



**UPA** Universidad  
Politécnica Amazónica

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**TESIS**

**Diseño de un sistema de recuperación de calor residual en la caldera para generación de energía eléctrica en la empresa Agroindustrial Molinera Chavo S.A.C. -Amazonas**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO MECÁNICO**

**Autor: Bach. Ramirez Santos, Leodan**  
<https://orcid.org/0009-0008-6897-9696>

**Asesor: Mg. Ing. Periche Chunga, Emilio**  
<https://orcid.org/0009-0004-4926-9366>

**Registro: UPA-PITIM0027**

**Bagua Grande – Perú**

**2023**

## **Dedicatoria**

A Dios supremo todo poderoso, por llenar esos vacíos a través de fuerzas y salud para continuar con la lucha de superarme a mí mismo. Por otro lado, a mi abuelito Felix Fermin, por guiarme desde el cielo durante este proceso para cumplir mis planes de crecimiento profesional, por inculcarme grandes valores durante mi etapa de desarrollo humano para comportarme y ser una persona de bien, por sus consejos y vivencias para nunca rendirme ante las adversidades de la vida resaltando el gran poder de la decisión.

Leodan.

## **Agradecimiento**

Al gerente general, Gustavo Díaz Guevara por brindarme el apoyo de llevar a cabo mi investigación en su distinguida empresa Agroindustrial Molinera Chavo S.A.C. a mis compañeros de trabajo Daniel Campos, Pepe Alvarado y Richard Rentería, por sus conocimientos constructivos y a la plana docente de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Amazónica por sus enseñanzas durante mi etapa de formación profesional y al Programa Beca 18 por la oportunidad de lograr ser un profesional.

El Autor.

## **Autoridades universitarias**

Rector : Dr. Ever Salome Lázaro Bazán  
Coordinador de escuela : Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez

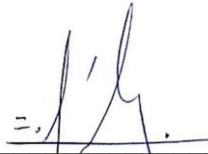
## Jurado evaluador



---

Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez

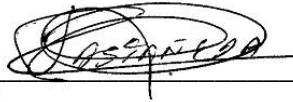
Presidente



---

Dr. Ever Salomé Lázaro Bazán

Secretario



---

Mg. Ing. Juan José Castañeda León

Vocal

### **Visto bueno del asesor**

Yo, Mg. Ing. Emilio Periche Chunga, docente de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Politécnica Amazónica, dejo constancia de haber asesorado al Tesista Bach. Leodan Ramirez Santos, en su tesis titulada “Diseño de un sistema de recuperación de calor residual en la caldera para generación de energía eléctrica en la empresa Agroindustrial Molinera Chavo S.A.C.-Amazonas”. Asimismo, dejo constancia que se ha levantado las observaciones señaladas en las revisiones previas a esta presentación.

Por lo indicado, doy fe y visto bueno.

Bagua Grande, 13 de octubre de 2023.



Emilio Periche Chunga  
ING. MECÁNICO ELÉCTRICO  
CIP. N° 47482

## Declaración jurada de no plagio

Yo, Leodan Ramirez Santos, identificado con DNI 75695633, egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Politécnica Amazónica.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy autor de la Tesis titulada: “Diseño de un sistema de recuperación de calor residual en la caldera para generación de energía eléctrica en la empresa Agroindustrial Molinera Chavo S.A.C.-Amazonas”.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra los derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.
6. Se ha respetado las consideraciones éticas en la investigación.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo toda la responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como los derechos sobre la obra y/o invención presentada. Asimismo, por la presente me comprometo a asumir todas las cargas pecuniarias que pudiera derivarse para la Universidad Politécnica Amazónica en favor de terceros por motivos de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del cumplimiento de lo declarado, y que encontraren causa en el contenido de la tesis.

De identificarse fraude, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias o sanciones civiles y penales que de mi acción deriven.

Bagua Grande, 13 de octubre de 2023.



---

Bach. Leodan Ramirez Santos

DNI 75695633

## Resultado del análisis

Archivo: Informe Leodán Ramirez Santos.docx

### Estadísticas



**Sospechosas en Internet: 9,83%**

Porcentaje del texto con expresiones en internet [Δ](#).

**Sospechas confirmadas: 8,06%**

Confirmada existencia de los tramos en las direcciones encontradas [Δ](#).

**Texto analizado: 75,02%**

Porcentaje del texto analizado efectivamente (no se analizan las frases cortas, caracteres especiales, texto roto).

**Éxito del análisis: 100%**

Porcentaje de éxito de la investigación, indica la calidad del análisis, cuanto más alto mejor.

### Direcciones más relevantes encontrados:

#### Dirección (URL)

<https://es.lambdageeks.com/exhaust-gas-velocity/>

<https://1library.co/document/zpx4k2vq-diseno-de-un-sistema-de-recuperacion-de-calor-de-los-gases-de-combustion-para-la-empresa-lavaozono-s-a-s.html>

[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/USSS\\_f663d13bfcc22f3c491b86345e95d6cb/Details](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/USSS_f663d13bfcc22f3c491b86345e95d6cb/Details)

[https://www.academia.edu/43528022/CICLOS\\_DE\\_POTENCIA\\_DE\\_VAPOR\\_Y\\_COMBINADOS](https://www.academia.edu/43528022/CICLOS_DE_POTENCIA_DE_VAPOR_Y_COMBINADOS)

<https://pdfcoffee.com/problemario-transferencia-de-calor-4-pdf-free.html>

[https://www.academia.edu/32666242/AN%C3%81LISIS\\_EXERG%C3%89TICO\\_DE\\_UNA\\_PLANTA\\_DE\\_COGENERACI%C3%93N\\_OPERANDO\\_BAJO\\_CICLO\\_COMBINADO\\_Exergy\\_analysis\\_of\\_c](https://www.academia.edu/32666242/AN%C3%81LISIS_EXERG%C3%89TICO_DE_UNA_PLANTA_DE_COGENERACI%C3%93N_OPERANDO_BAJO_CICLO_COMBINADO_Exergy_analysis_of_c)

### Texto analizado:

51435-150495

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

TESIS

Diseño de un sistema de recuperación de calor residual en la caldera para generación de energía eléctrica en la empresa Agroindustrial Molinera Chavo S.A.C. -Amazonas

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO

MECÁNICO

Autor: Bach. Ramirez Santos Leodan

ORCID: 0009-0008-6897-9696

Asesor: MSc. Ing. Emilio Periche Chunga

ORCID: 0009-0004-4926-9366

Registro: UPA-PITIM0027

Bagua Grande Perú

2023

00

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

TESIS

Diseño de un sistema de recuperación de calor residual en la caldera para generación de energía eléctrica en la empresa Agroindustrial Molinera Chavo S.A.C. -Amazonas

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO

MECÁNICO

Autor: Bach. Ramirez Santos Leodan

ORCID: 0009-0008-6897-9696

Asesor: MSc. Ing. Emilio Periche Chunga

ORCID: 0009-0004-4926-9366



## Índice

Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Autoridades universitarias.....	iv
Visto bueno del asesor.....	vi
Declaración jurada de no plagio.....	vii
Índice.....	ix
Índice de tablas.....	xii
Índice de figuras .....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT .....	xvi
I.Introducción .....	1
1.1. Realidad problemática .....	1
1.2. Formulación del problema.....	2
1.3. Justificación .....	2
1.3.1. Justificación científica.....	2
1.3.2. Justificación tecnológica .....	2
1.3.3. Justificación económica .....	2
1.4. Hipótesis .....	3
1.5. Objetivos.....	3
1.5.1. Objetivo general .....	3
1.5.2. Objetivos específicos.....	3
II. Marco teórico .....	4
2.1. Antecedentes de la investigación.....	4
2.1.1. Internacionales .....	4
2.1.2. Nacionales .....	5
2.1.3. Regional y local.....	5
2.2. Bases teóricas .....	5

2.2.1.	Ciclo Rankine .....	5
2.2.2.	Análisis de energía del ciclo Rankine. ....	6
2.2.3.	Caldera de recuperación .....	8
2.2.4.	Calor residual .....	8
2.2.5.	Economizador.....	9
2.2.6.	Caldera .....	10
2.2.7.	Generación de energía eléctrica por energía térmica .....	10
2.2.8.	Turbina de vapor .....	10
2.3.	Definición de términos .....	11
III.	Materiales y métodos .....	12
3.1.	Diseño de investigación.....	12
3.2.	Población, muestra y muestreo .....	12
3.3.	Determinación de las variables.....	12
3.4.	Fuentes de información .....	13
3.5.	Métodos .....	13
3.6.	Técnicas e instrumentos.....	13
3.7.	Procedimiento .....	14
3.8.	Análisis estadístico .....	14
3.9.	Consideraciones éticas.....	14
IV.	Resultados .....	15
4.1.	Cuantificación de la cantidad de energía que se puede recuperar de la caldera para generación de energía eléctrica en la empresa Agroindustrial Molinera Chavo S.A.C. ....	15
4.2.	Dimensionamiento de los componentes del sistema de recuperación de calor residual en la caldera para generación de energía eléctrica de la empresa Agroindustrial Molinera Chavo S.A.C.....	20
4.3.	Evaluación económicamente del sistema de recuperación de calor residual en la caldera para generación de energía eléctrica en la empresa Agroindustrial Molinera Chavo S.A.C. ....	29

4.3.1	Costo Nivelado de Generación de Electricidad.....	31
4.3.2	Indicadores económicos .....	33
V.	Discusión.....	35
	Conclusiones .....	37
	Recomendaciones.....	38
	Referencias bibliográficas .....	39
	Anexos.....	43

## Índice de tablas

Tabla 1 Temperatura de los gases de escape de la caldera en la empresa Agroindustrial Molinera Chavo S.A.C para el 2021 .....	15
Tabla 2 Estadísticos de temperatura de los gases de escape en la caldera de la empresa Agroindustrial Molinera Chavo S.A.C para el 2021 .....	15
Tabla 3 Velocidad de los gases de escape .....	16
Tabla 4 Temperatura convertida a grados kelvin. ....	17
Tabla 5 Valores aplicados para el resultado de la densidad de los gases de escape. ....	17
Tabla 6 Cálculo de densidad según temperatura .....	17
Tabla 7 Flujo másico de los gases de escape para las densidades.....	18
Tabla 8 Tasa de cambio de energía teórica recuperada de los gases de escape. ....	19
Tabla 9 Calor teórico recuperado de los gases de escape de la caldera .....	19
Tabla 10 Potencia del calor que se puede recuperar de los gases de escape con una diferencia de temperatura de 180 °C a 120 °C.....	20
Tabla 11 Cantidad de tubos por fase en un intercambiador de calor de tubos coraza .....	21
Tabla 12 Área de tubo de ¾ pulgada.....	21
Tabla 13 Área de 62 tubos de ¾ de pulgada dentro de la tubería de 10 pulgadas. ....	21
Tabla 14 Área de tubería de 10 pulgadas .....	22
Tabla 15 Diámetro de área real para gases de escape, .....	22
Tabla 16 Velocidad de gases de escape. ....	23
Tabla 17 Número de Reynolds para gases de escape y agua .....	24
Tabla 18 Número de Nusselt para ambos fluidos .....	24
Tabla 19 Coeficiente de transferencia de calor por convección.....	25
Tabla 20 Resistencia térmica total .....	25
Tabla 21 Coeficiente global de transferencia de calor .....	26
Tabla 22 Equivalencias en la referencia de temperatura.....	27
Tabla 23 Diferencia de temperatura media logarítmica .....	27
Tabla 24 Calor recuperado por un tubo en el intercambiador de calor .....	28
Tabla 25 Calor recuperado por los 62 tubos .....	28
Tabla 26 Características técnicas de la turbina 1 kW-QLD .....	29
Tabla 27 Costo del material para intercambiador de calor.....	29
Tabla 28 Presupuesto referencial intercambiador de calor y turbina .....	30

Tabla 29 Cálculos del costo anual de la cascarilla de arroz como combustible.....	31
Tabla 30 Resultados de cálculo del LCOE.....	32
Tabla 31 Resultados de cálculo de indicadores económicos.....	34

## Índice de figuras

Figura 1 Ciclo Rankine básico .....	6
Figura 2 Análisis de energía del ciclo Rankine.....	7
Figura 3 Ejemplo de diagrama Sankey .....	9
Figura 4 Diseño de investigación descriptiva con propuesta .....	12
Figura 5 Procedimiento propuesto para desarrollar la investigación .....	14
Figura 6 Esquema de entradas y salidas de la caldera.....	20
Figura 7 Área referencial de los gases de escape .....	22
Figura 8 Configuración de temperaturas en intercambiador contraflujo para DTML. ....	26

## RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo diseñar un sistema de recuperación de calor residual en la caldera para generación de energía eléctrica en la empresa Agroindustrial Molinera Chavo S.A.C.-Amazonas. El diseño de investigación fue descriptiva con propuesta, no experimental, para el desarrollo de esta investigación se determinaron los parámetros de temperatura de los gases de escape para los que se encontró en un intervalo de 234 °C y 182° C, logrando obtener para la mayor temperatura 21.38 GJ y para la menor de 17.89 GJ; considerando la restricción de la temperatura de salida de los gases en 120 °C la energía cuantificada que se puede recuperar llega a ser de 7.01 kJ y de 163.60 kJ/s. Se dimensionó los componentes del sistema de recuperación de calor residual en la caldera para generación de energía eléctrica, el intercambiador de calor tiene una longitud de 8 m se diseñó teniendo en cuenta el diámetro de 10 pulgadas de la tubería utilizado para la chimenea de la caldera y de acuerdo cálculos y diseño de componentes como tuberías se puede recuperar 1.63 kW; y el conjunto de turbina de vapor se determinó para una potencia de 1 kW y con un voltaje de generación de 380 V. Por último se evaluó económicamente el sistema de recuperación de calor residual en la caldera para generación de energía eléctrica, se ha calculado el LCOE de generación de electricidad utilizando una tasa de descuento del 10% resultado un LCOE de 2.288 S/./kWh. El proyecto resultó no rentable, considerando tasas de interés para el VAN del 12 y 10%, evaluando para una tasa de interés para el VAN del 6%, el VAN resulta positivo S/. 17575.82, y el TIR 10 %, y se hace rentable al mediano y largo plazo, tiempo de recuperación 12.04 años.

**Palabras clave:** Diseño, sistema de recuperación, calor residual, caldera, generación, energía eléctrica

## ABSTRACT

The objective of this research was to design a waste heat recovery system in the boiler for the generation of electrical energy in the company Agroindustrial Molinera Chavo S.A.C.- Amazonas. The research design was descriptive with a proposal, not experimental, for the development of this research, the temperature parameters of the exhaust gases were determined for which they were found in an interval of 234 °C and 182 °C, obtaining for the highest temperature 21.38 GJ and for the lowest 17.89 GJ; Considering the restriction of the gas outlet temperature at 120 °C, the quantified energy that can be recovered reaches 7.01 kJ and 163.60 kJ/s. The components of the waste heat recovery system in the boiler were sized for electric power generation, the heat exchanger has a length of 8 m and was designed taking into account the 10-inch diameter of the pipe used for the boiler chimney and according to calculations and design of components such as pipes, 1.63 kW can be recovered; and the steam turbine assembly is required for a power of 1 kW and with a generation voltage of 380 V. Finally, the waste heat recovery system in the boiler for electric power generation was economically evaluated, the LCOE of electricity generation using a 10% discount rate results in an LCOE of 2.288 S/./kWh. The project turned out to be unprofitable, considering interest rates for the NPV of 12 and 10%, evaluating for an interest rate for the NPV of 6%, the NPV is positive S/. 17575.82, and the IRR 10%, and it becomes profitable in the medium and long term, recovery time 12.04 years.

