



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LAS INGENIERÍAS Y APLICADAS**

**CARRERA INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**PROPUESTA TECNOLÓGICA**

**TÍTULO: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA  
GENERACIÓN DE ENERGÍA TÉRMICA MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE  
MATERIA ORGÁNICA DE COCO COMO COMBUSTIBLE”**

**Autores:**

Flores Jiménez Bryan Héctor

Galarza Galarza Luis Fernando

**Tutor:**

PhD. Torres Tamayo Enrique

**Latacunga – Ecuador**

**Julio - 2019**



## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

“Yo Flores Jiménez Bryan Héctor, declaro ser autor del presente proyecto de investigación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA TÉRMICA MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA DE COCO COMO COMBUSTIBLE”**, siendo PhD. Torres Tamayo Enrique tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

“Yo Galarza Galarza Luis Fernando declaro ser autor del presente proyecto de investigación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA TÉRMICA MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA DE COCO COMO COMBUSTIBLE”**, siendo PhD. Torres Tamayo Enrique tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Flores Jiménez Bryan Héctor  
C.I. 172285747-9

Galarza Galarza Luis Fernando  
C.I. 070689921-8



## AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor de la Propuesta tecnológica sobre el título:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA TÉRMICA MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA DE COCO COMO COMBUSTIBLE”**, de Flores Jiménez Bryan Héctor, Galarza Galarza Luis, de la carrera de ingeniería electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, julio, 2019

El Tutor

PhD. Torres Tamayo Enrique

C.I. 175712194-0



## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de la propuesta tecnológica de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes: Flores Jiménez Bryan Héctor y Galarza Galarza Luis Fernando con el título de la Propuesta tecnológica: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA TÉRMICA MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA DE COCO COMO COMBUSTIBLE”**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación del Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, julio 2019.

Para constancia firman:

**Lector 1 (Presidente)**

PhD. Laurencio Alfonso Héctor Luis

C.C.: 175836725-2

**Lector 2**

Ing. Gallardo Molina Cristian Fabián

C.C.: 050284769-2

**Lector 3**

Ing. Cevallos Betún segundo Ángel

C.C.: 050178243-7

**AVAL DE IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA**  
**MICROEMPRESA ARTESANAL “LÁCTEOS LATACUNGA”**

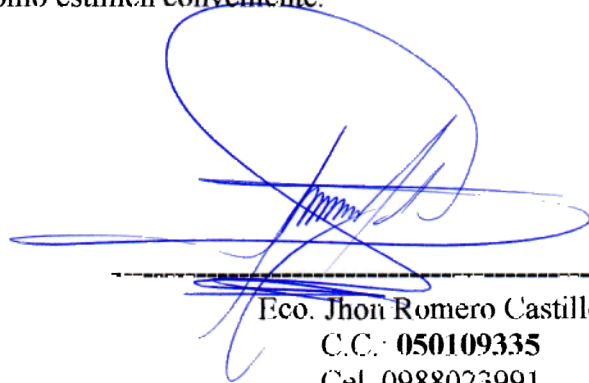
Latacunga, Julio 2019

Quien suscribe, Sr. Jhon Romero Castillo en calidad de Gerente propietario de la microempresa artesanal “Lácteos Latacunga”, CERTIFICO que los Sres. Flores Jiménez Bryan Héctor y Galarza Galarza Luis Fernando, realizaron en las instalaciones de la microempresa artesanal la propuesta tecnológica titulado: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA TÉRMICA MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA DE COCO COMO COMBUSTIBLE”**. En la ejecución de dicho proyecto los Sres. demostraron habilidades y conocimientos en su especialidad; así también generaron resultados que les serán de gran utilidad al área electromecánica, por cuanto se enfocaron en solucionar problemas inherentes e implementar el proyecto descrito que ayudara al proceso productivo, demostrando que estoy **CONFORME** con el funcionamiento de la máquina entregada a nuestra microempresa artesanal.

Durante su estadía los Sres. en mención se hicieron acreedores de nuestra confianza por la responsabilidad, honestidad y profesionalismo demostrado.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los interesados dar uso a este documento como estimen conveniente.

Atentamente.



Eco. Jhon Romero Castillo  
C.C. 050109335  
Cel. 0988023991

## ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	i
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN .....	ii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	iii
ÍNDICE GENERAL .....	v
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ix
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
PROPUESTA TECNOLÓGICA.....	1
1. INFORMACIÓN BÁSICA .....	1
PROPUESTO POR: .....	1
TEMA APROBADO .....	1
CARRERA .....	1
DIRECTOR DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA .....	1
EQUIPO DE TRABAJO .....	1
LUGAR DE EJECUCIÓN .....	1
TIEMPO DE DURACIÓN DE LA PROPUESTA .....	1
FECHA DE ENTREGA .....	1
LÍNEA(S) Y SUBLINEAS DE INVESTIGACIÓN A LAS QUE SE ASOCIA LA PROPUESTA TECNOLÓGICA.....	2
TIPO DE PROPUESTA TECNOLÓGICA.....	2
2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA.....	2
2.1. Título de la propuesta tecnológica .....	2
2.2. Tipo de alcance .....	2
2.3. Área del conocimiento .....	2
2.4. Sinopsis de la propuesta tecnológica .....	3
2.5. Objeto de estudio y campo de acción .....	3

2.5.1. Objeto de estudio.....	3
2.5.2. Campo de acción .....	3
2.6. Situación problemática y problema .....	3
2.6.1. Situación problemática:.....	3
2.6.2. Problema.....	4
2.7. Formulación de pregunta directriz .....	4
2.8. Objetivo(s) .....	4
2.8.1. Objetivo general .....	4
2.8.2. Objetivos específicos.....	4
2.9. Descripción de las actividades y tareas propuestas con los objetivos establecidos .....	5
3. MARCO TEÓRICO .....	6
3.1. Análisis de trabajos precedentes .....	6
3.2. Materia prima: biomasa .....	6
3.3. El coco .....	7
3.4. Producción de coco o palma de coco en el Ecuador .....	8
3.5. Propiedades de la cáscara de coco .....	10
3.6. Caracterización de la materia orgánica de coco como combustible .....	10
3.6.1. Pulverización.....	11
3.6.2. Briquetas.....	12
3.6.3. Pellets.....	17
3.7. Análisis de la biomasa .....	20
3.7.1. Contenido de cenizas.....	20
3.7.2. Contenido de humedad.....	21
3.7.3. Proporción de materia volátil y carbón fijo.....	21
3.8. Análisis de biogás .....	21
3.8.1. Poder Calorífico .....	22

3.9. Máquinas generadoras de vapor (Calderas).....	22
3.8.1. Tipos de calderas.....	23
3.9. Quemadores de biomasa.....	29
3.10. Ventajas del uso de la biomasa como combustible:.....	30
3.11 Estructura del quemador.....	30
4. METODOLOGÍA.....	31
4.1. Matriz de operacionalización de variables.....	31
Variables independientes.....	32
4.2. Métodos y técnicas de la investigación.....	32
4.2.1. Método cuantitativo.....	32
4.2.3. Método científico.....	32
4.2.4. Técnica experimental.....	33
4.2.5. Técnica de observación.....	33
4.2.6. Técnica de medición.....	33
4.3. Metodología de cálculo.....	34
4.3.1. Poder calorífico superior.....	34
4.3.2. Poder calorífico inferior.....	35
4.4.3. Temperatura adiabática de la llama.....	36
4.3.4. Flujo de calor requerido.....	36
4.3.5. Cantidad de biomasa.....	38
4.3.6. Diámetro equivalente de la sección del ventilador.....	38
4.3.7. Flujo volumétrico de aire.....	39
4.3.8. Espesor de pared del cañón.....	39
4.3.9. Transferencia de calor por conducción y convección.....	40
4.3.10 Torque requerido en el tornillo sin fin.....	42
94.3.11. Velocidad angular para la máquina.....	43



4.3.12. Velocidad de desplazamiento de tornillo sin fin .....	43
4.3.13. Potencia del motor.....	43
4.3.14. Número de revoluciones de la caja reductora .....	44
4.3.15. Dimensionamiento eléctrico.....	44
5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	45
5.1. Resultados de la memoria de cálculo.....	45
6. Presupuesto y análisis de impactos.....	49
6.1 Presupuesto .....	49
6.2. Costos directos .....	49
6.3. Costos indirectos.....	50
6.4. Mano de obra .....	51
6.5. Costo total .....	51
6.6. Análisis del valor actual neto (VAN) y tasa interna de retorno TIR .....	52
6.7. Análisis de impactos .....	53
6.7.1. Impacto práctico.....	53
6.7.2. Impacto tecnológico .....	53
6.7.3. Impacto ambiental .....	53
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	54
7.1. Conclusiones.....	54
7.2 Recomendaciones .....	54
8. BIBLIOGRAFÍA .....	55
ANEXOS .....	60

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 3.1.</b> Principales residuos de biomasa .....	7
<b>Figura 3.2.</b> Partes del coco .....	8
<b>Figura 3.3.</b> Porcentaje de producción de coco en provincias de la región costa .....	9
<b>Figura 3.4.</b> Materia orgánica de coco pulverizada .....	11
<b>Figura 3.5.</b> Briquetas de materia orgánica de coco .....	12
<b>Figura 3.6.</b> Pellets de materia orgánica de coco .....	17
<b>Figura 3.7.</b> Esquema básico de una caldera y sus partes principales .....	23
<b>Figura 3.8.</b> Esquema de una caldera piro tubular .....	24
<b>Figura 3.9.</b> Esquema de una caldera acuatubular .....	25
<b>Figura 3.10.</b> Esquema de una caldera de gas.....	26
<b>Figura 3.11.</b> Caldera de gasoil o diésel.....	26
<b>Figura 3.12.</b> Calderas de biomasa.....	27
<b>Figura 3.13.</b> Quemador de biomasa.....	30
<b>Figura 3.14.</b> Estructura del quemador de llama horizontal .....	31
<b>Figura 4.1.</b> Figura de campana del proceso de transformación de agua en vapor saturado y sobrecalentado .....	36
<b>Figura 4.2.</b> Diagrama de los elementos que intervienen en el proceso de pasteurización de leche .....	37

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 3.1.</b> Producción de coco en el Ecuador en toneladas por hectárea .....	9
<b>Tabla 3.2.</b> Poder calorífico superior de distintos tipos de biomasa .....	18
<b>Tabla 4.1.</b> Variables dependientes .....	32
<b>Tabla 4.2.</b> Variables independientes .....	32
<b>Tabla 4.3.</b> Magnitudes a medir .....	33
<b>Tabla 4.4.</b> Análisis elemental de biomasa en % de masa .....	35
<b>Tabla 4.5.</b> Análisis elemental de diferentes tipos de biomasa en % de masa.....	35
<b>Tabla 4.6.</b> Tabulación de datos .....	40
<b>Tabla 5.1.</b> Resultados del análisis para el poder calorífico del coco.....	45
<b>Tabla 5.2.</b> Resultados del cálculo de la biomasa requerida .....	46
<b>Tabla 5.3.</b> Resultados del cálculo del flujo de aire requerido .....	46
<b>Tabla 5.4.</b> Resultados del cálculo del espesor de los cañones interno y externo.....	47
<b>Tabla 5.5.</b> Resultados del cálculo de transferencia de calor .....	48
<b>Tabla 5.6.</b> Resultados de los cálculos mecánicos .....	48
<b>Tabla 5.7.</b> Resultados del cálculo eléctrico.....	49
<b>Tabla 6.1.</b> Costos directos.....	50
<b>Tabla 6.2.</b> Costos indirectos .....	50
<b>Tabla 6.3.</b> Costos por mano de obra.....	51
<b>Tabla 6.4.</b> Costo total .....	51
<b>Tabla 6.5.</b> Análisis VAN y TIR.....	51

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

**TÍTULO:** “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA TÉRMICA MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA DE COCO COMO COMBUSTIBLE”

**Autores:**

Flores Jiménez Bryan Héctor

Galarza Galarza Luis Fernando

### RESUMEN

La producción de palma de coco en el Ecuador actualmente ha ido creciendo en gran mayoría y por ende se ha incrementado la acumulación de basura orgánica de coco en botaderos de basura, calles e incluso en el mar.

La presente propuesta tecnológica se desarrolló con el fin de implementar un prototipo para generación de energía térmica mediante la utilización de materia orgánica de coco como combustible, para incentivar el uso de fuentes de energías renovables como la biomasa y reducir la contaminación por el uso de combustibles fósiles, ya que al utilizar pellets de biomasa de coco se reduce la emisión de los gases de efecto invernadero que se producen en la degradación de la biomasa de coco y se genera dióxido de carbono neutro  $CO_2$ , que al ser emitido al ambiente no produce contaminación.

El prototipo está compuesto por una tolva de almacenamiento que se ensambla a un motorreductor, el cual está acoplado a un tornillo sin fin que se encarga de transportar los pellets hasta la alimentación del quemador, dónde caen por gravedad a una cámara de combustión en la que se encuentra alojada una resistencia cerámica de alta potencia y está sometida a un flujo de aire producido por un ventilador de tiro forzado, que al momento de accionarse provoca que se genere combustión y a la vez se crea una flama con una alta temperatura que es llevada al hogar de la caldera para producir vapor de agua saturado.

Según el análisis termoquímico y termodinámico que se realizó, se obtuvo que el poder calorífico superior de la biomasa de coco es de 19,1 MJ/kg y que el poder calorífico inferior es de 15,5 MJ/kg. De acuerdo con estos resultados obtenidos y el uso para el que estuvo destinado el prototipo, se procedió a la aplicación de la metodología de cálculo, tomando en cuenta los parámetros de trabajo de la caldera que son: producir vapor de agua saturado a 63°C con una presión de 80 PSI, para obtener estos niveles de calor y presión se calculó que se requiere de una cantidad de biomasa de coco de 176,371kg.

**Palabras claves:** biomasa, prototipo, poder calorífico, pellets, temperatura, caldera.

**TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI**  
**ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES FACULTY**

**THEME:** “DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A PROTOTYPE FOR THERMAL ENERGY GENERATION THROUGH THE USE OF ORGANIC COCONUT MATTERS LIKE FUEL”

**Authors:** Flores Jiménez Bryan Héctor

Galarza Galarza Luis Fernando

**ABSTRACT**

Coconut palm production in Ecuador has been growing in the great majority and therefore the accumulation of organic coconut garbage in junk dumps, streets and even at sea has increased. This technological proposal was developed in order to implement a sample for thermal energy generation through the use of coconut organic matter as fuel, to encourage the use of renewable energy sources such as biomass and reduce pollution from the use of fuel fossils, with the use of coconut biomass pellets reduces the emission of greenhouse gases that are produced in the degradation of coconut biomass and generates neutral carbon dioxide, which when emitted into the environment does not produce pollution. The model is composed of a storage hopper that is assembled to a gear motor, which is coupled to an endless screw that is responsible for transporting the pellets to the burner feed, where they fall by gravity to a combustion compartment in which a high power ceramic resistor is housed and is subjected to an air flow produced by a forced draft fan, which at the time of work causes combustion to be generated while creating a flame with a high temperature that is brought to the boiler home to produce saturated steam.

According to the thermochemical and thermodynamic analysis that was carried out, it was obtained that the higher calorific value of coconut biomass is 19.1 MJ / kg and that the lower calorific value is 15.5 MJ / kg. According with these results and the use that the model was done, the calculation methodology was applied, taking into account the working parameters of the boiler that are: producing saturated steam at 63 ° C with a pressure of 80 PSI, to obtain these levels of heat and pressure it was calculated that an amount of coconut biomass of 176,371kg is required.

**KEYWORDS:** Biomass, Prototype, Calorific value, Pellets, Temperature, Boiler.



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi

CENTRO DE IDIOMAS

## ***AVAL DE TRADUCCIÓN***

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del Resumen del Proyecto de Titulación al Idioma Inglés presentado por los señores **FLORES JIMÉNEZ BRYAN HÉCTOR Y GALARZA GALARZA LUIS FERNANDO**, egresados de la Carrera de **INGENIERÍA ELETROMECAÁNICA** de la **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS (CIYA)**, cuyo título versa **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA TÉRMICA MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA DE COCO COMO COMBUSTIBLE”**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimen conveniente.

