gases de salida, transmitiendo este calor para elevar la temperatura del agua para la caldera.</p>	<p>Equipo que intercambia el calor gases – agua. Este aprovecha los gases de combustión para recalentar el agua de alimentación de la caldera. Cuenta con dos circuitos, agua y gases.</p>	<p>Flujo másico de gases tn/h</p> <p>Flujo másico de combustible tn/h</p> <p>Incremento de temperatura del agua °C</p>	<p>Gases de combustión.</p> <p>Agua de alimentación.</p> <p>Aumento de temperatura del agua.</p>	<p align="center">Razón.</p>

<p>Variable dependiente:</p> <p>Ahorrar el consumo de bagazo como combustible.</p>	<p>El bagazo es un material ligno – celulósico, residuo producto de la extracción de la caña en los molinos. Es utilizado como combustible en las calderas, por su poder calorífico que posee.</p>	<p>El bagazo entra a los hogares de la caldera con una humedad en promedio del 50%, gracias a su combustión, se aprovechan los gases para la transferencia de calor por los equipos como calentadores de aire y agua.</p>	<p>Porcentaje de humedad y Pol.</p> <p>Cantidad de energía calorífica.</p> <p>Flujo másico de combustible tn/h.</p>	<p>Humedad y Pol en el bagazo.</p> <p>Poder calorífico del bagazo.</p> <p>Consumo de bagazo.</p>	<p>Razón.</p>
---	--	---	---	--	---------------

Fuente: Elaboración propia.

GUÍA DE ENTREVISTA

1. ¿Cuáles son los tipos de calderas y en que se diferencian?

2. ¿Qué es el bagazo?

3. ¿Cuál es el poder calorífico del bagazo?

4. ¿Qué es un economizador?

5. ¿Cómo funciona un economizador?

6. ¿Cuáles son los tipos de economizadores?

7. ¿Por qué es tan importante un economizador en una caldera?

8. ¿Cuáles son parámetros a tomar en cuenta para el diseño de un economizador?

9. ¿Es rentable la implementación de un economizador a la caldera?

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

CRITERIOS	INDICADORES	1	2	3	4	5
Claridad	Los ítems están redactados con lenguaje apropiado y libre de ambigüedades acorde con los sujetos muestrales					X
Objetividad	Las instrucciones y los ítems del instrumento permiten recoger la información objetiva sobre las variables.					X
Actualidad	El instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento científico, tecnológico, innovador y legal a las variables.					X
Organización	Los ítems del instrumento reflejan organicidad lógica entre la definición operacional y conceptual respecto a las variables.					X
Suficiencia	Los ítems del instrumento son suficiente en cantidad y calidad acorde con la variable, dimensiones e indicadores.				X	
Intencionalidad	Los ítems del instrumento son coherentes con el tipo de investigación y responden a los objetivos, hipótesis y variable.				X	
Consistencia	La información que se recoja a través de los ítems del instrumento, permitirá analizar, describir la investigación.					X
Coherencia	Los ítems del instrumento expresan relación con los indicadores de cada dimensión de las variables.				X	
Metodología	La relación entre la técnica y el instrumento propuesto responden al propósito y desarrollo de la investigación.					X
Pertinencia	La redacción de los ítems concuerda con la escala valoradora del instrumento.				X	

Tener en cuenta que el instrumento es válido cuando se tiene un puntaje mínimo de 41 "EXCELENTE", sin embargo; un puntaje menor al anterior se considera al instrumento no válido, ni aplicable.

PROMEDIO DE VALORACIÓN	46
------------------------	----

¿Qué observaciones y/o sugerencias haría Ud. para mejorar el instrumento de recolección de datos?

Ordenar de manera secuencial los datos,
con la intención de obtener valores importantes
para el diseño.

Le agradecemos por su colaboración en este proyecto de investigación.

Fecha de evaluación 12/03/21


DAVID ODAR PACHÉREZ
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
REG CIP 244881

Tabla, propiedades de los gases de combustión.