**Keywords:** Electric power generation, steam turbine, heat exchanger.



## I. Introducción

### 1.1. Realidad problemática

En el mundo en el sector industrial los sistemas de generación de calor más utilizados son las calderas, éstas queman combustibles sólidos o líquidos y generan calor arrojando al ambiente los gases de dicha combustión lo que aún tienen una temperatura aprovechable para el recupero de calor en la caldera de una empresa, por lo que se requiere de un intercambiador de calor de gases y agua, que recoge los gases procedentes de la combustión, el calor captado es utilizado para calentar el agua de alimentación a la caldera, o generará energía eléctrica como cogeneración, básicamente la recuperación de calor en las calderas implica una disminución de la temperatura de los gases de combustión tomando este gradiente de temperatura para generar energía eléctrica o térmica que se pueda aprovechar en la industria, el no tener éste concepto claro determina que la caldera no sea tan eficiente como se quisiera (Diaz et al., 2019).

El potencial social y económico que tiene una nación está relacionado con la reserva energética que tienen y su manera de explotación porque ésta puede generar impactos ambientales negativos sobre todo para la generación de energía térmica en la industria, una caldera tiene la capacidad de generar energía a partir de la combustión de combustibles sólidos o líquidos pero el escape de los gases de combustión lleva consigo energía térmica no utilizada lo que causa una opción en las industrias para generar energía mediante la recuperación de calor en éstos gases y así hacer más eficiente a la caldera al producir más energía con la misma porción de combustible (Caetano et al., 2020)

El punto donde se puede recuperar el calor en la caldera es la chimenea ya que cada porción de gas que sale del proceso de combustión sale por ella a una temperatura superior a la del ambiente lo que implica en si una pérdida de energía térmica, esto se puede evidenciar en cualquier situación si cualquier persona puede observar físicamente como trabaja una caldera y siente el calor que emiten los gases de escape así se puede dar una idea de la cantidad de energía térmica que contienen los gases de escape que suben por el tiro de la chimenea causándole al empresario un costo que podría reutilizar (Vapormat, 2022).

La caldera a vapor de la empresa Agroindustrial Molinera Chavo S.A.C genera energía térmica con la cual se logra convertir el agua en vapor para llevar calor al proceso de arroz parboiled por medio de la quema de cascarilla de arroz, la planta tiene la disposición de generar energía térmica durante todo su proceso y con esto elimina los gases de combustión a la atmósfera durante todo el día, como consecuencia elimina calor en los gases de escape no

teniendo un sistema de recuperación de calor que permita aprovechar al máximo el calor generado por la combustión de la cascarilla de arroz.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Se podrá diseñar un sistema de recuperación de calor residual en la caldera para generación de energía eléctrica en la empresa Agroindustrial Molinera Chavo S.A.C.- Amazonas?

## **1.3. Justificación**

### **1.3.1. Justificación científica**

Se da en la medida que se generó un nuevo conocimiento partiendo de la hipótesis donde se propone diseñar un sistema de recuperación de calor residual en la caldera para generación de energía eléctrica en la empresa Agroindustrial Molinera Chavo S.A.C. y comprobando dicha hipótesis lo que implica la aplicación del método científico y generar un nuevo conocimiento en energía térmica y eléctrica.

### **1.3.2. Justificación tecnológica**

La justificación tecnológica se da debido a que se diseñó un sistema de recuperación de calor residual en la caldera para generación de energía eléctrica en la empresa Agroindustrial Molinera Chavo S.A.C., ésta tecnología es utilizada en el medio industrial para generar calor, pero la innovación se da en que se refirió el diseño a las necesidades de la empresa para disminuir el consumo de energía eléctrica que se toma de la red y así aprovechar aún más la combustión desarrollada en la caldera.

### **1.3.3. Justificación económica**

La justificación económica se da debido a que el desarrollo de la investigación se tiene una evaluación económica que determina el sistema como factible ya que se genera electricidad para poder aprovecharla en la empresa Agroindustrial Molinera Chavo S.A.C. y así se reducirá el gasto de electricidad que vende la concesionaria de la zona y con su ejecución se lograría aumentar la utilidad de la empresa.

#### **1.4. Hipótesis**

Se puede diseñar un sistema de recuperación de calor residual en la caldera para generación de energía eléctrica en la empresa Agroindustrial Molinera Chavo S.A.C.- Amazonas.

#### **1.5. Objetivos**

##### **1.5.1. Objetivo general**

Diseñar un sistema de recuperación de calor residual en la caldera para generación de energía eléctrica en la empresa Agroindustrial Molinera Chavo S.A.C.-Amazonas.

##### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Cuantificar la cantidad de energía que se puede recuperar de la caldera para generación de energía eléctrica en la empresa Agroindustrial Molinera Chavo S.A.C.
- Dimensionar los componentes del sistema de recuperación de calor residual en la caldera para generación de energía eléctrica de la empresa Agroindustrial Molinera Chavo S.A.C.
- Evaluar económicamente el sistema de recuperación de calor residual en la caldera para generación de energía eléctrica en la empresa Agroindustrial Molinera Chavo S.A.C.

## II. Marco teórico

### 2.1. Antecedentes de la investigación

#### 2.1.1. Internacionales

Palacios (2022) en su investigación “Simulación y diseño de un recuperador de calor a partir de un prototipo para generación eléctrica que funciona con biocombustible”, se realizó un análisis reológico de la mezcla de biocombustible para determinar la temperatura a la cual la condición de viscosidad se asemeja a la del diésel; además, con ayuda de un prototipo de intercambiador de calor se midieron las temperaturas de entrada y salida del fluido térmico. Durante la experimentación se modificó la carga de trabajo del generador, la dirección de flujo y el fluido térmico. Mediante cálculos se definieron las mejores condiciones de diseño del intercambiador de calor, el cual fue comparado con los resultados obtenidos en el simulador DWSIN. La viscosidad deseada del biocombustible se alcanza a una temperatura de 45 °C, para lo cual se determina la utilización de un intercambiador de calor de tipo tubo y carcasa con configuración BEU, de una longitud de 1.8 m y un área de transferencia de calor de 1.02 m<sup>2</sup>, para un coeficiente global de transferencia de calor de 0.042 W/m<sup>2</sup> °C.

Sanchez (2021) en su investigación “Optimización térmica y económica de un ciclo Rankine orgánico que aprovecha el calor residual de los motores de combustión interna” realizado en Colombia, cuyo objetivo fue desarrollar un modelo matemático para evaluar y optimizar el desempeño termodinámico y económico de la recuperación de calor en motores diésel por medio de ciclos orgánicos Rankine (ORC), en sus conclusiones menciona que se consideraron 22 fluidos de trabajo y se realizó un análisis termodinámico resultando que el tolueno alcanza una eficiencia de 21.85%, lo que representa una potencia neta de 3.6 kW y una producción de energía de 27 MWh/año adicional para la planta de generación, además de aumentar la eficiencia eléctrica del motor en un 3.22%. Seguido por el benceno, con una eficiencia de 21.27%, una potencia de 3.5 kW y una producción de energía de 26.34 MWh/año y un aumento en la eficiencia de 3.14%. Se determinó que económicamente el fluido más viable es el benceno con un punto de equilibrio de 6.54 años ahorrando 4041 USD/año, pero ambientalmente el tolueno es de mejor beneficio ya que emite 25.77 tCO<sub>2</sub>/año equivalente a la reducción de un 10.11% de las emisiones del motor diésel.

Patiño et al. (2021) en su artículo “Análisis exergético de una planta de cogeneración operando bajo ciclo combinado”, tiene como objetivo realizar el análisis exergético a una planta de generación de electricidad y calor a partir de la producción de vapor operando bajo un ciclo combinado, en ésta concluye que los balances y eficiencia exergética de los dispositivos para

conocer los lugares donde se presentan las mayores irreversibilidades. Según el análisis que realizaron se muestra que la disposición de los elementos de la planta es adecuada, debido a que la eficiencia exergética es del 53%, aunque se revela que la cámara de combustión es el elemento de mayor ineficiencia teniendo un 76% de destrucción de exergía, mientras que en los otros elementos se destruye el 18% para el HRSG (heat recovery steam generator), en un 4% para el compresor y en el resto de elementos el 2% restante.

### **2.1.2. Nacionales**

Rodríguez (2019) en su investigación “Diseño de un sistema de cogeneración asociado a la central de generación eléctrica del bloque 18 de Petroamazonas EP”, cuyo objetivo fue realizar un análisis técnico – económico del aprovechamiento de la energía térmica en los gases de escape de las unidades a crudo Wartsila W16V32 de la Planta de Generación (PGE) del bloque 18 de Petroamazonas EP, para producir vapor para accionamiento de una turbina de vapor acoplada a un generador eléctrico, se determinó que utilizando una turbina de vapor en la chimenea de las 3 unidades Wartsila W16V32 se logrará un incremento de la eficiencia térmica del combustible en un 45% a 50%, éstas adiciones al sistema del bloque 18 de Petroamazonas permite generar una promedio de 1108.764 kWh/año sin quemar combustible adicional, como seguridad se debe tener en cuenta que la temperatura en los gases de escape no sea inferior a la temperatura de punto de rocío para evitar la corrosión en los equipos, la evaluación económica se realizó a una tasa de descuento del 5.43% teniendo con esto indicadores VAN de \$ 1 493 350.92 y un TIR de 32.26% haciendo factible la implementación del sistema.

### **2.1.3. Regional y local**

En el nivel de región y local no se encontraron antecedentes sobre el aprovechamiento de la energía térmica en los gases residuales de combustión en calderas para la generación de energía eléctrica.

## **2.2. Bases teóricas**

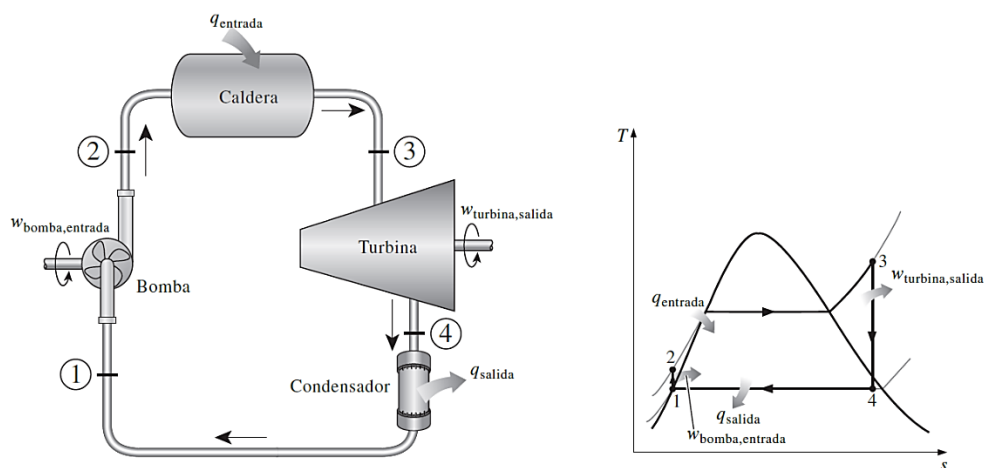
### **2.2.1. Ciclo Rankine**

El ciclo Rankine, es un ciclo de potencia de vapor en donde el vapor se sobrecalienta en la caldera y se condensa por completo en el condensador ideal para el uso en centrales eléctricas

de vapor este incluye varios procesos como se muestra en la Figura 1, considerando que éste ciclo no tiene ninguna irreversibilidad interna, se compone de 4 procesos en 4 estados del agua, en el primer proceso del estado 1 al 2 se tiene una compresión isoentrópica en la bomba, en el segundo proceso del estado 2 al 3 se tiene una adición de calor a presión constante la caldera, en el tercer proceso del estado 3 al 4 se tiene una expansión isoentrópica en la turbina y en el último proceso del estado 4 al 1 se tiene un rechazo de calor a presión constante en el condensador (Cengel y Boles, 2012).

**Figura 1**

*Ciclo Rankine básico*



*Nota.* Reproducido de El ciclo Rankine ideal simple de Cengel y Boles, 2012.

### 2.2.2. Análisis de energía del ciclo Rankine.

Los cuatro componentes asociados con el ciclo Rankine (la bomba, la caldera, la turbina y el condensador) son dispositivos de flujo estacionario, por lo tanto, los cuatro procesos que conforman el ciclo Rankine pueden ser analizados como procesos de flujo estacionario. Por lo general, los cambios en la energía cinética y potencial del vapor son pequeños en relación con los términos de trabajo y de transferencia de calor, de manera que son insignificantes. Entonces, la ecuación de energía de flujo estacionario por unidad de masa de vapor se reduce a la ecuación 1 (Cengel y Boles, 2012).

$$(q_{entrada} - q_{salida}) + (w_{entrada} - w_{salida}) = h_s - h_e \text{ [kJ/kg]} \quad (1)$$

Donde:

$q$  : Calor

- $w$  : Trabajo
- $h_s$  : Entalpia de salida
- $h_e$  : Entalpia de entrada

La caldera y el condensador no incluyen ningún trabajo y se supone que la bomba y la turbina son isoentrópica, entonces la relación de conservación de la energía para cada dispositivo por lo que la eficiencia térmica del ciclo Rankine se determina a partir de la ecuación 2 (Cengel y Boles, 2012).

$$\eta_{ter} = \frac{w_{neto}}{q_{entrada}} = 1 - \frac{q_{salida}}{q_{entrada}} \quad (2)$$

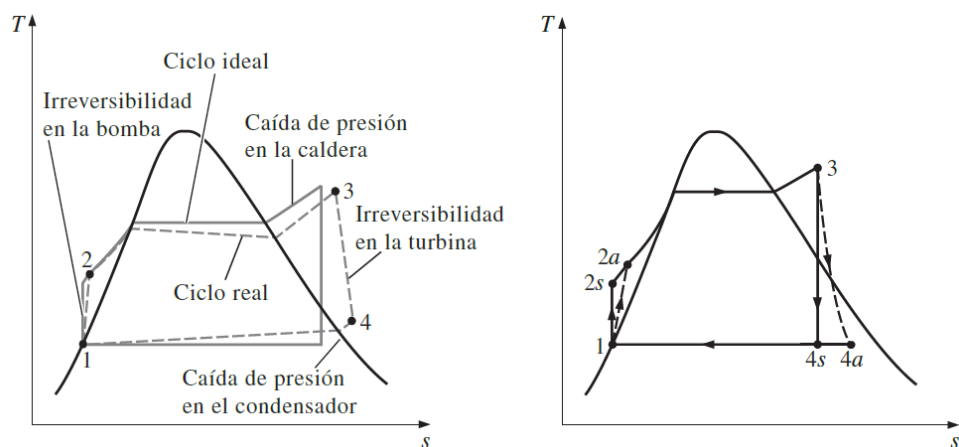
Donde:

- $\eta_{ter}$  : Eficiencia térmica
- $w$  : Trabajo
- $q$  : Calor

El ciclo real de potencia de vapor difiere del ciclo Rankine ideal, como resultado de las irreversibilidades en diversos componentes. La fricción del fluido y las pérdidas de calor hacia los alrededores son las dos fuentes más comunes de irreversibilidades, en la Figura 2 se muestra el ciclo con dichas irreversibilidades (Cengel y Boles, 2012).

**Figura 2**

*Análisis de energía del ciclo Rankine*



Nota. Reproducido de Análisis de energía del Rankine de Cengel y Boles, 2012.