Latacunga, Julio del 2019

Atentamente,

**Msc. Alison Mena Barthelotty**  
**DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS**  
**C.C. 0501801252**



**CENTRO  
DE IDIOMAS**

## **PROPUESTA TECNOLÓGICA**

### **1. INFORMACIÓN BÁSICA**

#### **PROPUESTO POR:**

Nombre: Flores Jiménez Bryan Héctor

Correo: bryan.flores9@utc.edu.ec

Nombre: Galarza Galarza Luis Fernando

Correo: luis.galarza8@utc.edu.ec

#### **TEMA APROBADO**

Diseño e implementación de un prototipo para generación de energía térmica mediante la utilización de materia orgánica de coco como combustible.

#### **CARRERA**

Ingeniería Electromecánica

#### **DIRECTOR DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA**

PhD. Enrique Torres

#### **EQUIPO DE TRABAJO**

PhD. Enrique Torres

Ing. Efrén Barboza

#### **LUGAR DE EJECUCIÓN**

Zona 3, Cotopaxi, Latacunga, Mulalo.

#### **TIEMPO DE DURACIÓN DE LA PROPUESTA**

10 meses

#### **FECHA DE ENTREGA**

Julio del 2019

## **LÍNEA(S) Y SUBLINEAS DE INVESTIGACIÓN A LAS QUE SE ASOCIA LA PROPUESTA TECNOLÓGICA**

Línea 5 de la Universidad: Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

Línea 3 de la carrera de electromecánica. Eficiencia energética en sistemas electromecánicos y uso de fuentes renovables de energía.

### **TIPO DE PROPUESTA TECNOLÓGICA**

Desarrollo tecnológico en el diseño e implementación de un prototipo para generación de energía térmica utilizando un sistema electromecánico que permita utilizar la materia orgánica de coco como combustible.

## **2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA**

### **2.1. Título de la propuesta tecnológica**

Diseño e implementación de un sistema de generación de energía térmica mediante la utilización de materia orgánica de coco como combustible.

### **2.2. Tipo de alcance**

Multipropósito: En el proyecto se utilizó la materia orgánica de coco como combustible para una caldera, ya que este tipo de biomasa es botada a la basura y para aprovecharla se realizó un prototipo para la generación de energía térmica que funcione con dicha biomasa.

Interdisciplinar: Se aplicó los diversos conocimientos adquiridos en clases que nos ayudaron a realizar el análisis correspondiente del sistema para la construcción y la implementación.

Emprendimiento: El proyecto está basado en la utilización de energías alternativas para reducir el consumo de combustibles fósiles, y de esta manera ahorrar dinero.

Desarrollo: El proyecto está enfocado principalmente en el desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías amigables con el medio ambiente.

### **2.3. Área del conocimiento**

**Área:**

Ingeniería, industria y construcción. (UNESCO-Manual-SNIESE-SENES, 2019)



**Subárea:**

52 Ingeniería y profesiones afines. (UNESCO-Manual-SNIESE-SENES)

**Subárea específica de conocimiento:**

Dibujo técnico, mecánica, metalistería, electricidad, electrónica, telecomunicaciones, Ingeniería energética y química. (UNESCO-Manual-SNIESE-SENES)

**2.4. Sinopsis de la propuesta tecnológica**

La contaminación hoy en día es un grave problema que ha llevado a muchos organismos ya sean estos públicos o privados a tomar medidas que aporten en el proceso del manejo de residuos sólidos, que en su mayoría son desaprovechados esparciéndolos ya sean en botaderos o al mar directamente, en nuestro caso se utilizó la materia orgánica del coco como una fuente de energía térmica.

Se diseñó y construyó un prototipo que genera energía térmica, a partir de la incineración de la materia orgánica de coco, que fue implementado en una caldera para producir vapor de agua saturado utilizado en el proceso de pasteurización de leche para la producción de quesos.

**2.5. Objeto de estudio y campo de acción****2.5.1. Objeto de estudio**

Diseñar e implementar un sistema de aprovechamientos de residuos mediante la incineración de materia orgánica de coco, la cual permita generar energía térmica que puede ser utilizada en calderas y diversos sistemas de calentamiento.

**2.5.2. Campo de acción**

Aprovechamiento de los residuos sólidos y materia orgánica para generación de energía térmica.

**2.6. Situación problémica y problema****2.6.1. Situación problémica:**

En el Ecuador existe una gran producción de palma de coco específicamente en la región costera, éste es un fruto que se ha industrializado en el ámbito de la medicina, alimenticio, y

cosmetología donde solamente son aprovechados dos partes del mismo como lo son el agua y la pulpa, el resto es desechado a la basura.

Los desechos del coco son acumulados en botaderos de basura, en las calles e incluso en el mar, provocando contaminación ya que principalmente para su degradación tarde muchos años, y en el proceso de su desintegración emite gases que producen el efecto invernadero como amoníaco, metano, dióxido de nitrógeno y óxido nítrico.

La gran mayoría de las personas desconocen de las propiedades térmicas que posee la materia orgánica de coco, lo cual se torna un problema ya que es desechado a la basura provocando acumulación de biomasa de coco.

### **2.6.2. Problema**

¿Cómo incide la falta de un sistema de aprovechamiento de residuos sólidos como combustible para la generación de energía térmica utilizando materia orgánica de coco?

### **2.7. Formulación de pregunta directriz**

¿El diseño e implementación de un sistema de generación de energía térmica mediante la utilización de materia orgánica de coco, permitirá la reducción del consumo de combustibles fósiles y por ende un ahorro económico?

### **2.8. Objetivo(s)**

#### **2.8.1. Objetivo general**

Diseñar e implementar un prototipo para generación de energía térmica mediante la utilización de materia orgánica de coco como combustible.

#### **2.8.2. Objetivos específicos**

- Identificar el funcionamiento de los diferentes componentes que comprenden el prototipo de generación de energía térmica mediante biomasa.
- Realizar el cálculo y elección del material de los diferentes componentes que comprenden el prototipo para su construcción.
- Evaluar los diferentes parámetros de funcionamiento del prototipo, con su respectivo análisis de acuerdo a los resultados obtenidos de los cálculos realizados.

## 2.9. Descripción de las actividades y tareas propuestas con los objetivos establecidos

Objetivos	Tareas
<ul style="list-style-type: none"> <li>Identificar el funcionamiento de los diferentes componentes que comprenden el prototipo de generación de energía térmica mediante biomasa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Comprensión del funcionamiento de los componentes que intervienen en el sistema, mediante recopilación de información bibliográfica.</li> <li>Descripción de las características técnicas de cada componente.</li> <li>Análisis de los componentes adecuados para el correcto funcionamiento del sistema.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar el cálculo y elección del material de los diferentes componentes que comprenden el prototipo para su construcción.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Comprensión sobre el funcionamiento del prototipo.</li> <li>Diseño del sistema que comprende el prototipo.</li> <li>Dimensionamiento de los tipos de materiales que se van a usar.</li> <li>Compra y adquisición de los materiales y equipos a utilizar.</li> <li>Armado del prototipo con de los materiales adquiridos.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Evaluar los diferentes parámetros de funcionamiento del prototipo, con su respectivo análisis de acuerdo a los resultados obtenidos de los cálculos realizados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Establecimiento de las características del funcionamiento del prototipo.</li> <li>Análisis del comportamiento térmico al momento de incinerar la fibra y aprovechar el calor generado.</li> </ul>

### **3. MARCO TEÓRICO**

#### **3.1. Análisis de trabajos precedentes**

Según estudio preliminar del potencial energético de cuesco de palma y cáscara de coco en Colombia de Forero Núñez, Cediell Ulloa, Rivera Gil, Suaza Moltalvo y Sierra Vargas en el año 2012, concluyen que: La cáscara de coco puede ser aprovechada como biomasa (fuente de energía), debido a que el valor calorífico de la capa fibrosa es de 14,70 MJ/kg, siendo el 33% del fruto, el cual frecuentemente es eliminado como residuo sólido; asimismo, la capa dura cuenta con un valor calorífico de 23,01 MJ/kg, constituyendo el 15 % del fruto, contando con mayor poder calorífico [1].

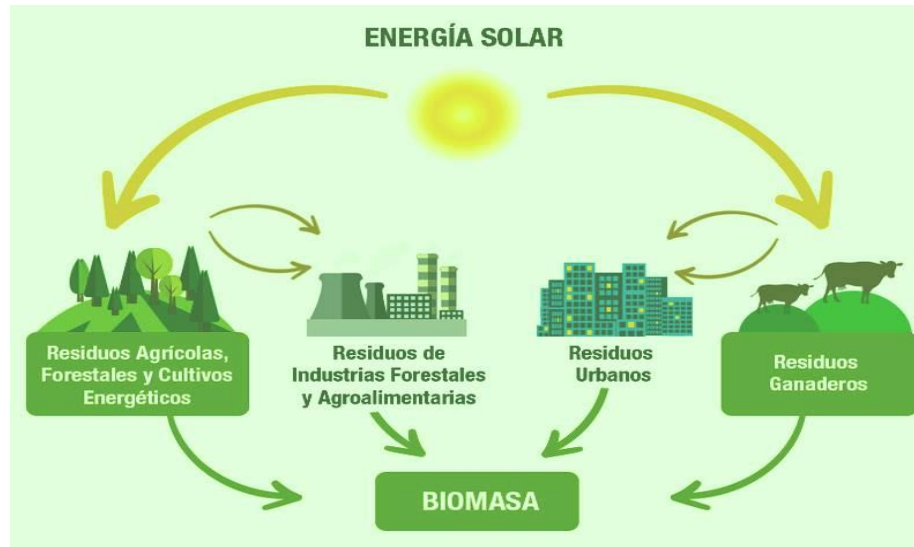
Según el artículo publicado en la Ciudad de México por Donaciano Luna Armando González, Manuel Gordon, y Nancy Martin denominado carbón activado a partir de la cáscara de coco concluyen que el endocarpo o la parte dura del coco más conocida como cascarilla o cuesco, es utilizada como combustible por el gran valor calorífico que posee (7500–7600 cal/g), asimismo sirve de materia prima en la fabricación de carbón activado [2].

#### **3.2. Materia prima: biomasa**

El término de biomasa en la actualidad es muy utilizada por muchas personas y más aún es utilizado por entidades que están dedicadas al cuidado del medio ambiente, definen de varias maneras pero que en esencia llegan a una misma idea principal.

Según el glosario de términos de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) define la biomasa como “la cantidad de materia viva de origen vegetal o animal presente en un momento dado en un área determinada”. Pero por otro lado definición de biomasa que se utiliza en las directivas de la Unión Europea (UE) es diferente ya que se define como “la fracción biodegradable de productos, desechos y residuos de la agricultura (incluyendo sustancias vegetales y animales), silvicultura e industrias relacionadas, así como la fracción biodegradable de los residuos municipales e industriales”. Y finalmente, otras definiciones inciden en su valor energético y consideran que la biomasa es “la materia orgánica que puede ser convertida en combustible y es por lo tanto considerada como una fuente potencial de energía” [3].

En la figura 3.1, se observa los diferentes tipos de biomasa que se pueden encontrar en el medio ambiente, que están divididos en residuos ganaderos, residuos urbanos, industriales forestales, industriales de agro alimentos y los residuos agrícolas forestales, cultivos energéticos.



**Figura 3.1.** Principales residuos de biomasa

**Fuente:** [4]

Como se puede apreciar en la Figura 3.1 los desechos orgánicos se descomponen por efectos del sol produciendo biogás que es emanado al medio ambiente y es una causa principal de la contaminación del aire.

El biogás es una mezcla gaseosa formada principalmente de metano y dióxido de carbono, pero también contiene diversas impurezas. La composición del biogás depende del material digerido y del funcionamiento del proceso. Cuando el biogás tiene un contenido de metano superior al 45% es inflamable [4].

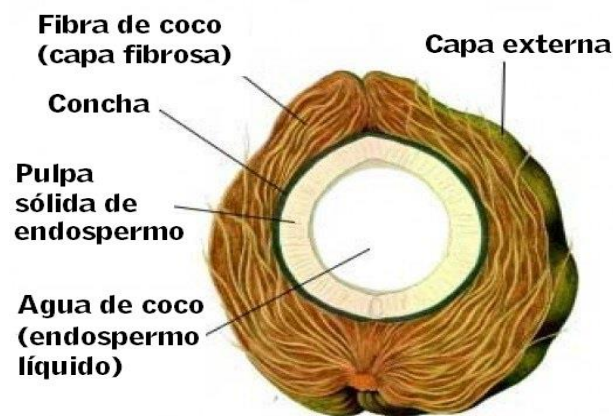
El biogás es una fuente renovable de energía, ya que está compuesto por una serie de gases, como el hidrógeno, monóxido de carbono y metano, siendo estos combustibles y con el buen aprovechamiento de los mismos se puede producir energía eléctrica o energía térmica reduciendo así la contaminación y explotación de los recursos no renovables del país.

### 3.3. El coco

El coco es un fruto tropical que proviene de la palmera cocotera que llegan a vivir entre 70 y 100 años. Una vez sembrada la palmera, puede tardar 5 años en dar frutos, pero en temporada una palmera adulta puede llegar a dar entre 50 y 100 cocos.

Un fruto imprescindible en el día a día para muchas poblaciones que residen en climas tropicales, el coco se ha utilizado tradicionalmente por sus completas propiedades nutricionales y por sus múltiples usos medicinales [5].

El coco es una fruta que crece en bajas alturas regularmente a nivel del mar, como podemos observar en la figura 2 el coco consta básicamente de una capa fina externa que naturalmente le da su color, de una capa fibrosa que protege a la concha y dentro de esta se encuentra alojada la pulpa y el agua.



**Figura 3.2.** Partes del coco

**Fuente:** [6]

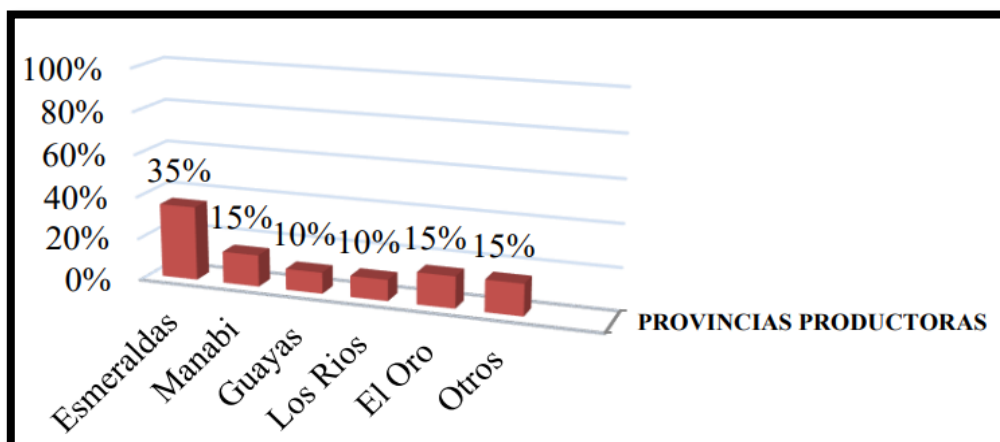
### **3.4. Producción de coco o palma de coco en el Ecuador**

El coco es un producto que proviene de la palmera, que es la más cultivada alrededor del mundo tropical. Brinda múltiples propiedades y usos que le permiten ser altamente industrializados. Su sabor es característico y dulce, de particular aroma, carnoso y jugoso [7].

En el Ecuador la mayor parte de territorio donde se cultiva la palma de coco está ubicada a lo largo de la superficie costera, siendo principalmente las provincias de Manabí, Guayas, Los Ríos y El Oro donde se encuentra el 85% del total cultivado. Sin embargo, puede encontrarse cultivado hasta los 400 metros sobre el nivel del mar [8]. Este es el caso de la provincia de Loja que se encuentra en una parte de la región sierra del país y donde se cultiva la palma de coco ya que posee un ambiente y clima perfecto para el desarrollo de este fruto.