Propiedades físicas de los gases de combustión							
(B=1.01 x 10 ⁵ Pa; p _{CO2} = 0.13; p _{H2O} =0.11; p _{N2} =0.76)							
t °C	ρ kg/m ³	Cp kJ/kg °C	λ x 10 ² W/(m °C)	a x 10 ⁶ m ² /s	μ x 10 ⁶ 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

Fuente: Cengel, 2011

Tabla, agua saturada a diferentes temperaturas.

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

Fuente: Cengel, 2011

Tabla, vapor de agua sobrecalentado.

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
$P = 0.01 \text{ MPa (45.81}^\circ\text{C)}^*$				$P = 0.05 \text{ MPa (81.32}^\circ\text{C)}$				$P = 0.10 \text{ MPa (99.61}^\circ\text{C)}$				
Sat. [†]	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

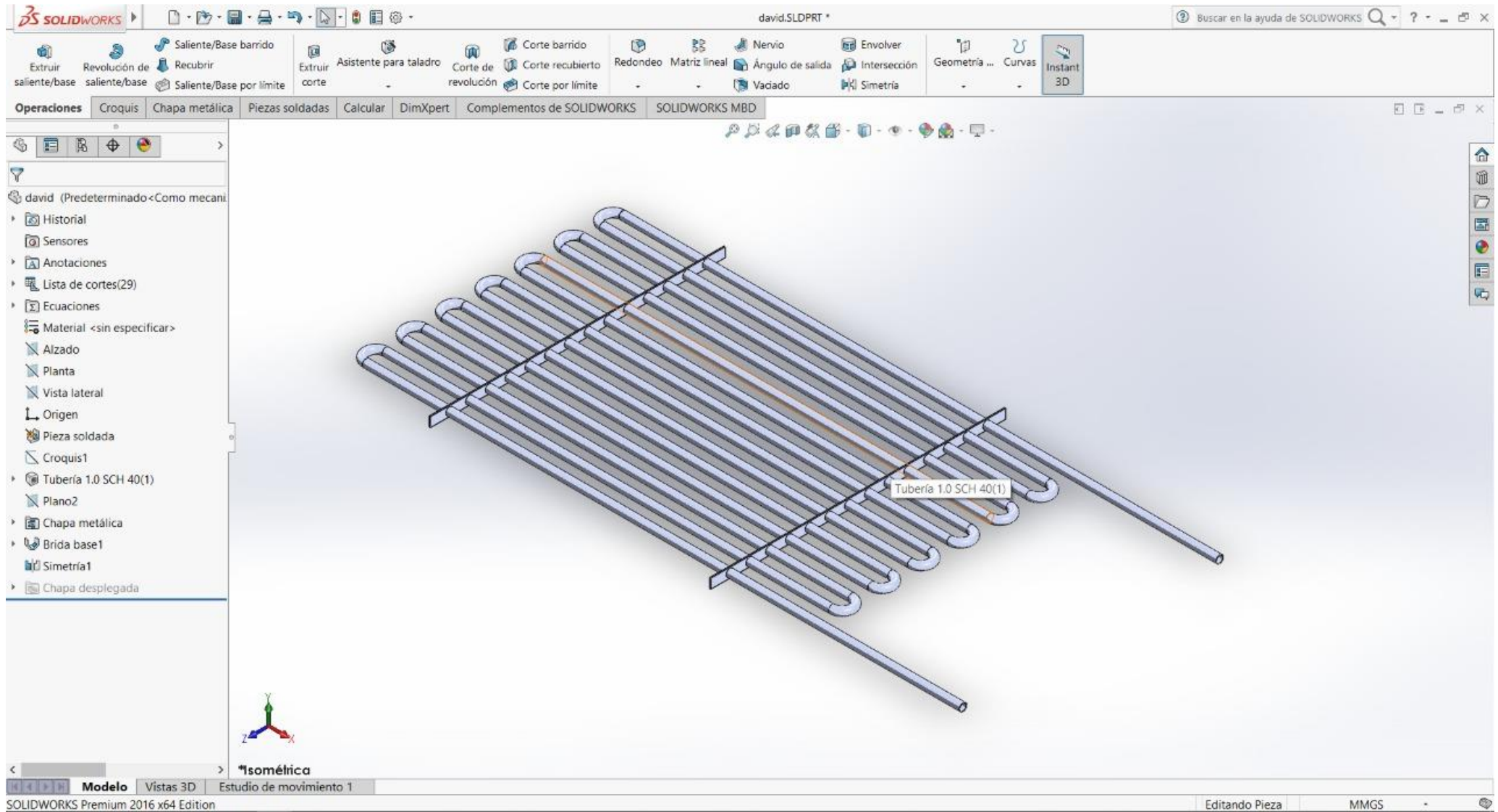
Fuente: Cengel, 2011

Tabla, composición química y características de las tuberías para calderas.