Las irreversibilidades que suceden dentro de la bomba y la turbina son especialmente importantes. Una bomba requiere una entrada de trabajo mayor y una turbina produce una salida de trabajo más pequeña como consecuencia de las irreversibilidades. Bajo condiciones ideales, el flujo a través de estos dispositivos es isoentrópico. La desviación existente entre bombas y turbinas reales respecto de las isoentrópicas puede ser tomada en cuenta utilizando eficiencias isentrópicas, definidas como se muestra en las ecuaciones 3 y 4 (Cengel y Boles, 2012).

$$\eta_P = \frac{w_s}{w_a} = \frac{h_{2s}-h_1}{h_{2a}-h_1} \quad (3)$$

$$\eta_T = \frac{w_a}{w_s} = \frac{h_3-h_{4a}}{h_3-h_{4s}} \quad (4)$$

### 2.2.3. Caldera de recuperación

La caldera de recuperación o heat recovery steam generator (HRSG), las calderas de recuperación sin post combustión se clasifican en dos criterios el primer criterio es la recirculación de los gases de escape que puede ser forzado por alguna tecnología o natural las primeras son ideales para un ciclo combinado de gas-vapor debido a que no requiere mucho espacio sobre todo en la configuración vertical y tiene un arranque sencillo y rápido lo que resulta en un aumento considerable de eficiencia en el ciclo y las de segundas no requieren bombas por lo que son más económicas aunque de menos eficiencia. y el segundo criterio es la dirección en la que recorren la caldera que puede ser horizontal donde se colocan los elementos de la caldera de recuperación de manera que los gases de escape tengan una trayectoria horizontal en éste tipo de turbinas el agua está en sentido vertical o verticales donde la disposición de los elementos permite que los gases tengan un recorrido vertical aquí el agua tiene un recorrido horizontal (Mccarthy, 2019).

### 2.2.4. Calor residual

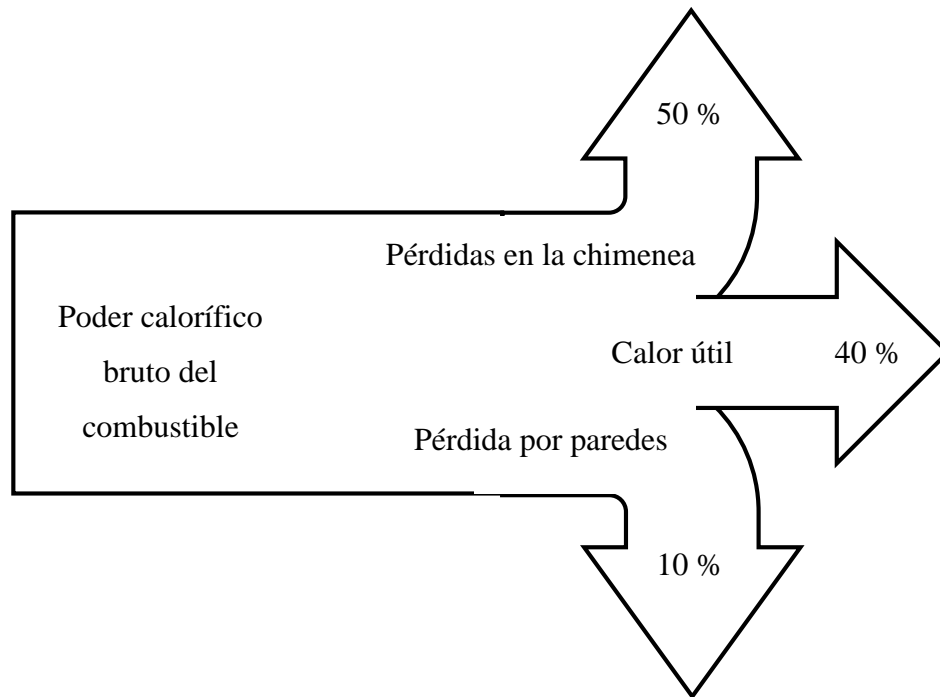
El calor disponible de un combustible a la entrada de un proceso de combustión menos la energía extraída del proceso de combustión da como resultado el calor residual, es decir; el calor residual son las diferentes pérdidas que se tienen en el proceso de combustión; como el calor que se disipa por las paredes de un horno, por la chimenea, el calor presente en los gases de combustión, etcétera .Es usual representarlo de manera gráfica en un diagrama Sankey, este



diagrama muestra a donde se va la energía de un proceso de combustión, como se puede ver en la Figura 3 (Acosta, 2021).

**Figura 3**

*Ejemplo de diagrama Sankey*



*Nota.* Reproducido de “Ejemplo de diagrama Sankey” de Acosta, 2021.

### 2.2.5. Economizador

Es una tecnología que permite en la caldera utilizar la energía de los gases de escape se pierde al medio ambiente para aprovecharla reduciendo el consumo energético y mejorar los costos operativos, éste dispositivo es un equipo simple pero eficiente que absorbe la energía calorífica del gas de combustión de la caldera. Mediante una red de tuberías éste dispositivo transfiere la energía recogida de los gases de combustión a una corriente de agua fría a partir de ahí se puede trasladar a otras partes del mismo sistema de caldera o utilizar la energía recuperada en la producción de energía eléctrica (Grundfos, 2017).

Las pérdidas de vapor son inevitables en un sistema de caldera, para mantener un adecuado equilibrio en el sistema y poder compensar estas pérdidas, se debe añadir al tanque de condensada agua de reposición. Aunque esto reduce la temperatura del agua calentada por los gases de combustión reduciendo la temperatura del agua y se aumenta el consumo energético del economizador, donde el agua se vuelve a calentar (Grundfos, 2017).

### **2.2.6. Caldera**

Es una tecnología que se construye para generar vapor transfiriendo el calor de cualquier fuente de energía hacia un fluido por medio del contacto de la tubería que transporta el fluido y el calor de la combustión, generando vapor de agua a una presión mucho más elevada que la atmosférica, siendo llevado por la presión hacia donde se requiera, en la industria se utiliza para varios fines como esterilización de instrumentos médicos o alimenticios, se utiliza también para calentar otros fluidos que requieren una temperatura alta o para generar otro medio de energía que es en el mayor de los casos electricidad (Huamancayo, 2017).

Existen dos tipos de calderas en la industria las llamadas acuotubulares en donde el fluido de trabajo se desplaza por el interior de la tubería durante la adición de calor por la combustión y los gases de escape de esta combustión circulan por el exterior de los tubos, estas calderas se utilizan cuando se requiere de presiones de 22 bar, para centrales termoeléctricas. Las otras calderas son las pirotubulares que tienen un sistema contrario a las primeras en estas los gases de la combustión circulan por el interior de los tubos a altas temperaturas el agua se encuentra en un recipiente atravesando dichos tubos calientes por los gases de combustión se utilizan cuando se requiere presiones por debajo de los 22 bar (Ordinola , 2018).

### **2.2.7. Generación de energía eléctrica por energía térmica**

El principio para generar energía eléctrica a partir de la transformación de energía térmica depende del tipo de combustible, el fluido a calentar (agua o gas), el tipo de generador de vapor, etc., pero en general el principio de funcionamiento para la conversión de energía es similar en todas las centrales termoeléctricas o térmicas, el combustible se suministra de manera manual o mecánica hasta una caldera donde combustiona, mediante ésta combustión se calienta agua hasta el punto de producción vapor a una presión considerable, y es llevado a los álabes de una turbina de vapor cuyo eje se une al de un generador así al girar la turbina, éste generador gira al mismo tiempo produciendo energía eléctrica para ser aprovechada o utilizada (Soto y Werner, 2009).

### **2.2.8. Turbina de vapor**

Son máquinas en las que la expansión del vapor de agua que ingresa en ellas genera movimiento en su mayoría son axiales, su fluido de trabajo es el agua y tiene una relación potencia/tamaño superior a otras tecnologías de vapor, ya que han evolucionado desde 1783 donde Watt construyó la máquina de movimiento rotatorio por vapor de agua que es el antepasado más revolucionario que se le conoce a la turbina de vapor. Los análisis teóricos no

consideran el intercambio de calor dentro de una turbina, pero en realidad la expansión dentro de la turbina genera un aumento de entropía y el trabajo que realiza la turbina es menor al que corresponde en una expansión isoentrópica. Así las irreversibilidades generan una disminución en la eficiencia sobre la generación de trabajo en todo el sistema de la planta, así el rendimiento interno de la turbina se determina mediante la ecuación 5 (Rodríguez, 2020).

$$\eta_{ri} = \frac{w_i}{w_a} = \frac{H_i}{H_a} \quad (5)$$

*Donde:*

$\eta_{ri}$  : Eficiencia relativa interno de la turbina

$w_i$  : Potencia interna real

$w_a$  : Potencia interna ideal

$H_i$  : Caída de vapor en la turbina real

$H_a$  : Caída de vapor en la turbina ideal

### 2.3. Definición de términos

**Calor.** Energía térmica que se transfiere entre dos cuerpos en contacto que se encuentran a diferentes temperaturas (Soní et al., 2021).

**Proceso.** Cambio de un sistema que está en un estado de equilibrio a otro estado de equilibrio (Cengel y Boles, 2012).

**Sistema.** Es una cantidad de materia o región en el espacio que se elige para poder ser analizado (Cengel y Boles, 2012).

**Caldera.** Máquina térmica que genera vapor de agua por medio de la quema de un combustible sólido o líquido para ser usado en un proceso industrial o generación de electricidad (Huamancayo, 2017).

**Gases de escape.** Son los gases que se evacuan en una máquina térmica después que se ha producido la combustión (Pashma y Toscano , 2019).

**Generador eléctrico.** Máquina rotativa que transforma energía mecánica en energía eléctrica (Ponce y Montafur , 2014).

**Generación de energía eléctrica.** Es la primera de las actividades de la cadena productiva de energía eléctrica, la cual consiste en transformar alguna clase de energía en energía eléctrica, mediante un generador; si bien estos no difieren entre sí en cuanto a su principio de funcionamiento, varían en función a la forma en que se accionan (Dammert, Molinelli, & Carbajal, 2011).

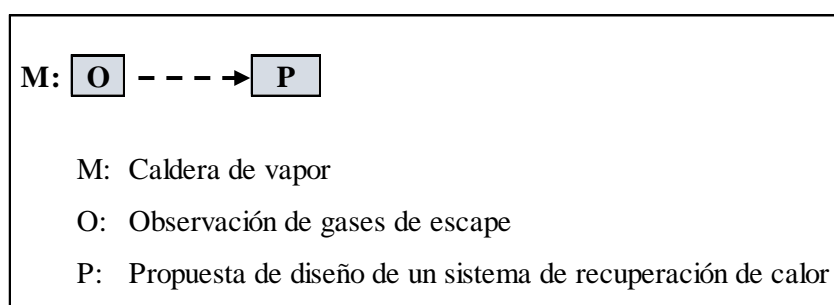
### III. Materiales y métodos

#### 3.1. Diseño de investigación

El diseño de investigación fue descriptiva con propuesta, no experimental, el cual determina los datos de la realidad tal cual se encuentran y comparan la acción de dos observaciones como lo muestra la Figura 3 (Ñaupas et al., 2014).

**Figura 4**

*Diseño de investigación descriptiva con propuesta*



#### 3.2. Población, muestra y muestreo

La población en una investigación abarca a todos los individuos, instalaciones, dispositivos, herramientas y elementos visuales relevantes para el estudio. En contraste, la muestra constituye una porción o segmento seleccionado del conjunto total o la población específica objeto de la investigación. La muestra se elige estratégicamente para ser representativa de la población en general (Gonzales, 2021).

- Población: Caldera de vapor.
- Muestra: Caldera de vapor para el año 2021.
- Muestreo: No probabilístico por conveniencia del investigador.

#### 3.3. Determinación de las variables

Variable independiente : Recuperación de calor residual  
Variable dependiente : Generación de energía eléctrica

### **3.4. Fuentes de información**

Las fuentes de información primaria que se utilizaron fueron reportes de la empresa Agroindustrial Molinera Chavo S.A.C. Así mismo, se obtuvo información secundaria de datos realizados en otras investigaciones que se centran en la interpretación, comentario o análisis de información.

### **3.5. Métodos**

Los métodos de investigación fueron, el deductivo en el cual la lógica prioriza que si los argumentos conjeturados o encontrados siguen la lógica entonces son verdaderos y además se utilizó el método inductivo que establece que los resultados obtenidos por el método científico son verdaderos así la generación de electricidad que se dimensionó a base de la recuperación de calor de la caldera a vapor de la empresa Agroindustrial Molinera Chavo S.A.C., deberá seguir la lógica y será resultado del proceso del método científico (Pérez, 2022).

### **3.6. Técnicas e instrumentos**

Consiste en hacer uso de la capacidad que tiene el ser humano para analizar su entorno y el de otras personas. Hay que tener en cuenta que la información que se obtiene mediante esta técnica de recolección de datos puede estar condicionada por la interpretación de la persona que observa (Machuca, 2022).

Por otra parte, las fichas de observación posibilitan que el investigador anote los eventos o la situación presenciada durante la investigación. En ocasiones, los investigadores emplean cámaras de video para documentar eventos que no son perceptibles fácilmente. Otra técnica utilizada es el análisis de documentos, en el cual el investigador recoge datos de tablas, informes, entre otros. No se requiere una evaluación estadística del caso por parte de expertos (Gonzales, 2021). Para la investigación se utilizó la técnica de observación, y de análisis documental.

- **Las técnicas de observación:**

  - Instrumento. Guía de registro de características de la caldera y topología existente.

- **La técnica de análisis de documentos:**

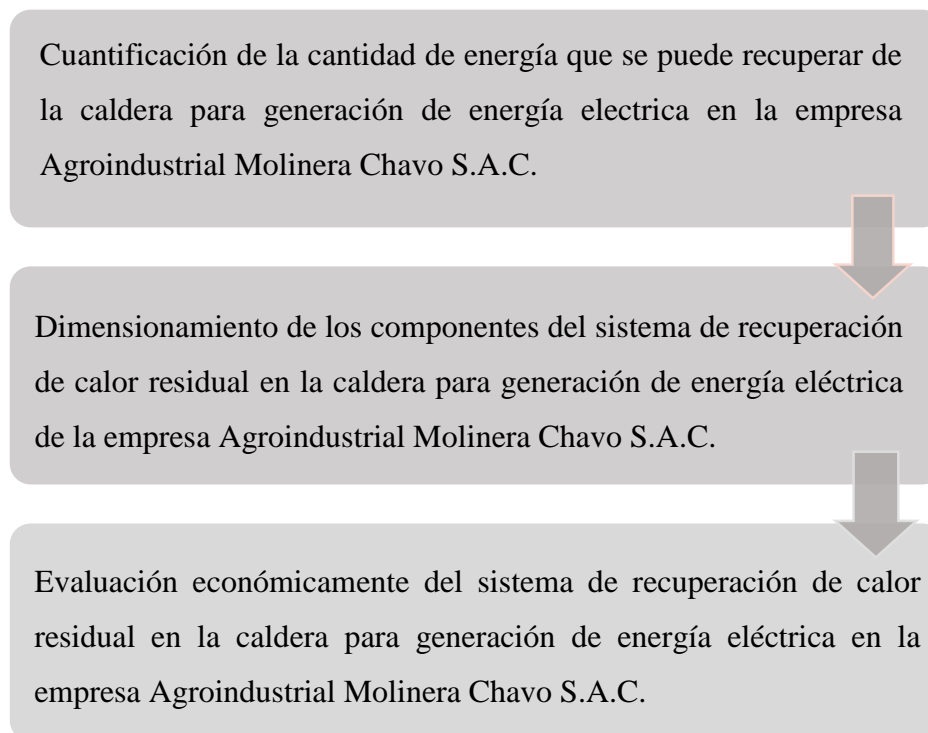
  - Instrumento: Ficha de registro parámetros físicos de gases de escape en la caldera.