La provincia que mayor producción tiene es Esmeraldas, con un número de hectáreas que alcanzan el 77,26% del total nacional, seguida de Manabí, con el 18,72% [9].

A continuación se muestra una figura donde se expresa la cantidad de producción de coco en porcentajes, de acuerdo a las principales provincias donde se cultiva dicho fruto.



**Figura 3.3.** Porcentaje de producción de coco en provincias de la región costa

**Fuente:** [8]

De acuerdo con la figura anterior se puede evidenciar que en la provincia de Esmeraldas se encuentra la mayor parte de la producción de palma de coco del país, que representa un 35% de la producción nacional.

Según Nadia Villegas y Roberth Vélez estudiantes de la universidad de Guayaquil, en el año 2008 desarrollaron una tesis llamada Elaboración de Módulos Estructurales a base de fibra de estopa de coco para viviendas de bajo costo en Ecuador, recopilaron información sobre la producción de coco en el Ecuador dando como resultado la siguiente tabla.

**Tabla 3.1.** Producción de coco en el Ecuador en toneladas por hectárea

Provincias del Ecuador	Producción de coco (t/ha)	Porcentaje
Manabí	11 001	0.90
Esmeraldas	66 000	5.45
Guayas	1 565	0.13
Sucumbíos	770 000	63.65
Napo	260 000	21.50
Orellana	95 000	7.85
Galápagos	6 000	0.50

**Fuente:** [10]

Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos del Ecuador **INEC**, la producción total del coco en la provincia de Esmeraldas en el año 2015 fue de 66 mil hectáreas, las cuales están comprendidas en 20 mil en el cantón Muisne, 30 mil en el cantón Eloy Alfaro y 16 mil en el

cantón San Lorenzo, esto hace que la provincia de esmeraldas se convierta en la zona netamente cacaotera del país [11].

En el Ecuador se producen 1 209 566 toneladas por hectárea anuales de coco, fruto del cual solo se utiliza el agua y la pulpa (endospermo), el resto se desecha a la basura para que se desintegre al ambiente, provocando aglomeración de basura orgánica de coco que a su vez produce contaminación ya que en el proceso de desintegración desprende compuestos químicos como azufre,  $CO_2$ ,  $NO_x$  (óxidos de nitrógeno), entre otros que dañan el medio ambiente.

Un análisis teórico realizado por la empresa G2E Green to Energy empresa Mexicana estima que 4.5 kilogramos de bagazo de agave o de fibra de coco podrían generar energía suficiente para reemplazar 1.3 litros de diésel o 1.8 litros de gas GLP [12].

De acuerdo con estas cifras y con las cifras expresadas anteriormente en la tabla 3.1 el Ecuador puede llegar a producir 485 millones de litros de gas o 350 millones de litros de diésel con la biomasa de coco que se produce en un año, una cifra bastante considerable además que contribuye con la preservación del medio ambiente.

### **3.5. Propiedades de la cáscara de coco**

La cáscara de coco consta de dos capas, la fibra y el endocarpo (parte dura del coco), las cuales recubren el endoesperma. La fibra se aprovecha para fabricar aislantes térmicos y fibras textiles, el endocarpo se puede utilizar como recipiente, combustible o en artesanías. La cáscara de coco tiene propiedades que la convierten en materia prima apta para ser aprovechada como fuente de energía. La capa fibrosa tiene un poder calorífico de  $14,70 MJ/kg$  y constituye el 33 % del fruto; regularmente es desechada como residuo sólido, por lo que podría usarse como biomasa. La capa dura posee un poder calorífico de  $23,01 MJ/kg$  y constituye el 15 % del fruto, presentando poder calorífico más alto que la capa fibrosa. Tomando en cuenta que la cáscara es desechada completamente como residuo sólido, podría hacerse uso de ella como biomasa sin afectar la seguridad alimentaria. Asimismo, este recurso se considera renovable; por lo que es un excelente candidato para utilizarse en la generación de energía [13].

### **3.6. Caracterización de la materia orgánica de coco como combustible**

Existen diferentes maneras de transformar la materia orgánica de coco en combustible, basándose en el análisis de poder calorífico que se puede obtener de cada una, según



investigaciones que se han realizado en diferentes países como México, Colombia, El Salvador, entre otros, han concluido que el coco tiene mayor poder calorífico que la madera de dos formas.

- Mediante pulverización o coco granulado
- Briquetas
- Pellets

### **3.6.1. Pulverización**

El polvo de coco se considera un material alternativo a la turba, tanto por razones ambientales como por presentar buenas características físicas (elevada capacidad de aireación a costa de una menor retención de agua de los tipos fácilmente y total disponible) y químicas (elevada capacidad de intercambio catiónico) relacionadas directamente con la granulometría del material. Su principal problema es la salinidad y heterogeneidad atribuidas al proceso de molienda o desfibrado de la cáscara y al origen de ésta. [14].

Es decir someter al coco ya sea verde o seco a un molino que se encargue de moler para transformar al coco en polvo de coco, de esta manera el poder calorífico aumenta y se convierte en combustible para la generación de energía térmica, en la figura 3.4 se puede observar el polvo de coco debidamente procesado.



**Figura 3.4.** Materia orgánica de coco pulverizada

**Fuente:** [15]

### 3.6.2. Briquetas



**Figura 3.5.** Briquetas de materia orgánica de coco

**Fuente:** [16], [17]

En la figura 3.5 se puede observar como es la estructura de las briquetas o bloque sólido son bio-combustibles, ecológicos y renovables, y se catalogan como biomasa sólida, sirven para generar calor y son utilizados en estufas, hornos, chimeneas, salamandras y calderas. Es un producto fabricado en forma cilíndrica o de ladrillo, sustituye a la leña y cuenta con muchas ventajas. Briqueta es un término confuso, ya que éstas pueden estar fabricadas con varios materiales compactados. La materia prima a utilizar en la fabricación de briquetas puede ser biomasa forestal, la cual se puede obtener en fábricas de puertas, muebles, tableros de partículas, aserraderos, etc. Así como, biomasa residual industrial, urbana y carbón vegetal o una combinación de todas. Generalmente están fabricadas con residuos, como cascarilla de arroz, madera, bagazo de caña de azúcar, residuos de pulpa de papel, papel, cáscara de coco, residuos de algodón, cartón, carbón, etc., los cuales se unen con agua y en algunos casos con otros residuos orgánicos.

#### 3.6.2.1. Composición

La briqueta que más ha sido utilizada es la fabricada con leña de aserrín, conocida como leñetas, éstas no utilizan aglomerante porque la humedad y la propia lignina de la madera sirven como pegamento natural. Son totalmente naturales y ecológicas, debido a que están hechas de residuos forestales como el serrín, ramas, viruta, restos de poda, raleo fino, chips, etc. Estos residuos son molidos, secados a un 10 % de humedad y por último, son compactados para formar las briquetas, que regularmente son cilíndricas o cuadradas. El poder calorífico de la

leña de aserrín compactado es mayor que el de la leña tradicional, prenden más rápido, no desprenden humos ni olores y su uso disminuye la tala indiscriminada de árboles.

### **3.6.2.2. Ventajas**

- Poder calorífico mayor que el de la leña
- Enciende más fácil y rápido
- Baja humedad
- Alta densidad
- Ocupa menor espacio
- Limpias
- Homogéneas
- Fácil manipulación
- No despide olores, humos ni chispas
- No se necesitan aglutinantes ni aditivos
- El porcentaje de cenizas es mínimo
- Totalmente ecológicas y naturales

### **3.6.2.3. Ventajas ambientales**

- Energía limpia no contaminante
- Fuente renovable
- Producidas con residuos forestales
- Favorece la limpieza del medio ambiente
- 100% reciclado
- Natural, no tóxico
- No necesita de conservantes, químicos ni aditivos
- Ocasionan muy poco humo
- No despide malos olores
- Menos ceniza
- $CO_2$  neutro, evitando el efecto invernadero, cambio climático y calentamiento global
- Sin impactos ambientales
- Ayuda a preservar el ambiente

#### **3.6.2.4. Formas de briquetas**

La forma de las briquetas varía según la maquinaria utilizada en su consecución. Las variaciones de la forma que pueden adoptar las briquetas son secundarias y dependerán del uso para el cual estén diseñadas. Actualmente, la mayoría de las briquetas son de forma cilíndrica, pero también se pueden encontrar briquetas de sección octogonal con un hueco redondo en el centro. Con este tipo de briquetas se consigue una ignición más rápida; esto puede resultar ventajoso o perjudicial dependiendo del objetivo buscado. Otro tipo de forma es la sección rectangular, ligeramente redondeada en las cuatro esquinas para impedir la desintegración con los golpes. Esta sección permite un mejor almacenamiento al ocupar menos volumen a igualdad de peso que las briquetas cilíndricas o de sección octogonal, pero arde más despacio. El tamaño de las briquetas dependerá del uso que se les dará y de la maquinaria utilizada para su obtención. La máquina define el grosor (ancho de la briqueta) mientras que el productor define el largo de la misma. Para la industria el largo estará entre 30 y 100 cm, para productores de uso menor entre 10 y 50 cm mientras que para el sector familias el largo varía entre 2 y 6 cm. Se busca que las briquetas tengan un aspecto lo más parecido a la madera, por ello se prefieren las briquetas cilíndricas.

#### **3.6.2.5. Densidad de las briquetas**

Los factores que influyen en la densidad de las briquetas son:

1. La materia prima empleada. A mayor densidad de la materia prima, mayor densidad del producto final.
2. La presión ejercida por la prensa en el proceso de fabricación. A mayor presión ejercida por la prensa, mayor densidad del producto final.

Las briquetas presentan una densidad mayor que otros combustibles fabricados con residuos maderables. Esto resulta ventajoso ya que facilita su transporte, manipulación y almacenamiento. El proceso de briquetado busca obtener un producto final de mayor densidad que los productos iniciales (de  $150-200 \text{ kg/m}^3$  a  $900-1300 \text{ kg/m}^3$ ).

#### **3.6.2.6. Humedad en briquetas**

La materia prima que se suele utilizar para la fabricación de las briquetas son partículas secas con una humedad menor del 12% base húmeda. Además, en el proceso de briquetado se quema

un mínimo de humedad de las partículas, quedando un producto final a la salida de la prensa cuya humedad varía entre el 8 y el 10%. Posteriormente puede ocurrir que:

1. Las briquetas son almacenadas en bolsas de plástico. En este caso ya no absorben humedad del ambiente y la humedad sólo aumenta levemente debido al aire encontrado en la bolsa.
2. Las briquetas son almacenadas al aire libre. En este caso pueden absorber humedad del ambiente. Sin embargo, durante el proceso de briquetado se crea una fina película plástica en el exterior de la briqueta que no permite la entrada de agua en el interior del producto, impidiendo que aumente fácilmente la humedad.
3. La humedad de las briquetas es muy interesante ya que el poder calorífico de cualquier biocombustible disminuye al aumentar la humedad del mismo.

### **3.6.2.7. Poder calorífico en briquetas**

El poder calorífico de las briquetas depende de la composición química del material que las compone. Sería ideal conocer los porcentajes en peso de madera, corteza y aditivos, así como la humedad a la que se manipulan estos productos para poder evaluarse, de forma aproximada, la composición química de las briquetas. El poder calorífico de un combustible es la característica fundamental del mismo ya que lo define como tal. Altos poderes caloríficos indican buenos combustibles. El poder calorífico de las briquetas es mayor a  $4300 \text{ kcal/kg}$  ( $4700 \text{ kcal/kg}$  briquetas de unos 35- 40 cm de forma cilíndrica).

### **3.6.2.8. Definiciones y términos relacionados de briqueta**

Briqueta: es un proceso de compactación o densificación para incrementar la baja consistencia aparente de la biomasa a una densidad mayor (de  $150\text{-}200 \text{ kg/m}^3$  a  $900 - 1300 \text{ kg/m}^3$ ).

Tecnología Manual de Briquetas: se utiliza cuando se trabaja a capacidades de producción a pequeña escala. La tecnología consiste en diseños simples de fácil construcción como el extrusor de tornillo accionado a mano, prensa briqueteadora de palanca, prensa briqueteadora car Jack, etc. [18]. [19].

Pretratamiento de la Biomasa: generalmente, el tamaño de la biomasa debe estar entre los 6-8 mm de tamaño con 10-20 % de contenido de polvo (< maya 4) y con un contenido de humedad que no exceda el 10 % [20]. Sin embargo, debido al diverso rango de biomásas disponibles para

la fabricación de briquetas, y las propiedades particulares asociadas a cada tipo (por ejemplo, valor de calentamiento, tamaño, contenido de humedad y composición química), normalmente es necesario un pretratamiento para asegurar las condiciones apropiadas de la biomasa para la producción de briquetas. En este contexto, el proceso de pretratamiento puede involucrar secado para remover el exceso de humedad, reducción de tamaño (cortado, molienda) y precalentamiento de la biomasa (no mayor a  $300^{\circ}\text{C}$ ) para ayudar en la pérdida de fibras de la biomasa y ablandar su estructura para reducir el desgaste de la prensa de tornillo [20]. El precalentamiento también puede ahorrar la energía eléctrica necesaria en la fabricación de briquetas. Por ejemplo, para la cascarilla de arroz, por lo menos el 10 % de la energía es ahorrada en máquinas eléctricas convencionales accionadas a motor para la fabricación de briquetas [21]. Dependiendo del tipo de biomasa, generalmente se requieren tres tipos de procesos, los cuales involucran los siguientes pasos:

Tamizado – Secado – Precalentamiento – Densificación – Enfriamiento – Empaque.

Tamizado – Molienda – Precalentamiento – Densificación – Enfriamiento – Empaque.

Secado – Molienda – Precalentamiento – Densificación – Enfriamiento – Empaque.

Enfriamiento de la briqueta: la temperatura superficial del procesamiento de las briquetas en la prensa de tornillo caliente puede exceder los  $200^{\circ}\text{C}$ . El enfriamiento de las briquetas, se realiza en la banda transportadora, la cual mueve las briquetas desde la producción hasta el almacenamiento. El sistema de enfriamiento se basa, en una banda transportadora de acero perforada, para la cual se requiere una longitud apropiada. El ancho de esta banda transportadora debe ser por lo menos 30% mayor que la longitud máxima de las briquetas. La banda transportadora debe ser de por lo menos 5 metros. Se requiere una cubierta cerca a la salida de la máquina y en parte de la banda transportadora para ventilar humos tóxicos y mantener el área segura [20].

Empaque y almacenamiento de las briquetas: las briquetas son apiladas en sentido longitudinal y protegidas del agua, idealmente en un cobertizo [20]. El empaque se requiere para el transporte y la venta de las briquetas en el mercado.

Eficiencia de transformación del sistema de briquetas: con relación a la conversión del proceso de densificación donde la biomasa es convertida de una densidad aparente baja  $80\text{--}100\text{ kg/m}^3$  a una densidad aparente alta ( $900\text{ a }1300\text{ kg/m}^3$ ). En general, se ha reportado que cuando la

biomasa tiene un contenido de biomasa de 8-10%, las briquetas tendrán una humedad de 6-8% [20]. Por lo tanto, la masa no cambia mucho comparada con el volumen.

### 3.6.3. Pellets



**Figura 3.6.** Pellets de materia orgánica de coco

**Fuente:** [22]

Los pellets de biomasa son un biocombustible estandarizado a nivel internacional. Como se observa en la figura 3.6 los pellets se conforman como pequeños cilindros procedentes del compactación de serrines y virutas molturadas y secas, provenientes de serrerías, de otras industrias, o se producen a partir de astillas y otras biomásas de diversos orígenes, como los agropelets. Se recomienda el uso de pellets de madera natural, por ser los más adecuados para la climatización de viviendas y grandes edificios.

En general, un buen pellet de madera presenta menos de un 10% de humedad y una durabilidad mecánica mayor del 97,5%. Considerando un poder calorífico cercano a  $4.300 \text{ kcal/kg}$ , puede establecerse que de 2 a 2,2 kg de pellets equivalen energéticamente a un litro de gasóleo. Una de las características a considerar de los pellets es su posible degradación para ciertos porcentajes de humedad, por lo que siempre deben estar almacenados en recintos impermeabilizados y donde no se generen condensaciones, tanto en los puntos de suministro como en el almacenamiento en los puntos de consumo, tales como edificios y viviendas.

