



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE UN INTERCAMBIADOR DE  
CALOR PARA LA REDUCCION DE HUMEDAD DE LA BIOMASA QUE INGRESA A UNA  
CALDERA HURST 2**

**Ricardo Daniel Fletcher Andrade**

Asesorado por el Mtro. Ing. Wellington Vásquez

Guatemala, junio de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR PARA LA REDUCCION DE HUMEDAD DE LA BIOMASA QUE INGRESA A UNA CALDERA HURST 2**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**RICARDO DANIEL FLETCHER ANDRADE**  
ASESORADO POR MTRO. ING. WELLINGTON VASQUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, JUNIO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Jorge Iván Cifuentes Castillo
EXAMINADOR	Ing. Mynor Roderico Figueroa Fuentes
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR PARA LA REDUCCION DE HUMEDAD DE LA BIOMASA QUE INGRESA A UNA CALDERA HURST 2**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Posgrado con fecha 7 de agosto de 2021.

**Ricardo Daniel Fletcher Andrade**



**EEPFI-PP-0135-2022**

Guatemala, 12 de enero de 2022

**Director**  
**Gilberto Morales Baiza**  
**Escuela De Ingenieria Mecanica**  
**Presente.**

**Estimado Ing. Morales**

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **PROPUESTA DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR PARA LA REDUCCION DE HUMEDAD DE LA BIOMASA QUE INGRESA A UNA CALDERA HURST 2**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Diseño y Conservación de Materiales - Utilización de técnicas adaptables para la Innovación de materiales y equipos y su mantenimiento preventivo**, presentado por el estudiante **Ricardo Daniel Fletcher Andrade** carné número **201513657**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Ingeniería De Mantenimiento.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

ME.A. Ing. Kenneth Lubeck Corado Esquivel  
Colegiado No. 1758  
Colegio de Ingenieros Quimicos  
de Guatemala

Mtro. Kenneth Lubeck Corado Esquivel  
Asesor(a)

Mtra. Rocio Carolina Medina Galindo  
Coordinador(a) de Maestría



Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería





EEP-EIM-0135-2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Mecanica de la Facultad de Ingenieria de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **PROPUESTA DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR PARA LA REDUCCION DE HUMEDAD DE LA BIOMASA QUE INGRESA A UNA CALDERA HURST 2**, presentado por el estudiante universitario **Ricardo Daniel Fletcher Andrade**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingenieria en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Gilberto Morales Baiza  
Director  
Escuela De Ingenieria Mecanica

Guatemala, enero de 2022

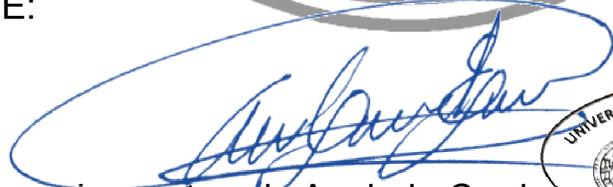


Decanato  
Facultad de Ingeniería  
24189101- 24189102  
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.438.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR PARA LA REDUCCION DE HUMEDAD DE LA BIOMASA QUE INGRESA A UNA CALDERA HURST 2**, presentado por: **Ricardo Daniel Fletcher Andrade**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
ingra. Aurelia Anabela Cordova Estrada 

Decana

Guatemala, junio de 2022

AACE/gaoc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por todos los buenos y malos momentos que me permiten cumplir mis sueños.
- Mis padres** Por sus enseñanzas, su amor y su eterno apoyo en ayudarme a cumplir mis metas.
- Mis hermanos** Ely Patricia y Josué Miguel Fletcher, por su apoyo y compañía durante mi vida.
- Mis abuelas** Que me observan desde el cielo.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San Carlos de Guatemala** Por ser el alma *mater* que me permitió nutrirme de conocimientos.

**Facultad de Ingeniería** Por proporcionarme los conocimientos que me han permitido realizar este trabajo de graduación a lo largo de mi carrera.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XV
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	7
4. JUSTIFICACIÓN .....	9
5. OBJETIVOS .....	11
5.1. General.....	11
5.2. Específicos .....	11
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN .....	13
7. MARCO TEÓRICO.....	17
7.1. Calderas .....	17
7.1.1. Calderas pirotubulares.....	20
7.1.2. Calderas acuotubulares .....	21
7.1.3. Caldera híbridas .....	23
7.2. Combustible para calderas .....	24

7.2.1.	Caldera gas .....	25
7.2.2.	Caldera diesel .....	26
7.3.	Caldera de biomasa .....	26
7.3.1.	Biomasa .....	27
7.4.	Características de la biomasa .....	28
7.4.1.	Tipos de biomasa .....	29
7.5.	Intercambiador de calor.....	29
7.5.1.	Intercambiador de calor directo .....	30
7.5.2.	Intercambiador de calor indirecto .....	30
7.5.3.	Características de los intercambiadores de calor ....	31
7.5.4.	Poder calorífico .....	33
7.6.	Combustión .....	33
7.7.	Generación de vapor.....	34
7.8.	Medidores .....	34
7.8.1.	Medidores de temperatura .....	34
7.8.1.1.	PT100.....	35
7.8.1.2.	Termocoplas.....	35
7.8.1.3.	Pirómetros .....	35
7.8.2.	Sensor de humedad .....	36
7.9.	Diseño .....	37
7.9.1.	Materiales.....	39
7.9.1.1.	Diagrama hierro – carbono.....	39
7.10.	Transferencia de calor.....	40
7.10.1.	Ley de la conservación de la energía .....	41
7.10.2.	Ley de la entropía.....	42
7.10.3.	Ley de cero absoluto .....	43
7.10.4.	Ley del equilibrio térmico.....	44
7.10.5.	Sistema abierto .....	45
7.10.6.	Sistema cerrado .....	46

7.10.7.	Sistema aislado .....	46
7.11.	Ciclos termodinámicos.....	47
7.11.1.	Ciclo de Carnot.....	47
7.11.2.	Ciclo Otto.....	48
7.11.3.	Ciclo Diesel.....	50
7.11.4.	Ciclo Brayton .....	51
7.11.4.1.	Ciclo Brayton con regeneración.....	53
7.11.5.	Ciclo de vapor de Carnot .....	54
7.11.6.	Ciclo Rankine.....	55
7.11.6.1.	Ciclo Rankine ideal con recalentamiento .....	57
7.11.6.2.	Ciclo Rankine ideal regenerativo .....	58
7.12.	Sensores .....	59
7.12.1.	Sensores inductivos.....	60
7.12.2.	Sensores ópticos .....	61
7.12.3.	Sensores electromecánicos.....	61
7.12.4.	Sensores de presión.....	62
7.12.5.	Líneas de emergencia .....	63
7.12.6.	Paro de emergencia .....	64
7.12.7.	Temporizadores.....	65
7.12.8.	Cierre de válvulas .....	66
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	69
9.	METODOLOGÍA.....	71
9.1.	Tipo de estudio.....	71
9.2.	Variables e indicadores .....	71
9.3.	Fases del estudio .....	72
9.4.	Muestreo.....	73

9.5.	Resultados esperados.....	74
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN .....	75
11.	CRONOGRAMA .....	77
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO .....	79
13.	REFERENCIAS .....	81
14.	APÉNDICES .....	83

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Esquema de solución .....	13
2.	Caldera diesel .....	19
3.	Caldera pirotubular.....	21
4.	Caldera acoutubular .....	22
5.	Caldera de Hurst de vapor .....	23
6.	Caldera de gas.....	25
7.	Caldera diesel .....	26
8.	Bodega de biomasa .....	27
9.	Intercambiador de calor.....	30
10.	Intercambiador con gases de escape.....	32
11.	Partes del intercambiador de calor.....	33
12.	Pirómetro.....	36
13.	Medido BMC .....	37
14.	Diagrama hierro-carbono .....	40
15.	Principio de conservación de energía .....	42
16.	Proceso de pérdida de calor .....	43
17.	Ley cero absolutos .....	44
18.	Equilibrio térmico.....	45
19.	Sistema abierto .....	45
20.	Sistema cerrado .....	46
21.	Sistema aislado.....	47
22.	Diagrama T-s .....	48
23.	Ciclo de Carnot .....	48

24.	Motor a combustión interna .....	49
25.	Diagrama T-s ciclo Otto .....	50
26.	Motor de combustión interna vs. motor diesel .....	50
27.	Diagrama T-s Diesel .....	51
28.	Diagrama ideal Brayton .....	52
29.	Ciclo Brayton abierto.....	52
30.	Ciclo Brayton cerrado .....	53
31.	Ciclo Brayton regenerativo.....	53
32.	Diagrama T-s Brayton regenerativo .....	54
33.	Diagrama T-s ciclo de vapor Carnot .....	55
34.	Diagrama T-s ciclo Rankine.....	56
35.	Ciclo Rankine ideal simple.....	56
36.	Ciclo rankine ideal con recalentamiento .....	57
37.	Diagrama T-s ciclo Rankine ideal con recalentamiento .....	57
38.	Ciclo ideal regenerativo caja abierto.....	58
39.	Calentador cerrado con cámara de mezcla .....	59
40.	Panel de control de calderas .....	60
41.	Sensor inductivo .....	61
42.	Final de carrera.....	62
43.	Sensor de presión.....	63
44.	Línea de emergencia .....	64
45.	Paro de emergencia.....	65
46.	Temporizadores .....	66
47.	Tasa interna de retorno.....	74
48.	Cronograma de actividades .....	77

## TABLAS

I.	Comparacion de calderas .....	24
II.	Selección.....	38
III.	Variables e indicadores .....	71
IV.	Recurso material .....	80
V.	Recurso humano .....	80



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>H</b>	Altura
<b>\$</b>	Dólar estadounidense
<b>E</b>	Este
<b>°</b>	Grados
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>°C/h</b>	Grados Celsius por hora
<b>Hz</b>	Hercio
<b>h</b>	Horas
<b>=</b>	Igual que
<b>kW</b>	Kilovatio
<b>km</b>	Kilómetro
<b>kV</b>	Kilovoltio
<b>&gt;</b>	Mayor que
<b>MW</b>	Megavatio
<b>MWh</b>	Megavatio hora
<b>&lt;</b>	Menor que
<b>m</b>	Metro
<b>m<sup>3</sup></b>	Metro cúbico
<b>m<sup>3</sup>/s</b>	Metro cúbico por segundo
<b>msnm</b>	Metros sobre el nivel del mar
<b>mm</b>	Milímetro
<b>Mo</b>	Molibdeno
<b>Ni</b>	Níquel

<b>N</b>	Norte
<b>O</b>	Oeste
'	Pies o minutos
<b>%</b>	Porcentaje
<b>P</b>	Potencia
“	Pulgadas o segundos
<b>Q</b>	Quetzales
<b>RPM</b>	Revoluciones por minuto
<b>S</b>	Sur
<b>Ns</b>	Velocidad angular o velocidad específica
<b>W</b>	Vatio

## GLOSARIO

<b>AMM</b>	Administrador del Mercado Mayorista.
<b>Aporte</b>	Se refiere a la transferencia de material del electrodo al rodete por medio de la soldadura.
<b>AWS</b>	Asociación Americana de Soldadura.
<b>Axial</b>	En dirección al eje.
<b>Caída</b>	Diferencial de altura entre el embalse y el punto donde está la turbina.
<b>Cangilón</b>	Álabes o paletas unidos al rodete.
<b>Casa de máquinas</b>	Infraestructura en donde se encuentra la o las turbinas de una central hidroeléctrica.
<b>Cota</b>	Número que indica la altura de un punto sobre el nivel del mar.
<b>Desfogue</b>	Cota más baja de un complejo hidroeléctrico, punto en donde se regresa el agua al cauce del río.
<b>Embalse</b>	Acumulación de agua debido a una presa.

<b>Energía cinética</b>	Energía debida a un movimiento determinado.
<b>Energía potencial</b>	Energía que contiene el agua debido a la altura y es aprovechable para generar electricidad a partir de la misma.
<b>FIE</b>	Fecha de inicio de exploración, autorización emitida por el Ministerio de Energía y Minas para autorizar la exploración o construcción de una Hidroeléctrica.
<b>GLP</b>	Gas Licuado de Petróleo, Propano.
<b>GRP</b>	<i>Glass-reinforced plastic</i> (Material plástico reforzado con fibras de vidrio).
<b>IEMA</b>	Impuesto a las Empresas Mercantiles y agropecuarias.
<b>IVA</b>	Impuesto al valor agregado.
<b>INDE</b>	Instituto Nacional de Electrificación.
<b>Inyector</b>	Dispositivo que abre, cierra y direcciona el flujo de agua hacia los cangilones.
<b>MAG</b>	<i>Metal Active Gas</i> , soldadura de electrodo continuo que usa un gas activo en su proceso.

<b>MIG</b>	<i>Metal Inert Gas</i> , soldadura de electrodo continuo que usa un gas inerte en su proceso.
<b>PLC</b>	Controlador Lógico Programable.
<b>Presa</b>	Obstáculo que tiene como objetivo elevar el nivel del agua a una cota específica.
<b>Recurso hídrico</b>	Agua.
<b>Rodete</b>	Elemento rotativo dentro de una turbina hidráulica.
<b>SNI</b>	Sistema Nacional Interconectado.
<b>SAT</b>	Superintendencia de Administración Tributaria.
<b>Spot</b>	Costo del MWh en Guatemala.
<b>Tensión</b>	Diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos, medida en Voltios.
<b>Transformador</b>	Dispositivo eléctrico que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico.
<b>Turbina hidráulica</b>	Aprovecha la energía de un fluido y la convierte en energía mecánica rotativa.
<b>UTM</b>	Sistema de coordenadas universal transversal de Mercator.