### 3.7. Procedimiento

El desarrollo de la investigación se hizo a partir de la toma de parámetros de gases de escape en la chimenea de la caldera de la empresa Agroindustrial Molinera Chavo S.A.C, éstos parámetros son la temperatura y la presión de los gases de escape se requieren para poder determinar cuánto calor se puede recuperar de la caldera y poder seleccionar los elementos del sistema de recuperación de calor residual y el generador de energía eléctrica, a partir de esto se determina la cantidad de energía eléctrica que se puede generar, y se realizó una evaluación económica para determinar la factibilidad del sistema en la empresa.

#### Figura 5

*Procedimiento propuesto para desarrollar la investigación*



### 3.8. Análisis estadístico

El análisis de los datos y estadístico se realizó mediante estadística descriptiva. Se utilizó el programa Excel para el tratamiento de los datos, y la presentación en tablas y figuras.

### 3.9. Consideraciones éticas

Se tomaron en cuenta los lineamientos éticos a nivel internacional para llevar a cabo la investigación. La tesis no contiene plagio, ya sea en su totalidad o en partes, y sigue las normas internacionales en cuanto a la citación y elaboración de bibliografías de las fuentes consultadas y referenciadas. Además, no infringe los derechos de terceros.

## IV. Resultados

### 4.1. Cuantificación de la cantidad de energía que se puede recuperar de la caldera para generación de energía eléctrica en la empresa Agroindustrial Molinera Chavo S.A.C.

Para la cuantificación de la cantidad de energía primero se evaluaron los parámetros de temperatura de los gases de escape de la caldera, se tomaron ocho mediciones de temperatura que fueron registradas por el área de mantenimiento de la empresa, cuyos valores se muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1**

*Temperatura de los gases de escape de la caldera en la empresa Agroindustrial Molinera Chavo S.A.C para el 2021*

Mediciones	Temperatura (°C)
1	228
2	230
3	219
4	234
5	226
6	182
7	218
8	206

Con estos parámetros se determinaron los estadísticos de la temperatura en la chimenea de la caldera instalada en la empresa Agroindustrial Molinera Chavo S.A.C, los estadísticos se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 2**

*Estadísticos de temperatura de los gases de escape en la caldera de la empresa Agroindustrial Molinera Chavo S.A.C para el 2021*

Descripción	Cantidad (°C)
Media	218
Mediana	223
Moda	No existe
Máximo	234
Mínimo	182

La velocidad con la que salen los gases de escape se tomó de las características de placa del ventilador, éste tiene un caudal de 1100 CFM (pies cúbicos por minuto) el cual empuja al aire dentro del horno de biomasa y hace que los tubos de escape salgan por una tubería de 10 pulgadas de diámetro, con lo que se obtiene la velocidad por medio de la ecuación 6 los resultados se muestran en la tabla 3.

$$v = \dot{V}/A \quad (6)$$

$$A = \pi d^2/4 \quad (7)$$

Donde:

$v$  : Velocidad

$\dot{V}$  : Caudal

$A$  : Área de la sección

$d$  : Diámetro de la sección

**Tabla 3**

*Velocidad de los gases de escape*

Parámetro	Cantidad	Unidad
Diámetro	10	pulgadas
Diámetro	0.254	m
Caudal	1100.000	CFM
Caudal	0.52	m <sup>3</sup> /s
Área	0.051	m <sup>2</sup>
Velocidad	0.097604794	m/s

Para la cuantificación de la energía que se puede recuperar de los gases de combustión de la caldera en la empresa Agroindustrial Molinera Chavo S.A.C, primero se determina la densidad que tiene los gases mediante la ecuación 8 formulada por Alcántara (2020).

$$\rho_g = \frac{P_{atm}M_g}{R_u T_g} \quad (8)$$

Donde:

$\rho_g$  : Densidad de los gases de escape.

$P_{atm}$  : Presión atmosférica.

$M_g$  : Masa molar de los gases de escape.

$R_u$  : Constante universal de los gases.

$T_g$  : Temperatura de los gases de combustión.



Considerando que en la Tabla 2 se muestran los estadísticos de la temperatura de los gases de combustión de la empresa Agroindustrial Molinera Chavo S.A.C se establece que existen dos temperaturas extremas medidas en grados centígrados, la temperatura para la ecuación 8 debe establecerse en grados kelvin, por lo que se realiza la conversión de los dos límites de temperatura medidos y se muestran en la Tabla 4.

**Tabla 4**

*Temperatura convertida a grados kelvin.*

<b>Limite</b>	<b>Mayor</b>	<b>Menor</b>	<b>Unidad</b>
Centígrados	234	182	°C
Kelvin	507.15	455.15	°K

Según Alcántara (2020), determina el resto de parámetros para calcular la densidad de los gases de combustión con los valores mostrados en la Tabla 5.

**Tabla 5**

*Valores aplicados para el resultado de la densidad de los gases de escape.*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
$P_{atm}$	101325	Pa
$M_g$	13.52	kg/kmol
$R_u$	8314	J/kmol °K

*Nota.* Adaptado de densidad de los gases de combustión de Alcántara (2020).

Considerando que se tienen los parámetros para el cálculo de la densidad mediante la ecuación 8, y que la temperatura se encuentra en dos extremos se calcula la densidad para ambas temperaturas, los resultados se muestran en la Tabla 6.

**Tabla 6**

*Cálculo de densidad según temperatura*

<b>Parámetro</b>	<b>Mayor</b>	<b>Menor</b>	<b>Unidad</b>
$\rho_g$	0.3248979	0.3620168	kg/m <sup>3</sup>
$T_g$	507.15	455.15	°K

Una vez calculada la densidad, se determinó el flujo másico de los gases de combustión para poder establecer cuál es la cantidad de calor que se puede retirar de ellos mediante su calor específico, según Cengel y Cimbala (2006) los cálculos se realizan mediante la ecuación 9.

$$\dot{m} = \rho_g \dot{V} \quad (9)$$

Donde:

$\dot{m}$  : Flujo masico

$\rho_g$  : Densidad de gases de escape

$\dot{V}$  : Caudal

El caudal se toma de las características de placa del ventilador que proporciona el movimiento de salida de los gases de escape estos parámetros se muestran en la Tabla 3 por lo tanto habiendo calculado ya la densidad se puede establecer cuál es el flujo másico de los gases de escape, estos resultados se muestran en la Tabla 7.

**Tabla 7**

*Flujo másico de los gases de escape para las densidades.*

Parámetro	Mayor	Menor	Unidad
$\dot{m}$	0.169	0.188	kg/s
$\dot{V}$	0.52	0.52	m <sup>3</sup> /s
$\rho_g$	0.325	0.362	kg/m <sup>3</sup>

Considerando las teorías de termodinámica el calor cedido por un sistema en este caso vendría a ser dado por el calor que se puede adquirir o recoger de la chimenea de la caldera de la empresa Agroindustrial Molinera Chavo S.A.C, viene determinado por la tasa de cambio de masa es decir el flujo másico, el calor específico del gas y la gradiente de temperatura entre la temperatura final y la inicial como lo menciona Cengel y Cimbala (2006), en la ecuación 10.

$$\dot{Q}_{g,esc} = \dot{m} c_{p,g,esc} \Delta T \quad (10)$$

Donde:

$\dot{Q}_{g,esc}$  : Calor cedido por los gases de escape

$\dot{m}$  : Flujo másico

$c_{p,g,esc}$  : Calor específico de los gases de escape

$\Delta T$  : Diferencia de temperatura

Según Alcántara (2020), el calor específico de los gases de combustión en una caldera de cascarilla de arroz es de 14.04 kcal/kg °K y teniendo en cuenta que según las condiciones de temperatura en la norma ISO la temperatura ambiente estándar es del 25 °C (298.15 °K), por lo tanto se calcula el gradiente de temperatura como la resta de la temperatura a la que salen los gases por la chimenea de la caldera menos la temperatura ambiente estándar teniendo sí de manera teórica dos tasa de cambio de energía que se muestran en la Tabla 8.

**Tabla 8**

*Tasa de cambio de energía teórica recuperada de los gases de escape.*

<b>Parámetro</b>	<b>Mayor</b>	<b>Menor</b>	<b>Unidad</b>
$\dot{Q}_{g,esc}$	494.9	414.3	kJ/s
$\dot{m}$	0.169	0.188	kg/s
$cp_{g,esc}$	14.04	14.04	kJ/kg °C
$DT$	209	157	°C

Considerando que la caldera trabaja 12 horas (43200 segundos) durante todo el día a la par con el proceso productivo se establece la cantidad de energía recuperada mediante el producto de la tasa de cambio de energía y el tiempo de funcionamiento de la caldera estos resultados se muestran en la Tabla 9.

**Tabla 9**

*Calor teórico recuperado de los gases de escape de la caldera*

<b>Parámetro</b>	<b>Mayor</b>	<b>Menor</b>	<b>Unidad</b>
$Q_{g,esc}$	21381105.71	17896388.94	kJ
<i>Tiempo</i>	43200	43200	s
$\dot{Q}_{g,esc}$	494.933	414.268	kJ/s

Según fabricantes de intercambiadores de calor Bowman, para recuperación de calor en gases de combustión la temperatura mínima de salida de los gases de combustión en un intercambiador de calor debe ser de 120 °C por lo que el análisis teórico de la Tabla 9 resulta imposible en la realidad es así que se realiza la misma interpretación de resultados, pero para la temperatura mencionada, el calor de recuperación puede llegar a ser el indicado en la Tabla 10.

**Tabla 10**

*Potencia del calor que se puede recuperar de los gases de escape con una diferencia de temperatura de 180 °C a 120 °C*

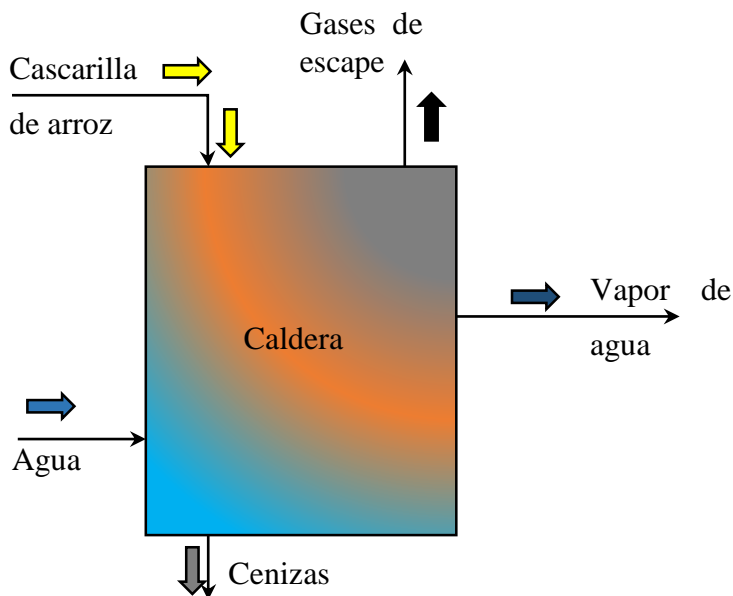
Parámetro	Menor	Unidad
$Q_{g,esc}$	7067363.786	kJ
Tiempo	43200	s
$\dot{Q}_{g,esc}$	163.596	kJ/s

**4.2. Dimensionamiento de los componentes del sistema de recuperación de calor residual en la caldera para generación de energía eléctrica de la empresa Agroindustrial Molinera Chavo S.A.C.**

La empresa Agroindustrial Molinera Chavo S.A.C se dedica al pilado de arroz por lo tanto la cascarilla viene a ser un subproducto que no se comercializa de manera proyectada y es utilizada en su gran mayoría para poder generar vapor de calor para el proceso de arroz parbolied, en la Figura 4 se esquematiza las entradas y la salida de la caldera de la cual se pretende recuperar energía en los gases de escape para generar energía eléctrica.

**Figura 6**

*Esquema de entradas y salidas de la caldera.*



Lo que se pretende con la investigación es el dimensionamiento de un sistema que aproveche el calor de los gases de escape por medio de un intercambiador de calor para esto se dimensiona el intercambiador de calor que aproveche un cambio de temperatura de los gases

de escape de 180 °C a 120 °C en primera instancia se aprovecha el diámetro de la tubería de gases de escape de la caldera de 10 pulgadas para el intercambiador que se propone como uno de contraflujo con una etapa de tubos según la Tabla 11.

**Tabla 11**

*Cantidad de tubos por fase en un intercambiador de calor de tubos coraza*

<b>Diámetro de tubo</b>	<b>Diámetro interno</b>	<b>Número de tubos por fase</b>
Pulgadas	Pulgadas	1
8.07	6.821	38
10.02	8.77	62
12	10.75	109

*Nota.* Adaptado de “Tabla de cuantos de tubos para  $3/4$  pulgadas. Tubos de  $15/16$  Pulgadas en una configuración triangular” de Cao, 2010.

En la Tabla 11 se aprecia que para la tubería de 10 pulgadas considerando tubos de  $3/4$  en una configuración triangular y una separación de  $15/16$  pulgadas se deben utilizar 62 tubos para la conducción de agua dentro de la coraza, es así que se establece los diámetros por donde se conducirán los gases de escape y el agua. Se establece el área de cada tubo de  $3/4$  de pulgada se muestra en la Tabla 12.

**Tabla 12**

*Área de tubo de  $3/4$  pulgada*

<b>Parámetro</b>	<b>Medida</b>	<b>Unidad</b>
$D_{agua}$	0.01905	m
	0.75	pulg
$A_{agua}$	0.00028502	m <sup>2</sup>

Considerando que se utilizarán 62 tubos se estima el área que ocuparán los tubos dentro de la tubería de 10 pulgadas de la chimenea, este resultado se muestra en la Tabla 13

**Tabla 13**

*Área de 62 tubos de  $3/4$  de pulgada dentro de la tubería de 10 pulgadas.*

<b>Parámetro</b>	<b>Medida</b>	<b>Unidad</b>
$N_{tubos}$	62	Tubos
$A_{agua}$	0.00028502	m <sup>2</sup>
$A_{agua}^*$	0.01767142	m <sup>2</sup>

*Nota.* El parámetro  $A_{agua}^*$ , es el área que ocuparan los 62 tubos

De la misma manera se determinó el área de la tubería de 10 pulgadas de la chimenea de la caldera esta se presenta en la Tabla 14.

**Tabla 14**

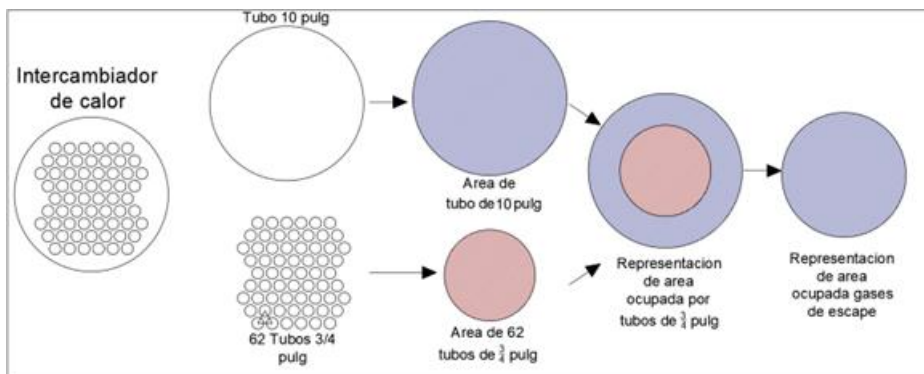
*Área de tubería de 10 pulgadas*

Parámetro	Medida	Unidad
$D_{gases}$	0.254	m
	10	pulg
$A_{gases}$	0.051	m <sup>2</sup>

Se tiene en consideración que se requiere no toda el área de la tubería de 10 pulgadas sino solamente el área por la cual atravesaran los gases de escape al tener 62 tuberías de 3/4 de pulgada dentro de ella que son las que conducirán el agua como se muestra en la Figura 7 se debe considerar el área que solamente utilizaran los gases de escape para su desplazamiento.