#### 3.6.3.1. Ventajas

- Elevado poder calorífico constante

- Muy bajo contenido en cenizas, reduciendo las necesidades de operación y mantenimiento.
- Las calderas de pellets son de muy alta eficiencia, incluso existen calderas de condensación de pellets.
- Se comercian a nivel internacional, con una composición constante.
- Son fáciles de almacenar y transportar:
- Tienen una baja emisión de  $CO_2$ , ayudan a reducir la emisión de gases invernadero y la lluvia ácida.
- Los puedes encontrar con certificado ecológico que te aseguran que son totalmente renovables y fabricados a partir de residuos vegetales.
- Son más baratos que los combustibles fósiles.
- No producen olores y son inocuos para tu salud.
- No hay riesgo de explosión, son muy seguros.
- Fomenta la limpieza de los bosques, reduciendo el riesgo de incendios.

#### **3.6.3.2. Desventajas**

- Necesitan mucha ventilación ya que su combustión requiere de mucha cantidad de aire.
- El combustible de pellets es más voluminoso que el petróleo.
- Un poco menos práctico que el petróleo y el gas. Los pellets en sacos deben ser cargados una vez a la semana
- La mayoría de las calderas de pellets necesitan tener el intercambiador de calor cepillado limpio, cada 1-2 semanas durante la temporada de calefacción para mantener la mejor eficiencia.

#### **3.6.3.3. Consideraciones**

- Precisa de almacenamiento en lugar aislado y seco.
- No necesita ningún tipo de secado o tratamiento una vez producido.
- Puede optarse por pellets estandarizados, que presentan alta fiabilidad de operación y menor esfuerzo para la operación y mantenimiento de la caldera.

#### **3.6.3.4. Poder calorífico**

Analizando el poder calorífico superior (HHV) se puede ver cómo la biomasa a pesar de que posee valores levemente inferiores a los del carbón, genera grandes cantidades de energía por



kilogramo de sustancia durante el proceso de combustión. Sin embargo, para poder realizar un uso adecuado de los distintos tipos de biomasa y para poder aprovechar este potencial energético es necesario tener en cuenta la densidad. A mayor densidad y mayor poder calorífico la sustancia representa mucha más energía por volumen ocupado, lo cual se vuelve una de las principales características a la hora de diseñar equipos para el aprovechamiento energético de biomasa. En la tabla 3.2 se observa la relación de tipos de biomasa y su poder calorífico.

**Tabla 3.2.** Poder calorífico superior de distintos tipos de biomasa

<b>Biomasa</b>	<b>HHV (MJ/kg)</b>
Carbón coquizado	25 a 22
Madera	10 a 20
Cascara de coco	18 a 19
Paja	14 a 16
Cascara de café	16
Tallos de algodón	16
Cascara de cacao	13 a 16
Cuesco de palma de aceite	15
Cascara de arroz	13 a 14
Tallos de maíz	13 a 15
Aserrín	11
Pellet aserrín	20,5
Pellet madera	20,3

**Fuente:** [23]

Es posible observar como muchos de los distintos residuos agrícolas presentan valores en el poder calorífico cercanos, entre 13 y 19  $MJ/kg$ , los pellets ofrecen valores un poco más elevados (20  $MJ/kg$ ); por lo cual son todas estas sustancias fuentes potenciales para la producción de energía, al compararlas con la Madera o el Carbón.

Analizados los valores para la densidad de algunos compuestos es posible ver que existe un amplio rango, desde los más densos como el carbón ( $220\text{ kg/m}^3$ ) y la cáscara de coco ( $330\text{ kg/m}^3$ ); hasta los menos densos como la cáscara de cacao ( $112\text{ kg/m}^3$ ), cáscara de arroz ( $100\text{ kg/m}^3$ ) y el aserrín ( $100\text{ kg/m}^3$ ) [24]. Es por esto que se ha generado la necesidad de densificar la biomasa de tal forma que pueda ser utilizada de mejor manera, creando dos tipos de productos principalmente, las briquetas y los pellets; los cuales poseen densidades que varían entre  $590$  y  $1000\text{ kg/m}^3$  [25].

### **3.6.3.5. Manufactura de pellets**

El proceso de producción de pellets se basa en una serie de etapas en las cuales es tratada la biomasa de tal forma que se compacta y se obtiene el material densificado. La primera etapa es la molienda con la cual se obtiene material de igual tamaño de partícula; posteriormente se seca el material y se procede a retirar los elementos metálicos presentes en la mezcla mediante el uso de imanes. Una vez el material cumple estas etapas se humedece y se prensa en una máquina pelletizadora, para posteriormente disminuir la temperatura y aumentar la dureza del sólido [26] [27]. Respecto a las distintas etapas de procesamiento han sido varios los estudios realizados; la etapa de secado es una de las más críticas debido a la gran cantidad de energía que consume y a los cambios en la composición que llega a producir. Procesos de secado con altos tiempos de residencia afectan la cantidad de material presente en el pellet final, al igual que promueven la evaporación de terpenos, se disminuye así el poder calorífico final del producto [28], así mismo, el uso de sistemas de recirculación de gases en la etapa del secado mejora la eficiencia del proceso haciéndolo más rentable puesto que disminuye la cantidad total de energía requerida [29].

## **3.7. Análisis de la biomasa**

El presente análisis está basado según la norma DIN (Instituto Alemán de Normalización), donde se especifican, el contenido de cenizas, humedad y materia volátil, a continuación se describe cada uno de los aspectos que conforman este tipo de análisis, sus características e incidencia en el proceso de aprovechamiento energético de determinado tipo de biomasa.

### **3.7.1. Contenido de cenizas**

Según la norma **DIN 51719**, que se emplea para combustibles sólidos como carbón mineral, coque, lignitos y carbón vegetal. Se puede determinar que las cenizas son compuestos inorgánicos que pueden actuar como catalizadores propiciando las reacciones químicas en procesos termoquímicos [30]. Sin embargo, estas pueden ocasionar problemas de operación, relacionados con la posibilidad de fundición de este residuo, lo cual ocasiona obstrucción de los equipos.

### **3.7.2. Contenido de humedad**

Se puede determinar mediante la norma DIN 51718, usando un horno de secado a  $106 \pm 2^\circ\text{C}$ . La humedad en la biomasa es un compuesto que no es aprovechable energéticamente, por lo tanto es importante mantener los niveles de humedad al mínimo. Toda el agua contenida en la biomasa requiere energía para ser vaporizada, lo cual implica que a mayor contenido de humedad, mayor es la cantidad de energía que debe ser destinada para este propósito, lo cual implica grandes riesgos en la posibilidad de mantener el proceso. En general, el contenido de humedad en la biomasa afecta la calidad del gas y además reduce la energía obtenible, debido a que se requiere energía para vaporizarla [31] [32].

### **3.7.3. Proporción de materia volátil y carbón fijo**

El contenido de materia volátil se puede determinar usando la norma DIN 51720, la cual fue establecida en un principio para carbón mineral, lignito y coque. En la biomasa la energía química se encuentra guardada en dos formas, carbón fijo y materia volátil; el contenido de materia volátil de un combustible sólido, es la porción liberada como gas (incluyendo la humedad) por calentamiento. El contenido de carbón fijo, es la masa remanente después de liberar los volátiles, excluyendo el contenido de cenizas y humedad. El contenido de materia volátil y carbón fijo sirve para medir con qué facilidad la biomasa puede ser empleada en los procesos de conversión termoquímica [33].

## **3.8. Análisis de biogás**

Consiste básicamente en el análisis del contenido de C, N, H y O, a continuación se describe cada uno de los aspectos que conforman este tipo de análisis, sus características e incidencia en el proceso de aprovechamiento energético de determinado tipo de biomasa.

### **3.8.1. Poder Calorífico**

El poder calorífico de un material se puede determinar mediante una boba calorimétrica de acuerdo a la norma DIN 51900. Es el contenido de energía liberada, cuando es quemado en el aire; este puede ser expresado de dos formas, poder calorífico superior (Ho) y poder calorífico inferior (Hs). El poder calorífico superior es la energía total liberada cuando el combustible es quemado en presencia de aire, incluyendo el calor latente contenido en el vapor de agua y por lo tanto representa la máxima cantidad de energía potencialmente obtenible de un combustible. El poder calorífico inferior es la energía total liberada cuando el combustible es quemado en presencia de aire, excluyendo el calor latente contenido en el vapor de agua. En términos prácticos, el calor latente contenido en el vapor de agua no puede ser usado efectivamente y por lo tanto, el poder calorífico inferior es el valor apropiado para usar. Adicionalmente el tamaño de partícula y el contenido de metales alcalinos en la biomasa son aspectos a tener en cuenta por la incidencia que pueden tener en los productos obtenidos del proceso [30].

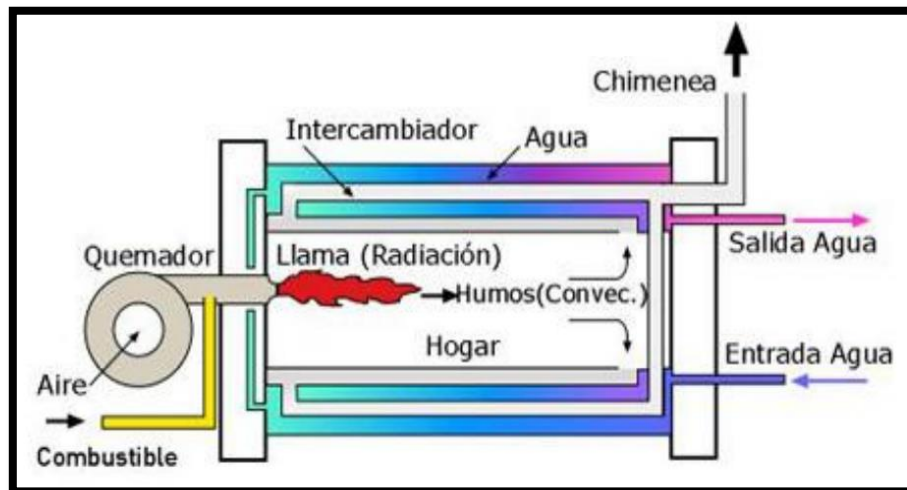
### **3.9. Máquinas generadoras de vapor (Calderas)**

Es el aparato en el que se transfiere la energía térmica, procedente de cualquier fuente energética, a un fluido, generalmente en estado líquido, denominado fluido caloportador, que será posteriormente utilizado con diferentes fines, dependiendo del tipo de industria [34].

El término caldera es muy conocido a nivel mundial, pero es el más utilizado especialmente en procesos industriales que utilizan el calor como fuente principal de energía para llevar a cabo una operación en el desarrollo de un producto.

Al hablar de caldera hace mención a una máquina que es capaz de transferir calor a los distintos tipos de fluidos según sea el caso, para calentarlos o producir vapor que puede ser utilizado para generar fuerza, procesos industriales o con el fin de calefacción. Los diseños que existen en el mercado a cerca de las calderas están planteados para transferir el calor obtenido a través del proceso de la combustión al que son sometidos los combustibles derivados del petróleo.

El tipo de combustible que se utilice debe considerarse a ciertas condiciones o normas de seguridad, así también el vapor generado o el agua caliente deben ser distribuidos bajo las condiciones necesarias de presión, temperatura y calidad, así lo expresa Shield Carl [35].



**Figura 3.7.** Esquema básico de una caldera y sus partes principales

**Fuente:** [36]

### 3.8.1. Tipos de calderas

Existen diversos tipos de calderas que actualmente existen, pero para este caso se va a estudiar la clasificación de las calderas a nivel industrial según: En función a la posición relativa entre el fluido a calentar y los gases de combustión y según el tipo de combustible.

Según la posición relativa entre el fluido a calentar y los gases de combustión se clasifican en dos grupos:

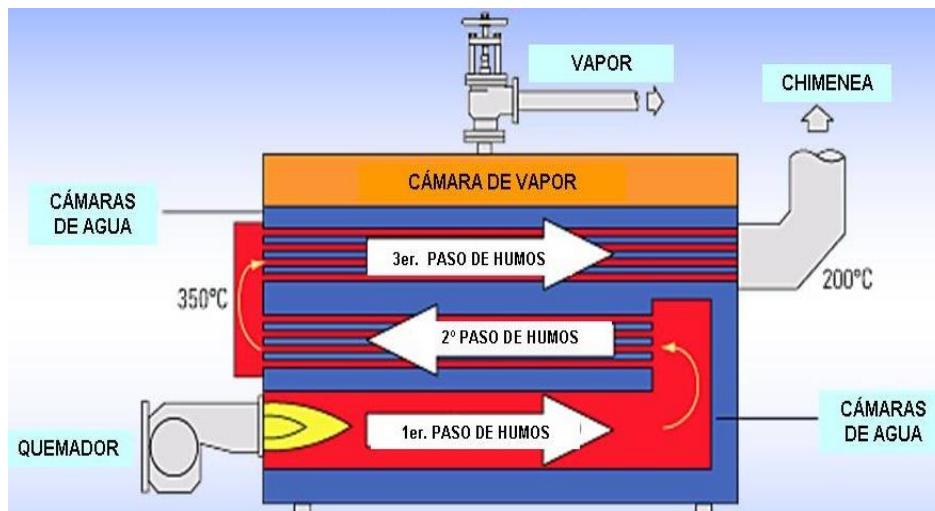
- Calderas Piro tubulares
- Calderas Acu tubulares

Y según el tipo de combustible que utilizan se clasifican en:

- Calderas a gas
- Calderas a gasoil o diésel
- Calderas de biomasa

A continuación se describen cada una de ellas.

### 3.8.1.1. Calderas piro tubulares



**Figura 3.8.** Esquema de una caldera piro tubular

**Fuente:** [37]

Las calderas piro tubulares se caracterizan principalmente por estar compuestas por diferentes tubos, también conocidas como calderas de tubos de fuego. En estas calderas los gases resultantes de la combustión circulan por dentro de estos tubos y el agua circula por fuera de ellos, este tipo de calderas son utilizadas para producir vapor saturado [38].

El contacto de los gases de combustión por dentro de los tubos genera calor en los mismos, que al estar en contacto con el agua producen que se caliente a cierta temperatura produciendo vapor de agua saturado que es el fluido que se utiliza en las industrias para realizar diferentes tipos de trabajo.

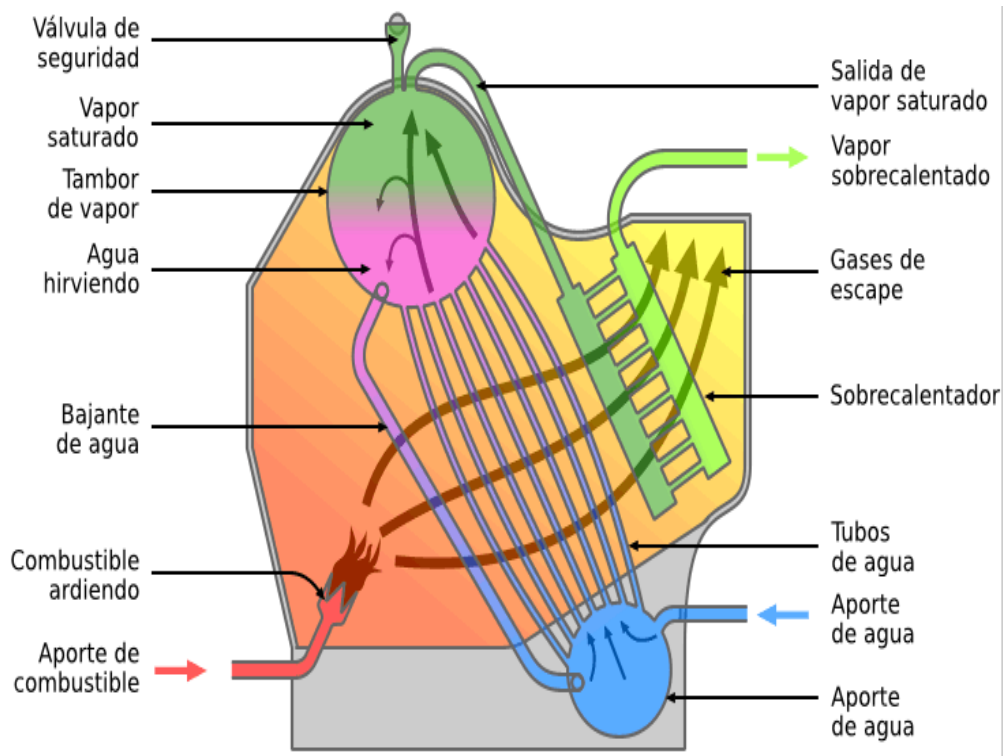
### 3.8.1.2. Calderas acu tubulares

Las calderas de tipo acu tubulares, son aquellas calderas en las que el agua circula por dentro de los tubos, mientras que los gases de combustión circulan por fuera de los mismos, es decir que trabajan de forma contraria a las calderas piro tubulares.