**Vatio**                      Unidad de medida de potencia.

**ZAT**                        Zona afectada térmicamente

## RESUMEN

La biomasa es todo aquel material orgánico que es empleado para la generación de energía, esta puede ser encontrada de forma natural o procesada. Además, puede provenir de los animales o de los vegetales. Entre sus desventajas se encuentra el funcionamiento, puesto que al ser más económico se necesitan grandes volúmenes debido a su rápido consumo.

En ese sentido, la investigación resalta las características de la biomasa para el proceso de combustión, tales como el poder calorífico, el contenido y la temperatura de fusión con la ceniza.

Ahora bien, en el primer capítulo se resaltan y explican las diferentes calderas que son indispensables para el proceso. Por tanto, una caldera no solo se diferencia por el líquido que pasa los tubos de esta, sino que también es necesario conocer los tipos de combustibles que pueden haber dentro de ella. Los más utilizados son bunker, gas y biomasa.

En el segundo capítulo se detalla que el estudio realizado es de tipo no experimental, ya que al ser una propuesta para intercambiador de calor se necesitó de pruebas experimentales en menor escala. Asimismo, es un estudio mixto porque las variables que se midieron son el porcentaje de humedad y la reducción de biomasa que se tendrá con respecto a la presión que tenga la caldera.

En ese sentido, en el tercer capítulo se encuentra la discusión de resultados y con ellos las fases de estudio. Fueron necesarias 4 fases. La primera corresponde a la revisión documental; la segunda, a la recopilación de

información; la tercera, al trabajo de gabinete; la cuarta, a la presentación y discusión de resultados.

En el cuarto capítulo se encuentran las técnicas de análisis, las cuales se basan en la recopilación de información mediante bitácoras que registran el consumo de biomasa. Además, se identificaron textos, procedimientos y observaciones para elaborar las tablas de tendencia que ayudan a realizar factores de aceleramiento.

Por último, en el quinto capítulo, se trabaja la factibilidad del estudio, lo que corresponde a reconocer los recursos financieros, humanos y materiales que fueron necesarios para llevar a cabo la investigación. De igual manera, se describe el recurso físico y tecnológico, tales como equipo de cómputo, cámara termográfica y un sensor de humedad.

# 1. INTRODUCCIÓN

El trabajo de investigación representa una innovación de mantenimiento preventivo y una solución económica viable para todas las empresas que inician con tecnologías de biomasa para calderas.

El problema surge debido a la alta demanda en el consumo de biomasa y por los problemas que esta genera. La biomasa que se encuentra más húmeda tiene menor costo, sin embargo, al contar con una mayor humedad también representa problemas al momento de ingresar dentro del horno para su combustión. La humedad de la biomasa presenta problemas no solamente en la producción de vapor sino también en las paredes internas del horno, ya que provoca un mantenimiento preventivo más constante. Esto quiere decir, mayor tiempo de paro de la planta o mayor uso de la caldera de respaldo.

La importancia de la innovación tendrá como resultado un mejor funcionamiento de la caldera, una optimización en la quema de biomasa y una reducción económica en la compra de biomasa. La solución se realizará por medio de una propuesta para un intercambiador de calor que trabaje por medio de los gases de combustión de la caldera de biomasa para poder reducir el porcentaje de humedad de la biomasa y de esta manera registrar el ahorro económico y las mejoras físicas que se podrían presentar en la caldera con respecto al tiempo y el tipo de mantenimiento de esta, todo esto lo veremos con grafica de consumo de biomasa con respecto al funcionamiento de la caldera.

En el capítulo I de la investigación se partirá con el marco teórico, para este trabajo partiremos con la definición de los distintos tipos de caldera que

podemos encontrar dentro de la industria, así como el funcionamiento principal y las partes que conforman una caldera. Se detallarán los tipos de combustibles con los que se puede trabajar dentro de la industria, así como cuales son los más eficientes y los puntos a favor y en contra de cada tipo, es necesario tomar en cuenta todos los factores por medio del cual funciona una caldera. También nos centraremos en los distintos ciclos termodinámicos que existen y ciclo termodinámico sobre el cual está basada la caldera, ya que por medio de los gases de emisión de esta se tiene pensado partir para comenzar con el secador de biomasa y como esto afectara en el proceso de deshidratación de la biomasa.

Para el proceso de deshidratación de la biomasa, mencionaremos las principales normas que tenemos para el intercambio de calor, así como la entalpía. Todo esto con el único fin de poder encontrar las variables necesarias para crear un secador de biomasa óptimo para la reducción del porcentaje de biomasa con la que esta ingresa a la caldera, por medio del uso de entalpías y los ciclos de vapor sabres cual es la temperatura y la humedad a la cual es necesaria diseñar el intercambiador de calor y con esto crear un proceso más óptimo.

En el capítulo II se hará el desarrollo de la investigación. En el capítulo III se hará la presentación de resultados. En el capítulo IV se hará la discusión de resultados.

## 2. ANTECEDENTES

Salazar (2018) presentó una investigación para un sistema de cogeneración para el secado de hierbabuena basado en una planta diésel. La investigación fue evaluada mediante un comparativo en contenido de humedad en forma experimental y generando una fórmula matemática. Tras realizar su trabajo de investigación, se concluyó lo siguiente: El uso de intercambiadores de calor puede aumentar la eficiencia a la que trabaja la planta diésel, y los intercambiadores de calor que utilizan tubos para el cambio de fase para recuperar en mayor cantidad el calor residual. Además, por la baja eficiencia que existe dentro del proceso de secado, la eficiencia de la planta diésel no mejora significativamente, siendo 20.91 y 20.72 %, respectivamente.

Lozano (2018) presentó una Evaluación de la biomasa como recurso energético renovable en Cataluña. La evaluación fue realizada de forma experimental reduciendo la cantidad de humedad con diferentes tipos de biomasa y luego comparando la combustión de cada una. Tras realizar la evaluación se pudo concluir que la humedad de biomasa y la combustión de la misma dentro de la caldera debe ser menor al 50 % todo va a depender del tipo de biomasa que se esté utilizando. Las evaporaciones del agua libre, capilar y celular en el secado de la biomasa de colza son más rápidas cuanto mayor es el contenido de humedad inicial. El aporte práctico es el resultado de la cantidad de humedad que se necesita con el chip de madera para tener un proceso de quema más eficiente.

Elfgren y Westerlund (2014) presentaron un estudio en una planta de procesamiento de jugo de mora en Suecia, enfocando su interés especialmente

en el proceso de secado de mora la cual debía secarse hasta 10 % de humedad para evitar la fermentación durante la fabricación de jugo de mora. Tras realizar el estudio se concluyó que el proceso de secado en estudio demandaba una capacidad de 223 kW para secar 90 kg/h de mora, El proceso de producción de jugo requiere 1262 kW, y el 24 % del calor residual se puede recuperar como energía térmica para el secado. El calor se recupera mediante la recirculación del 10 – 80 % del aire y el uso combinado de este aire y la corriente de gas de escape. reduciendo la necesidad de calor en el secador Del 7 al 52 %, la demanda total de la planta se redujo de 1.262 a 1.145 kW. La contribución real de esta investigación es poder hacer referencia a la energía necesaria para secar la fruta por medio de un intercambiador de calor.

Wily Martir Barreto (2015) presentó un diseño, construcción y prueba de un intercambiador de calor de serpentín, tras las pruebas del intercambiador de calor se concluyó que El estudio y la implantación de las normas ASME, TEMA, ISO, DIN, UNE y NTP son esenciales para el diseño, construcción y montaje de sistemas de energía que tiene como fuente de vapor. El aporte practico para este estudio son las normas que se tiene que seguir para la construcción de un intercambiador de calor.

Lozano (2018), presentó una Evaluación de la biomasa como recurso energético renovable en Cataluña. La evaluación fue realizada de forma experimental reduciendo la cantidad de humedad con diferentes tipos de biomasa y luego comparando la combustión de cada una. Tras realizar la Evaluación se pudo concluir que la humedad de biomasa y la combustión de la misma dentro de la caldera debe ser menor al 50 % todo va a depender del tipo de biomasa que se esté utilizando.

Las evaporaciones del agua libre, capilar y celular en el secado de la biomasa de colza son más rápidas cuanto mayor es el contenido de humedad inicial. El aporte práctico es el resultado de la cantidad de humedad que se necesita con el chip de madera para tener un proceso de quema más eficiente.



### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La contaminación, la reducción de presión y el exceso de emisión de hollín son algunas de las fallas que se pueden presentar al momento que una caldera no funciona de manera correcta o eficiente. Una mala combustión dentro de caldera puede provocar un incremento en la cantidad de biomasa que consume una caldera, así como la cantidad de  $O_2$  que pasa por la chimenea y eventualmente es descargada al medio ambiente. El incremento económico por el alto consumo de biomasa húmeda puede verse incrementado en un 25 % y el mantenimiento de la caldera por la alta emisión de ceniza provoca una limpieza más constante del horno y un mayor control del sistema de monitoreo de  $O_2$ . Un sistema de reducción de humedad no puede ayudar a reducir costo por biomasa que provoca una mayor dificultad de combustión.

Durante el proceso de quema de biomasa hay factores que pueden provocar una mayor dificultad en la quema de esta. Cuando la biomasa cuenta con un bajo porcentaje de humedad el proceso de combustión es más fácil, ya que no es necesario evaporar el exceso de agua en la biomasa antes de comenzar a quemarse. El presente trabajo de investigación quiere mostrar los beneficios económicos y de mantenimiento que se pueden obtener al tener una biomasa con bajo nivel de humedad contra una de alto nivel. (Causa-efectos), todo esto será probable hay plantear una propuesta de un secador de biomasa por medio de un intercambiador de calor que función con los gases de emisión de la caldera para poder hacer el proceso de reducción de humedad de la biomasa.

Esto lleva a plantear la pregunta principal de este estudio: ¿Cómo establecer un programa de mantenimiento de la caldera a partir de un proceso de secado de biomasa combustible?

Para responder a esta interrogante se deberán contestar las siguientes preguntas auxiliares:

- ¿Cuáles son los beneficios de reducir la humedad de la biomasa (chip de madera)?
- ¿Cuáles son las condiciones adecuadas de la biomasa para obtener un proceso de combustión más eficiente dentro de la caldera?
- ¿Cuál es el retorno de inversión al instalar un intercambiador de calor para reducir la biomasa que ingresar a la caldera Hurst 2?

## **4. JUSTIFICACIÓN**

La línea de investigación a la que pertenece el trabajo es administración del mantenimiento, perteneciente al área administrativa. Entre los aportes esperados se tienen: un procedimiento para la implementación de un sistema de intercambiador de calor mediante los gases de emisión de una caldera de biomasa para la reducción de la cantidad de humedad con la cual ingresa la biomasa a la caldera; una referencia de la cantidad de humedad necesaria en la biomasa para hacer el proceso de quema más eficiente y que disminuya el tiempo de limpieza del horno generando así una reducción entre los tiempos de mantenimientos; una guía para la construcción de un sistema de intercambiador de calor para reducir el costo de mantenimiento de una caldera de biomasa.

Todos los procedimientos se plantearán delimitando los alcances de seguridad ocupacional y las inspecciones necesarias para que el intercambiador de calor a utilizar esté en condiciones adecuadas, que el plan de mantenimiento a realizar mediante la implementación de este sistema muestre una reducción entre los tiempos de mantenimiento y una reducción en los costos de mantenimiento.

Los posibles beneficiarios de la investigación son las empresas que cuente con calderas de biomasa y las empresas que las distribuyen, los distribuidores de los diferentes tipos de biomasa que se utilizan en estas calderas, las mejoras de producción dentro de la empresa al momento de reducir los pares de calderas, los problemas por baja presión y el ahorro económico que este conllevaría. Al existir una guía para ello, se puede implementar este tipo de sistemas en todas

las calderas para beneficiar a los usuarios finales que deseen implementar este sistema para la mejor en el plan de mantenimiento de calderas.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. General**

Establecer un programa de mantenimiento de la caldera a partir de un proceso de secado de biomasa combustible.

### **5.2. Específicos**

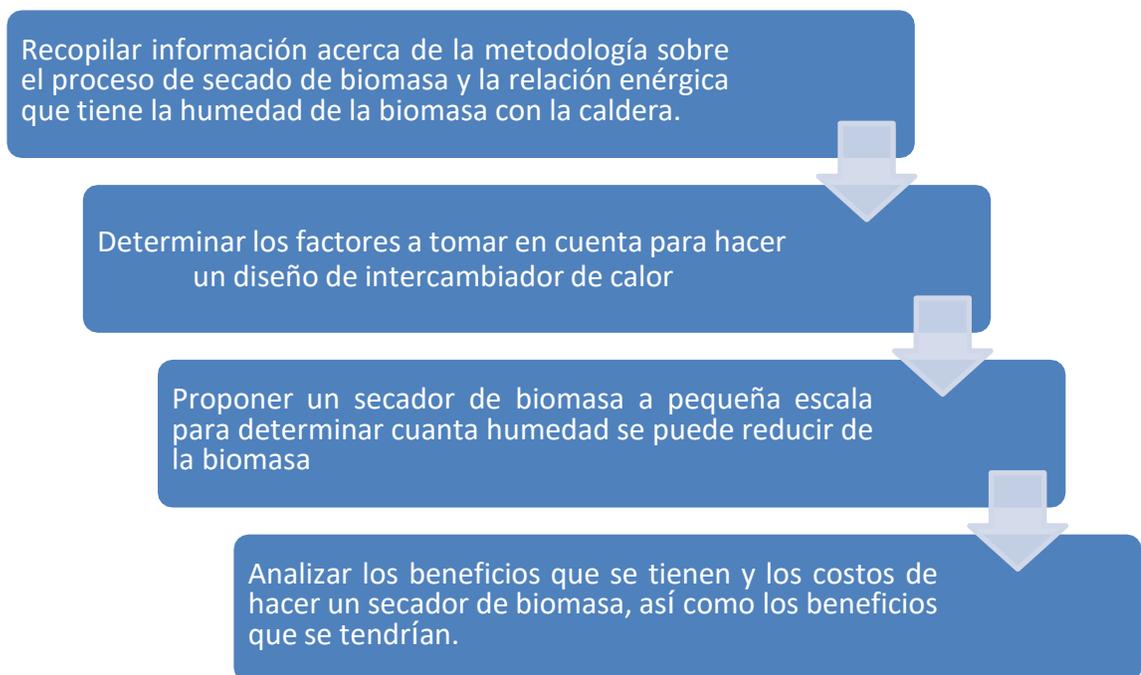
- Determinar la cantidad de humedad necesaria en la biomasa (chip de madera) para el dimensionamiento del intercambiador de calor.
- Determinar son las condiciones adecuadas de la biomasa para obtener un proceso de combustión más eficiente dentro de la caldera.
- Determinar cuál es el retorno de inversión al instalar un intercambiador de calor para reducir la biomasa que ingresar a la caldera Hurst 2.