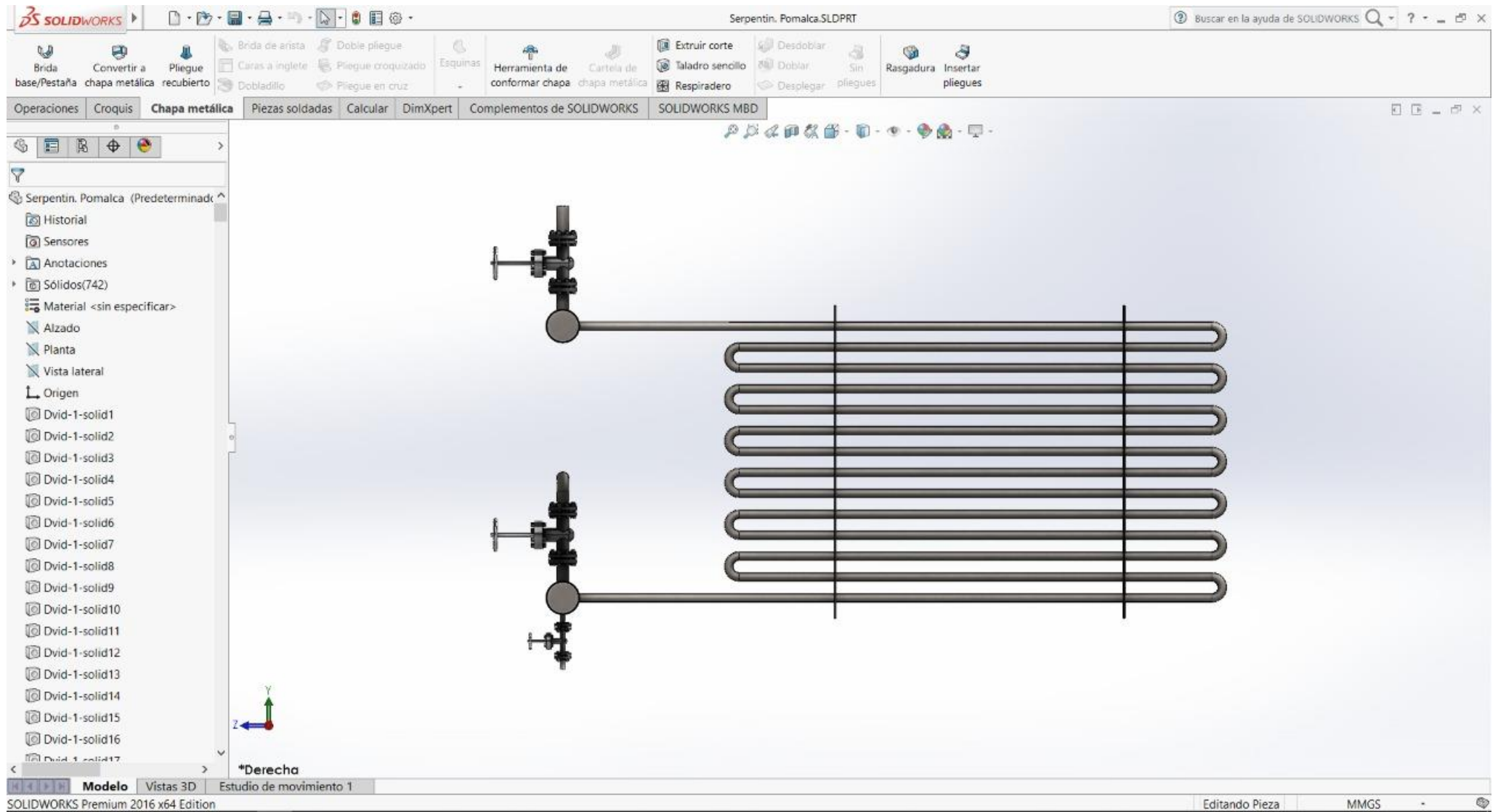
Calidades Grades	Composición química en % <i>Chemical requirements in %</i>										Características mecánicas <i>Tensile requirements</i>				
	C	Mn	P máx	S máx	Si	Cr máx.	Mo máx.	NI	AL máx.	Otros <i>Others</i>	Resist.N/mm ² T.S. (ksi)	Lim. Elast. N/mm ² Y.S. (ksi)	A (%) Elong %	Otras Notes	
ASTM											mín.	mín.	(1)	Máx.	
A 106	Gr. A	≤ 0.25	0.27 - 0.93	0.025	0.035	0.10 mín.	0.40	0.15	≤ 0.40		Cu. ≤ 0.40 V: ≤ 0.08	330 - 48	205 - 30	35	
	Gr. B	≤ 0.30	0.29 - 1.06	0.025	0.035	0.10 mín.	0.40	0.15	≤ 0.40			415 - 60	240 - 35	30	
	Gr. C	≤ 0.35	0.29 - 1.06	0.025	0.035	0.10 mín.	0.40	0.15	≤ 0.40			485 - 70	275 - 40	30	
A 161	L C	0.10 - 0.20	0.30 - 0.80	0.048	0.058	0.25 máx.					342 - 47	179 - 26	35		
	T 1	0.10 - 0.20	0.30 - 0.80	0.045	0.045	0.10 - 0.50		0.44 - 0.65			379 - 55	207 - 30	30		
A 179	179	0.06 - 0.18	0.27 - 0.63	0.048	0.058						325 - 47	180 - 26	35	72 Hr B	
A 192	192	0.06 - 0.18	0.27 - 0.63	0.048	0.058	0.25 máx.					325 - 47	180 - 26	35	77 Hr B	
A 209	T1	0.10 - 0.20	0.30 - 0.80	0.025	0.025	0.10 - 0.50		0.44 - 0.65			380 - 55	205 - 30			
A 209	T1 a	0.15 - 0.25	0.30 - 0.80	0.025	0.025	0.10 - 0.50		0.44 - 0.65			415 - 60	220 - 32	30		