**Figura 7**

*Área referencial de los gases de escape*



Según lo mostrado en la figura 7 se establece la resta de áreas entre las ocupadas por los tubos de agua y la tubería de 10 pulg que sirve de coraza, de esta diferencia queda un área que puede representarse por una circunferencia de menor diámetro, este diámetro se muestra en la Tabla 15.

**Tabla 15**

*Diámetro de área real para gases de escape,*

Parámetro	Medida	Unidad
$A_{gases}$	0.051	m <sup>2</sup>
$A_{agua}^*$	0.018	m <sup>2</sup>
$A_{gases}^*$	0.033	m <sup>2</sup>
$D_{gases}^*$	0.205	m

Se utiliza el método de diferencia de temperatura media logarítmica (DTML) para determinar el intercambiador de calor según Cengel y Cimbala (2006) para el cual se establece primero los números de reynolds tanto de los gases como del agua para los diámetros establecidos según la Ecuación 11.

$$Re_{fluido} = \frac{V_{fluido} D_{fluido}}{\nu_{fluido@T^{\circ}C}} \quad (11)$$

Donde:

- $Re_{fluido}$  : Número de Reynolds del fluido (gases de combustión o agua)  
 $V_{fluido}$  : Velocidad del fluido (gases de combustión o agua)  
 $D_{fluido}$  : Diámetro por donde pasa el fluido (gases de combustión o agua)  
 $\nu_{fluido@T^{\circ}C}$  : Viscosidad cinemática del fluido a una temperatura determinada (gases de combustión o agua).

Para determinar la velocidad de los gases de combustión se utiliza el caudal de los gases, que se determina del ventilador de la caldera que es la encargada de sacar los gases en la Tabla 16 se muestra la velocidad de los gases de escape considerando el diámetro establecido.

**Tabla 16**

*Velocidad de gases de escape.*

Parámetro	Cantidad	Unidad
$V$	15.73	m/s
$Q$	0.52	m <sup>3</sup> /s
$A$	0.033	m <sup>2</sup>

Según Oquendo y Ramírez (2017), para la velocidad del agua se establece que no debe ser mayor del 0.1 m/s. Por lo que se calcula el número de reynolds para los gases que al ser un fluido incompresible según el antecedente mencionado se trata como aire en la Tabla 17 se muestra los números de reynolds para gases y agua considerando las temperaturas iniciales de ambos.

**Tabla 17***Número de Reynolds para gases de escape y agua*

<b>Parámetro</b>	<b>Gases (a 182 °C)</b>	<b>Agua (25 °C)</b>	<b>Unidad</b>
<i>Re</i>	128781.77	2138.04714	
<i>V</i>	15.73	0.1	m/s
<i>D</i>	0.20	0.01905	m
<i>v@T°C</i>	0.000025	0.00000089	m <sup>2</sup> /s

*Nota.* El volumen específico para los gases se tomó para la menor temperatura 182°C mientras que para el agua se tomó a temperatura ambiente 25 °C.

Según Cengel y Cimbala (2006), con el número de Reynolds establece el número de Nusselt considerando el número de Prandtl para los gases a una temperatura de 182°C y para el agua a una temperatura de 25 °C y con la ecuación 12.

$$Nu_{fluido} = 0.023Re_{fluido}^{0.8}Pr_{fluido@T^{\circ}C}^{0.4} \quad (12)$$

*Donde:*

*Nu* : Número de Nusselt

*Re* : Número de Reynolds

*Pr* : Número de Prandtl

Teniendo ya el número de Reynolds para cada uno de los fluidos tatuado hace de escape como el agua cada cual a la temperatura de ingreso al intercambiador que es de 182 °C y 25 °C respectivamente se busca en las tablas termodinámicas el número de Prandtl a las mismas temperaturas y se calcula el número de Nusselt mostrado en la Tabla 18.

**Tabla 18***Número de Nusselt para ambos fluidos*

<b>Parámetros</b>	<b>Gases (a 182°C)</b>	<b>Agua (25 °C)</b>
<i>Nu</i>	612.99	21.93
<i>Re</i>	128781.77	2138.05
<i>Pr @T°C</i>	6.99	6.14

Teniendo el número de Nusselt y considerando la conductividad térmica de los fluidos a una temperatura específica de 182 °C para los gases de escape y de 25 °C para el agua se calcula el coeficiente de transferencia de calor por convección, según Cengel y Cimbala (2006) los cálculos se realizan con la ecuación 13.



$$h = \frac{k_{fluido@250^{\circ}C}}{D} Nu_{fluido} \quad (13)$$

Donde:

$h$  : Coeficiente de transferencia de calor por convección.

$k_{fluido@T^{\circ}C}$  : Coeficiente de conductividad térmica por conducción

$D$  : Diámetro por donde pasa el fluido

$Nu_{fluido}$  : Número de Nusselt del fluido

El coeficiente de transferencia de calor para los gases a 182 °C y para el agua a 25 °C se muestra en la Tabla 19.

**Tabla 19**

*Coeficiente de transferencia de calor por convección*

Parámetro	Gases (@182°C)	Agua (25 °C)	Unidad
$h$	1090.338	698.719	W/m <sup>2</sup> °C
$k$	0.365	0.607	W/m °C
$D$	0.205	0.019	m
$Nu$	612.988	21.929	

Según Cengel y Cimbala (2006), la resistencia térmica total se determina mediante la ecuación 14 considerando los coeficientes de transferencia de calor por convección de cada uno de los fluidos.

$$R_{total} = \frac{1}{h_{gases}} + \frac{1}{h_{agua}} \quad (14)$$

Habiendo calculado en la Tabla 19 los coeficientes de transferencia de calor por convección de los gases de combustión a 182 °C y del agua a 25 °C, en la Tabla 20 se muestra el cálculo de la resistencia total.

**Tabla 20**

*Resistencia térmica total*

Parámetro	Cantidad	Unidad
$R_{total}$	1789.06	m <sup>2</sup> °C/W
$h_{gases}$	1090.34	W/m <sup>2</sup> °C
$h_{agua}$	698.72	W/m <sup>2</sup> °C

Con la resistencia térmica total se calcula el coeficiente global de transferencia de calor siendo este el valor inverso a la resistencia térmica total, los cálculos se realizan con la ecuación 15. En la Tabla 21 se muestra los resultados de cálculo del coeficiente global de transferencia.

$$U = \frac{1}{R_{total}} \quad (15)$$

**Tabla 21**

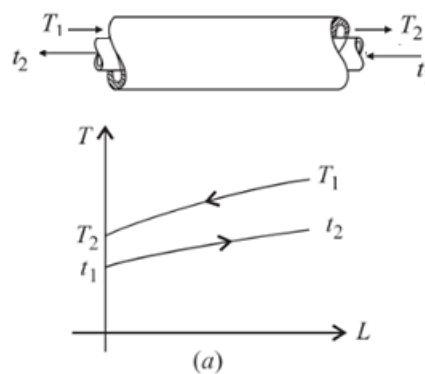
*Coficiente global de transferencia de calor*

Parámetro	Cantidad	Unidad
$U$	0.0005590	W/m <sup>2</sup> °C
$R_{total}$	1789.057	m <sup>2</sup> °C/W

Para calcular el DTML se establece primero la configuración de temperaturas siendo el intercambiador en contra flujo las temperaturas obedecen a la Figura 8.

**Figura 8**

*Configuración de temperaturas en intercambiador contraflujo para DTML.*



Según Cengel y Cimbala (2006), la diferencia de temperaturas media logarítmica obedece a la diferencia entre temperaturas de los fluidos caliente y frío a la entrada del intercambiador de calor y la diferencia entre los fluidos a la salida en la ecuación 16 se muestra la condición de cálculo.

$$DTML = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \quad (16)$$

Donde:

$DTML$  : Diferencia de temperatura media logarítmica

$\Delta T_1$  : Diferencia de temperaturas a la entrada del intercambiador

$\Delta T_2$  : Diferencia de temperaturas a la salida del intercambiador

Considerando las temperaturas en los gases de escape con el sub índice “g” y las temperaturas en el agua con el sub índice “a” se tiene las equivalencias de la Figura 6 para acondicionar los parámetros de la ecuación 16 en la Tabla 22.

**Tabla 22**

*Equivalencias en la referencia de temperatura*

Temperatura en intercambiador de calor	Temperatura	Referencia
$T_{g1}$	$T_1$	Temperatura de ingreso gases de escape
$T_{g2}$	$T_2$	Temperatura de salida gases de escape
$T_{a1}$	$t_1$	Temperatura de ingreso del agua
$T_{a2}$	$t_2$	Temperatura de salida del agua

*Nota.* Para la obtención de variables de temperatura se tomó de la Figura 8.

En consideración de las equivalencias mostradas en la Tabla 22 la ecuación 16 se reformula a las condiciones de las temperaturas asignadas en el intercambiador de calor estableciéndose como la ecuación 17.

$$DTML = \frac{(T_{g1} - t_{a2}) - (T_{g2} - t_{a1})}{\ln \frac{(T_{g1} - t_{a2})}{(T_{g2} - t_{a1})}} \quad (17)$$

Considerando las temperaturas de entrada y de salida propuestas estableciéndose que la entrada de gases de escape tiene una temperatura mínima de 182 °C, y que según fabricantes de intercambiadores de calor Bowman ésta no debe reducirse a más de 120 °C mientras que el agua ingresa una temperatura de 25 °C como menciona Oquendo y Ramírez (2017), se puede elevar hasta 80° se calcula el DTML el resultado se muestra en la Tabla 23.

**Tabla 23**

*Diferencia de temperatura media logarítmica*

Parámetro	Valor	Unidad
$DTML$	98.46	°C
$T_{g1}$	182	°C
$T_{g2}$	120	°C
$T_{a2}$	80	°C
$T_{a1}$	25	°C

El calor que puede absorber el agua se determina mediante la ecuación 18, según Cengel y Cimbala (2006) donde se especifica el calor recuperado por una tubería, éste depende de la longitud del intercambiador, la chimenea dispone de 10 metros de longitud utilizable se consideró dejar un metro a cada lado para poder realizar las instalaciones con holgura, por lo que el resultado del calor recuperado se muestra en la Tabla 24.

$$\dot{Q} = UL\pi D_{o,c}DTML \quad (18)$$

Donde:

$\dot{Q}$  : Calor absorbido por el fluido frio

$U$  : Coeficiente global de transferencia de calor

$L$  : Longitud del intercambiador de calor

$D_{o,c}$  : Diámetro del área transversal del fluido frio.

$DTML$ : Diferencia de temperatura media logarítmica

**Tabla 24**

*Calor recuperado por un tubo en el intercambiador de calor*

Parámetros	Valor	Unidad
$\dot{Q}$	0.02634899	kJ/s
$L$	8	m
$U$	0.00055895	W/m <sup>2</sup> °C
$D_{o,c}$	0.01905	m
$\theta_m$	98.46	°C

Considerando que dentro del intercambiador de calor se utilizarán un total de 62 tubos se determina la cantidad de calor recuperado por cada uno de ellos en la Tabla 25 se muestra el calor del total de tubos.

**Tabla 25**

*Calor recuperado por los 62 tubos*

Parámetros	Valor	Unidad
$Q_{total}$	1.63	kW
$Q_{tubo}$	0.03	kW
$N_{tubo}$	62	Tubos

Teniendo esta referencia se seleccionó la turbina compacta de 1 kW -QLD con un voltaje de generación de 380 V sus características se muestran en la Tabla 26.

**Tabla 26**

*Características técnicas de la turbina 1 kW-QLD*

<b>Parámetros</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>
Origen	China	
Modelo	QLDE	
Tipo	Turbina de vapor	
Generador	1	kW
Voltaje	380	V
Presión de entrada	0.98	MPa
Temperatura máxima	180	°C
Peso	2	Tn

#### **4.3. Evaluación económicamente del sistema de recuperación de calor residual en la caldera para generación de energía eléctrica en la empresa Agroindustrial Molinera Chavo S.A.C.**

Para realizar la evaluación económica se establece en primera instancia el presupuesto del conjunto intercambiador de calor y turbina de vapor, el intercambiador de calor debe ser fabricado dentro de las consideraciones que se tienen en la empresa y según el cálculo realizado, se establece la compra del material (acero) el costo del material se realiza por kilogramo, en la Tabla 23 se muestra las particularidades de la tubería según su diámetro en kilogramos por metro y el costo de cada kilogramo estableciendo el costo del material que se requiere para la fabricación del intercambiador de calor.

**Tabla 27**

*Costo del material para intercambiador de calor*

<b>Tubería</b>	<b>Peso por longitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>Peso</b>	<b>Soles por peso</b>	<b>Precio</b>
Pulgadas	kg/m	m	kg	S/. /kg	S/.
10	95.5	8	764	3.38	2 582.32
3/4	1.69	496	838.24	1.67	1 399.86
Total					3 982.18

La fabricación del intercambiador se realizará en el taller de mantenimiento de la empresa, de acuerdo a costos que maneja el área de mantenimiento y soldadura (calderería)

establecen un costo de fabricación en S/. 2800.00, en consecuencia el costo total del intercambiador de calor es de S/ 6782.18.

El presupuesto referencial total de suministro y montaje del intercambiador de calor y la turbina se muestra en la Tabla 28.

**Tabla 28**

*Presupuesto referencial intercambiador de calor y turbina*

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (S/.)	Precio sub total (S/.)
<b>I</b>	<b>Suministro de materiales y equipos</b>				<b>43538.18</b>
1.0	Intercambiador de calor	Und	1	6782.18	6782.18
2.0	Brida 10 pulgadas	Und	4	139.00	556.00
3.0	Turbina QLD – 1 kW	Und	1	36200.00	36200.00
<b>II</b>	<b>Montaje electromecánico</b>				<b>7836.8724</b>
2.1	Montaje electromecánico intercambiador de calor y turbina	Glb	1	7836.8724	7836.8724
<b>Total</b>					<b>51375.05</b>

El precio promedio de la cascarilla de arroz puede variar según diferentes factores, como la región, la disponibilidad y la demanda del mercado, pero el costo de la cascarilla de arroz puede influir en factores como la oferta y demanda local, así como en el uso específico que se le dará, como combustible para calderas. Para la investigación se ha considerado un costo representativo mínimo, ya que la misma empresa produce la cascarilla producto del pilado de arroz.

La eficiencia de una caldera a vapor junto con un intercambiador de calor en la salida de los gases de escape puede variar según varios factores, incluyendo el diseño específico del sistema, la calidad de los equipos, y las condiciones de operación.

Para determinar la cantidad exacta de cascarilla de arroz necesaria para producir 1.62 kW de energía térmica en un recuperador de calor implica considerar varios factores, como el poder calorífico de la cascarilla de arroz y la eficiencia del proceso de conversión térmica. Según Ramón et al. (2018), el poder calorífico de la cascarilla de arroz es de 15.64 MJ/kg (15640 kJ/kg), con un porcentaje de azufre de 0.15% valor que está por encima de muestras analizadas en la Universidad de Ibagué y por otras universidades extranjeras posicionando la calidad energética de la cascarilla de arroz. El flujo másico de cascarilla de arroz se determina con la ecuación 19.

$$\dot{Q} = \dot{m}_{ca} \times PC_{ca} \times \eta \quad (19)$$

Donde:

$\dot{m}_{ca}$  : Flujo másico de cascarilla de arroz (kg/s).

$PC_{ca}$  : Poder calorífico de la cascarilla de arroz (kJ/kg).