## 6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN

En el siguiente apartado se explicará las necesidades que se busca cubrir con la realización de la presente investigación y una propuesta que pueda resolver la problemática que se ha planteado.

Figura 1. **Esquema de solución**



Fuente: elaboración propia, en Microsoft Word 2021.

Para la realización del presente estudio se comenzará por la recopilación de información relacionada con la metodología del secado de biomasa, así como la mejor opción para hacer este proceso de forma más

eficiente, también se recopilará información de la relación que tiene la cantidad de humedad de la biomasa con el consumo energético y producción de vapor de una caldera. Esto se realizará con el fin de obtener una base teórica para ver qué factores son necesarios para hacer un diseño eficiente de un secador de biomasa que funcione con un intercambiador de calor de los gases de escape de una caldera, así como determinar cuánta humedad se podría eliminar con este tipo de sistemas.

En la actualidad Texpasa realiza la compra de biomasa con la menor humedad, sin embargo, al haber un incremento de la humedad de la biomasa se ve afectada la presión de la empresa y el estado del horno de la caldera, haciendo que el mantenimiento se vuelva más constante y de forma más prolongada.

Se procederá a analizar las fechas donde la biomasa fue más húmeda vs la que estuvo menos húmeda, para poder determinar el comportamiento de la caldera. Para luego poder determinar cuál es el porcentaje más adecuado para que el proceso sea más eficiente. También se determinará la temperatura a la que se encuentran los gases de la caldera normalmente, con el fin de saber qué datos serán necesarios para tomar en cuenta al momento del diseño de una caldera.

Con la información recolectada se procederá al diseño de un sistema de secador que funcione con un intercambiador de calor en función de los gases de escape de la caldera, para llevar la biomasa a su porcentaje de humedad óptima, y así, después, hacer una propuesta tanto económica del secador a escala pequeña y escala real, como para saber qué tan factible sería este sistema; entre la propuesta de este sistema se incluirá un nuevo plan de mantenimiento donde se verá reflejada la mejor que se tendrá al utilizar este sistema.

El presente estudio busca proporcionar un sistema de secado de biomasa con un intercambiador de calor de gases de emisión, para optimizar el proceso de quema de biomasa en todas las calderas que utilicen este tipo de combustible, aprovechar la energía de los gases de la caldera y de esta manera reducir en gran parte su gasto económico, alargar la vida de las calderas y reducir el tiempo de paro de la caldera por el mantenimiento.



## 7. MARCO TEÓRICO

Texpasa es una empresa que se encarga de la producción de tela, dándole diferentes acabados según las especificaciones del cliente, la mayoría de las máquinas dentro de la empresa utilizan vapor y aire comprimido para su funcionamiento, los compresores son los encargados de suministrar aire a presión a las máquinas, mientras que la caldera se encarga de suministrar vapor a las máquinas. El principio básico del funcionamiento de las calderas consiste en una cámara donde, con la ayuda del aire comburente, se produce la combustión y un intercambiador calorífico produce calor gracias a la combustión que transmite al fluido, que al mismo tiempo se encarga de llevar el calor a los puntos de consumo.

Evidentemente, el consumo de energía que se realiza en el proceso de secado industrial es relativamente alto. Varios sectores industriales actualmente cuentan con un alto consumo de diferentes cantidades de energía para realizar sus procesos de fabricación. Por ejemplo, el 12 % del consumo de energía en la industria alimentaria y la agricultura está en el proceso de secado, el 33 % en la industria del papel, el 11 % en la madera, el 11 % en la cerámica y materiales de construcción y finalmente el 5 % en textiles. (Samadi *et. al.*, 2014)

### 7.1. Calderas

Las calderas son sistemas de quema de combustible muy parecidos al funcionamiento de un horno con la función específica de calentar un líquido, en su mayoría agua, para la generación de vapor el cual puede ser utilizado de diferentes formas según sea el giro de la empresa; también tiene la función de

generación de energía o calentamiento de algún proceso dentro de la empresa. El funcionamiento básico de una caldera consiste en una cámara en la cual se produce la combustión, gracias a la ayuda de un comburente y a través de una superficie donde sucede el intercambio. (Montenegro, 2017)

Las calderas basan su funcionamiento en los ciclos de generación de vapor los cuales buscan realizar un sistema de diferentes equipos mecánicos para poder realizar de una mejor manera la generación de vapor, o en otras palabras poder transformar el agua de su estado líquido al estado gaseoso según sea la necesidad del cliente.

Las calderas son de varios tipos:

- Calderas pirotubulares
- Calderas acuotubulares

Una caldera no solo se va a diferenciar por el líquido que pasa alrededor de los tubos de la caldera, sino que también es necesario conocer los tipos de combustibles que pueden haber dentro de una caldera, los más utilizados son bunker, gas y biomasa. Cada una presenta un beneficio según el uso que tenga y el líquido con el cual se está trabajando.

Una caldera pirotubular cuenta con distintos sistemas o componentes que nos ayudan a poder controlar de mejor manera el proceso de calentamiento de agua o de combustión del medio que se utiliza para alimentar la caldera, los sistemas más comunes que podemos encontrar son:

- Chimenea
- Tubos

- Compuerta delantera
- Quemador
- Hogar
- Estructura de acero
- Tren de gas (para calderas de gas)
- Banda transbordará de biomasa (para las calderas de biomasa)
- Sensores de presión y temperatura
- Controladores.

Figura 2. **Caldera diésel**



Fuente: [fotografía de Ricardo Fletcher]. (Texpasa, Michatoya, Escuintla 2021).  
Colección particular. Guatemala.

Como se presenta en la figura 2. El diseño de la caldera a base de combustible Diesel cuenta con una cantidad de equipos limitado ya que su funcionamiento es más sencillo.

### **7.1.1. Calderas pirotubulares**

La caldera pirotubular fue la primera caldera industrial utilizada y esta se encuentra compuesta por una serie de tubo por donde circula el calor de la combustión y al exterior de los tubos se encuentra el líquido a calentar y posteriormente a evaporar. Estas calderas están diseñadas bajo la norma EN12953.

La caldera pirotubular se puede utilizar hasta una presión de 30 bares, una temperatura 300 °C y una producción de hasta 55 t/h, como se muestra en la Figura 3, la cual está conformada por una caldera de gas. Un punto a favor de la caldera pirotubular es que presentan una gran estabilidad ante la fluctuación de carga y presión en los procesos industrias gracias al diseño de la cámara interior y al volumen que manejan.

La presión máxima de soporte de estas calderas es de 250 psi y llegar a tener una producción de hasta 25,000 lb/h, lo que hace que este tipo de sistemas de generación de vapor o calderas sean lo más recomendable para servicios donde la demanda de vapor es pequeña y no se requiere la aplicación de turbinas. (Iguarán y Martínez, 2008)

Figura 3. **Caldera pirotubular**



Fuente: [fotografía de Ricardo Fletcher]. (Texpasa, Michatoya, Escuintla 2021).  
Colección particular. Guatemala.

### **7.1.2. Calderas acuotubulares**

Las calderas acuotubulares aparecieron posterior a las calderas pirotubulares con la ventaja que podían soportar una mayor carga, soportando presiones de hasta 350 bares, temperaturas de 600 °C y una producción de hasta 2000 t/h, esta caldera se fabrica bajo la norma EN12952. Este tipo de caldera tiene un diseño opuesto a la caldera pirotubular, ya que en estas el agua circula dentro del interior de los tubos y el calor se encuentra en el exterior.

Calderas con tubos múltiples de humo, en ellas, el agua se encuentra en su mayoría o casi toda contenida en haces de tubos de acero rodeados por la llama y los gases calientes de la combustión. De acuerdo con el elevado número de tubos que pueden instalarse, la superficie de calefacción puede ser muy grande para dimensiones relativamente pequeñas. Esto le permite producir vapores a presiones elevadas. (Martínez, 2012)

Figura 4. **Caldera acuotubular**



Fuente: [fotografía de Ricardo Fletcher]. (Texpasa, Michatoya, Escuintla 2021).  
Colección particular. Guatemala.

En la figura 4 observamos una caldera acuotubular donde el fluido que se está manejando es aceite térmico y contamos un diseño de caldera vertical de tres pasos de calentamiento.

### 7.1.3. Caldera híbridas

Las calderas híbridas con aquellas que tiene una gran demanda de consumo de vapor, estas calderas son dos veces más grandes que una caldera acuotubular o pirotubular y cuenta con una fusión de ambos sistemas, un sistema de tubos por donde ingresa el calor en la primera fase de la caldera y otra de agua para a una sección de tubos que se encuentra en una segunda fase donde se mezclan los sistemas de ambas calderas para poder generar una mayor cantidad de vapor de una manera más eficiente.

Figura 5. **Caldera de Hurst de vapor**



Fuente: [fotografía de Ricardo Fletcher]. (Texpasa, Michatoya, Escuintla 2021).  
Colección particular. Guatemala.

## 7.2. Combustible para calderas

Dentro de la industria textil se pueden encontrar distintas calderas para la creación de vapor que es utilizado principalmente para el calentamiento de tela y procesos de teñido, las calderas pueden funcionar por medio de varios combustibles como los:

- Diésel
- Gas
- Biomasa

Donde la principal diferencia entre este tipo de calderas es el consumo de combustible, el costo y la eficiencia con la que esta trabaja.

Tabla I. **Comparación de calderas**

Combustible		Diésel		Combustóleo		Gas natural		Gas L.P.	
Valor calorífico		9250 Kcal/l		9900 Kcal/l		8530 Kcal/m <sup>3</sup>		6350 Kcal/l	
Rangos CO <sub>2</sub>	%	12	13	12	13	10	10.5	11	11.5
Rangos O <sub>2</sub>	%	4.45	3.1	5.1	3.7	3.3	2.4	2.7	3.0
Rangos exceso aire	n	1.25	1.165	1.30	1.20	1.18	1.12	1.22	1.17

Fuente: Nordic Development Fund, (2001), *Corporación interamericana de inversiones*.

### 7.2.1. Caldera de gas

Las calderas de gas son equipos diseñados para la generación de vapor, energía, o bien, el calentamiento de un líquido dependiendo de la función para la que esté diseñada, este equipo se caracteriza por su rápido funcionamiento y fácil nivel de operación, sin embargo, presenta un costo monetario considerable por el tipo de combustible que utiliza, el cual en este caso es el gas. Un ejemplo de esta caldera lo podemos ver la Figura 6.

Figura 6. **Caldera de gas**



Fuente: [fotografía de Ricardo Fletcher]. (Texpasa, Michatoya, Escuintla 2021).  
Colección particular. Guatemala.

### 7.2.2. Caldera diésel

Las calderas diésel, al igual que las calderas de gas, cuentan con una gran eficiencia y fácil manejo, pero presentan un alto nivel económico de utilización por el costo del diésel, que en este caso es el combustible que utilizan. Un ejemplo de esta caldera es la que se puede observar en la figura 7.

Figura 7. **Caldera diésel**



Fuente: [fotografía de Ricardo Fletcher]. (Texpasa, Michatoya, Escuintla 2021).  
Colección particular. Guatemala.

### 7.3. Caldera de biomasa

La caldera de biomasa es la que actualmente se utiliza en la mayoría de los ingenios por la facilidad de obtención de material orgánico, que es el principal combustible con el cual funcionan estas calderas, sin mencionar el bajo costo

económico que este combustible representa, es aproximadamente la mitad del costo que tiene el diésel y gas. Con la pequeña deficiencia que si es necesario tener un control más preciso de todas las variables que componen estas calderas para que funcionen de una manera eficiente.

### 7.3.1. Biomasa

La biomasa es todo aquel material orgánico que es empleado para la generación de energía, la biomasa puede ser encontrada de forma natural o procesada luego de haber sido utilizado en algún proceso. La biomasa puede provenir de los animales o de los vegetales.

Figura 8. **Bodega de biomasa**



Fuente: [fotografía de Ricardo Fletcher]. (Texpasa, Michatoya, Escuintla 2021).  
Colección particular. Guatemala.

Una de las desventajas que presenta la biomasa, es que su funcionamiento al ser más económico se necesitan grandes volúmenes de esta por su rápido consumo, por lo que es indispensable tener almacenes de grandes cantidades de biomasa, tal como se muestra en la Figura 8.