La forma de trabajo es diferente a la de las calderas piro tubulares, ya que el fluido que circula por los tubos es agua mientras que los gases de combustión circulan por fuera de estos, produciendo calor en los mismos que al estar en contacto con agua generan vapor de agua saturado a cierta temperatura.

Estas calderas son utilizadas en su gran mayoría cuando se quiere obtener elevadas presiones de vapor saturado y elevar el índice de rendimiento o eficiencia. Para ciertos procesos industriales.

En la figura 3.9 se puede observar un esquema de una caldera acuotubular.



**Figura 3.9.** Esquema de una caldera acuotubular

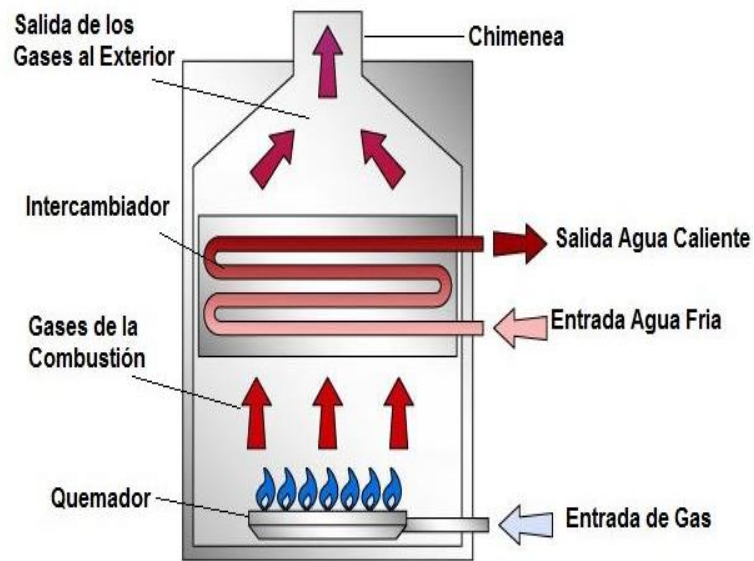
**Fuente:** [39]

### 3.8.1.3. Calderas a gas

Las calderas a gas como su nombre lo indica, son aquellas calderas que utilizan gas como combustible para su funcionamiento, es decir que poseen un sistema propio en el quemador que es capaz de combustionar gas para producir energía térmica, la cual que se desprende o es producto de la reacción química que ocurre en el momento de la combustión.

Estas calderas son las más utilizadas para calentamiento de agua y para el acondicionamiento de ambientes.

En la figura 3.10 se puede evidenciar un esquema de una caldera a gas con sus principales partes que la conforman.



**Figura 3.10.** Esquema de una caldera de gas

**Fuente:** [40]

#### 3.8.1.4. Calderas de gasoil o diésel

Son las más comunes y utilizadas a nivel industrial, ya que en su gran mayoría son usadas para producir vapor saturado o sobrecalentado para luego utilizarlo en un trabajo específico según sea la necesidad.



**Figura 3.11.** Caldera de gasoil o diésel

**Fuente:** [41]

El gasoil almacenado en un tanque de almacenamiento empieza a circular por un conducto desde el tanque de almacenamiento hasta llegar a la cámara de combustión de la caldera.



Cuando está dentro de la cámara de combustión, el gasoil es dividido en decenas de gotas pequeñas. En ese instante unos electrodos que se encuentran ubicados en la cámara de combustión y alineados con la boquilla de alimentación de gasoil, produce una descarga eléctrica la cual enciende el gasoil y produce fuego con unas llamas correctamente controladas.

Esta llama llega al intercambiador de calor calentando cierta zona. En esta área, el humo generado por la combustión del gasoil se dirige a otra cámara la cual expulsa el humo hacia el exterior. La salida del humo debe ser debidamente adecuada con medidas lo cual debe hacerse por técnicos capacitados. Este calor que produce en la cámara de combustión conjuntamente con el agua que circula por una serie de tubos puede utilizarse para calentar agua o generar vapor el cual se utiliza para diversos usos industriales [42].

#### **3.8.1.5. Calderas de biomasa**

Estas calderas de biomasa se utilizan actualmente por ser enormemente ecológicos, ya que emplean carburantes fósiles biodegradables que producen menos contaminación. Estos combustibles empleados en una caldera de biomasa son: pellets, astillas, leña, material triturado entre otros y a partir de eso se diseña la caldera. El desempeño de este tipo de calderas en general es superior a un 90% y su combustible es el más económico del mercado (a comparación del gasoil y el gas). Merced al empleo de la biomasa podemos estar seguros de que esta caldera favorecerá a nuestro confort al unísono que cuidamos de nuestro medioambiente. Son muchos los clientes del servicio que están optando por adquirir un quemador de biomasa para transformar sus calderas de diésel tradicionales en calderas de biomasa por el importante beneficio de estas [43].



**Figura 3.12.** Calderas de biomasa

**Fuente:** [43]

## **Ventajas de instalar una caldera de biomasa**

El precio de la biomasa, más estable:

El precio de la biomasa no depende de mercados internacionales como los combustibles fósiles, por lo que es más estable en el tiempo además de ser más bajo comprando a granel. Es una energía más barata ya que se genera a partir de recursos locales. La biomasa es el combustible con el precio más competitivo para el usuario, y, por consiguiente, una caldera de biomasa aporta rentabilidad y confort económico.

Es una tecnología segura y avanzada:

Las calderas de biomasa utilizan una tecnología segura y que requiere de un mantenimiento más sencillo.

El alto poder calorífico de los pellets por unidad de peso, (alcanza las  $4.100 \text{ kcal / kg}$ ) hace de este combustible natural una forma de energía rentable y renovable y aporta a la caldera de biomasa unos rendimientos caloríficos que alcanzan el 90%.

Utilizan una energía limpia e inagotable:

Emiten  $CO_2$  neutro, ya que proviene de combustible natural que se regenera. La extracción de biomasa forestal ayuda a la limpieza de los montes (previniendo incendios) y al uso de los residuos de las industrias, ya que utiliza residuos forestales o restos de industrias madereras.

## **Inconvenientes de las calderas de biomasa**

Menor poder calorífico

Comparado con combustibles fósiles, un kilogramo de pellet tiene la mitad de poder calorífico que un litro de gasoil. En una caldera de pellets, necesitaremos dos kilos de pellet o hueso de aceituna para producir la misma energía que un litro de gasoil.

Necesita un gran espacio para almacenaje

Un  $m^3$  de pellet pesa aproximadamente unos  $650 \text{ kg}$ . Así pues, si en un año consume 2.000 litros de gasoil necesitará unos  $4.000 \text{ kg}$  de pellet o hueso de aceituna, lo que ocupará aproximadamente unos  $6 m^3$ . Las calderas de biomasa necesitan de un silo para el almacenaje del combustible situado próximo a la caldera. Este silo es recargado de forma periódica por el propio usuario o bien por la empresa dispensadora de biomasa contratada para ello [44].

### 3.9. Quemadores de biomasa

Los quemadores de biomasa son muy interesantes en aquellas instalaciones o equipos en donde la máquina es independiente del quemador que incorpora. Esto permite en muchos casos la sustitución del quemador de gasoil o de gas por uno de biomasa, con poca o nula necesidad de modificación de la máquina o equipo.

Al sustituir quemadores de combustibles fósiles por quemadores de biomasa, se reducen considerablemente las emisiones de contaminantes que generan el efecto invernadero. Cualquiera que sea el motivo para cambiar el quemador de su equipo, el resultado inmediato será un considerable ahorro en sus facturas energéticas, evitando también las fluctuaciones al alza de cualquier derivado del petróleo.

Esto abre muchas posibilidades para el uso de los quemadores de biomasa: adaptación a calderas, hornos de panadería o de cualquier tipo, y en general cualquier máquina de generación de calor susceptible de poderse cambiar el quemador. Fácil de adaptar a calderas u hornos de panaderías, siendo posible conectar al cuadro el termostato del horno para el control del quemador. Los quemadores de biomasa son la solución perfecta cuando el cuerpo de la caldera u horno esté en buen estado pero se quiere reducir el coste en combustible o cambiar el quemador.

Los quemadores de biomasa pueden utilizarse en aplicaciones tales como:

- Domésticas.
- Granjas.
- Invernaderos.
- Comunidades de vecinos.
- Sistemas centralizados de barrio.
- Edificios públicos.
- Secaderos de madera.
- Industrias.
- Hornos de pan, de cerámica.
- En general para la gran mayoría de aplicaciones de aire o agua caliente.
- Pueden funcionar también con calderas de vapor y/o de aceite térmico.
- En procesos de muy altas temperaturas se pueden utilizar para el precalentamiento con el consiguiente ahorro energético.

Interesante aplicación para cuando el espacio disponible es reducido y no es posible cambiar la caldera. En instalaciones industriales se puede cambiar un quemador en horas sin que sea necesario parar el proceso industrial

La reducción en la factura de combustible dependerá del tipo de la biomasa que se utilice. En la mayoría de los casos, al sustituir gasoil por biomasa este ahorro será superior al 50% [45].

### 3.10. Ventajas del uso de la biomasa como combustible:

- Es un combustible abundante e inagotable
- Tiene unos precios competitivos y bastante estables
- Contribuye a generar puestos de trabajo locales
- Genera riqueza en la zona de consumo
- Emisiones netas nulas de CO<sub>2</sub>



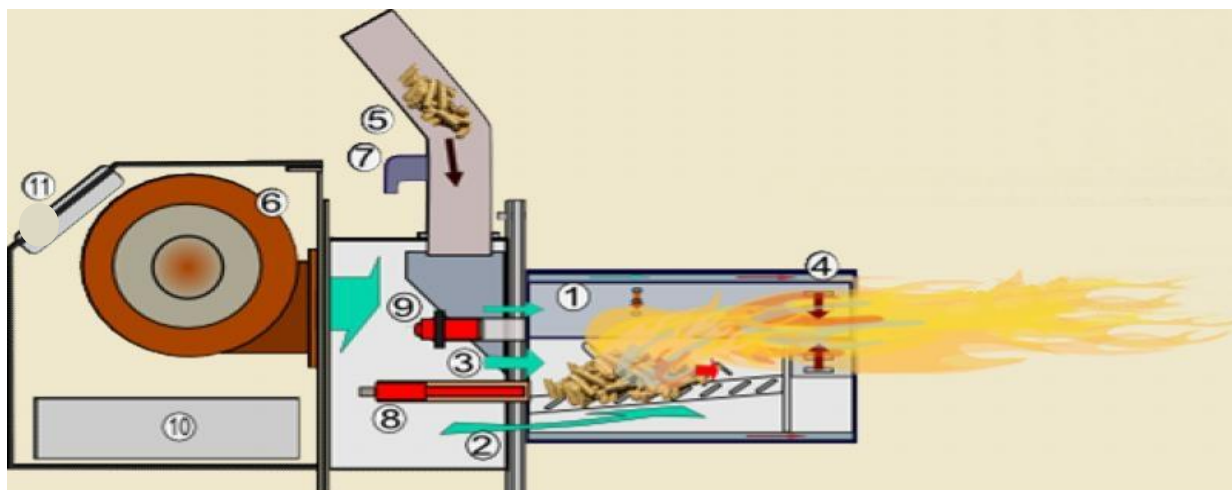
**Figura 3.13.** Quemador de biomasa

**Fuente:** [45]

### 3.11 Estructura del quemador

Los quemadores de biomasa de llama horizontal utilizan una bujía de precalentamiento para generar la combustión y con esto podemos tener una menor cantidad de emisiones de humo hacia el exterior, también utiliza un ventilador para aumentar la llama.

El la figura 3.8 se puede comprender de mejor manera como es el funcionamiento del sistema de llama horizontal.



**Figura 3.14.** Estructura del quemador de llama horizontal

**Fuente:** [46]

- 1- Cámara de combustión
- 2- Entrada de aire primario.
- 3- Entrada de aire secundario.
- 4- Entrada de aire terciario.
- 5- Alimentación de pellet.
- 6- Ventilador centrífugo.
- 7- Termostato de seguridad.
- 8- Resistencia de encendido alta temperatura.
- 9- Fotocélula.

## **4. METODOLOGÍA**

### **4.1. Matriz de operacionalización de variables**

#### **Variable dependiente**

Es la variable que se va a controlar para que se pueda combustionar la biomasa de coco.

Para poder realizar la combustión, la variable que se controló fue la temperatura, es decir que se realizó un análisis de la cantidad de calor a la que sometimos la biomasa para que se combustione.

**Tabla 4.1.** Variables dependientes

<b>Variable:</b>	<b>Descripción:</b>	<b>Unidad de medida:</b>	<b>Técnica</b>	<b>Instrumento</b>
Temperatura	Cantidad de calor necesario para combustionar la biomasa	° Celsius	Medición	Pirómetro

### **Variables independientes**

Las variables independientes son las variables que intervinieron en el desarrollo de la propuesta tecnológica, como el poder calorífico que tiene la biomasa de coco que es una propiedad térmica muy importante ya que de este depende la cantidad de energía que se libera en la combustión.

**Tabla 4.2.** Variables independientes.

<b>Variable:</b>	<b>Descripción:</b>	<b>Unidad de medida:</b>	<b>Técnica</b>	<b>Instrumento</b>
Poder calorífico	Cantidad de energía que puede liberarse al producirse una reacción química de oxidación de la biomasa de coco.	Kilojoule por kilogramo	Cálculo	Ecuaciones 4.1 y 4.2
Tiempo	Tiempo que se demora en combustionares la biomasa de coco.	Horas	Medición	Cronómetro
Flujo de aire	Entrada de aire necesario para que produzca la combustión de la biomasa de coco.	Metros cúbicos por hora	Medición	Cronómetro – flexómetro

## **4.2. Métodos y técnicas de la investigación**

### **4.2.1. Método cuantitativo**

Este método permitió analizar y conocer los parámetros necesarios en los que debe trabajar el quemador como lo son la temperatura máxima, presión máxima y el tiempo en que se demora en calentar la caldera

### **4.2.3. Método científico**

En el método científico se buscó en diferentes fuentes la información necesaria para el estudio del funcionamiento del prototipo.

Este método nos ayudó a enunciar de manera específica cada una de las leyes y ecuaciones de cálculo térmico, cálculo mecánico y eléctrico, que se necesita para un correcto dimensionamiento de cada una de las partes que comprenden el prototipo.

#### 4.2.4. Técnica experimental

La técnica experimental contribuyó con la toma de datos para de esta manera poder llevar un registro riguroso, ayudando en análisis de cada una de las variables que influyen en el proceso de calentamiento.

#### 4.2.5. Técnica de observación

Esta técnica permitió evidenciar y a su vez conocer las diferentes alternativas y modelos que compartan características especiales con el diseño del prototipo.

#### 4.2.6. Técnica de medición

Esta técnica permitió tomar medidas reales de las magnitudes físicas que intervienen en el funcionamiento del prototipo, para de esta manera poder realizar un análisis del comportamiento de cada una de las variables y comprobar que dicho prototipo esté funcionando correctamente. A continuación en la tabla 4.3 se muestra detallado la técnica de medición.