$\eta$  : Eficiencia del proceso.

**Tabla 29**

*Cálculos del costo anual de la cascarilla de arroz como combustible*

Descripción	Valor	Unidad
Calor o potencia térmica recuperada	1.63	kW
Poder calorífico (PC) de la cascarilla de arroz	15640.00	kJ/kg
Flujo másico de cascarilla de arroz	0.0001042	kg/s
Flujo másico de cascarilla de arroz por hora	0.38	kg/h
Horas de trabajo	12	h/día
Flujo másico de cascarilla de arroz por día	4.50	kg/día
Flujo másico de cascarilla de arroz por año	1643.34	kg/año
Eficiencia total caldera más intercambiador de calor	80	%
Consumo de cascarilla de arroz como combustible	2054.18	kg/año
Costo referencial de la cascarilla de arroz	1.50	S/kg
Costo anual de la cascarilla de arroz	3081.26	S/año

#### 4.3.1 Costo Nivelado de Generación de Electricidad

Según IRENA (2012), hay muchas compensaciones potenciales que se deben considerar al desarrollar un enfoque de modelado LCOE. El enfoque adoptado aquí es relativamente simplista, dado el hecho de que el modelo debe aplicarse a una amplia gama de tecnologías en diferentes países y regiones. Sin embargo, esto tiene la ventaja adicional de que el análisis es transparente y fácil de entender. Además, un análisis LCOE más detallado da como resultado unos gastos generales significativamente mayores en términos de la granularidad de los supuestos requeridos. El costo promedio ponderado del capital (WACC), a menudo también denominado tasa de descuento, es una parte importante de la información requerida para evaluar proyectos de generación de energía a partir de biomasa y tiene un impacto importante en el LCOE. Para calcular el LCOE se utiliza la ecuación 20.

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+d)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+d)^t}} \quad (20)$$

Donde:

LCOE: Coste nivelado medio de la generación de electricidad a lo largo de su vida útil.

$I_t$ : Gastos de inversión en el año  $t$  (S/.).

$d$ : Tasa de descuento (%).

$t$ : Vida útil del sistema (años).

$M_t$ : Gastos de operación y mantenimiento en el año  $t$  (S/.).

$F_t$ : Gastos de combustible en el año  $t$  (S/.).

$E_t$ : Generación de electricidad en el año  $t$  (kWh).

Los análisis globales de los costos de producción de electricidad suelen emplear tasas de descuento del 5% y 7%, basadas en valores reales, aunque proyectos de inversión privada podrían optar por tasas más elevadas (Guillen, 2015). En el caso particular del proyecto, se ha calculado el LCOE de generación de electricidad utilizando una tasa de descuento del 10%. Los resultados detallados de este cálculo se presentan en la Tabla 30, resultado un LCOE de 2.288 S/./kWh.

**Tabla 30**

*Resultados de cálculo del LCOE*

Año	Inversión ( $I_t$ ) (S/.)	Producción Energía ( $E_t$ ) (kWh)	Costos ( $M_t$ ) (S/.)	Costos Combustible ( $F_t$ ) (S/.)	Costos recurrentes (S/.)	Costos anuales totales (S/.)	Producción a valor presente (kWh)	Costos anuales a valor presente (S/.)
0	51375.05					51375.05		51375.05
1		4380.00	600.00	3081.26		3681.26	3981.82	3346.60
2		4380.00	600.00	3081.26		3681.26	3619.83	3042.37
3		4380.00	600.00	3081.26		3681.26	3290.76	2765.79
4		4380.00	600.00	3081.26		3681.26	2991.60	2514.35
5		4380.00	600.00	3081.26		3681.26	2719.64	2285.77
6		4380.00	600.00	3081.26		3681.26	2472.40	2077.98
7		4380.00	600.00	3081.26		3681.26	2247.63	1889.07
8		4380.00	600.00	3081.26		3681.26	2043.30	1717.34
9		4380.00	600.00	3081.26		3681.26	1857.55	1561.21
10		4380.00	600.00	3081.26	6782.18	10463.44	1688.68	4034.11
11		4380.00	600.00	3081.26		3681.26	1535.16	1290.26
12		4380.00	600.00	3081.26		3681.26	1395.60	1172.96
13		4380.00	600.00	3081.26		3681.26	1268.73	1066.33
14		4380.00	600.00	3081.26		3681.26	1153.39	969.39
15		4380.00	600.00	3081.26		3681.26	1048.54	881.27
16		4380.00	600.00	3081.26		3681.26	953.22	801.15
17		4380.00	600.00	3081.26		3681.26	866.56	728.32
18		4380.00	600.00	3081.26		3681.26	787.78	662.11
19		4380.00	600.00	3081.26		3681.26	716.16	601.92
20		4380.00	600.00	3081.26		3681.26	651.06	547.20
						<b>Totales:</b>	<b>37289.41</b>	<b>85330.54</b>
<b>Costo Nivelado de Generación de Electricidad (S/./kWh):</b>							<b>2.288</b>	

*Nota.* Combustible cascarilla de arroz.



### 4.3.2 Indicadores económicos

Según Kumar (2015), el indicador Valor Actual Neto (VAN) se determina con la Ecuación (21). Asimismo la Tasa Interna de Retorno (TIR) a la tasa de interés  $R$  para que su valor neto sea igual a cero, se determina mediante la ecuación (22). Por otra parte, el Tiempo de Recuperación (TR) es un indicador económico que puede dar indicaciones demasiado optimistas ya que no tiene en cuenta la duración de la inversión y el coste del capital, y la relación entre la inversión inicial y el flujo de caja efectivo, se determina con la ecuación (23).

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i_t)^t} - I_0 \quad (21)$$

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+R)^t} - I_0 = 0 \quad (22)$$

$$TR = \frac{I_0}{FC} \quad (23)$$

Donde:

$FC_t$ : Flujo de caja en el  $t$ -ésimo año (S/.)

$I_0$ : Gastos de inversión en el año  $t$  (S/.)

$t$  : Vida útil del sistema (años).

$i_t$  :Tasa de interés.

$1/(1+i_t)^t$  : Factor de descuento

$n$  : Años que dura la inversión

$R$  : Tipo de interés o tasa de retorno

El proyecto resultó no rentable, considerando tasas de interés para el VAN del 12 y 10%. Evaluando para una tasa de interés para el VAN del 6%, el VAN resulta positivo S/. 17575.82, y el TIR de 10 %, y se hace rentable al mediano y largo plazo, tiempo de recuperación 12.04 años. En la Tabla 31 se presentan los resultados de la evaluación económica para una tasa de interés del 6%.

**Tabla 31**

*Resultados de cálculo de indicadores económicos*

Año	Energía			Resultados					
	Inversión (S/.)	Producción Energía (kWh)	LCOE (S./kWh)	Ingresos (S/.)	Pagos (S/.)	Flujo Neto Caja (S/.)	FNC Actualizado (Cálculo del VAN) (S/.)	Flujo Neto Caja Acumulado (S/.)	Tiempo Recuperación (TR) (Años)
0	51375.05					-51375.05	-51375.05	-51375.05	
1		4380.00	2.288	10022.89	3681.26	6341.63	5982.67	-45392.38	
2		4380.00	2.288	10022.89	3681.26	6341.63	5644.03	-39748.35	
3		4380.00	2.288	10022.89	3681.26	6341.63	5324.56	-34423.80	
4		4380.00	2.288	10022.89	3681.26	6341.63	5023.17	-29400.63	
5		4380.00	2.288	10022.89	3681.26	6341.63	4738.84	-24661.80	
6		4380.00	2.288	10022.89	3681.26	6341.63	4470.60	-20191.20	
7		4380.00	2.288	10022.89	3681.26	6341.63	4217.55	-15973.65	
8		4380.00	2.288	10022.89	3681.26	6341.63	3978.82	-11994.83	
9		4380.00	2.288	10022.89	3681.26	6341.63	3753.60	-8241.23	
10	6782.18	4380.00	2.288	10022.89	10463.44	-440.55	-246.00	-8487.23	
11		4380.00	2.288	10022.89	3681.26	6341.63	3340.69	-5146.54	
12		4380.00	2.288	10022.89	3681.26	6341.63	3151.60	-1994.94	<b>12.04</b>
13		4380.00	2.288	10022.89	3681.26	6341.63	2973.20	978.26	
14		4380.00	2.288	10022.89	3681.26	6341.63	2804.91	3783.17	
15		4380.00	2.288	10022.89	3681.26	6341.63	2646.14	6429.31	
16		4380.00	2.288	10022.89	3681.26	6341.63	2496.36	8925.67	
17		4380.00	2.288	10022.89	3681.26	6341.63	2355.06	11280.72	
18		4380.00	2.288	10022.89	3681.26	6341.63	2221.75	13502.48	
19		4380.00	2.288	10022.89	3681.26	6341.63	2095.99	15598.47	
20		4380.00	2.288	10022.89	3681.26	6341.63	1977.35	17575.82	
				<b>TIR</b>			<b>10.00%</b>	<b>S/. 17575.82</b>	
				<b>TR (años)</b>			<b>12.04</b>		
				<b>Interés para VAN</b>			<b>6%</b>		
				<b>VAN</b>			<b>S/. 17575.82</b>		

## V. Discusión

Para la cuantificación de la cantidad de energía que se puede recuperar de la caldera para generación de energía eléctrica, los datos de temperatura de los gases de escape se obtuvieron de mediciones realizadas por el área de mantenimiento de la empresa, que varían entre un máximo de 234 °C y un mínimo de 182 °C, para determinar la velocidad de salida se realizó mediante cálculo con el caudal del ventilador que se ocupa del movimiento de los gases de escape para que salgan de la caldera, saliendo estos por una tubería de 10 pulgadas la velocidad de salida llega a ser de 0.98 m/s. Se evaluó para dos escenarios una teórica ideal en donde se logra tomar la temperatura de los gases de escape de las temperaturas 234 °C y 182 °C a 25 °C que es la temperatura ambiente logrando así idealmente obtener para la mayor temperatura 21.38 GJ y para la menor de 17.89 GJ; pero considerando realmente que los antecedentes establecen una salida máxima de temperatura de los gases de escape de 120 °C la energía que se puede obtener considerando el menor rango es de 7.01 GJ y de 163.60 kJ/s. Palacios y Sandoval (2022) utilizó para la medición un termómetro compuesto de cuatro termocuplas obteniendo un intervalo entre la temperatura de los gases de 249.9 °C – 194.1 °C como el menor rango y de 553.6 °C – 303.2 °C como el mayor rango, para el rango de velocidades se utilizó un anemómetro digital obteniendo en tres mediciones para el generador sin carga, y con una carga y con dos cargas obteniendo 20.6 m/s, 12.6 m/s y 9 m/s como velocidades máximas. Por otra parte la potencia de los gases de combustión a la salida del generador es de aproximadamente 500 W y el flujo de calor para este sistema de recuperación de calor es de aproximadamente 13 W. Sánchez (2021) se basa en los sensores colocados en el motor de combustión a la salida de los gases de escape para determinar que la temperatura de los gases de escape según la carga del motor es de 291.33 °C para el motor a una carga de 50% y de 479.74 a una carga del 90%. Rodríguez (2019) establece una temperatura de gases de escape promedio de 376 °C, aunque no determina la velocidad de estos, establece un flujo másico en 13.6 kg/s. Los gases de escape liberados del motor llegan a tener una energía en forma de calor de 5 MW, también establece que la máxima exergía de estos llega a ser de 3.31 MW, aunque la energía por el diseño propuesto logra una recuperación de energía de 8795 kW.

Para el dimensionamiento de los componentes del sistema de recuperación de calor residual en la caldera para generación de energía eléctrica, el intercambiador de calor tiene una longitud de 8 m se diseñó teniendo en cuenta el diámetro de 10 pulgadas de la tubería utilizado para la chimenea de la caldera, y de acuerdo cálculos y diseño de componentes como tuberías

se puede recuperar 1.63 kW; y el conjunto de turbina de vapor se determinó para una potencia de 1 kW y con un voltaje de generación de 380 V. Según Palacios y Sandoval (2022), formuló un intercambiador de calor 1.8 m y un área de transferencia de calor de 1.02 m<sup>2</sup>, para un coeficiente global de transferencia de calor de 0.043 W/m<sup>2</sup> °C. Por otra parte Rodríguez (2019) determinó utilizar una turbina de vapor en la chimenea de las 3 unidades Wartsila W16V32.

Para la evaluación económica del sistema de recuperación de calor residual en la caldera para generación de energía eléctrica, se ha calculado el LCOE de generación de electricidad utilizando una tasa de descuento del 10% resultado un LCOE de 2.288 S./kWh. El proyecto resultó no rentable, considerando tasas de interés para el VAN del 12 y 10%, evaluando para una tasa de interés para el VAN del 6%, el VAN resulta positivo S/. 17575.82, y el TIR 10 %, y se hace rentable al mediano y largo plazo, tiempo de recuperación 12.04 años. Palacios y Sandoval (2022) no realiza ninguna evaluación económica del sistema simulado. Sánchez (2021) elaboró una tabla para los indicadores económicos de todos los fluidos utilizados para el análisis obteniendo un Payback en año para el Benceno de 6.54 aun siendo el Tolueno el fluido de mayor generación de energía este establece un Payback de 8.17 años. Rodríguez (2019) analiza económicamente todo el sistema de ciclo combinado con recuperación de energía de los gases de escape para una tasa de descuento del 5.43% un VAN de \$ 1 493350.92 y un TIR de 32.26%.

## Conclusiones

Se cuantificó la cantidad de energía que se puede recuperar de la caldera para generación de energía eléctrica, evaluando para dos escenarios una teórica ideal en donde se logra tomar la temperatura de los gases de escape de las temperaturas 234 °C y 182 °C a 25 °C que es la temperatura ambiente logrando así idealmente obtener para la mayor temperatura 21.38 GJ y para la menor de 17.89 GJ; pero considerando realmente que los antecedentes establecen una salida máxima de temperatura de los gases de escape de 120 °C la energía que se puede obtener considerando el menor rango es de 7.01 GJ y de 163.60 kJ/s.

Se dimensionó los componentes del sistema de recuperación de calor residual en la caldera para generación de energía eléctrica, el intercambiador de calor tiene una longitud de 8 m se diseñó teniendo en cuenta el diámetro de 10 pulgadas de la tubería utilizado para la chimenea de la caldera, de acuerdo cálculos y diseño de componentes como tuberías se puede recuperar 1.63 kW; y el conjunto de turbina de vapor se determinó para una potencia de 1 kW y con un voltaje de generación de 380 V.

Se evaluó económicamente el sistema de recuperación de calor residual en la caldera para generación de energía eléctrica, se ha calculado el LCOE de generación de electricidad utilizando una tasa de descuento del 10% resultado un LCOE de 2.288 S/./kWh. El proyecto resultó no rentable, considerando tasas de interés para el VAN del 12 y 10%, evaluando para una tasa de interés para el VAN del 6%, el VAN resulta positivo S/. 17575.82, y el TIR 10 %, y se hace rentable al mediano y largo plazo, tiempo de recuperación 12.04 años.

## **Recomendaciones**

La cantidad de energía que se puede determinar es en referencia a los antecedentes, un método experimental sería de mejor ayuda por los parámetros del combustible que se utiliza que en este caso es cascarilla de arroz.

Evaluar otro tipo de intercambiador de calor y de ser posible de manera experimental, ya que los datos teóricos no permiten hacer un análisis muy fiel a la realidad.

La empresa debe implementar el diseño propuesto y beneficiar económicamente en el gasto de energía eléctrica.