Es necesario tomar en consideración las dimensiones que se necesitan para tener una caldera ya que a esto se le debe sumar el espacio para el almacenamiento de la biomasa, las dimensiones mínimas para una sala de calderas son determinadas físicamente de acuerdo con las características de la caldera misma y de los equipos que se encuentren en ella. (Colindres, 2010)

Un ejemplo de las calderas de biomasa son la marca Distral, son las únicas calderas que queman todo el bagazo el combustible y las calderas 3 y 4 consumen todo el bagazo y carbón mineral. Para que este proceso funcione bien, debe controlarse en cada caldera que compone el sistema. Esto se consigue realizando la medición de la eficiencia energética para cada caldera y luego, analizando todas las variables involucradas en el proceso de generación de vapor, como el consumo y la proporción de combustible que ingresa al vapor hogar, gestión de ventiladores, descarga de cenizas y control de descarga de los gases de escape a la atmósfera. Aunque el sistema de generación de vapor funciona con normalidad, es necesario controlar todos estos factores que inciden en el rendimiento de cada caldera y de esta forma tener un proceso más eficiente y controlado. (Vidal, 2008)

#### **7.4. Características de la biomasa**

La biomasa que es utilizada en las calderas debe tener ciertas características para que puedan realizar el proceso de combustión de una manera adecuada, entre las principales características podemos observar:

- El poder calorífico
- Contenido
- Temperatura de fusión con la ceniza

### **7.4.1. Tipos de biomasa**

La biomasa se encuentra dividida en tres tipos:

- Biomasa natural: es toda aquella biomasa que se produce de forma natural, es decir, sin que el ser humano interfiera en ella.
- Biomasa residual: son todos aquellos residuos que se obtiene por algún tipo de proceso industrial.
- Biomasa de cultivo energético: es toda aquella que fue cultivada con el único propósito de ser utilizada como energía.

### **7.5. Intercambiador de calor**

Un intercambiador de calor es un dispositivo diseñado para transferir el calor entre dos fluidos, ambos separados por una barrera sólida, un ejemplo bastante sencillo que puede ayudar para comprender de mejor manera la operación de un intercambio de calor que se produce en el radiador de un carro que, contiene un fluido en el interior (agua) y el segundo fluido sería el aire el cual se encarga de disminuir la temperatura a la que trabaja agua del radiador. Los usos más comunes para un intercambiador de calor son:

- Elevar la temperatura de un fluido
- Disminuir la temperatura de un fluido
- Llevar al punto de ebullición un fluido
- Condensación de gas por medio de un fluido

### **7.5.1. Intercambiador de calor directo**

El intercambiador de calor de contacto directo es aquel en los que se mezclan ambos fluidos, las dos corrientes de fluidos se pueden separar fácilmente, un claro ejemplo de estos intercambiadores son las torres de enfriamiento donde se mezcla el aire frío con el agua caliente.

### **7.5.2. Intercambiador de calor indirecto**

Son intercambiadores de calor de tubos concéntricos o bien de tubo doble, regeneradores, de coraza y tubo. Estos intercambiadores funcionan por contacto indirecto, cada fluido va en un tubo diferente por lo que nunca llegan a mezclarse. Un ejemplo de intercambiador de calor es el que podemos observar en la Figura 9, en este caso es un intercambiador de calor para vapor.

Figura 9. **Intercambiador de calor**



Fuente: [fotografía de Ricardo Fletcher]. (Texpasa, Michatoya, Escuintla 2021).  
Colección particular. Guatemala.

### **7.5.3. Características de los intercambiadores de calor**

Los intercambiadores de calor son dispositivos que por medio de la transferencia de calor que ocurre al tener dos superficies en contacto, como lo describe la tercera ley de la termodinámica, dos cuerpos logran tener una temperatura en equilibrio. Para este intercambio de calor vamos a tener que depender del tipo de fluido por medio del cual esté funcionando nuestro intercambiador de calor podemos encontrarlos por fluidos como:

- Líquidos
- Gases de emisión
- Vapor

El factor que es necesario tomar en consideración para un funcionamiento adecuado de los intercambiadores de calor es la temperatura con la que viaja el fluido y la temperatura a la cual se debe mantener el fluido de contacto. Para esta ocasión estamos enfocados en los intercambiadores de gases de emisión.

Ya que un intercambiador de calor que parte su funcionamiento de los gases de emisión que recupera de un proceso, utiliza esta misma energía que regularmente es desperdiciada para poder calentar agua o algún otro líquido según sea la función del intercambiador.

Como bien se sabe, según la segunda ley de la termodinámica que nos habla del desorden que crea la entropía hay una gran cantidad en forma de calor que es desperdiciada, la utilización de un intercambiador de calor para recuperar esta energía que se pierde por la emisión de calor es una forma muy eficiente de calentar un líquido sin producir un gasto innecesario. Este tipo de intercambiadores los podemos observar en la figura 10.

Figura 10. **Intercambiador con gases de escape**

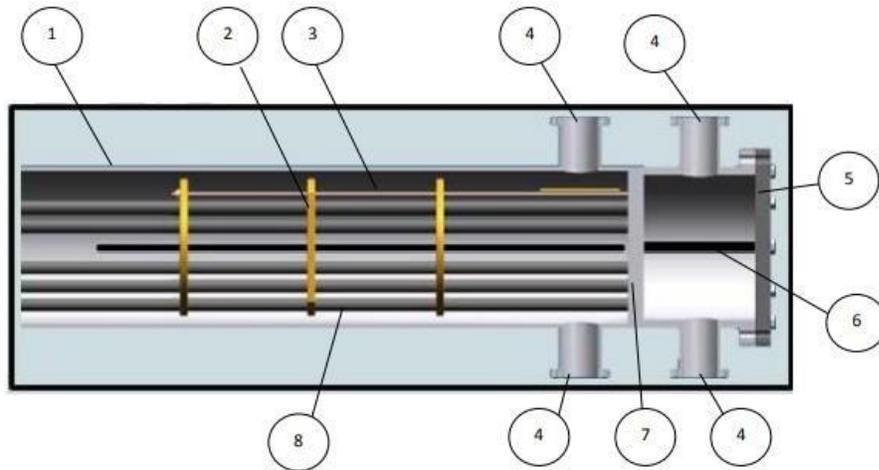


Fuente: Bowman heat transfer Technology, (2007). *Intercambiador de calor con gases*.

Los componentes principales con los que cuenta un intercambiador de calor pueden variar según su diseño, pero generalmente está compuesto por:

- Carcaza
- Baffle
- Espaciador
- Cubierta del canal
- Separación de pasos
- Placa porta tubo
- Tubo

Figura 11. **Partes del intercambiador de calor**



Fuente: FONSECA, L. (2001). *Diseño de un intercambiador de calor*.

#### 7.5.4. Poder calorífico

Cuando hablamos del poder calorífico de algún objeto nos referimos a la emisión de calor que se genera al momento de ser quemado.

El poder calorífico para la biomasa se encuentra entre los 3000 – 3500 kcal/kg para los residuos celulósicos, entre 2000 – 2500 kcal para los residuos urbanos y otra 10000 kcal/kg para los aceites líquidos provenientes de cultivos.

#### 7.6. Combustión

Esta reacción es un proceso de oxidación que ocurre rápidamente en un material llamado combustible y está formado principalmente por carbono (C) e hidrógeno (H), y en algunos casos azufre (S), y en oxígeno llamado oxidante existe, y tiene una alta liberación de calor.

## **7.7. Generación de vapor**

Cuando la energía térmica se transfiere al agua, su entalpía y su estado físico cambiarán. A medida que ocurre el calentamiento, la temperatura del fluido aumenta y su densidad generalmente disminuye. La velocidad de vaporización depende de la velocidad a la que se transfiere el calor al agua y su movimiento en el recipiente. Aunque el vapor así formado es gaseoso, no sigue completamente la ley de los gases ideales. (León, 2006)

El principal medio de la generación de vapor de una caldera es satisfacer las necesidades que se presentan en una empresa, ya sea el calentamiento de un equipo o proceso, ya que la generación de calor por medio de vapor es mucho más económica que realizarlo de una forma eléctrica, o bien esto puede ser para la generación de energía que actualmente se ha vuelto una forma muy utilizada para la reducción de costos y la venta de la misma.

## **7.8. Medidores**

Los medidores son dispositivos que se utilizan para determinar valores exactos según la dimensionas con la que se estén trabajando para poder saber cuál es el valor de alguna constante.

### **7.8.1. Medidores de temperatura**

Hay distintos dispositivos que se utilizan para la medición de temperatura entre los cuales podemos encontrar los sensores de temperatura o PT100, las termocuplas o bien las cámaras termográficas o pirómetros. Cada uno se utiliza para un tipo de medición en específico.

#### **7.8.1.1. PT100**

Este tipo de sonda o medidor se utiliza principalmente para la medición de líquidos por medios de la variación de amperaje el cual se encuentra entre un rango de 0 - 20 mA.

#### **7.8.1.2. Termocoplas**

Estos sensores se pueden utilizar para la medición de líquidos o también para medición de un ambiente cerrado, esto regularmente se utilizan para procesos más automatizados, de igual manera su escala de medición se encuentra al realizar comparación entre los rangos de amperaje 0 - 20 mA.

#### **7.8.1.3. Pirómetros**

El pirómetro es un dispositivo que utiliza un sensor óptico, una señal infrarroja y un sistema de comparación que transforma la energía recibida en señal eléctrica, esto para poder medir superficies sin entrar en contacto y sin necesidad de estar conectada. Un pirómetro cuenta con los siguientes componentes:

- Infrarrojo
- Pantalla LCD
- Tecla o test
- Mango
- Compartimento
- Emisor
- Receptor
- Convertidor

- Teclas de control

Figura 12. **Pirómetro**



Fuente: IBERTRONIX, (2008). *Pirómetro dg8015*.

### 7.8.2. Sensor de humedad

Los sensores de humedad se utilizan en distintos tipos de área, pueden ser desde la detección de humedad en las cementeras como la medición de humedad a la cual sale la madera antes de su venta, esto sensores pueden ser de medición constante o bien para la medición ocasional de algún material. Entre los medidores de humedad más utilizados podemos encontrar:

- Medidores de humedad continuo: que son equipos regularmente conectados a un plc para llegar un registro de la humedad que están midiendo y así llegar un mejor control del proceso y de calidad.
- Detector de Humedad BMC: estos sensores son diseñados para la medición de humedad de la biomasa por medio de la introducción de una determinada cantidad de biomasa en la escotilla y por medio de una compensación de humedad nos determina el porcentaje de humedad de la biomasa.

Figura 13. **Medido BMC**



Fuente: PBC, inst, (2008). Medido BMC.

## 7.9. **Diseño**

Para el diseño de cualquier equipo, en este caso un intercambiador de calor, es necesario tomar en cuenta los factores más importantes que son: el material, las dimensiones del equipo, los esfuerzos que deben soportar y las normas a las cuales este equipo se encuentra regido.

Para la selección del material es necesario tener en cuenta la temperatura a la que llegará el material para no comprometer las propiedades físicas de este y llegar a un punto donde pueda presentar una falla térmica.

Luego debemos partir a las normas que rigen la construcción de un intercambiador de calor, este tipo de construcción ya se encuentra estandarizado:

- **Diseño térmico y mecánico HDEH:** el manual establece los métodos para el diseño de un intercambiador de calor que permita realizar manualmente procesos para determinar todos los parámetros esenciales.

- Diseño mecánico. Normas Asme VIII: las Normas Asme referentes a la sección de un recipiente a presión, es un conjunto de reglas para diseño, fabricación, inspección y prueba de los recipientes a presión. (Fonseca, 2009)

Factores para considerar:

- Aplicación y requerimiento
- Tubos
- Casco y cubierta de casco
- Cabezal flotante
- Empaques
- Placa portatubos
- Boquilla
- Brida

Para la selección de material y dimensiones es necesario tener en cuenta el flujo, la presión y la temperatura que este va a utilizar.

Tabla II. **Selección de material**

<b>Tipo de dato</b>	<b>Lado tubos</b>	<b>Lado casco</b>
Flujo másico	$m_t$	$m_c$
Temperaturas	$Tt_e - Tt_s$	$Tc_e - Tc_s$
Presión	$P_t$	$P_c$

Fuente: FONSECA, L, (2010). *Diseño de un intercambiador de calor.*

Dependiendo del flujo másico podemos partir para realizar la selección de los diámetros con los cuales estaremos trabajando, siempre tomando en consideración la cantidad de tubos o vueltas por medio de los cuales estará pasando el fluido para realizar un proceso de calentamiento más eficiente.

### **7.9.1. Materiales**

Es necesario para el diseño de un intercambiador de calor saber el tipo de material que se va a utilizar dependiendo del calor que este soporta para no llegar a ocasionar una falla térmica o por sobre presión, esto lo podemos tomar en consideración basándonos en las propiedades que tiene un metal o bien conociendo el calor máximo que soporte dicha aleación.

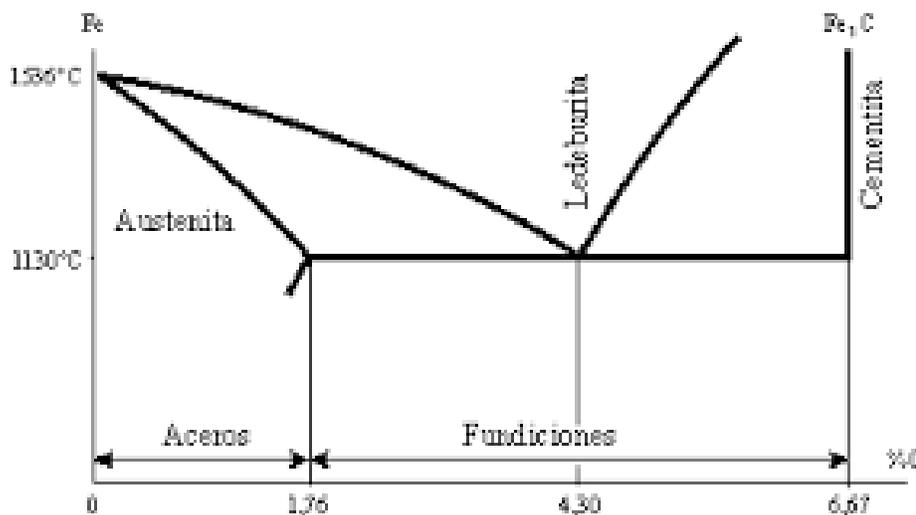
#### **7.9.1.1. Diagrama hierro – carbono**

El diagrama hierro-carbono es un diagrama que nos ayuda a conocer el comportamiento que sufre un material dependiendo de la cantidad de carbono con la que cuenta este, esto se utiliza principalmente cuando se quiere cambiar las propiedades físicas y químicas de los materiales, según el tipo de acabado que se quiere obtener:

- Temple: se caracteriza por modificar la dureza de un material para que este soporte fallas por ralladura o penetración, sin embargo, en la más mínima deformación este tiende a romperse.
- Recocido: es un tratamiento térmico que se le da a los materiales luego del temple para reducir en cierto punto la dureza y aumentar su ductilidad para que soporten una mayor deformación.