**Tabla 4.3.** Magnitudes a medir

Instrumento	Unidad de medida	Función
Voltímetro	V	Para medir la tensión a la que funciona el quemador de biomasa de coco
Amperímetro	A	Para medir la corriente eléctrica que consume el quemador de biomasa de coco
Variador de frecuencia	Hz	Para medir la frecuencia y variar la velocidad de giro del moto reductor al tornillo sin fin.
Pirómetro	°C	Para medir la temperatura en la cámara de combustión del quemador de biomasa de coco
Manómetro	PSI	Para medir la presión del vapor que sale de la caldera.
Cronómetro	s	Para medir el tiempo que se demora en el calentamiento de la caldera.

Para un adecuado análisis se necesita específicamente realizar una caracterización del sitio de combustión, en este caso se ha utilizado el modelado unidimensional [47], donde se tuvo muy en cuenta la conservación química de acuerdo a una reacción global establecida, dicha reacción pertenece a la descomposición térmica que tiene la biomasa y tiene relación directamente con la energía de activación que se requiere para poder realizar la combustión, aquí se aplica la primera ley de la termodinámica para realizar el análisis correspondiente de la transferencia de calor de los gases.

### 4.3. Metodología de cálculo

Aquí se describen cada una de las ecuaciones que se utilizaron en el proceso de cálculo para el respectivo dimensionamiento de cada uno de los componentes que comprenden el prototipo.

#### 4.3.1. Poder calorífico superior

Para calcular el poder calorífico superior de la biomasa se utilizó la fórmula establecida por el físico Dulong, que se muestra a continuación. [48].

$$PCS = 0.3491 \bullet X_C + 1.1783 \bullet X_H - 0.0151 \bullet X_N - 0.1034 \bullet X_O - 0.0211 \bullet X_{CENIZA}$$

**Ec. (4.1)**

Donde:

$X_C$  = Concentración de carbono en la biomasa (%);

$X_h$  = Concentración de hidrógeno en la biomasa (%);

$X_N$  = Concentración de nitrógeno en la biomasa (%);

$X_0$  = Concentración de oxígeno en la biomasa (%);

$X_{CENIZA}$  = Contenido de cenizas de la biomasa (%);

$PCS$  = poder calorífico superior de la biomasa  $\left(\frac{Mj}{kg}\right)$ ;

Dichos valores se los puede encontrar en las siguientes tablas:



**Tabla 4.4.** Análisis elemental de biomasa en % de masa

BIOMASA	%N	%C	%S	%H	%O
Cascara de café	2.53	45.06	0.48	6.42	45.5
Paja	1.64	40.69	0.23	9.95	50.50
Naranja	0.56	45.76	0.21	6.12	47.34
Kiwi	1.95	97.8	0.97	0.47	0.00
Hojas	2.85	43.25	0.34	5.5	48.06
Cascara de coco	0.15	47.93	0.24	6.05	45.63

Fuente: [49]

**Tabla 4.5.** Análisis elemental de diferentes tipos de biomasa en % de masa

Biomasa	Celulosa %	Hemicelulosa %	Lignina %	Extractos %	Cenizas %
Cascara de	36,3	25.1	28.7	8.3	1.6
Bagazo de	41.3	22.6	18.3	13.7	4.1
Cascarilla de	31.3	24.3	14.3	6.6	23.5
Paja de trigo	11.2	30.5	28.9	16.4	13.0
Tallos de	6.6	42.5	23.6	17.5	9.8

Fuente: [30]

### 4.3.2. Poder calorífico inferior

Al igual que el poder calorífico superior se calcula utilizando la fórmula establecida por Dulong. [48], como se muestra a continuación.

$$PCI = PCS \left( 1 - \frac{W}{100} \right) - 2.444 \left( \frac{W}{100} \right) - (2.444)(8.936) \left( \frac{h}{100} \right) \left( 1 - \frac{W}{100} \right) \quad \text{Ec. (4.2)}$$

Donde:

$W$  = Contenido de humedad de la biomasa (%);

$h$  = contenido de hidrógeno de la biomasa (%);

$PCI$  = Poder calorífico inferior de la biomasa  $\left( \frac{Mj}{Kg} \right)$ ;

Los valores de las variables se pueden encontrar en las tablas 4.4 y 4.5.

#### 4.4.3. Temperatura adiabática de la llama

Para encontrar la temperatura adiabática de la llama se utilizó la ecuación número 4.3.

$$T_{adubatica\ lama} = T_A + \frac{PCI}{m_{FG} \cdot C_{Pg}} \quad \text{Ec. (4.3)}$$

Donde:

$T_A$  = Temperatura del aire de entrada (°C);

$PCI$  = Poder calorífico inferior  $\left(\frac{Mj}{kg}\right)$ ;

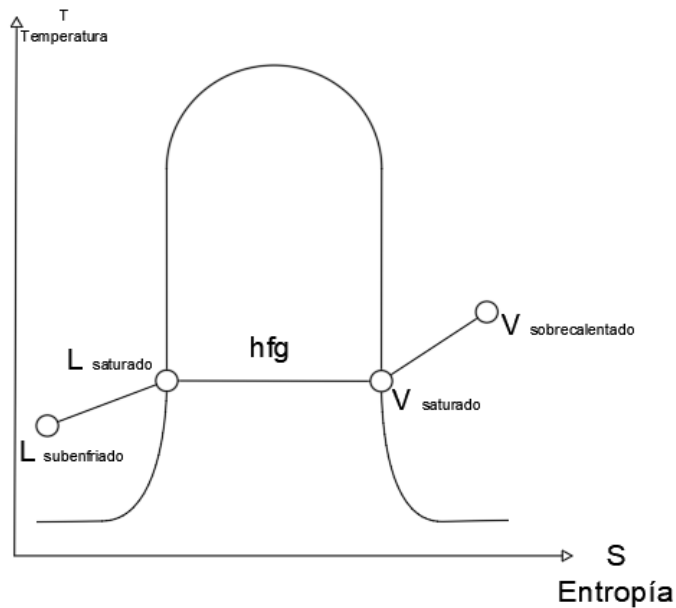
$m_{FG}$  = Relación de gases/combustible;

$C_{Pg}$  = Calor específico de los gases, asumiendo igual al del aire a 300 K;

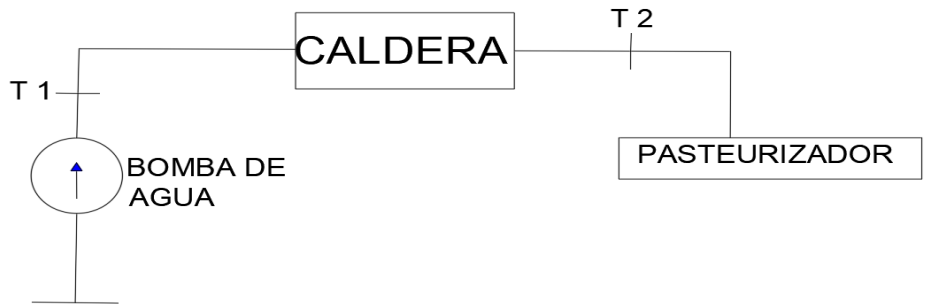
$T_{adubatica\ lama}$  = Temperatura adiabática de la llama (°C);

#### 4.3.4. Flujo de calor requerido

El cálculo del flujo de calor requerido para producir vapor de agua saturado, se lo realiza mediante el análisis de la figura de campana como se muestra a continuación.



**Figura 4.1.** Figura de campana del proceso de transformación de agua en vapor saturado y sobrecalentado



**Figura 4.2.** Diagrama de los elementos que intervienen en el proceso de pasteurización de leche

De acuerdo con la figura 4.2 anteriormente mostrada, se puede observar el proceso de pasteurización de leche, para esto se necesita de una bomba de agua que es la encargada de transportar agua desde el tanque de almacenamiento hasta la cámara de agua de la caldera, la caldera es la encargada de calentar el agua para producir vapor de agua saturado a una temperatura de 63°C, cuyo vapor se transportara a una presión de 75psi desde la cámara de gases de la caldera hasta el pasteurizador, en el pasteurizador ocurre que la leche se calienta con vapor saturado de agua 63°C y 75 psi por un tiempo determinado de 30 minutos, tiempo estimado para que los microorganismos dañinos mueran y la leche pueda ser purificada.

Según la curva de la campana de la figura 4.1 se observa que se parte de un líquido sub enfriado, que para este caso es el agua a temperatura ambiente, que después de pasar por la bomba y al entrar en la caldera entra como líquido saturado a una presión constante, que al calentarse a una temperatura de 63°C se transforma en vapor sobrecalentado que ya está listo para ser utilizado en el pasteurizador.

Para calcular el flujo de calor que se requiere para realizar ese proceso se aplica la siguiente ecuación.

$$Q = m_{H_2O} \cdot C_{H_2O} \cdot \Delta T \quad \text{Ec. (4.4)}$$

Donde:

$m_{H_2O}$  = Masa del agua (Kg);

$C_{H_2O}$  = Poder calorífico del agua  $\left(\frac{Kj}{kg}\right)$ ;

$\Delta T$  = Gradiente de temperatura (°C ó K);

$$Q = \text{flujo de calor requerido} \left( \frac{Kj}{kgK} \right);$$

#### 4.3.5. Cantidad de biomasa

Para obtener la cantidad de biomasa que se necesita, se calculó con la siguiente ecuación.

$$m_{bio} = \frac{Q}{PC_{BIO}} \quad \text{Ec. (4.5)}$$

Donde:

$$Q = \text{Flujo de calor requerido} \left( \frac{Kj}{kgK} \right);$$

$$PC_{BIO} = \text{Poder calorífico de la biomasa} \left( \frac{Kj}{kg} \right);$$

$$m_{bio} = \text{Cantidad de biomasa que se requiere (Kg);}$$

El poder calorífico de la biomasa se lo encuentra en la tabla 3.2 y también se puede comprobar con el cálculo del poder calorífico superior con la ecuación 4.1.

#### 4.3.6. Diámetro equivalente de la sección del ventilador

Para calcular el diámetro de la sección del ventilador debemos conocer los lados de la superficie rectangular y aplicar la ecuación 4.6 que se muestra a continuación.

$$D_e = \frac{1.3(d \cdot b)^{\frac{5}{8}}}{(d + b)^{\frac{1}{4}}} \quad \text{Ec. (4.6)}$$

Donde:

$$d = \text{Lado de la superficie rectangular (m);}$$

$$b = \text{Lado de la superficie rectangular (m);}$$

$$D_e = \text{Diámetro equivalente de la sección del ventilador (m);}$$

#### 4.3.7. Flujo volumétrico de aire

El flujo volumétrico de aire se obtiene mediante la relación entre la masa del aire con la densidad del mismo, como se muestra en la siguiente ecuación.

$$V_{\text{aire}} = \frac{m_{\text{aire}}}{\rho_{\text{aire}}} \quad \text{Ec. (4.7)}$$

Donde:

$$m_{\text{aire}} = \text{Flujo másico del aire } (Nm^3);$$

$$\rho_{\text{aire}} = \text{Densidad del aire } \left( \frac{Kg}{m^3} \right);$$

$$V_{\text{aire}} = \text{Flujo volumétrico de aire } \left( \frac{Nm^3}{h} \right);$$

#### 4.3.8. Espesor de pared del cañón

Para efectuar el cálculo del espesor requerido en un recipiente cilíndrico, se usa el procedimiento recomendado por ASME. [50]. El diseño se realiza a presión interna. Para el cálculo se emplea la siguiente ecuación.

$$e = \frac{p \bullet D_e}{4 \bullet S - 0.8 \bullet p} \bullet f_d \quad \text{Ec. (4.8)}$$

Donde:

$p$  = Presión interna del cilindro (KPa);

$D_e$  = Diámetro externo del cilindro (mm);

$S$  = Elongación máximo del material (mm);

$f_d$  = Factor de diseño (dato asumido por diseño);

$e$  = Espesor de paredes del cilindro (mm);

#### 4.3.9. Transferencia de calor por conducción y convección

Para realizar los cálculos de transferencia de calor se deben conocer las dimensiones, y las constantes “K” de conducción y convección de los materiales usados, dichas constantes son obtenidas de acuerdo a las tablas térmicas de cada material que se encuentran anexadas a este documento.

A continuación se muestra una tabla con los datos necesarios para el cálculo.

**Tabla 4.6.** Tabulación de datos

	Acero inoxidable AISI 304	Acero ASTM A36
Diámetro interior	0.1524 m	0.136m
Diámetro exterior	0.1544 m	0.14m
Espesor	0.002m	0.004
Conductividad térmica	14.9 W/mK	54 W/mK
Longitud	0.35 m	0.37m
Densidad	7900 Kg/m <sup>3</sup>	7850 Kg/m <sup>3</sup>
Capacidad calórica	477 J/KgK	465 J/KgK
Temperatura interna	120°C	150°C
Temperatura externa	20°C	25°C

##### 4.3.9.1. Transferencia de calor por convección acero AISI 304 y acero ASTM A36

Para el cálculo de la resistencia por convección se determina con la ecuación 4.8.

$$R_{conv} = \frac{1}{h \cdot (2 \cdot \Pi \cdot r) \cdot L} \quad \text{Ec. (4.9)}$$

Donde:

$h$  = Coeficiente de transferencia de calor por convección forzada  $\left( \frac{W}{m^2 K} \right)$ ;

$r$  = Radio externo del cañón (m);

$L$  = Longitud del cañón (m);

$R_{CONV}$  = Resistencia por convección  $\left(\frac{W}{K}\right)$ ;

#### 4.3.9.2. Transferencia de calor por conducción acero AISI 304 y acero ASTM A36

Para el cálculo de la resistencia por conducción se aplicó la siguiente ecuación:

$$R_{cond} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 \cdot \Pi \cdot k \cdot L} \quad \text{Ec. (4.10)}$$

$$r_2 = r_1 + e$$

Donde:

$\ln$  = Logaritmo natural (Adimensional);

$e$  = Espesor del material del cañón (m);

$r_1$  = Radio interno del cañón (m);

$r_2$  = Radio externo el cañón (m);

$k$  = Conductividad térmica del AISI 304  $\left(\frac{W}{mK}\right)$ ;

$L$  = Longitud del cañón (m);

$R_{cond}$  = Resistencia por conducción  $\left(\frac{W}{K}\right)$ ;

#### 4.3.9.3. Resistencia térmica total en el acero AISI 304 y ASTM A36

Para el cálculo de la resistencia total se aplicó la siguiente ecuación:

$$R_{TOT} = R_{conv} + R_{cond} \quad \text{Ec. (4.11)}$$

Donde:

$R_{conv}$  = Resistencia por convección  $\left(\frac{W}{K}\right)$ ;

$R_{cond}$  = Resistencia por conducción  $\left(\frac{W}{K}\right)$ ;

$R_{TOT}$  = Resistencia total  $\left(\frac{W}{K}\right)$ ;

#### 4.3.9.4. Pérdidas de calor a través de la pared de AISI 304 y ASTM A36

Para el cálculo de las pérdidas de calor a través de la pared se determinó con la siguiente ecuación:

$$q_{(x)} = \frac{T_2 - T_1}{R_T} \quad \text{Ec. (4.12)}$$

Donde:

$T_2$  = Temperatura interna del cañón (K);

$T_1$  = Temperatura externa del cañón (ambiente) (K);

$R_T$  = Resistencia total  $\left(\frac{W}{K}\right)$ ;

$q_{(x)}$  = Pérdida de calor (W);

#### 4.3.10 Torque requerido en el tornillo sin fin

Para el cálculo del torque requerido se utilizó la ecuación 4.12 que se demuestra a continuación.

$$T = F \bullet d \bullet f_d \quad \text{Ec. (4.13)}$$

Donde:

$F$  = Fuerza (N);

$d$  = Distancia (m);

$f_d$  = Factor de diseño (asumido por diseño);

$T$  = Torque requerido (N/m);



#### 94.3.11. Velocidad angular para la máquina

La velocidad angular está dada por la siguiente ecuación:

$$\omega = \frac{V_L}{r} \quad \text{Ec. (4.14)}$$

Donde:

$$V_L = \text{Velocidad lineal} \left( \frac{m}{s} \right);$$

$r$  = Radio del eje del tronillo sin fin (m);

$$\omega = \text{Velocidad angular} \left( \frac{rad}{s} \right);$$

#### 4.3.12. Velocidad de desplazamiento de tornillo sin fin

La velocidad a la que se va a desplazar la biomasa depende del paso del tornillo, al igual que su velocidad de giro, y se determinó con la siguiente ecuación.

$$V = \frac{p \cdot n}{60} \quad \text{Ec. (4.15)}$$

Donde:

$p$  = Paso del tornillo sin fin (m) (asumido por diseño);

$n$  = Velocidad de giro del eje del tornillo sin fin (rpm);

$V$  = velocidad de desplazamiento de la biomasa  $\left( \frac{m}{s} \right)$ ;

#### 4.3.13. Potencia del motor

La potencia del motor está dada por la siguiente ecuación:

$$P = \frac{T \cdot \Pi \cdot n}{6000} \quad \text{Ec. (4.16)}$$

Donde:

$T$  = Torque (Nm);

$n$  = Número de revoluciones por minuto (rpm);

$P$  = Potencia del motor (Kw);

#### 4.3.14. Número de revoluciones de la caja reductora

Para determinar las revoluciones del motoreductor se calculó con la siguiente ecuación.

$$\text{relación} = \frac{\text{rev / min} - \text{del} - \text{motor}}{\text{rev / min} - \text{de} - \text{la} - \text{maquina}} \quad \text{Ec. (4.17)}$$

La relación de reducción de la velocidad del motor al motoreductor es adimensional.