A 209	T 1 b	≤ 0.14	0.30 - 0.80	0.025	0.025	0.10 - 0.50		0.44 - 0.65			365 - 53	195 - 28			
A 210	Gr. A1	≤ 0.27	≤ 0.93	0.035	0.035	0.10 mín.					415 - 60	255 - 37	30	79 Hr B	
	Gr. C	≤ 0.35	0.29 - 1.06	0.035	0.035	0.10 mín.					485 - 70	275 - 40	30	89 Hr B	
A 333	Gr. 1	0.30	0.40 - 1.06	0.025	0.025						380 - 55	205 - 30	35		
	Gr. 6	0.30	0.24 - 1.06	0.025	0.025	0.10 mín.					415 - 60	240 - 35	30		
A 335	P 1	0.10 - 0.20	0.30 - 0.80	0.025	0.025	0.10 - 0.50		0.44 - 0.65			380 - 55	205 - 30	30		
A 213	T 2	0.10 - 0.20	0.30 - 0.61	0.025	0.025	0.10 - 0.30	0.50 - 0.81	0.44 - 0.65			415 - 60	205 - 30	30	85 Hr B	
A 335	P 2										380 - 55	205 - 30	30		
A 213	T 5	≤ 0.15	0.30 - 0.60	0.025	0.025	0.50 máx.	4.00 - 6.00	0.45 - 0.65			415 - 60	205 - 30	30	85 Hr B	
A 335	P 5										415 - 60	205 - 30	30		
A 213	T 9	≤ 0.15	0.20 - 0.60	0.025	0.025	0.25 - 1.00	8.00 - 10.00	0.90 - 1.10			415 - 60	205 - 30	30	89 Hr B	
A 335	P 9										415 - 60	205 - 30	30		
A 213	T 11	0.05 - 0.15	0.30 - 0.60	0.025	0.025	0.50 - 1.00	1.00 - 1.50	0.44 - 0.65			415 - 60	205 - 30	30	85 Hr B	
A 335	P 11										415 - 60	205 - 30	30		