- Revenido: este tipo de tratamiento se utiliza cuando se quiere eliminar totalmente la dureza de un material y aumentar la ductilidad, este tipo de tratamiento lo podemos observar en los alambres.
- Tratamiento termoquímico: este tipo de tratamientos buscan modificar las características físicas de un material, pero sin modificar el núcleo, esto consiste en calentar un material hasta su temperatura crítica superior y luego realizarle un baño químico, este tipo de tratamiento también puede aumentar su resistencia a la corrosión, como lo es el hierro inoxidable que en esta ocasión es la mejor selección para un intercambiador de calor.

Figura 14. Diagrama hierro-carbono



Fuente: elaboración propia, utilizando Paint 2021.

## 7.10. Transferencia de calor

La transferencia de calor es el proceso por medio del cual se realiza un intercambio de energía térmica hasta que las dos partes en contacto con el medio

alcanzan un estado de equilibrio. Para entender de mejor manera la transferencia de calor nos podemos apoyar con la termodinámica y las cuatro leyes de la termodinámica.

- Ley de la conservación de la energía
- Ley de la entropía
- Ley de equilibrio térmico
- Ley cero de la termodinámica

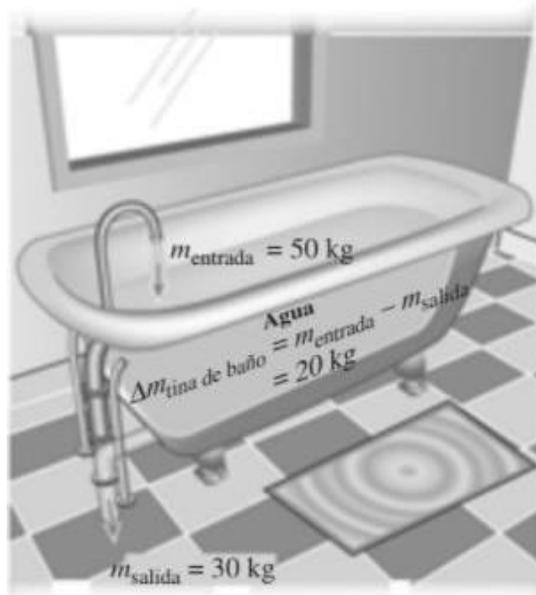
#### **7.10.1. Ley de la conservación de la energía**

Esta ley establece que la energía en un sistema aislado es siempre la misma, lo que quiere decir que, siempre se puede encontrar energía en el sistema, aunque esta cambie. En otras palabras, la energía no se crea ni desaparece, simplemente se transforma.

El sistema termodinámico puede intercambiar energía con el entorno circundante en forma de calor y trabajo, y acumular energía en forma de energía interna. (Montenegro, 2017)

Un ejemplo de esta ley en su funcionamiento que tiene un MCI, al momento de quemar el combustible, este se transforma en energía calorífica, que luego se transmite a los pistones del carro, lo que genera un movimiento de las llantas que eventualmente se transforma en un movimiento lineal del automóvil. Otro ejemplo para este principio es el que se muestra en la figura 15.

Figura 15. Principio de conservación de energía



Fuente: Cengel, Yunes, (2012). *Termodinámica 7th*.

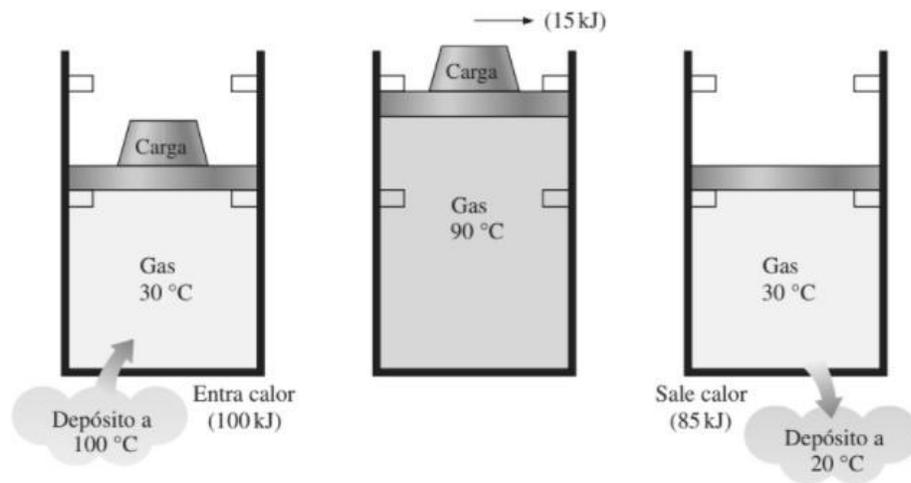
### 7.10.2. Ley de la entropía

Esta ley nos habla principalmente del desorden que se crea al momento de transformar una energía, la energía nunca se pierde solo se utiliza de una manera diferente, sin embargo, si hay una cantidad de energía por muy pequeña que sea no se puede reutilizar o transformar en trabajo, casi siempre esta pérdida de calor es de forma calorífica.

Para entender de mejor manera este ejemplo se puede enfocar nuevamente en el motor de un automóvil, el cual transforma la gasolina. Si calculáramos el total de cambio de energía, siempre encontraríamos que una pequeña cantidad se perdió, esta la podemos ver en la temperatura que tiene el motor, podemos observar que este se encuentra caliente, ya que una fracción de

la energía que utilizamos para transformar la gasolina en movimiento se transfirió a las paredes del motor del carro así como se muestra en la figura 16.

Figura 16. **Proceso de pérdida de calor**



Fuente: Cengel, Yunes, (2012). *Termodinámica 7th*.

La eficiencia térmica de una máquina térmica se define como la proporción entre el trabajo neto generado y la energía total transferida hacia el sistema. (Rodoreda, 2005). La eficiencia de una máquina se ve como la energía total que esta aprovecha y entre menor sea la fracción de energía que ya no se utiliza más eficiente llegará a ser.

### 7.10.3. Ley de cero absoluto

Esta ley nos indica que cuando la entropía de cualquier sistema es llevada al valor del cero ( $273.15\text{ K}$ ) absoluto los sistemas físicos se detendrán. Para explicar esta ley nos podemos enfocar en lo que sucede dentro de un congelador,

cuando se ingresan alimentos en este, los vegetales o carnes, detiene el proceso de descomposición como podemos observar en la figura 17.

La temperatura llega a volverse tan baja que el movimiento de nuestras partículas de igual manera de vuelven lentas, tanto que dan la impresión de haberse detenido y se detiene el proceso de descomposición.

Figura 17. **Ley de ceros absolutos**



Fuente: Cengel, Yunes, (2012). *Termodinámica 7th*.

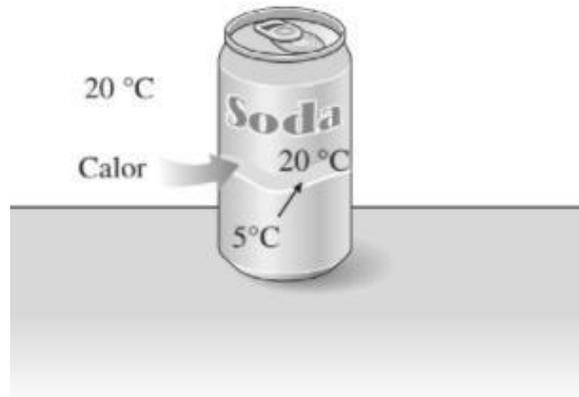
#### **7.10.4. Ley del equilibrio térmico**

Esta ley nos dicta que cuando dos cuerpos de distinta temperatura entran en contacto, estas buscarán la forma de encontrar su equilibrio, esto quiere decir que, en un punto ambos objetos llegarán a tener la misma temperatura.

Para explicar de una mejor manera, utilizaremos como ejemplo la Figura 18, al momento en el que vertimos soda en un vaso con hielo, estos dos

medios intercambiarán su calor hasta que ambos lleguen a una misma temperatura.

Figura 18. **Equilibrio térmico**

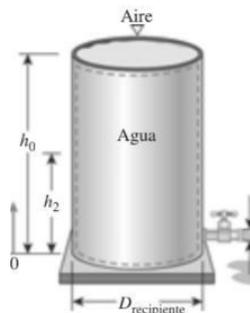


Fuente: Cengel, Yunes, (2012). *Termodinámica 7th*.

#### 7.10.5. Sistema abierto

En un sistema abierto, podemos usar de ejemplo un entorno por medio del cual se puede hacer la transición de energía y materia, como lo puede ser una olla abierta ya que en ella se transfiere calor y vapor, como se observa en la figura 19.

Figura 19. **Sistema abierto**

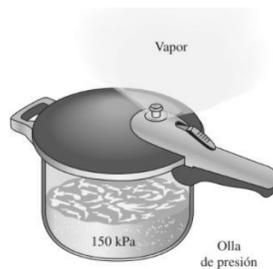


Fuente: Cengel, Yunes, (2012). *Termodinámica 7th*.

### 7.10.6. Sistema cerrado

Un sistema cerrado es un sistema mediante el cual únicamente se puede hacer un intercambio de energía, como lo puede ser una olla cerrada, en la cual únicamente se puede hacer la transferencia de calor, tal como se muestra en la figura 20.

Figura 20. **Sistema cerrado**

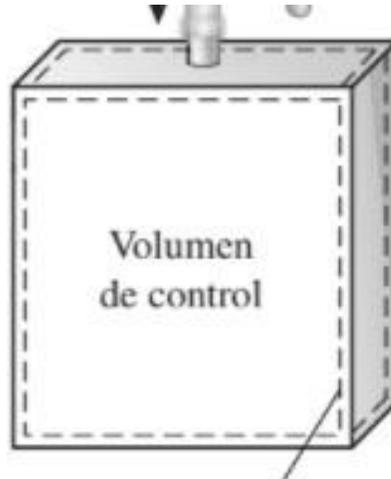


Fuente: Cengel, Yunes (2012). *Termodinámica 7th*.

### 7.10.7. Sistema aislado

Un sistema aislado a diferencia de los dos sistemas anteriores no permite el intercambio de energía o de materia con sus alrededores, como lo puede ser un termo de café o una caja aislada, como se muestra en la figura 21.

Figura 21. **Sistema aislado**



Fuente: Cengel, Yunes. (2012). *Termodinámica 7th*.

## 7.11. Ciclos termodinámicos

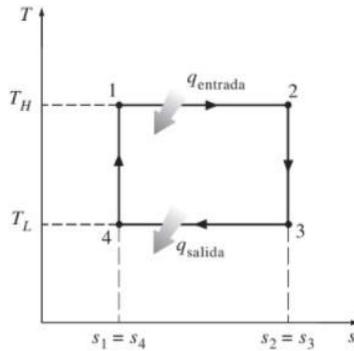
Los ciclos termodinámicos son gráficas y describen el comportamiento y los pasos mediante el cual pasa el vapor y gas para la generación de energía según sea la aplicación que se quiere utilizar.

### 7.11.1. Ciclo de Carnot

El proceso de Carnot cuenta con cuatro procesos para la generación de vapor los cuales son:

- Adición isotérmica de calor
- Expansión isentrópica
- Rechazo de calor isotérmico
- Compresión isentrópica

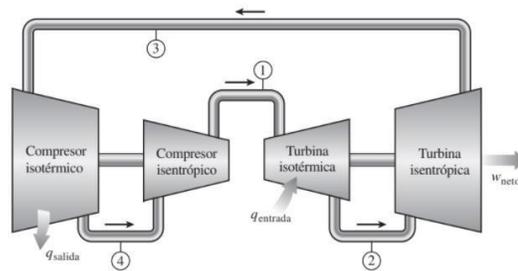
Figura 22. **Diagrama T-s**



Fuente: Cengel, Yunes (2012). *Termodinámica 7th*.

El ciclo de Carnot se puede ejecutar en un sistema cerrado con vapor y gas como fluido de trabajo, este es uno de los ciclos más eficientes para la aplicación de energía térmica.

Figura 23. **Ciclo de Carnot**



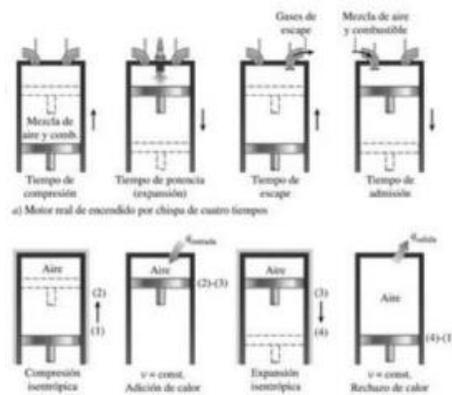
Fuente: Cengel, Yunes (2012). *Termodinámica 7th*.