## Referencias bibliográficas

- Alcántara, E. (2020). *Diseño de una central termoelectrica utilizando cascarrilla de arroz para reducir costos de consumo de energia electrica en los molinos de arroz de la Provincia de Jaén*. Tesis de Pregrado, Universida Señor de Sipan, Escuela Profesional de Ingenieria Mecanica Electrica , Pimentel. Obtenido de <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/6893>
- Caetano Barbieri, R., Costa Campos, J., Fernando Brito, R., Marcos Siqueira, A., Minette, L. J., & Acevedo, E. J. (2020). Analisis de la eficiencia energetica de una caldera industrial alimentada por leña . *Research, Society and Development*, 9(2525-3409), 1-20. Obtenido de <https://www.vapormat-saacke.com/perdidas-de-energia-en-calderas>
- Cengel , Y., & Cimbala, J. (2006). *Mecanica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones*. (R. Bosque Alayon, Ed.) Mexico D.F.: Mc Graw hill.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2012). *Termodinámica* (M. G. Hill (ed.); Séptima Ed).
- Dammert, A. J. C.; Molinelli, F. G.; Carbajal, M. A.(2011). *Fundamnetos Técnicos y Económicos del Sector Eléctrico Peruano - OSINERGMIN*. LIMA. osinergmin. Recuperado de: [http://www.osinerg.gob.pe/newweb/uploads/Estudios\\_Economicos/Fundamentos%20Tecnicos%20y%20Economicos](http://www.osinerg.gob.pe/newweb/uploads/Estudios_Economicos/Fundamentos%20Tecnicos%20y%20Economicos)
- Diaz, E., Quintero, D., & Quintero, J. (2017 de Setiembre de 2019). *Automatizacion del procesode adiccion de caliza para mejorar la eficiencia en la caldera de una central termoelectrica que permita disminuir el impacto ambiental a partir de una reduccion en la produccion de ceniza*. Tesis Pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia , Escuela de Ciencias Basicas Tecnologia e Ingenieria , Sahagún. Obtenido de [termodinamica.com.pe: https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/27485/jhquinteror.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/27485/jhquinteror.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Gonzales, J. A. (2021). *Técnicas e instrumentos de investigación científica* (ENFOQUES CONSULTING EIRL (ed.); 1 era Edic). <https://www.researchgate.net/publication/350072286%0ATÉCNICAS>
- Grundfos. (2017). *El economizador: ahorro energético en sistemas de caldera*. Obtenido de [grundfos.com: https://www.grundfos.com/ar/learn/ecademy/all-courses/boiler-systems/the-economiser-saving-energy-in-boiler-](https://www.grundfos.com/ar/learn/ecademy/all-courses/boiler-systems/the-economiser-saving-energy-in-boiler-)





- Palacios, N., & Sandoval, R. (2022). *Simulación y diseño de un recuperador de calor a partir de un prototipo para generación eléctrica que funciona con biocombustible*. Tesis Pregrado, Universidad Central del Ecuador, Carrera de Ingeniería Química, Quito. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/26739>
- Pashma , P. A., & Toscano , S. L. (2019). Analisis de gases de escape en un motor de combustion interna, utilizando un colector de admision de aluminio y un colector de plastico. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/<https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/3080/1/T-UIDE-1130.pdf>
- Patiño Duque, H., & Rosero Coral, B. (Enero-junio de 2017). Análisis exergetico de una planta de cogeneración operando bajo ciclo combinado. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 17, 49-58. Obtenido de [https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria\\_sogamoso/article/view/5228](https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria_sogamoso/article/view/5228)
- Pérez, L. G. (01 de Abril de 2022). *Qué es el método Inductivo*. Obtenido de [gplresearch.com](https://gplresearch.com): <https://gplresearch.com/que-es-el-metodo-inductivo/#:~:text=En%20el%20m%C3%A9todo%20deductivo%20la,sistema%2C%20entonces%20debe%20ser%20verdadera.&text=En%20el%20m%C3%A9todo%20cient%20ADfco%20o,la%20naturaleza%20es%20la%20autoridad>.
- Ponce, S. M., & Montafur , C. J. (2014). *Diseño, construccion, instalaciones y puesta en marcha de un sistema de control automatizado* . Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Electrónica y Sistemas, Puno. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/[http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/2547/Ponce\\_Sandoval\\_Marco\\_Antonio%20\\_Montufar\\_Chata\\_Juan\\_Adriano.pdf?sequence=1](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/2547/Ponce_Sandoval_Marco_Antonio%20_Montufar_Chata_Juan_Adriano.pdf?sequence=1)
- Ramón, S., Cárdenas, J., y Rojas, J. (2018). Poder calorífico de la cascarilla de arroz usada como combustible en hornos de secado. *Fundación de Estudios Superiores Comfanorte*, 8(16), 72-76. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>
- Rodriguez , A. R. (2020). *Diseño e implementación del sistema de monitoreo de la condición termodinámica de la instalación de turbina en la Central Termoeléctrica Antonio Guiteras*. Tesis Postgrado, Universidad de Matanzas, Facultad de Ciencias Técnicas, Matanzas. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/<https://www.researchgate.net/profile/R>

oberto-Vizcon-Toledo/publication/350950562\_Resumen\_-  
tesis\_de\_maestria\_monitoreo\_de\_condicion\_termodinamica\_de\_turbina\_de\_vapor\_de  
\_una\_central\_termoelectrica/links/60

Rodríguez Paspuel, E. F. (2019). *Diseño de un sistema de cogeneración asociado a la ventral de generación eléctrica del bloque 18 de Petroamazonar Ep*. Tesis Progrado, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica, Quito. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20596>

Sanchez Daza, J. E. (2021). *Optimización térmica y económica de un ciclo Rankine orgánico que aprovecha el calor residual de los motores de combustión interna*. Tesis Pregrado, Universidad Autónoma de Bucaramanga, Programa de Ingeniería de Bucaramanga, Bucaramanga. Obtenido de [https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/14058/2021\\_Tesis\\_Jesus\\_Sanchez\\_Daza.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/14058/2021_Tesis_Jesus_Sanchez_Daza.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Soní Castro, I. J., López Oyama, A. B., & Rodríguez González, E. (2021). “La termoelectricidad: convirtiendo el calor en electricidad. *Revista Digital Universitaria*, 22(4), 2-9. Obtenido de [https://www.revista.unam.mx/2021v22n4/la\\_termoelectricidad\\_convirtiendo\\_el\\_calor\\_en\\_electricidad/#:~:text=Una%20vez%20que%20contamos%20con,de%20ingenier%C3%ADa%20t%C3%A9rmica%2C%20s.f.\)](https://www.revista.unam.mx/2021v22n4/la_termoelectricidad_convirtiendo_el_calor_en_electricidad/#:~:text=Una%20vez%20que%20contamos%20con,de%20ingenier%C3%ADa%20t%C3%A9rmica%2C%20s.f.))

Soto, S. I., & Werner, R. L. (2009). *Evaluación técnica y económica de una central termoeléctrica en la región Los Ríos*. Tesis de Pregrado, Universidad Austral de Chile, Facultad de ciencias de la Ingeniería, Valdivia. Obtenido de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcis7182e/doc/bmfcis7182e.pdf>

Vapormat (2022). *Pérdidas de energía en calderas*. Obtenido de [vapormat-saacke.com: https://www.vapormat-saacke.com/perdidas-de-energia-en-calderas](https://www.vapormat-saacke.com/perdidas-de-energia-en-calderas)

## **Anexos**

### Anexo 01. Matriz de consistencia

1. TÍTULO:	4. VARIABLE DE ESTUDIO	8. INSTRUMENTOS
Diseño de un sistema de recuperación de calor residual en la caldera para generación de energía eléctrica en la empresa Agroindustrial Molinera Chavo S.A.C.-Amazonas	<b>a) Variable independiente (VI)</b> Recuperación de calor residual <b>b) Variable dependiente (VD)</b> Generación de energía eléctrica	- Guía de registro de características de la caldera y topología existente. - Ficha de registro parámetros físicos de gases de escape en la caldera.
<b>2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</b>		
¿Se podrá diseñar un sistema de recuperación de calor residual en la caldera para generación de energía eléctrica en la empresa Agroindustrial Molinera Chavo S.A.C.-Amazonas?	<b>5. HIPÓTESIS</b>  Se puede diseñar un sistema de recuperación de calor residual en la caldera para generación de electricidad en la empresa Agroindustrial Molinera Chavo S.A.C. Amazonas	
<b>3. OBJETIVOS</b>		
<b>3.1. Objetivo general</b> Diseñar un sistema de recuperación de calor residual en la caldera para generación de energía eléctrica en la empresa Agroindustrial Molinera Chavo S.A.C.-Amazonas  <b>3.2. Objetivos específicos</b> - Cuantificar la cantidad de energía que se puede recuperar de la caldera para generación de energía eléctrica en la empresa Agroindustrial Molinera Chavo S.A.C.	El diseño de investigación fue descriptiva con propuesta, no experimental.  <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> <b>M:</b> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">O</span> - - - - <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">P</span>                       M: Caldera de vapor                      O: Observación de gases de escape                      P: Propuesta de diseño de un sistema de recuperación de calor                 </div>	<b>9. ANÁLISIS DE DATOS</b>  El análisis de los datos y estadístico se realizó mediante estadística descriptiva. Se utilizó el programa Excel para el tratamiento de los datos, y la presentación en tablas y gráficos.
	<b>7. POBLACIÓN Y MUESTRA</b>	

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dimensionar los componentes del sistema de recuperación de calor residual en la caldera para generación de energía eléctrica de la empresa Agroindustrial Molinera Chavo S.A.C.</li> <li>- Evaluar económicamente el sistema de recuperación de calor residual en la caldera para generación de energía eléctrica en la empresa Agroindustrial Molinera Chavo S.A.C.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Población:</b> Caldera de vapor.</li> <li>- <b>Muestra:</b> Caldera de vapor para el año 2021.</li> <li>- <b>Muestreo:</b> No probabilístico por conveniencia del investigador.</li> </ul>	
--	--	--

## Anexo 02. Validación de instrumentos de recolección de datos

### Constancia de validación

Quien suscribe, Arturo José Navarrete Núñez de profesión Ing. Mecánico Electricista, ejerciendo actualmente como asesor independiente de tesis y proyectista en elaboración de expedientes sobre generación fotovoltaica hago constar que he revisado el instrumento denominado “Ficha de registro parámetros físicos de gases de escape en la caldera”.

Presentado por el Bach. Leodan Ramírez Santos con el objetivo de recoger los datos requeridos para su investigación: “Diseño de un sistema de recuperación de calor residual en la caldera para generación de energía eléctrica en la empresa Agroindustrial Molinera Chavo S.A.C.-Amazonas”.

En pertinencia al instrumento se aprecia.

<b>Criterio</b>	<b>Deficiente</b>	<b>Aceptable</b>	<b>Bueno</b>	<b>Excelente</b>
Logra objetivo del instrumento				X
Es claro y preciso				X
Consigue abarcar la amplitud del dato requerido				X
Es congruente				X
Es pertinente				X



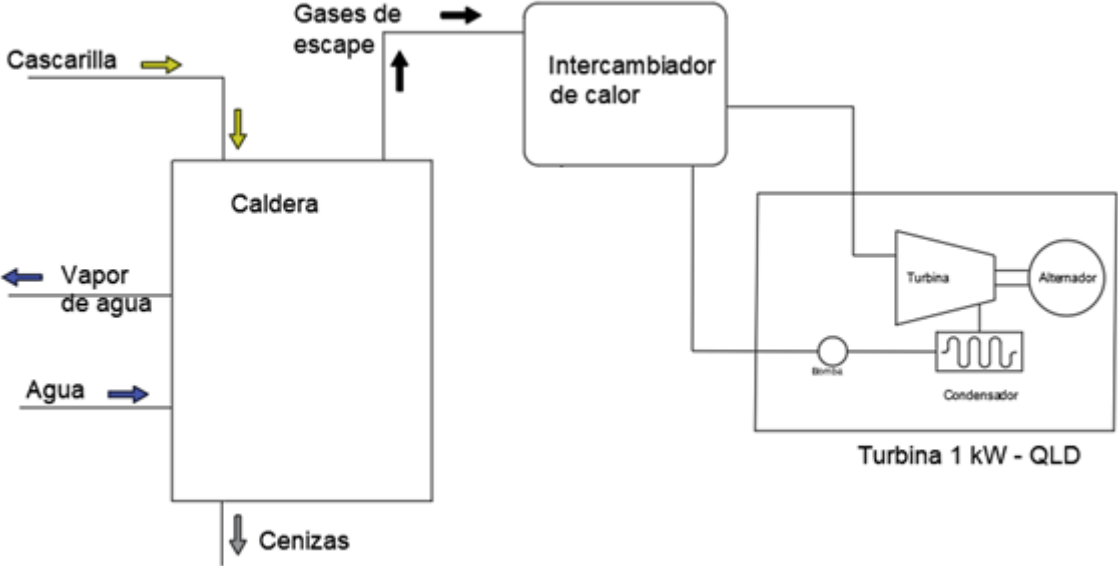
Arturo José Navarrete Núñez  
ING. MECÁNICO ELCTRICISTA  
C.I.P. 175480

**Ficha de registro parámetros físicos de gases de escape en la caldera**

<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>Temperatura</b>

  
-----  
**Arturo José Navarrete Nuñez**  
**ING. MECÁNICO ELCTRICISTA**  
**C.I.P. 175480**

**Anexo 03. Esquema del sistema de recuperación de calor residual en la caldera para generación de energía eléctrica**





## Anexo 04. Datos técnicos, y precios referenciales de la turbina



Qingdao Quickleader International Trade Co., Ltd

1 kw steam turbine

FOB Reference Price: [Get latest price](#)

**PEN 36,235.00** / unit | 1 unit/units (Min. order)

Benefits: Quick refunds on orders under US \$1,000

Quantity:    units

View larger image



Add to Compare  Share

### Overview

#### Essential details

Place of Origin:	Shandong, China	Brand Name:	QLD
Model Number:	QLDE	Type:	Generator
Electricity Generator Type:	steam	Output Voltage (V):	380
spec:	1 kw steam turbine	name:	1 kw steam turbine
brand:	1 kw steam turbine	manufacturer:	1 kw steam turbine

#### Supply Ability

Supply Ability 10 Unit/Units per Month 1 kw steam turbine

#### Packaging & delivery

Packaging Details	1 kw steam turbine Container/ bulk
Port	Qingdao
Lead timeⓈ:	45 days

[1 kw steam turbine](#)