Fuente: OCTAL, 2010

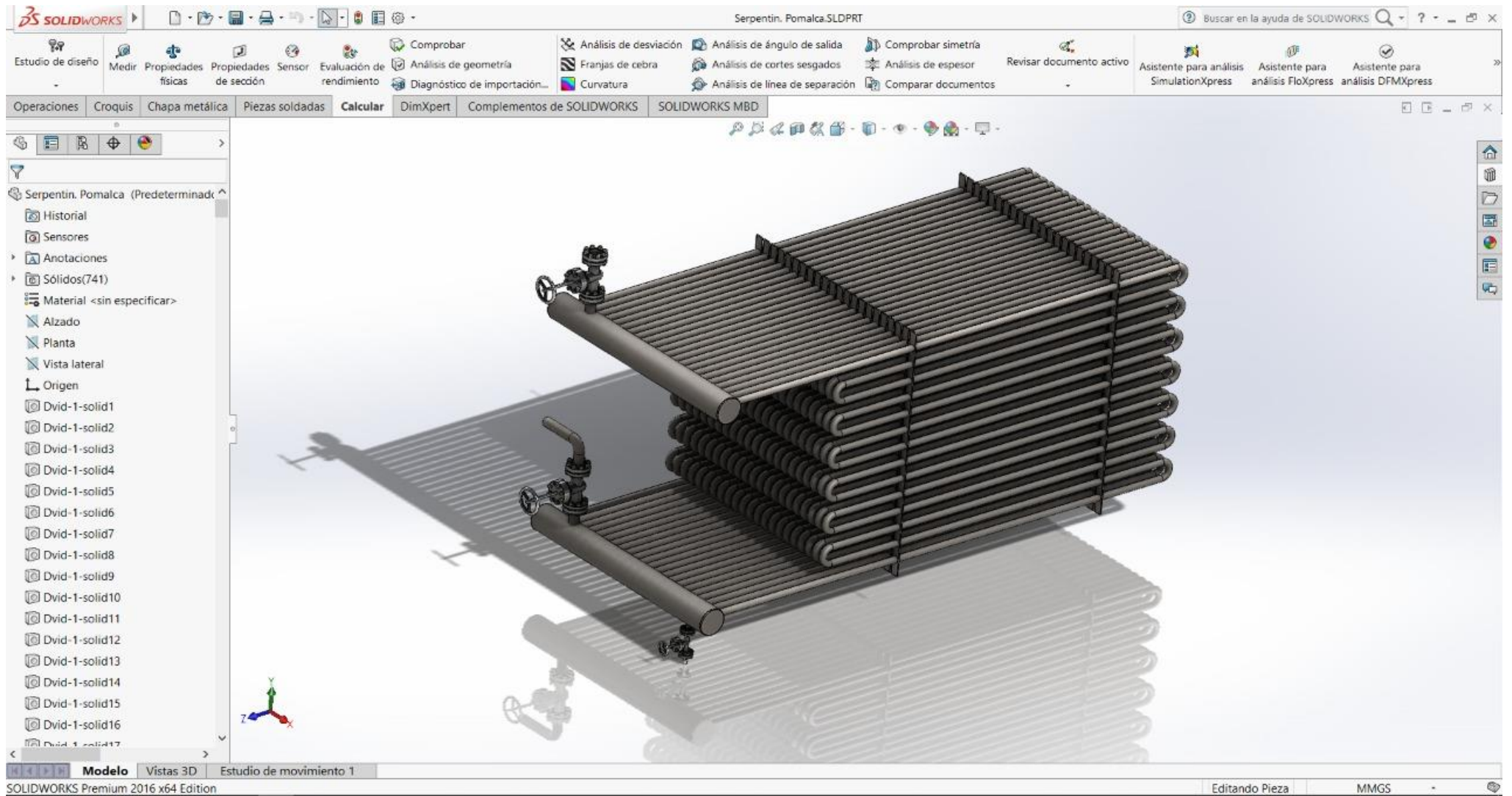
Diseño del serpentín, para economizador (Vista Isométrica).