### 7.11.2. Ciclo Otto

El ciclo de Otto, más conocido como el ciclo para encendido mediante chispa, es un ciclo de funcionamiento con gas como fluido, el ciclo conlleva un

proceso de cuatro tiempos. Las máquinas que realizan este proceso son conocidas como motores de combustión interna (Cengel, 2011). Este proceso es fácil de observar con el funcionamiento de los pistones que cuenta con un encendido a cuatro pasos.

Figura 24. **Motor a combustión interna**

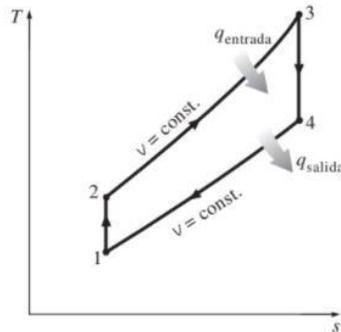


Fuente: CENGEL, Yunes, (2012). *Termodinámica 7th*.

El ciclo de Otto, como se mencionó anteriormente, cuenta con un proceso de cuatro pasos que para el análisis termodinámico se puede describir de la siguiente manera:

- Compresión isentrópica
- Adición de calor a volumen constante
- Expansión isentrópica
- Rechazo de calor a volumen constante

Figura 25. **Diagrama T-s ciclo Otto**

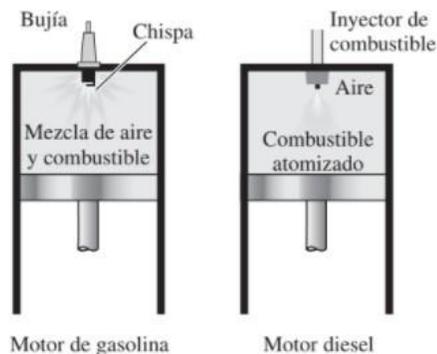


Fuente: CENGEL, Yunes, (2012). Termodinámica 7th.

### 7.11.3. Ciclo diésel

Este ciclo es utilizado principalmente en las máquinas de encendido a compresión, o dicho de otra manera, los motores diésel a diferencia de los motores de combustión interna, su accionamiento es mediante compresión mientras que los motores a combustión interna basan su principio de funcionamiento en el accionamiento por chispa, es gracias a esto que los motores diésel son diseñados a relaciones de compresión de 12 y 24. (Cengel, 2011).

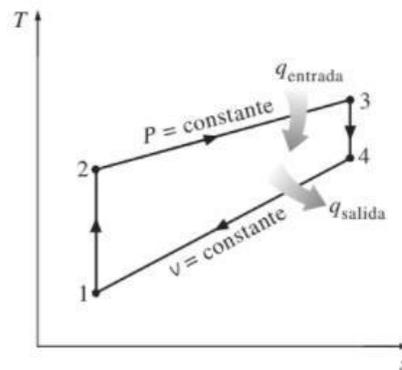
Figura 26. **Motor de combustión interna vs. motor diésel**



Fuente: Cengel, Yunes, (2012). Termodinámica 7th.

Con el diagrama T-s es posible observar como ocurre el cambio de volumen del líquido, mientras que ingresa el calor de entrada para generar una expansión que luego se ve reflejado como una descarga de energía o bien una descarga calorífica.

Figura 27. **Diagrama T-s Diesel**

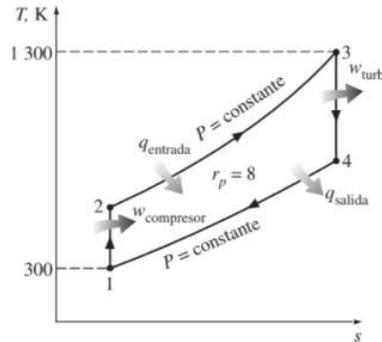


Fuente: Cengel, Yunes, (2012). *Termodinámica 7th*.

#### 7.11.4. Ciclo Brayton

Este ciclo también es conocido como el ciclo ideal para los motores de turbina de gas, este proceso se ve aplicado en los motores de turbina de gas donde el proceso de compresión y expansión se realiza en máquinas rotatorias, este proceso es un ciclo abierto. (Cengel, 2011). Es decir que, los gases que pasan en la turbina son enviados al exterior un ejemplo de este sistema es el proceso de compresión y salida que crean las turbinas, así como se muestra en figura 28.

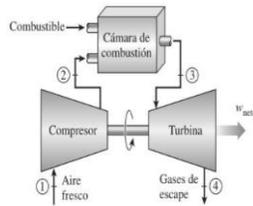
Figura 28. **Diagrama ideal Brayton**



Fuente: CENGEL, Yunes, (2012). *Termodinámica 7th*.

En la figura 28 se puede observar el comportamiento del ciclo Brayton en relación temperatura vs entropía.

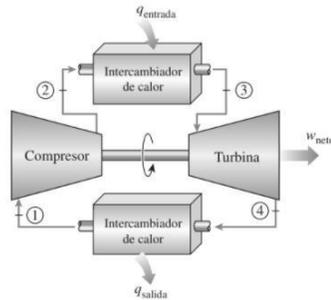
Figura 29. **Ciclo Brayton abierto**



Fuente: Cengel, Yunes, (2012). *Termodinámica 7th*.

Sin embargo, si a este ciclo se reemplaza la cámara de combustión y se sustituye por dos intercambiadores de calor uno ubicado en la entrada y otro ubicada en la salida se puede obtener un ciclo más eficiente un ciclo cerrado.

Figura 30. **Ciclo Brayton cerrado**

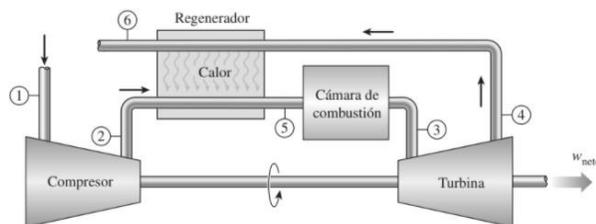


Fuente: CENGEL, Yunes, (2012). *Termodinámica 7th*.

#### 7.11.4.1. **Ciclo Brayton con regeneración**

Este ciclo es una variante del ciclo Brayton, que intenta recuperar y calentar el aire del compresor por medio de un intercambiador de calor conectado al gas de escape, el resultado de esta modificación es aumentar la eficiencia del ciclo Brayton como se observa figura 31.

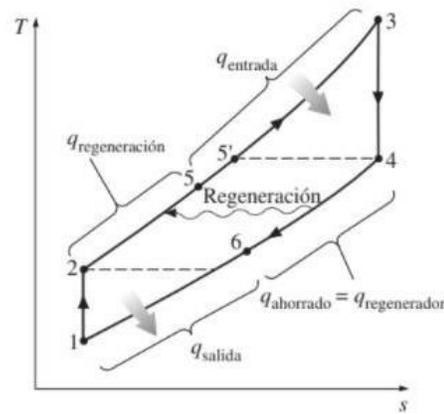
Figura 31. **Ciclo Brayton regenerativo**



Fuente: CENGEL, Yunes, (2012). *Termodinámica 7th*.

La eficiencia que puede presentar el ciclo Brayton regenerativo va a depender directamente de la temperatura máxima y mínima para saber cuál va ser su eficiencia térmica.

Figura 32. Diagrama T-s Brayton regenerativo



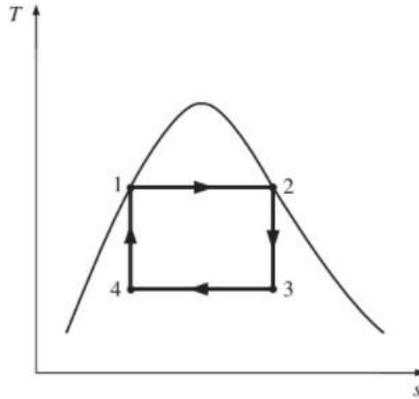
Fuente: Cengel, Yunes, (2012). *Termodinámica 7th*.

En la figura 32 se puede observar el comportamiento del ciclo Brayton regenerativo en relación de temperatura vs entropía.

#### 7.11.5. Ciclo de vapor de Carnot

El ciclo de Carnot es uno de los ciclos más eficientes que se existen para los ciclos que rigen en límites de temperatura como se muestra en la figura 33, sin embargo, este no es un buen ciclo para la potencia.

Figura 33. **Diagrama T-s ciclo de vapor Carnot**



Fuente: Cengel, Yunes, (2012). *Termodinámica 7th*.

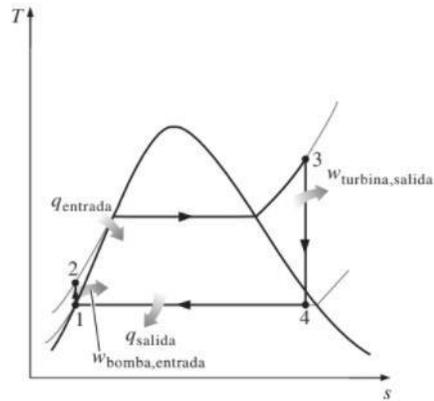
#### 7.11.6. **Ciclo Rankine**

Este ciclo se conoce como el ciclo ideal de potencia de vapor, este asociado con el ciclo de Carnot, sin embargo, este elimina un paso impráctico de este proceso por medio del sobrecalentamiento del vapor por medio de la caldera y condensarlo (Cengel, 2011), los pasos para este ciclo son:

- Compresión isentrópica en una bomba
- Adición de calor a presión constante en una caldera.
- Expansión isentrópica en una turbina.
- Rechazo de calor a presión constante en un condensador”

Este ciclo se ve representado con una gráfica donde se ven los cambios que sufre los estados del vapor con una tabla temperatura vs entropía, como se muestra en la figura 34.

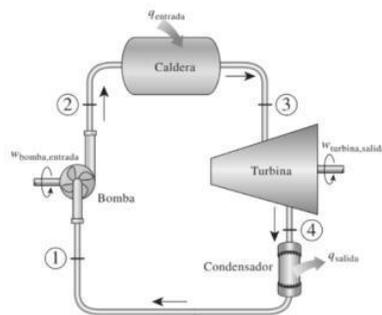
Figura 34. **Diagrama T-s ciclo Rankine**



Fuente: Cengel, Yunes, (2012). *Termodinámica 7th*.

En este proceso se ve el comportamiento del vapor al entrar en cada uno de los equipos que conforman el sistema, comenzamos con el primer paso que es observa como el agua para a través de la bomba para llegar a la caldera, el cual por medio de calor evapora el cual, quien luego hacer girar una turbina por último pasar por un condensador para regresarla a su estado líquido como se muestra en la figura 35.

Figura 35. **Ciclo Rankine ideal simple**

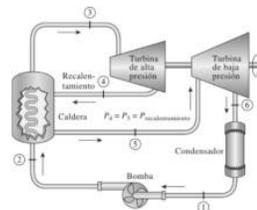


Fuente: Cengel, Yunes, (2012). *Termodinámica 7th*.

### 7.11.6.1. Ciclo Rankine ideal con recalentamiento

Este ciclo es una variante del ciclo Rankine simple donde se busca calentar el líquido en este caso agua, por medio de un intercambiador de calor, en donde una parte del líquido en estado gaseoso que sale del proceso pasa al condensador y el resto llega al intercambiador de calor para poder hacer un recalentamiento, con esta modificación el sistema consigue una eficiencia del 4 al 5 por ciento como lo podemos ver en la figura 36.

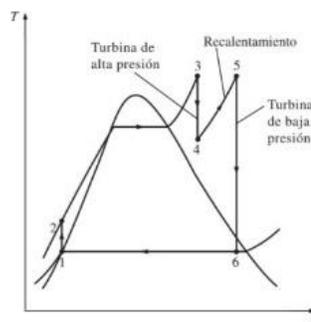
Figura 36. **Ciclo Rankine ideal con recalentamiento**



Fuente: Cengel, Yunes, (2012). *Termodinámica 7th*.

Para el tema de recalentamiento se realiza un aumento de la presión dentro de la caldera lo que lleva a un aumento de eficiencia para el ciclo Rankine.

Figura 37. **Diagrama T-s ciclo Rankine ideal con recalentamiento**

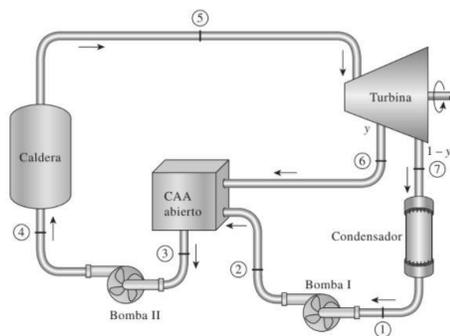


Fuente: Cengel, Yunes, (2012). *Termodinámica 7th*.

### 7.11.6.2. Ciclo Rankine ideal regenerativo

El proceso de colocar un intercambiador de calor como medio de calentamiento de agua, es un tanto ineficiente ya que el vapor que pasa por el intercambiador de calor se vuelve más húmedo, por tal razón se buscó una solución más práctica para calentar el agua antes de ingresar a la caldera. Para solucionar esta deficiencia se encontraron dos maneras, mediante una caja calentador abierto es un calentador donde se envía una parte de vapor de la turbina y se junta con el agua que pasa por el condensador donde sale como líquido saturado a una bomba para ser inyectado nuevamente a la caldera como se muestra en la figura 38.

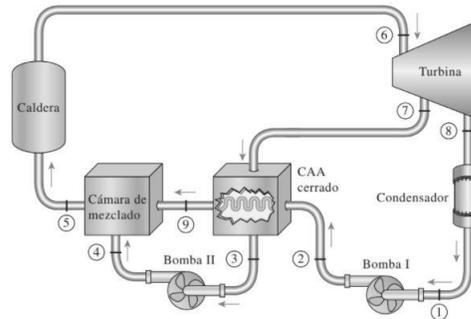
Figura 38. Ciclo ideal regenerativo caja abierto



Fuente: Cengel, Yunes, (2012). *Termodinámica 7th*.