#### 4.3.15. Dimensionamiento eléctrico

El cálculo eléctrico permitió dimensionar las diferentes tipos de protecciones eléctricas que ayudan a proteger la máquina y al operador.

##### 4.3.15.1 Protecciones eléctricas

Como la conexión es a una red trifásica se parte de la ecuación 4.18 para calcular la potencia para un sistema trifásico, como se muestra a continuación.

$$P = V \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi \quad \text{Ec. (4.18)}$$

Despejando I tenemos

$$I_N = \frac{P}{V \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi} \quad \text{Ec. (4.19)}$$

Donde:

$V$  = Voltaje (V);

$I$  = Corriente nominal (A);

$\cos \varphi$  = Factor de potencia;

$P$  = Potencia del motor (Watts);

##### 4.3.15.2 Corriente de sobre carga

Para la corriente de sobrecarga se determinó con la siguiente ecuación.

$$I_{SC} = I_N \cdot 1.1 \quad \text{Ec. (4.20)}$$

Donde:

$I_N$  = Corriente nominal (A);

$I_{SC}$  = Corriente de sobrecarga (A);

## 5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Después de haber desarrollado la metodología, realizado los cálculos y conocido los valores, se procede al análisis respectivo de cada una de las variables despejadas y encontradas, ya que son la parte fundamental para el diseño, y dimensionamiento de los materiales que se van a utilizar en la construcción.

### 5.1. Resultados de la memoria de cálculo

Los resultados obtenidos a partir de la memoria de cálculo permitieron de una manera evaluar y comparar, los parámetros de construcción y funcionamiento que se requieren para que el prototipo de quemador de biomasa cumpla con las características esenciales para que realice el trabajo específico al que está destinado.

En la tabla 5.1 se puede observar los valores obtenidos del cálculo del poder calorífico superior e inferior de la biomasa de coco.

**Tabla 5.1.** Resultados del análisis para el poder calorífico del coco

Parámetro	Ecuación	Resultado
Poder calorífico superior	Ec 4.2	$PCS = 19,10691 \frac{Mj}{kg}$
Poder calorífico inferior	Ec 4.1	$PCI = 15,51990 \frac{Mj}{kg}$

De acuerdo con los datos de la tabla anterior se puede evidenciar que la biomasa de coco posee un poder calorífico elevado, es decir que al momento de la combustión liberará una gran cantidad de energía térmica.

En la tabla 5.2 se observan los resultados producto del cálculo para conocer la cantidad de biomasa de coco.

**Tabla 5.2.** Resultados del cálculo de la biomasa requerida

Parámetro	Ecuación	Resultado
Flujo de calor requerido	Ec 4.4	$Q = 2592349550 \left( \frac{Kj}{kgK} \right)$
Masa de agua	Ec 4.4.1	$m_{H_2O} = 24925 kg$
Cantidad de biomasa	Ec 4.5	$m_{bio} = 176.371 kg$

Según los datos de la tabla 5.2 se dice que la masa necesaria para producir vapor de agua saturado a 62°C y una presión de 80 PSI es de 176.37kg dato que se ha calculado utilizando el poder calorífico inferior de la biomasa de coco y utilizando un factor de seguridad del 30% por daños de la biomasa de coco por transporte, humedad y pérdidas por transferencia de calor al exterior.

En la siguiente tabla 5.3 se dan a conocer los resultados para el flujo de aire requerido que debe ingresar a la cámara de combustión.

**Tabla 5.3.** Resultados del cálculo del flujo de aire requerido

Parámetro	Ecuación	Resultado
Temperatura adiabática de la llama	Ec 4.3	$T_{adiabatica} = 780.15^{\circ}C$ <i>lama</i>
Flujo volumétrico del aire	Ec 4.7	$V_{aire} = 2.2 \times 10^{-5} \left( \frac{Nm^3}{seg} \right)$
Flujo másico del aire	Ec 4.7.1	$m_{aire} = 0.0976 \left( \frac{Kg}{seg} \right)$
Flujo másico del combustible	Ec 4.7.1.1	$m_{bio} = 0.0122 \left( \frac{Kg}{seg} \right)$
Diámetro de la sección del ventilador	4.6	$D_e = 22.43 cm$

Según la tabla anterior se puede evidenciar que para combustionar biomasa de coco es necesario un flujo volumétrico de aire de  $2.2 \times 10^{-5} \left( \frac{Nm^3}{seg} \right)$ , un flujo másico de aire  $0.0976 \left( \frac{Kg}{seg} \right)$  y que puede llegar a producir una temperatura adiabática de la llama de 780.15°C que es la temperatura que puede alcanzar la llama al producirse una combustión limpia o combustión completa.

En la tabla 5.4 se muestran los resultados de los espesores necesarios de los cañones del quemador interno y externo de acuerdo con el material que se utilizó.

**Tabla 5.4.** Resultados del cálculo del espesor de los cañones interno y externo

Parámetro	Ecuación	Resultado
Espesor del cañón externo AISI 304	Ec 4.8	$e = 2mm$
Espesor del cañón interno ASTM A36	Ec 4.8	$e = 4mm$

Analizando la tabla anterior se puede expresar que el espesor necesario de diseño para los cañones internos y externos del quemador son de 2mm para el acero AISI 304 cañón externo y 3mm para el acero ASTM A306 cañón interno respectivamente, sabiendo que el cañón interno tiene mayor espesor ya va a estar en contacto con el fuego, y el externo va a estar en contacto con el sistema de refrigeración y el aire exterior para producir menor pérdida de calor al ambiente.

En la tabla 5.5 se puede evidenciar los cálculos que se realizó para conocer las pérdidas de calor hacia el exterior que se producen en el quemador.

Tomando en cuenta que se tienen dos superficies de geométricas de forma cilíndrica que están fabricadas con dos tipos de materiales, uno es el acero inoxidable AISI 304 y el otro es el acero ASTM A36, los cuales poseen una constante de conductividad térmica y capacidad calórica, cuyos valores están expresados en la tabla tabla 4.6.

**Tabla 5.5.** Resultados del cálculo de transferencia de calor

Parámetro	Ecuación	Resultado
Transferencia de calor por convección AISI 304	Ec 4.9	$R_{conv} = 0.0119 \frac{W}{K}$
Transferencia de calor por convección ASTM A36	Ec 4.9	$R_{conv} = 0.0122 \frac{W}{K}$
Transferencia de calor por conducción AISI 304	Ec 4.10	$R_{cond} = 0.0003971 \frac{W}{K}$
Transferencia de calor por conducción ASTM	Ec 4.10	$R_{cond} = 0.0002308 \frac{W}{K}$
Resistencia térmica total	Ec 4.11	$R_{TOT} = 0.0247 \frac{W}{K}$
Pérdida de Calor a través de las paredes	Ec 4.12	$q_{(x)} = 4.6KW$

Según los resultados expresados en la tabla anterior se puede analizar que las pérdidas de transferencia de calor hacia el exterior que produce el quemador es de 4.6 KW, es decir que se va a perder una cantidad considerable de calor a exterior que se debe tomar en cuenta para el cálculo de la biomasa requerida.

**Tabla 5.6.** Resultados de los cálculos mecánicos

Parámetro	Ecuación	Resultado
Torque requerido en el tornillo sin fin	Ec 4.13	$T = 1650 Nm$
Velocidad angular para la máquina	Ec 4.14	$\omega = 0.0693 rad / s$ $\omega = 40 rpm$
Velocidad de desplazamiento de tornillo	Ec 4.15	$V = 0.1 m / s$
Potencia del motor	Ec 4.15	$P = 0.3 Kw$ $\omega = 40 rpm$
Número de revoluciones de la caja reductora	Ec 4.17	$relacion = 45$

De acuerdo con la tabla anterior 5.6 se puede observar el cálculo para las características mecánicas que requiere para la alimentación de biomasa de coco desde la tolva de

almacenamiento hasta el quemador, para el cual se necesitó un torque de 1650Nm con una velocidad angular del tornillo sin fin de 40rpm para un motor de 0.4 HP.

De acuerdo con los cálculos que se realizó para el dimensionamiento de las protecciones eléctricas se describen a continuación en la tabla 5.7

**Tabla 5.7.** Resultados del cálculo eléctrico

Parámetro	Ecuación	resultado
Corriente nominal	Ec 4.18	$I_N = 13.2A$
Corriente de sobre carga	Ec 4.20	$I_N = 13.2A$

De acuerdo con los resultados de la tabla anterior se puede observar que la corriente nominal del quemador es de 13.2 A en general, pero se debe tomar en cuenta que el sistema posee dos motores uno con corriente nominal de 4 A y uno de corriente nominal de 1 amp, sabiendo que en el arranque los motores elevan su corriente 7 veces más y de acuerdo con el motor de mayor corriente nominal de debe colocar una protección termomagnética de 32 A que es la que existe en el mercado.

## 6. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS

### 6.1 Presupuesto

En el presupuesto se detallan cada uno de los materiales, costos directos, costos indirectos y la mano de obra, que se intervinieron para la construcción del prototipo de quemador para biomasa de coco.

### 6.2. Costos directos

En los costos directos se encuentran los valores económicos de los materiales y los equipos eléctricos-mecánicos que se emplearon para la construcción del prototipo. A continuación se muestra una tabla dónde se detalla cada una de los materiales con sus precios.

**Tabla 6.1.** Costos directos

COSTOS DIRECTOS			
Detalle	Cantidad	Valor unitario (USD)	Valor total (USD)
Plancha de acero AISI 304 (2mm)	1	250	250
Plancha de acero ASTM A36 (2mm)	2	110	220
Pedazo de acero ASTM A36 (4mm)	1	80	80
Tubo de 4" ASTM A36 (2m) (2m)	1	50	50
Tubo 1 ¼" x 1 ¼" ASTM A36 (2mm)	2	25	50
Tubo 3" ASTM A36 (2mm)	1	30	30
Variador de frecuencia 1Hp	1	320	320
Motoreductor 0.25Kw	1	300	300
Resistencia ceramica de alta potencia	1	15	15
Ventilador de aire forzado	1	600	600
Controlador para quemador de combustible	1	320	320
Sub total			2155

**6.3. Costos indirectos**

Son los costos que están ligados indirectamente a los gastos en la construcción, como lo son comida, transporte entre otros.

**Tabla 6.2.** Costos indirectos

COSTOS INDIRECTOS			
Detalle	Cantidad	Valor unitario (USD)	Valor total (USD)
Transporte	20	3	60
Comida	15	2	30
Equipos de protección personal	6	2	12
sub total			102



#### 6.4. Mano de obra

La mano de obra no es nada más que el esfuerzo físico y mental, al que se le atribuye una cantidad de dinero por horas de trabajo.

**Tabla 6.3.** Costos por mano de obra

Mano de obra				
Detalle	Número de Horas	Número de Personas	Valor por hora (USD/H)	Cantidad USD
Diseño	48	2	10	960
suelda	24	1	10	240
Torno	6	1	20	120
sub total				1320

#### 6.5. Costo total

En el costo total es la suma de los costos directos, indirectos y la mano de obra, dando como resultado el costo total del proyecto.

A continuación se muestra la tabla 6.4 se dónde se encuentra detallado en costo total.

**Tabla 6.4.** Costo total

COSTO TOTAL	
	Cantidad USD
Costos directos	2155
Costos indirectos	90
Mano de obra	1320
Total	3565

El costo total de la propuesta tecnológica fue financiado por los estudiantes.

## 6.6. Análisis del valor actual neto (VAN) y tasa interna de retorno TIR

**Tabla 6.5.** Análisis VAN y TIR

	Inversión	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6
	3565						
Ingreso		2904	3049,2	3201,66	3361,743	3529,83015	3706,32166
Egreso		1500	1500	1500	1500	1500	1500
Total	-3565	1404	1549,2	1701,66	1861,74	2029,83	2206,32

Valor Actual Neto (VAN)		\$4.047,55
-------------------------	--	------------

Tasa	10,00%
------	--------

Tasa interna de retorno (TIR)		40%
-------------------------------	--	-----

Para el análisis del valor actual neto VAN se ha tomado como inversión inicial al costo del proyecto que es de 3565 dólares, con una tasa de inflación anual del 5% para un plazo de 6 años, en todos los años existe un egreso de 1500 dólares, ya que se ha tomado en cuenta que en el mercado nacional existen empresas que se dedican a la venta de biomasa, por el precio de que una tonelada cuesta 30 dólares, ahora sacando la cantidad de biomasa que se utilice en un año y multiplicando por su precio en toneladas sale un gasto de 980 dólares anuales, los 520 dólares que faltan para completar el gasto de 1500 se deben a gastos por transporte y mantenimiento.

Para el análisis de la tasa única de retorno TIR se ha partido del valor actual neto VAN anteriormente calculado, de acuerdo a los datos, se procede al ingreso de la función para el cálculo del TIR en el software Excel, que ha arrojado un valor de la tasa de retorno del 40% de la inversión anualmente. Con esto se puede decir que el proyecto es factible ya que existe una cantidad considerable de retorno anual, más aun tomando en cuenta que la biomasa no se la puede comprar sino adquirir de manera fácil y a un costo bastante bajo, ahora si se analiza la situación de que si no se compra la biomasa y se la recolecta solo se gastaría el dinero del traslado de la misma, reduciendo los gastos en el mejor de los casos de hasta un 80%, lo cual generara una tasa de retorno más elevada y conveniente.

## **6.7. Análisis de impactos**

### **6.7.1. Impacto práctico**

El prototipo está diseñado para cumplir requerimientos y necesidades específicas de generar energía térmica utilizando pellets de materia orgánica de coco, para generar calor el cual será ocupado para una caldera para la fabricación de quesos y facilita el proceso de fabricación.

### **6.7.2. Impacto tecnológico**

El prototipo posee un sistema automatizado mediante una tolva de almacenamiento y un tornillo sin fin de alimentación controlados mediante un variador de frecuencia, y un moto reductor, el en la cámara de combustión mediante un medidor de llama y una termopila tipo k se controla el encendido y apagado del prototipo.

### **6.7.3. Impacto ambiental**

El prototipo se basa en el consumo de materia orgánica de coco (pellets) conocido como biomasa, la biomasa evita el uso de combustibles fósiles que causan daños al medio ambiente, este tipo de combustible es de fácil combustión.

Al combustionar éste tipo de biomasa se genera un dióxido de carbono neutro que no contamina el medio ambiente, también se reduce las emisiones de los gases que producen el efecto invernadero como el amoníaco, los óxidos nitrosos, azufre.