Vista lateral de serpentines y colectores.



Ensamble del economiza



Análisis económico – Microsoft Excel

ANALISIS ECONOMICO.xlsx - Excel david odar pacherez

Archivo Inicio Insertar Disposición de página Fórmulas Datos Revisar Vista Programador Ayuda Nitro Pro ¿Qué desea hacer? Compartir

Calibri 11 Ajustar texto General

Formato condicional Dar formato como tabla Estilos de celda

Insertar Eliminar Formato

Ordenar y filtrar Buscar y seleccionar Edición

N27

CALDERA CON ECONOMIZADOR	TN/H	TN/D (23 HR EFECTIVAS)	PRECIO TN BAGAZO	AHORRO DIA (S/)	AHORRO MES (S/)	AHORRO AÑO (S/)	TASA DESCUENTO	VAN	
Ahorro de bagazo	1.148	24.108	S/20.00	S/482.16	S/11,571.84	S/138,862.08	3%	S/25,368.51	
INVERSIÓN TOTAL DEL PROYECTO (S/)							S/107,817.98	6%	S/21,599.08
TIEMPO DE RETORNO DE LA INVERSIÓN (MESES)							9.32	9%	S/18,037.14
TIEMPO DE RETORNO DE LA INVERSIÓN (AÑOS)							0.78	12%	S/14,666.02
							15%	S/11,470.79	
							18%	S/8,438.02	
							21%	S/5,555.64	
							24%	S/2,812.73	
							27%	S/199.41	
							30%	-S/2,293.30	
							33%	-S/4,673.56	
							36%	-S/6,948.80	

INDICADORES	AÑO 0	AÑO 1
EGRESOS	S/107,817.98	S/1,680.00
INGRESOS	0	S/138,862.08
FLUJO EFECTIVO	-S/107,817.98	S/137,182.08
TASA DESCUENTO		15%
VALOR ACTUAL NETO - VAN		S/11,470.79
TASA INTERNA DE RETORNO - TIR		27%

ANALISIS ECONOMICO

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, **JAMES SKINNER CELADA PADILLA**, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura y Escuela Profesional de **Ingeniería Mecánica Eléctrica** de la **UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - CHICLAYO**, asesor de Tesis titulada:


“DISEÑO DE UN ECONOMIZADOR PARA AHORRAR EL CONSUMO DE BAGAZO EN UNA CALDERA ACUOTUBULAR, EN UNA EAI EN LAMBAYEQUE”

Del autor es **PEDRO YVÁN ZEÑA ASENJO**, constato que la investigación cumple con el índice de similitud de **21%** 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, 26 de setiembre del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor: CELADA PADILLA JAMES SKINNER	
DNI 16782335	Firma 
ORCID 0000-0002-5901-2669	