Otro tipo de calentador es el calentador cerrado, el cual consta de un intercambiador de calor que realiza el proceso de calentar el agua mediante una parte del vapor que sale de la turbina, aunque hay otra que pasa por un condensador para ser calentado posteriormente y luego ingresa todo a una cámara de mezcla donde sale como un agua a mayor temperatura, como se puede ver la figura 39.

Figura 39. **Calentador cerrado con cámara de mezcla**



Fuente: Cengel, Yunes, (2012). *Termodinámica 7th*.

## 7.12. Sensores

Los detectores y sensores de seguridad de son ideales para múltiples funciones. Los detectores y sensores de seguridad protegen tanto a las personas como a la máquina. Los detectores y sensores para seguridad ofrecen diferentes principios de funcionamiento:

- Sensor de presencia
- Sensor infrarrojo
- Finales de carrera
- Sensor inductivo

Una caldera cuenta con distintos instrumentos que los ayudan a protegerlos de los daños que se pueden generar por una mala operación de la caldera, como puede ser el exceso de agua o bien la falta de esta.

Figura 40. **Panel de control de calderas**



Fuente: [fotografía de Ricardo Fletcher]. (Texpasa, Michatoya, Escuintla 2021).  
Colección particular. Guatemala.

Actualmente la mayoría de los procesos dentro de las calderas están completamente automatizadas por los que la intervención humana es casi este proceso de automatización lo podemos ver en los paneles con los que están conformados las calderas, este lo podemos referenciar en la figura 40.

#### **7.12.1. Sensores inductivos**

Este tipo de sensores se utilizan principalmente para la detección de objetos metálicos su función básicamente recae en pulso eléctricos en el momento que encontrar algún objeto de metal previamente calibrados. Un ejemplo de su uso podría ser la detección de cadenas metálicas en transportadoras muy grandes; que al momento de fallo en la cadena (Rompimiento) estos generen un pulso o en esta ocasión dejen de generarlo por lo cual la energía para esta área de producción se detendría evitando grandes pérdidas y en el peor entorno un accidente.

Figura 41. **Sensor inductivo**



Fuente: [fotografía de Ricardo Fletcher]. (Texpasa, Michatoya, Escuintla 2021).  
Colección particular. Guatemala.

### **7.12.2. Sensores ópticos**

Los sensores ópticos tiene un funcionamiento muy similar a los sensores inductivos, con la diferencia que estos son utilizados para la detección de cualquier tipo de objetos que presenten una perturbación en el haz de luz previamente establecido o de igual manera de puede utilizar dos sensores uno emisor y el otro recepción que al momento de interrumpir la señal mutua entre ambos se corta la energía o viceversa, son muy utilizados en las embotelladores para el conteo de botellas o bien para el control de ingreso de personas en áreas establecidas.

### **7.12.3. Sensores electromecánicos**

Los sensores electromecánicos más utilizados y conocidos son los finales de carrera los cuales cumple la función de la generación de un pulso al momento

de sobre pasar un nivel o una marca, normalmente son utilizados para detener el llenado de los tanques al momento de llegar al nivel máximo.

Figura 42. **Final de carrera**



Fuente: [fotografía de Ricardo Fletcher]. (Texpasa, Michatoya, Escuintla 2021).  
Colección particular. Guatemala.

#### **7.12.4. Sensores de presión**

Este tipo de sensores actualmente se utilizan como alfombras de presión las cuales detentan a las personas al entrar a alguna área de alto riesgo al momento en que una máquina que puede causarle lesiones al trabajador está en funcionamiento.

Figura 43. **Sensor de presión**



Fuente: [fotografía de Ricardo Fletcher]. (Texpasa, Michatoya, Escuintla 2021).  
Colección particular. Guatemala.

#### **7.12.5. Líneas de emergencia**

Las líneas de vida cumplen la función de un paro de emergencia accionado por una cuerda la cual se recomienda que está en puntos vitales de toda la fábrica, para que al momento de algún accidente o algún problema en la fábrica donde no se ha detectado automáticamente cualquier trabajador o persona dentro de la empresa pueda hacer un paro general de toda el área.

Figura 44. **Línea de emergencia**



Fuente: [fotografía de Ricardo Fletcher]. (Texpasa, Michatoya, Escuintla 2021).  
Colección particular. Guatemala.

#### **7.12.6. Paro de emergencia**

Este equipo consiste principalmente en un botón en forma de Hongo el cual va instalado en todos los paneles donde existe algún proceso automatizado, este con el fin de genera un paro en la maquinaria por algún problema que el proceso de automatización no fue capaz de detectar.

Figura 45. **Paro de emergencia**



Fuente: [fotografía de Ricardo Fletcher]. (Texpasa, Michatoya, Escuintla 2021).  
Colección particular. Guatemala.

### **7.12.7. Temporizadores**

Los temporizadores son utilizados en todo tipo de instalaciones mecánicas su función básica es el accionamiento o paro de algún equipo o componente después del paso un tiempo previamente establecido.

Figura 46. **Temporizadores**



Fuente: [fotografía de Ricardo Fletcher]. (Texpasa, Michatoya, Escuintla 2021).  
Colección particular. Guatemala.

#### **7.12.8. Cierre de válvulas**

El golpe de Ariete es una de las causas por las cuales puede morir una persona si no se tiene el debido cuidado al momento de cerrar una válvula en una tubería que cuenta con caudales extremadamente grandes y en otras circunstancias puede causar daños en las tuberías u otros equipos conectados a ella, para evitar este tipo de problema se colocan candados en los cierres de las válvulas, el objetivo de esto es que solo las personas que conocen el proceso de cierre de estos equipos puedan realizarlo.

Así como cada equipo tiene una función establecida, el uso de cada uno de estos debe ser previamente considerado antes de la instalación del mismo, cada área de la empresa es diferente y la maquinaria que en esta se encuentra pueden variar es por esto que antes de seleccionar los equipos se deben de hacer un

estudio de riesgo para saber cuáles son las áreas más propensa a riesgo o bien cuales cuenta con un riesgo más significativo para los trabajadores, este tipo de estudio son realizados por ingenieros que tiene mucha experiencia en la clasificación de riegos y selección de equipo o bien por empresas que se dedican a la venta de estos equipos.



## 8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUME DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

### 1. MARCO TEÓRICO

#### 1.1. Caldera

1.1.1. Caldera pirotubular

1.1.2. Caldera acuotubulares

#### 1.2. Combustibles para caldera

1.2.1. Caldera de gas

1.2.2. Caldera de diésel

1.2.3. Caldera de biomasa

1.2.3.1. Biomasa

1.2.3.2. Características de la biomasa

1.2.3.3. Tipos de biomasa

#### 1.3. Intercambiador de calor

1.3.1. Intercambiador de calor directo

1.3.2. Intercambiador de calor indirecto

1.3.3. Características de los intercambiadores de calor

- 1.3.4. Poder calorífico
- 1.4. Combustión
- 1.5. Generación de vapor
- 1.6. Medidores
  - 1.6.1. Medidores de temperatura
  - 1.6.2. Sensores de húmeda
- 1.7. Diseño
  - 1.7.1. Materiales
    - 1.7.1.1. Diagrama Hierro-carbono
- 1.8. Transferencia de calor
  - 1.8.1. Ley de la conservación de la energía
  - 1.8.2. Ley de la entropía
  - 1.8.3. Ley de cero absoluto
  - 1.8.4. Ley de equilibrio térmico

## 2. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

## 3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

## 9. METODOLOGÍA

### 9.1. Tipo de estudio

El estudio para realizar es de tipo no experimental ya que al ser una propuesta para intercambiador de calor todo se va a estar realizando pruebas experimentales, pero a una menor escala.

El tipo de estudio a realizar es mixto porque las variables que vamos a medir son el porcentaje de humedad que se va a estar eliminando de la biomasa, la reducción de biomasa que se tendrá con respecto al presión que tenga la caldera.

### 9.2. Variables e indicadores

Las variables y los indicadores de estudio se muestran en la tabla siguiente:

Tabla III. **Variables e indicadores**

<b>Variables</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Tipo</b>
Temperatura de caldera		Cuantitativo
Cantidad de humedad	Consumo de biomasa	Cuantitativo
Emisión de O <sub>2</sub>		Cuantitativo

Continuación de la tabla II.

Temperatura del gas de caldera	Temperatura del intercambiador	Condiciones del intercambiador del calor	Cuantitativo Cuantitativo Cuantitativo
Tiempo de funcionamiento del secador			
Cantidad de biomasa Eficiencia de la quema de biomasa Poder calorífico		Condiciones de quema de biomasa	Cuantitativo Cualitativo Cuantitativo
Suciedad dentro del horno Tiempo de limpieza de horno Mejoras entre mantenimientos		Mantenimiento de tuberías	Cualitativo Cuantitativo Cualitativo

Fuente: elaboración propia, Microsoft Word 2021.

### 9.3. Fases del estudio

Fase 1: revisión documental. Previo a realizar la investigación, se realizará una investigación documental sobre los conceptos, teorías e investigaciones que se han realizado previamente y se relacionan con la investigación propuesta. En ella se ampliará el concepto del funcionamiento básico de una caldera de biomasa, así como los factores que interfieren en la producción de vapor. Se investigará los diferentes diseños con los cuales se podría hacer un secador de biomasa, así como la factibilidad de utilizar los gases de escape de la caldera.

Fase 2: recopilación de información. En esta fase se realizará un análisis de funcionamiento de la caldera actual ubicada en Texpasa. Con base en la

información obtenida, se generarán las tendencias que diagnostiquen la situación a la fecha de investigación utilizando biomásas con diferente humedad de en qué momentos se comportan de mejor manera la caldera, de igual forma se tomarán los datos recopilados en el historial de la caldera. La recopilación de información se realizará mediante las tablas indicadas en el Apéndice. Paralelo a esto se hará una comparación del intercambiador de calor que utiliza vapor para realizar su intercambio de energía y en base a esto se hará una tabla igual mente en Apéndice que nos muestre el comportamiento de este intercambiador.

Fase 3: trabajo de gabinete. Tras la sustracción de datos de la fase dos, se comenzará a realizar los cálculos para dimensionar un intercambiador de calor que pueda reducir la humedad de la biomasa al porcentaje con mejor resultados de la fase anterior.

Fase 4: presentación y discusión de resultados. En esta fase se realiza un resumen de los resultados obtenidos, así como una gráfica de comportamiento del porcentaje de humedad para que la caldera funcione de forma más eficiente, de igual manera se hará una gráfica de tendencia del comportamiento de la biomasa antes y después de entrar al secador de biomasa para conocer cuán eficiente es este sistema vs el gasto de energía todo esto con un prototipo a baja escala, partiendo de este punto se realizará plan de retorno de inversión para la fabricación del prototipo de intercambiador de calor y los beneficios a futuro que se tendría en mantenimiento de optar por la construcción de este equipo.

#### **9.4. Muestreo**

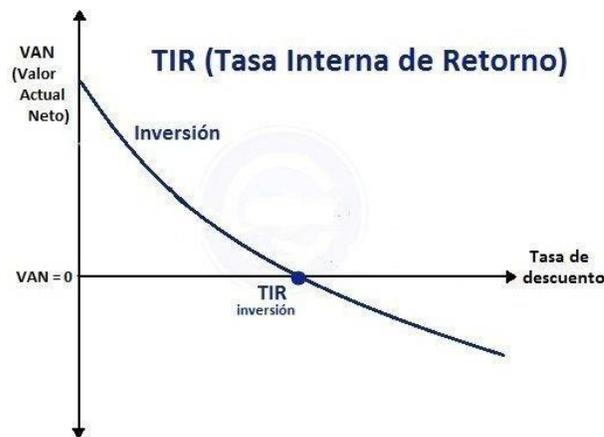
Se utilizará el consumo de biomasa en función al sistema para la medición de humedad (BMC).

## 9.5. Resultados esperados

Los resultados esperados tras la investigación son: la obtención de un tabla de tendencia de cuál es el comportamiento que tiene la caldera según la humedad que tenga la biomasa y como esta afecta directamente al mantenimiento, es una guía que ayuda a determinar los factores claves que se deben tomar en cuenta para el diseño de un intercambiador de calor, de igual forma se crearía un programa que ayude a determinar cómo proceder con el mantenimiento de la caldera según la humedad de la biomasa y la frecuencia con la cual es necesario realizar el mantenimiento.

Para realizar esta medición se tomarán datos en condiciones iguales para cada uno de los escenarios y se llenará la siguiente tabla para documentar los resultados:

Figura 47. Tasa interna de retorno



Fuente: Economipedia. *Tasa interna de retorno*. Consultado el 15 de marzo de 2019.  
Recuperado de <https://economipedia.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno-tir.html>.

## 10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Dentro de las técnicas del análisis de la información, se realizará una recopilación información de las bitácoras de consumo de biomasa de las calderas de Texpasa de los últimos 5 años. Además de información de los manuales, información de mantenimiento de calderas y otra información proporcionada por el investigador. Se investigará los diferentes diseños con los cuales se podría hacer un secador de biomasa, así como la factibilidad de utilizar los gases de escape de la caldera.