---

## Product Description

we can manufacture small steam turbine  
1kw

**condensing steam turbine:**

**Model NO: QN0.01-0.98**

Inlet steam pressure: 0.98Mpa

Inlet steam temperature: 180°C

weight : 0.02 Ton

**back pressure steam turbine:**

**Model NO: QB0.01-0.98/0.2**

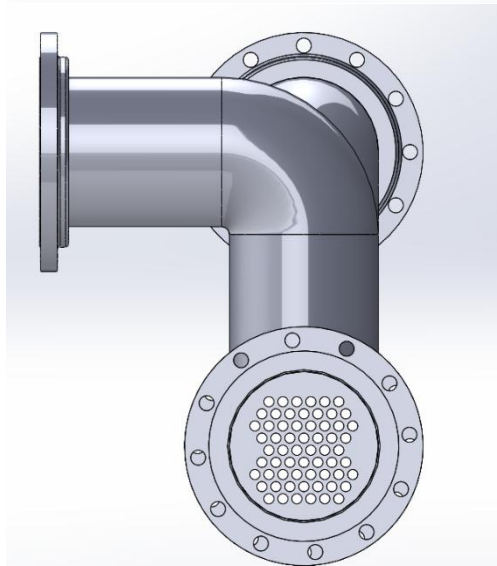
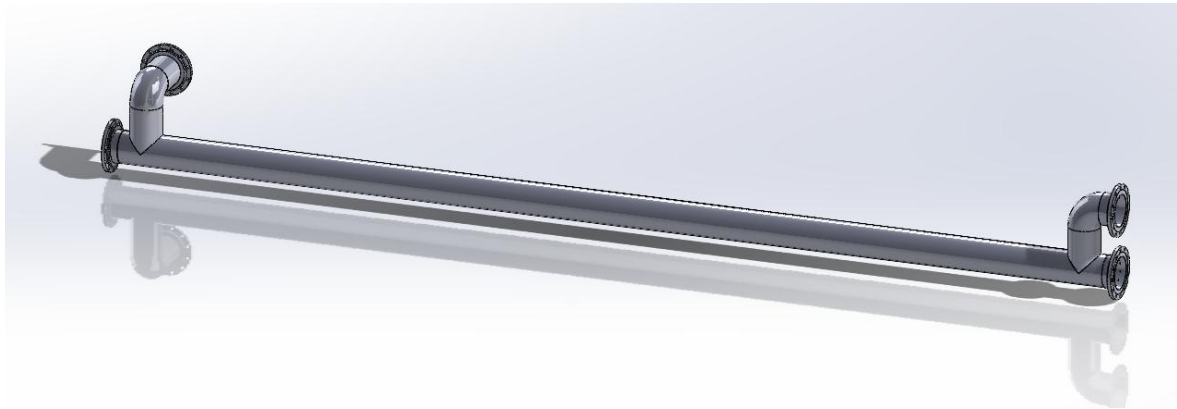
Inlet steam pressure: 0.98Mpa

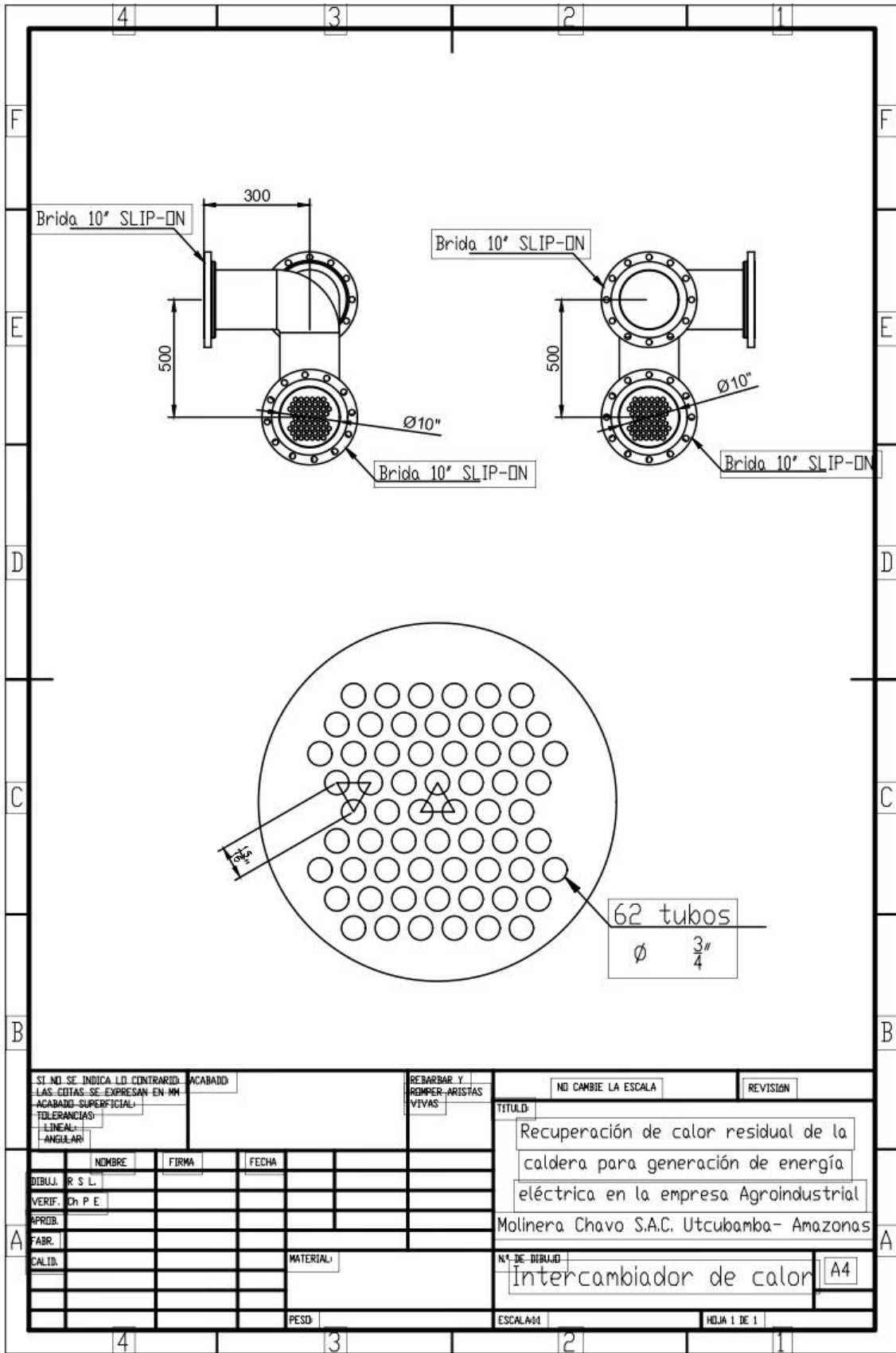
Inlet steam temperature: 180°C

weight : 0.02 Ton

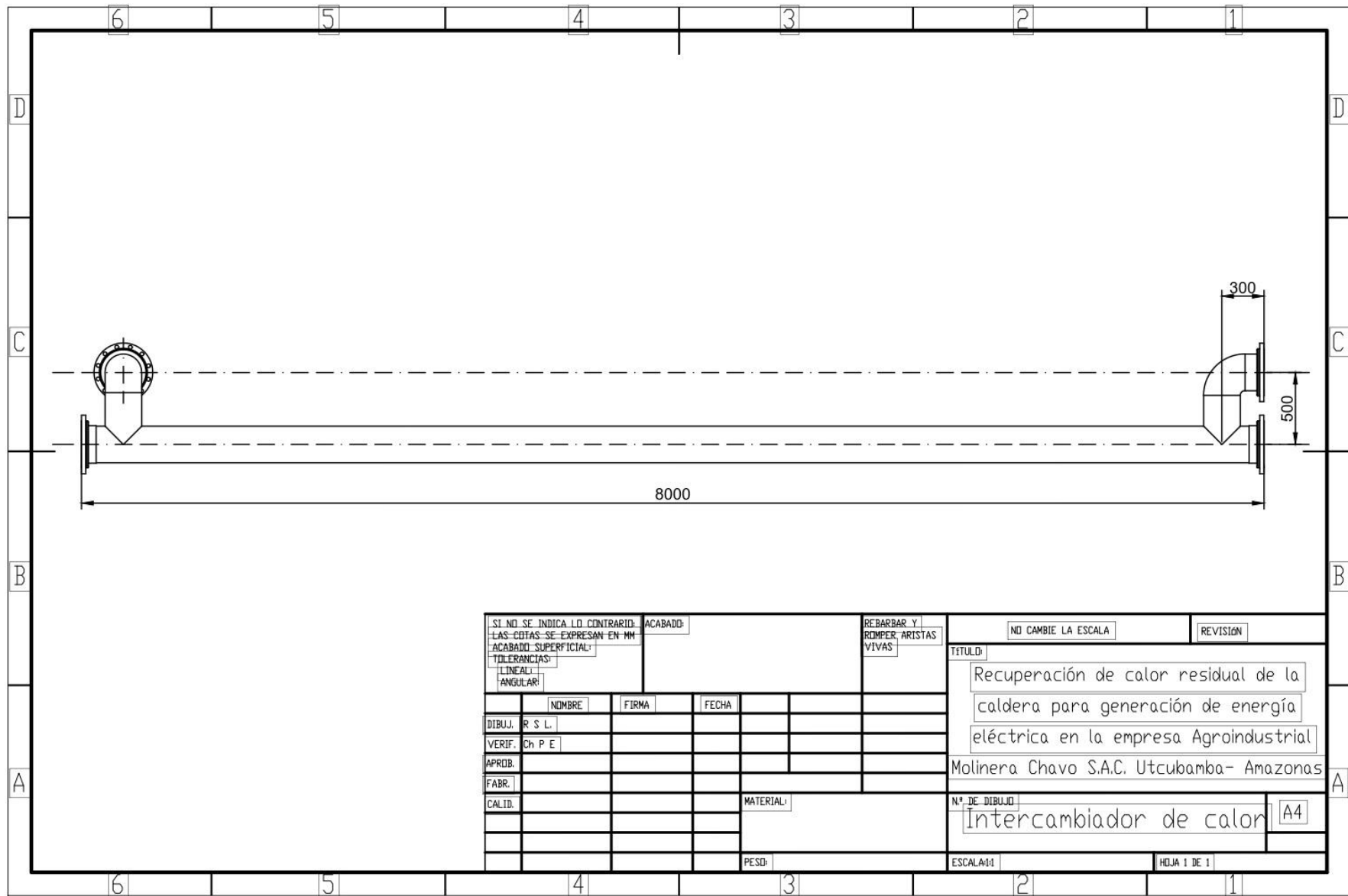


## Anexo 05. Láminas de detalle del intercambiador de calor



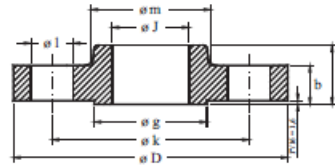


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO		ACABADO		REBARBAR Y REMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM						TÍTULO			
ACABADO SUPERFICIAL						Recuperación de calor residual de la caldera para generación de energía eléctrica en la empresa Agroindustrial			
TOLERANCIAS						Molinería Chavo S.A.C. Utcubamba- Amazonas			
LINEAL						Nº DE DIBUJO		A4	
ANGULAR						Intercambiador de calor			
NOMBRE		FIRMA		FECHA		ESCALA:MM		HOJA 1 DE 1	
DIBUJ. R S L.									
VERIF. Ch P E									
APROB.									
FABR.									
CALID.				MATERIAL					
				PESO					



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
ACABADO SUPERFICIAL:						TÍTULO:			
TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:						Recuperación de calor residual de la caldera para generación de energía eléctrica en la empresa Agroindustrial			
						Molinera Chavo S.A.C. Utcubamba- Amazonas			
DIBUJ. R S L.		NOMBRE		FIRMA		FECHA		Nº DE DIBUJO	
VERIF. Ch P E.								Intercambiador de calor   A4	
APROB.								ESCALA: 1:1	
FABR.								HOJA 1 DE 1	
CALID.						MATERIAL:			
						PESO:			

**BRIDAS SLIP-ON  
150 Lbs.**



**ASME B16.5-1996**

Diámetro nominal	Brida				Cuello m mm. pulgadas	Resalte g mm. pulgadas	Taladros			Peso aprox. Kg. Libras
	D mm. pulgadas	J mm. pulgadas	b mm. pulgadas	h mm. pulgadas			Número	l mm. pulgadas	k mm. pulgadas	
1/2"	88,9 3 1/2	22,3 0.88	11,1 7/16	15,9 5/8	30,2 1 3/16	34,9 1 3/8	4	15,9 5/8	60,3 2 3/8	0,4 0.9
3/4"	98,4 3 7/8	27,7 1.09	12,7 1/2	15,9 5/8	38,1 1 1/2	42,9 1 11/16	4	15,9 5/8	69,9 2 3/4	0,7 1.5
1"	107,9 4 1/4	34,5 1.36	14,3 9/16	17,5 11/16	49,2 1 15/16	50,8 2	4	15,9 5/8	79,4 3 1/8	0,8 1.9
1 1/4"	117,5 4 3/8	43,2 1.7	15,9 5/8	20,6 13/16	58,7 2 3/16	63,5 2 1/2	4	15,9 5/8	88,9 3 1/2	1,1 2.4
1 1/2"	127,0 5	49,5 1.95	17,5 11/16	22,2 7/8	65,1 2 9/16	73,0 2 7/8	4	15,9 5/8	98,4 3 7/8	1,4 3.1
2"	152,4 6	62,0 2.44	19,1 3/4	25,4 1	77,8 3 1/16	92,1 3 5/8	4	19,05 3/4	120,6 4 3/4	2,2 4.8
2 1/2"	177,8 7	74,7 2.94	22,2 7/8	28,6 1 1/8	90,5 3 9/16	104,8 4 1/8	4	19,05 3/4	139,7 5 1/2	3,6 7.9
3"	190,5 7 1/2	90,7 3.57	23,8 15/16	30,2 1 3/16	107,9 4 1/4	127,0 5	4	19,05 3/4	152,4 6	4,1 9
3 1/2"	215,9 8 1/2	103,4 4.07	23,8 15/16	31,7 1 1/4	122,2 4 15/16	139,7 5 1/2	8	19,05 3/4	177,8 7	5,2 11.4
4"	228,6 9	116,1 4.57	23,8 15/16	33,3 1 5/16	134,9 5 3/16	157,2 6 3/16	8	19,05 3/4	190,5 7 1/2	5,6 12.3
5"	254,0 10	143,8 5.66	23,8 15/16	36,5 1 7/16	163,5 6 7/16	185,7 7 3/16	8	22,2 7/8	215,9 8 1/2	6,3 13.9
6"	279,4 11	170,7 6.72	25,4 1	39,7 1 9/16	192,1 7 9/16	215,9 8 1/2	8	22,2 7/8	241,3 9 1/2	7,5 16.5
8"	342,9 13 1/2	221,5 8.72	28,6 1 1/8	44,4 1 3/4	246,1 9 11/16	269,9 10 5/8	8	22,2 7/8	298,4 11 3/4	12,6 27.7
10"	406,4 16	276,35 10.88	30,2 1 3/16	49,2 1 15/16	304,8 12	323,8 12 3/4	12	25,4 1	361,9 14 1/4	18,5 40.7
12"	482,6 19	327,15 12.88	31,8 1 1/4	55,6 2 3/16	365,1 14 3/8	381,0 15	12	25,4 1	431,8 17	28 61.6
14"	533,4 21	359,15 14.14	34,9 1 3/8	57,1 2 1/4	400,0 15 3/4	412,7 16 1/4	12	28,6 1 1/8	476,2 18 3/4	36 79.2
16"	596,9 23 1/2	410,5 16.16	36,5 1 7/16	63,5 2 1/2	457,2 18	469,9 18 1/2	16	28,6 1 1/8	539,7 21 1/4	46 101.2
18"	635,0 25	461,8 18.18	39,7 1 9/16	68,3 2 11/16	504,8 19 7/8	533,4 21	16	31,7 1 1/4	577,8 22 3/4	50 110
20"	698,5 27 1/2	513,1 20.2	42,9 1 11/16	73,0 2 7/8	558,8 22	584,2 23	20	31,7 1 1/4	635,0 25	64 140
22"	749,3 29 1/2	564,4 22.22	46,0 1 13/16	79,4 3 1/8	609,6 24	641,35 25 1/4	20	34,9 1 3/8	692,1 27 1/4	72 159
24"	812,8 32	615,95 24.25	47,6 1 7/8	82,5 3 1/4	663,6 26 1/8	692,1 27 1/4	20	34,9 1 3/8	749,3 29 1/2	89 196

**FA.7**

## Anexo 06. Galería fotográfica

### Caldera de vapor de la empresa Agroindustrial Molinera Chavo S.A.C.



**Recopilación de datos en la caldera de vapor de la empresa Agroindustrial Molinera Chavo S.A.C.**