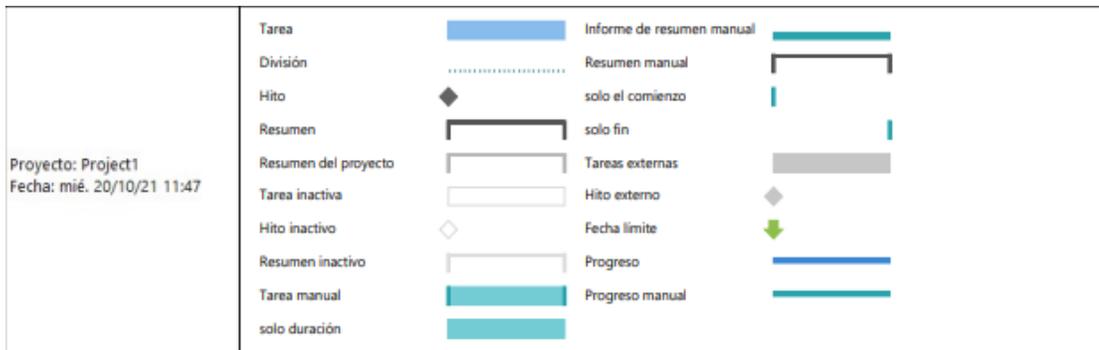
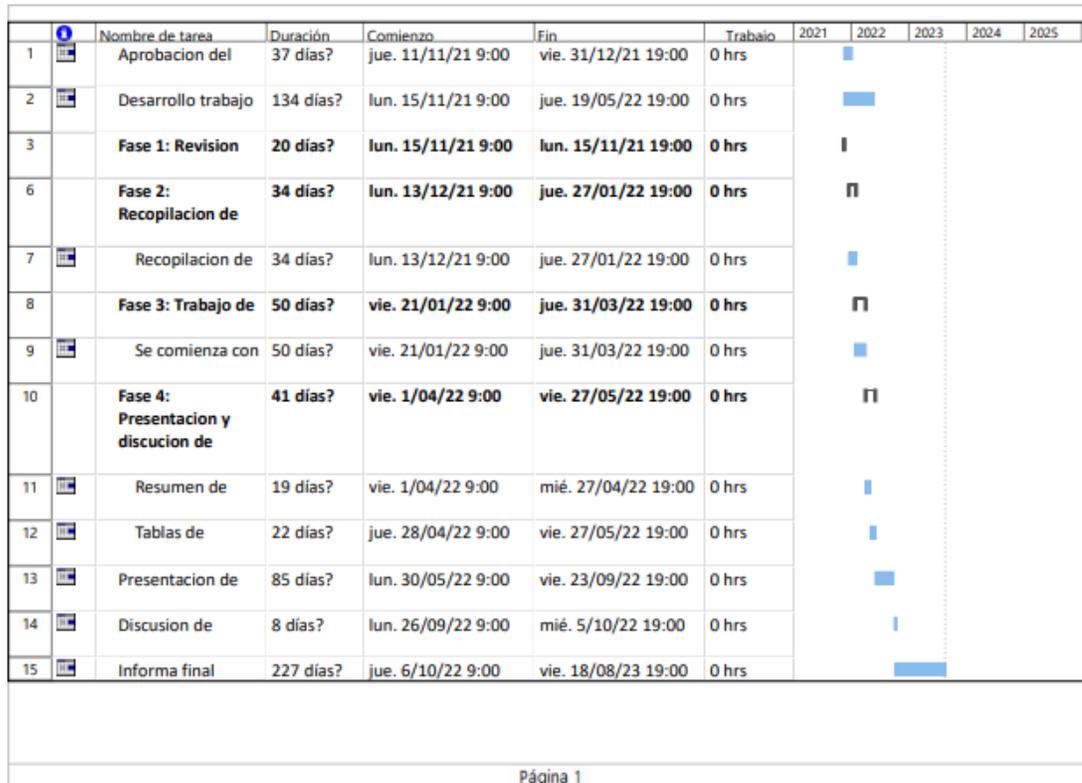
Se identificara los textos, observaciones o procedimientos, tales como procedimiento de mantenimiento, criterios, observaciones, recomendaciones del fabricante, para la elaboración de tablas de tendencia que nos ayuden analizar los factores que aceleran en manteamiento o fallo de las calderas, estas tablas se comparan con otras graficas de tendencia para poder utilizar esta información en la elaboración de una propuesta de construcción para un secador que biomasa en función de un intercambiador de calor que nos ayude a eliminar este problema.

Se hará una gráfica que relacione la cantidad de consumo de biomasa vs la cantidad de humedad y otra gráfica para el tiempo de funcionamiento del intercambiador vs la cantidad de humedad eliminada, este análisis se hará para cada caldera por separado para ver si la tendencia es la misma, para que nos muestre la tendencia de consumo, así como poder identificar la diferencia que presenta una caldera y un intercambiador utilizando los gases de diferentes caldera y el funcionamiento de la caldera con la cantidad de humedad eliminada.



# 11. CRONOGRAMA

Figura 48. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia, Microsoft Excel 2021.



## 12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Para efectuar el estudio de investigación, es necesario tomar en cuenta que se debe contar con tiempo disponible para realizarlo. Además, se tiene que contar con los recursos materiales, humanos y financieros. Para esto, se contará con la disposición y facilitación de estos, por parte de la empresa donde se realiza la prueba, así como de algunos de los clientes que los obtienen.

En el caso de los recursos financieros en los que se incurrirá para efectuar el estudio, se toman en cuenta solamente los honorarios del asesor de tesis que serán financiados por el investigador. Los recursos que se deben tomar en cuenta por la empresa de fabricación de tela, para el ahorro de compra y secado de biomasa son:

Recurso físico y tecnológico: es necesario contar con los recursos mencionados en la tabla IV. Asimismo, es necesario tener acceso a la información de consumo que registran las calderas, así como los datos de compra de biomasa y tener acceso por cortos periodos de tiempo a una caldera para hacer la prueba final de quemado de biomasa, así como el acceso al pirómetro para conocer que tanto se ve la mejora en la combustión de la biomasa al momento de reducir la humedad y el sensor de humedad BMC para poder medir el porcentaje de humedad que tiene la biomasa.

Tabla IV. **Recurso material**

<b>Recurso material, físico y tecnológico</b>			
No.	Descripción	Unidad	Costo (Q)
1	Equipo de computo	Global	Q 5,500.00
2	Equipo de protección	Global	Q 1,500.00
3	Cámara termográfica y sensor de humedad	Global	Q 3,000.00
Total			Q 10,000.00

Fuente: elaboración propia, Microsoft Word 2021.

Recurso humano: se necesitará contar con el apoyo del ingeniero de planta para poder realizar la recolección de datos y de las pruebas experimentales de la caldera, así como un calderista para poder realizar las pruebas de en la caldera.

Tabla V. **Recurso humano**

<b>Recurso humano</b>				
No.	Descripción	Horas	Unidad	Costo (Q)
1	Investigador	60	120	Q 7,200.00
2	Calderista	12	75	Q 900.00
3	Asesor	8	110	Q 880.00
Total				Q 8,980.00

Fuente: elaboración propia, Microsoft Word 2021.

Para realizar la propuesta final del diseño del secador y para la presentación de la información recopilada, será necesario contar con un equipo de cómputo, software AutoCAD y *solidword*, para el campo también será necesario contar con una cámara termográfica.

### 13. REFERENCIAS

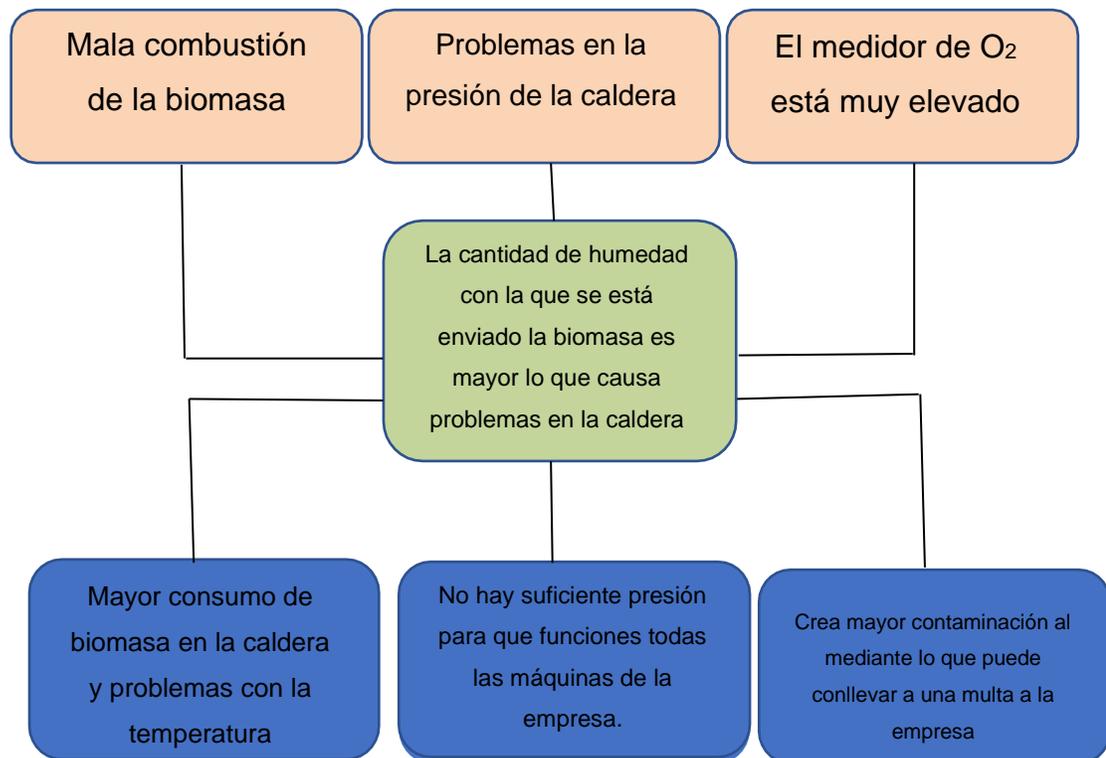
1. Andia (2018). *Diseño de plantas industriales II*. Año 2008; Arequipa:
2. Baro, F. (2014). *Nociones de nomografía*. Madrid, España: Librería Internacional Adrián Romo. Recuperado de: [http://books.google.com.gt/books?id=ZYsNAQAIAAJ&pg=PA117&lpg=PA117&dq=tipos+de+nomogramas&source=bl&ots=eU\\_iatukxo&sig=JVlYhO\\_5uys\\_MPmPCpfuBp524io&hl=es419&sa=X&ei=J6mDVLjsAvOCsQThy4HADQ&ved=0CGIQ6AEwDg#v=onepage&q=tipos%20de%20nomogramas&f=false](http://books.google.com.gt/books?id=ZYsNAQAIAAJ&pg=PA117&lpg=PA117&dq=tipos+de+nomogramas&source=bl&ots=eU_iatukxo&sig=JVlYhO_5uys_MPmPCpfuBp524io&hl=es419&sa=X&ei=J6mDVLjsAvOCsQThy4HADQ&ved=0CGIQ6AEwDg#v=onepage&q=tipos%20de%20nomogramas&f=false)
3. Cengel, Y. y Boles, M. (2009) *Termodinámica*. México: McGraw-Hill.
4. C. J. (2021). *Fundamentos de la termodinámica*. Venezuela Programa editorial.
5. Fonseca, L. y Riveros, L. (2009). *Diseño térmico y mecánico de intercambiadores de calor de casco y tubo*. (Tesis de maestría). Universidad Industrial de Santander, Colombia. Recuperado de <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2009/130082.pdf>
6. Guzmán, R. (2018). *Auditoria energética al circuito de vapor y condensado de una planta de elaboración de café liofilizado*. (Tesis de licenciatura). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador. Recuperado de <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/31327/D-79731.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>

7. IMA. Departamento de Instalación y Mantenimiento, (2019). Universidad Politécnica de Cartagena. <http://www.imacifp.com/wp-content/uploads/2014/10/4.-Generadoresde-calor.pdf>
8. Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE) (2005). Plan de Energías Renovables 2005- 2010. [En línea] Disponible en: <http://www.mityc.es> (Consulta: julio 2021)
9. Rosero, F. y Dávila, W. (2015). *Diseño y construcción de un intercambiador de calor de placas*. (Tesis de licenciatura). Escuela Politécnica Nacional, Ecuador. Recuperado de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/145/1/CD-0163.pdf>

## 14. APÉNDICES

### Apéndice 1. Árbol de problemas

#### CAUSA



Fuente: elaboración propia, Microsoft Word 2021.

## Apéndice 2. Matriz de coherencia

<b>La propuesta de un intercambiador de calor para la reducción de humedad de la biomasa que ingresa a una caldera.</b>		
<b>Objetivo general</b>		
Realizar una propuesta para un intercambiador de calor para reducir la humedad de biomasa y mejorar la eficiencia de la Caldera Hurst 2 en planta Michatoya.		
¿Cuánta humedad se debe eliminar de la biomasa para crear un sistema de combustión más eficiente y disminuir los problemas provocados por la mala quema de biomasa?		
<b>Objetivo específico</b>	<b>Pregunta de investigación</b>	<b>Indicadores</b>
1 Determinar el tiempo y calor necesario para reducir la humedad por medios de los gases de escape de la caldera de biomasa.	¿Cuánta biomasa entrará al intercambiador de calor?	La cantidad de biomasa que ingrese al intercambiador de calor va a ser proporcional al tiempo y temperatura del mismo.
2 Establecer el porcentaje de humedad en la biomasa para que la combustión sea más eficiente.	¿Cuáles son las condiciones adecuadas de operación y funcionamiento?	El porcentaje de humedad va a depender del material que se esté utilizando y el poder calorífico de cada uno.
3 Diseñar un sistema que se pueda adecuar al diseño original de la caldera.	¿Cuál sería el sistema que modifica en menor cantidad el diseño de la caldera?	Redimensionar la chimenea para que se pueda realizar una salida de gases sin que afecte toda la distribución original del horno.

Fuente: elaboración propia, Microsoft Word 2021.