## **7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **7.1. Conclusiones**

- Los sistemas de generación de energía térmica mediante biocombustibles constan principalmente de una cámara de combustión donde la biomasa que ingresa se combustiona a una temperatura que se eleva en el tiempo de acuerdo con la cantidad de biomasa que ingresa, el encendido es realizado por una resistencia cerámica de alta potencia que al estar en contacto con la biomasa produce chispa y por medio de un ventilador de tiro forzado enciende la biomasa produciendo flama.
- Mediante el cálculo que se realizó se obtuvo que para la implementación del quemador de biomasa de coco en una caldera para pasteurizar leche se debe utilizar 176,371kg de biomasa de coco para producir vapor de agua saturado a 63°C y 80 PSI por un tiempo determinado de 4 horas al día.
- De acuerdo con la puesta en marcha del prototipo, se pudo evidenciar que utilizando pellets de coco con una granulometría de 6mm de diámetro el quemador de biomasa de coco es capaz de producir calor hasta de 800°C en un lapso de tiempo de 5 minutos después de su encendido, mientras que si se utiliza pellets de 8 mm alcanza una temperatura mayor pero el tiempo de demora es de se demora de 8 a 10 minutos esto se debe a que se demora más en combustionarse la biomasa y por ende el calor generado se eleva.

### **7.2 Recomendaciones**

- Para el diseño se debe tomar muy en cuenta los parámetros de funcionamiento de la caldera, como temperatura y presión, al igual del tipo de caldera, ya que esos datos son muy importantes para el cálculo y el dimensionamiento de los materiales.
- Para el cálculo de la cantidad de biomasa que se va a utilizar se debe multiplicar por un factor de corrección, debido a daños del material ya sea por humedad, transporte o por perdidas de calor hacia el exterior en las paredes del quemador
- Para un encendido más rápido de la biomasa y evitar la generación de humos, se puede agregar un sistema de precalentamiento de la biomasa antes de llegar a la cámara de combustión, para de esta manera producir una combustión rápida, completa y limpia.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] F. Núñez, C. Ulloa, R. Gil, S. Moltalvo y S. Vargas, «Estudio preliminar del potencial energético de hueso de palma y cáscara de coco en Colombia,» Colombia , 2012.
- [2] L. Donaciano, G. Armando, M. Gordon y N. Martin, «Carbon activado a partir de la cáscara de coco,» Mexico, 2007.
- [3] J. García y M. Martínez, «Biomasa y Biotecnología,» vol. I, nº 58, 2014.
- [4] H. Romero y V. María, Manual de biogás, Chile, 2011.
- [5] Fideicomiso de Riesgo Compartido, «gob.mx,» Fideicomiso de Riesgo Compartido, 31 01 2017. [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/firco/articulos/palma-de-coco-y-sus-beneficios?idiom=es>. [Último acceso: 07 06 2018].
- [6] D. Libre, «Diario Libre,» 13 04 2017. [En línea]. [Último acceso: 18 junio 2019].
- [7] M. García y H. Serrano, «El árbol de la vida: la palma de coco y su fruta tropical. Cocos nucifera L. Arecaceae,» *TecnoAgro*, vol. I, nº 110, 01 08 2016.
- [8] B. Pillacho, «Proyecto de prefactibilidad para la exportación de coco en fresco al mercado de Bélgica-Brucelas período 2007-2016,» Quito, 2007.
- [9] B. Velasco, «Esmeraldas concentra la palma de coco,» *Revista Líderes*, 2017.
- [10] N. Villegas y V. R. de, «Elaboración de módulos estructurales a base de fibra de estopa ] de coco para viviendas de bajo costo,» Guayaquil , 2008.
- [11] INEC, «Indicadores de índices de precio,» Quito, 2015.  
]
- [12] G. t. Energy, «Green to Energy,» Mexico .  
]
- [13] K. Laib, «Biblioteca usac,» Junio 2017. [En línea]. Available:  
] [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_3560\\_IN.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3560_IN.pdf). [Último acceso: 23 11 2018].

- [14 M. Evans, S. Konduru y R. Stamps, Source Variation In Physical And Chemical Properties Of Coconut Coir, EEUU, 1996.]
- [15 Radicalnutrients, «Radicalnutrients,» [En línea]. Available: <https://www.radicalnutrients.com/2016/05/16/buen-sustrato-fibra-coco/>. [Último acceso: 26 Noviembre 2018].]
- [16 Ispemar, «Ispemar,» Migue Carrión publicidad, 2015. [En línea]. Available: <http://www.cocopeatfertilizer.com/fibra-de-coco>. [Último acceso: 23 11 2018].]
- [17 Dalagro, «Dalagro,» [En línea]. Available: <https://dalagro.com.br/produto/fibra-de-coco-chips-100l/>. [Último acceso: 24 11 2018].]
- [18 J. Dahlman y C. Forst, Technologies Demonstrated at ECHO: Briquette presses for alternative fuel use, USA, 2001.]
- [19 L. Hite y Z. Smith, Single-Lever Large Biomass Briquette Press, USA, 2011.]
- [20 P. Grover y S. Mishra, Biomass Briquetting: Technology and Practices, India , 1996.]
- [21 S. Bhattacharya, Biomass energy in Asia: a review of status, technologies and policies in Asia, N/A, 2002.]
- [22 Indiamart, «Indiamart,» 2013. [En línea]. Available: <https://www.indiamart.com/proddetail/coco-peat-pellet-4844900673.html>. [Último acceso: 24 11 2018].]
- [23 C. Higman y M. Van der Burgt, Gasification, United States : ELSEVIER , 2003.]
- [24 F. Vargas, C. Guerrero y J. Arango, Tecnologías para el aprovechamiento de los Biocombustibles, Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2008.]

- [25 C. Forero, G. Díaz, L. Hernández, J. Arroyo y F. Vargas, Solid Biofuels production from Timber, Coconut and Oil Palm residues bypressing at Universidad Nacional de Colombia, Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2011.
- [26 N. Kaliyan y R. Morey, *Densification of Biomass: Mechanisms, Models and experiments on Brquetting and Pelleting of Biomass*, Saarbrücken, 2008.
- [27 M. Cocchi, *Global wood pellet industry Market and Trade study*, IEA Bioenergy, Noruega, 2011.
- [28 M. Ståhl, K. Granström, J. Berghel y R. Renström, *Industrial processes for biomass drying and their effects on the quality properties of wood pellets*, Biomass and Bioenergy, Karlstad: ELSEVIER, 2004.
- [29 M. Ståhl y J. Berghel, *Validation of a mathematical model by studying the effects of recirculation of drying gases*, *Drying Technology*, Karlstad: ELSEVIER, 2008.
- [30 K. Raveendran, A. Ganesh y K. Khilart, *Influence of mineral matter on biomass pyrolysis characteristics*, Bombay: ELSEVIER, 1995.
- [31 T. Reed y A. Das, *Handbook of biomass downdraft gasifier engine systems*, Estados Unidos : Solar energy research institute, 1988.
- [32 E. Associació Catalana D'enginyeria Sense fronteres, *Estudio de alternativas para la electrificación rural en la zona de Perú*, Perú, 2002.
- [33 L. García, «Obtención de gas combustible a partir de la gasificación de biomasa en un reactor de lecho fijo,» Universidad Nacional de Colombia, Bogota, 2011.
- [34 M. Mesny, «Calderas de vapor: manual del foguista,» de *Calderas de vapor: manual del foguista*, Buenos Aires , Marymar , 1981, p. 127.
- [35 C. Shield, *Calderas. Tipos, Características y sus Funciones*, México: CECSA, 1982.

- [36 Manuel, «Transportes de paneles de madera,» WordPress, 19 Agosto 2011. [En línea].  
] Available: <http://abakan-teach.ru/como-funciona-una-caldera-de-gas-natural/>. [Último acceso: 16 Mayo 2019].
- [37 J. Pérez, «Portal electromecánico,» Portal electromecánico, 3 MAYO 2018. [En línea].  
] Available:  
[https://portalelectromecanico.com/CURSOS/MaquinasMecanicas/calderas\\_pirotubulares.html](https://portalelectromecanico.com/CURSOS/MaquinasMecanicas/calderas_pirotubulares.html). [Último acceso: 23 Junio 2019].
- [38 M. Lapido, D. Vidal y J. Madrigal, FUNCIONAMIENTO Y PÉRDIDAS EN  
] CALDERAS PIROTUBULARES ESTUDIO DE CASOS, Cuba: Universo sur , 2015.
- [39 H. Iztzacani, E. Jorge, J. Gonzáles, H. Hernández, Y. Laurel y J. San Miguel, «Caldera,»  
] 23 Febrero 2014. [En línea]. Available:  
<https://upiicsa2iv42.wordpress.com/2014/02/23/diagrama-y-descripcion/>. [Último acceso: 26 Junio 2019].
- [40 Tecnologia, «tecnologia,» [En línea]. Available:  
] <https://www.areatecnologia.com/tecnologia/calderas-de-gas.html>. [Último acceso: 25 Junio 2019].
- [41 Alibaba, «Alibaba.com,» [En línea]. Available: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/best-diesel-hot-water-boiler-hot-water-economy-of-boiler-for-hotel-60299465303.html>. [Último acceso: 26 Junio 2019].
- [42 tuandco, «tuandco,» [En línea]. Available:  
] <https://www.tuandco.com/aprendeymejora/como-funciona-una-caldera-de-gasoil/>.  
[Último acceso: 7 julio 2019].
- [43 Diarioinformacion, «Diarioinformacion,» [En línea]. Available:  
] [https://www.diarioinformacion.com/blogs/blog-de-climatizacion\\_1/tipos-de-calderas.html](https://www.diarioinformacion.com/blogs/blog-de-climatizacion_1/tipos-de-calderas.html). [Último acceso: 7 Julio 2019].
- [44 CALOR Y FRIO , «CALOR Y FRIO,» [En línea]. Available:  
] <https://www.caloryfrio.com/calefaccion/calderas/calderas-de-biomasa-ventajas-y-funcionamiento.html>. [Último acceso: 8 JULIO 2019].



- [45 Ison21, «Ison21,» [En línea]. Available: <https://www.ison21.es/quemadores-de-biomasa/>.  
] [Último acceso: 26 Noviembre 2018].
- [46 Gesproclima, «Gesproclima,» [En línea]. Available:  
] <http://www.gesproclima.com/tienda/es/tubocas/520-venta-quemador-de-biomasa-llama-horizontal-tubocas-tcb-25-kw.html>. [Último acceso: 12 Diciembre 2018].
- [47 D. Aldana y R. Olivares, Metodología unidimensional para el cálculo del coeficiente  
] global de transferencia de calor para pailas de hornillas paneleras, Cancún: LACCEI ,  
2013.
- [48 P. Dulong, «Poder calorífico superior e inferior de sustancias secas». Francia 1819.  
]
- [49 L. García, «Obtención de gas combustible a partir de la gasificación de biomasa en un  
] reactor de lecho fijo,» Bogota, 2011.
- [50 Asme, «Thickness of shells under internal pressure,» IMechE, New York, 2009.  
]
- [51 B. Jenkins, L. Baxter, T. Miles y T. J. Miles, Combustion properties of biomass,  
] California: ELSEVIER, 1998.
- [52 Energiasae, «Energiasae,» [En línea]. Available: <https://energiasae.com/biomasa/>.  
] [Último acceso: 25 junio 2019].
- [53 A. Gomez, W. Klose y S. Rincón, Pirólisis de biomasa: cuesco de palma de aceite, Kassel:  
] Kassel university, 2009.
- [54 Masvoltaje, «Masvoltaje,» 27 04 2016. [En línea]. Available:  
] <https://masvoltaje.com/blog/tipos-de-cables-electricos-que-existen-n12>. [Último acceso:  
28 06 2019].

# ANEXOS



Trazado de la brida



Corte de la brida con plasma



Brida después del corte



Trazado de las dimensiones de la tolva





Soldadura del cañón



Desbastado de las rebabas de la suelda del cañón



Soldadura del cañón exterior con la recamara



Corte de la recamara para acoplar con el ventilador de aire forzado



Perforación del cañón



Perforación de la placa posterior del cañón



Ensamble del ventilador de aire forzado con la recámara



Corte de la brida del motoreductor





Torneado de la brida del motoreductor



Brida torneada



Torneado del eje del tornillo sin fin



Ensamblaje del motoreductor con el tornillo sin fin



Soldadura del cañón



Desbastado de las rebabas de la suelda del cañón



Soldadura del cañón exterior con la recamara



Corte de la recamara para acoplar con el ventilador de aire forzado





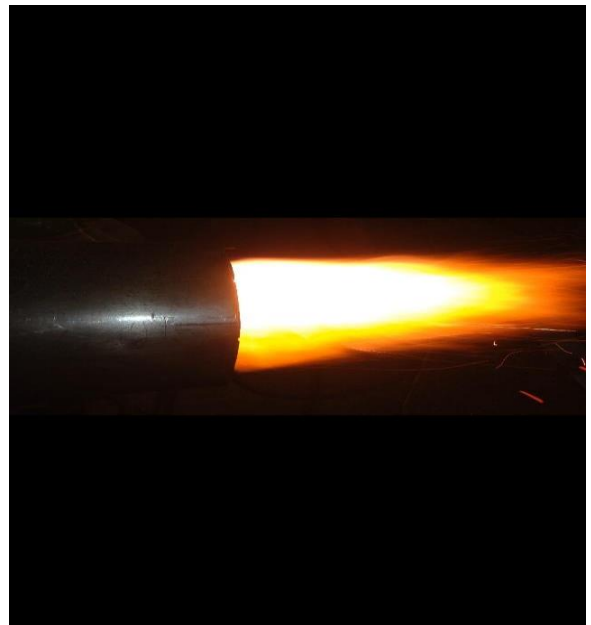
Quemador terminado



Tolva de almacenamiento



Sistema terminado



Quemador en funcionamiento



TABLE A.1 Thermophysical Properties of Selected Metallic Solids<sup>a</sup>

Composition	Melting Point (K)	Properties at 300 K				Properties at Various Temperatures (K)													
		$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c_p$ (J/kg · K)	$k$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	$k$ (W/m · K)/ $c_p$ (J/kg · K)													
						100	200	400	600	800	1000	1200	1500	2000	2500				
Stainless steels																			
AISI 302	8055	480	15.1	3.91				17.3	20.0	22.8	25.4								
AISI 304	1670	7900	477	14.9	3.95	9.2	12.6	16.6	19.8	22.6	25.4	28.0	31.7						
AISI 316		8238	468	13.4	3.48	272	402	515	557	582	611	640	682						
AISI 347		7978	480	14.2	3.71			504	550	576	602								
								15.8	18.9	21.9	24.7								
								513	559	585	606								

## Propiedades térmicas del acero AISI 304 (Cengel)

Medio	Coefficiente de transferencia de calor $h$ (W/m <sup>2</sup> · K)
Aire (convección natural)	5-25
Aire/vapor supercalentado (convección forzada)	20-300
Petróleo (convección forzada)	60-1800
Agua (convección forzada)	300-6000
Agua (en ebullición)	3000-60.000
Vapor (en condensación)	6000-120.000

## Propiedades mecánicas del acero AISI 304

PROPIEDAD	VALOR	UNIDADES
Densidad	7850	Kg/m <sup>3</sup>
Límite de fluencia	32-36 (250-280)	Ksi (MPa)
Resistencia a la tensión	58 – 80(400-550)	Ksi(MPa)
Modulo de elasticidad	29 000	Ksi
% de elongación mínimo	20 (8")	%
Punto de fusión	1538	°C

## Propiedades mecánicas del acero ASTM A36

<b>ANEXO III</b>	<b>TABLAS DE LAS PROPIEDADES DEL VAPOR DE AGUA SATURADO (CENGEL)</b>	<b>1 DE 1</b>
------------------	--	---------------

**TABLE A.6** Thermophysical Properties of Saturated Water<sup>a</sup>

Temperature, $T$ (K)	Pressure, $p$ (bars) <sup>b</sup>	Specific Volume (m <sup>3</sup> /kg)		Heat of Vaporization, $h_{fg}$ (kJ/kg)	Specific Heat (kJ/kg · K)		Viscosity (N · s/m <sup>2</sup> )		Thermal Conductivity (W/m · K)		Prandtl Number		Surface Tension, $\sigma_f \cdot 10^3$ (N/m)	Expansion Coefficient, $\beta_f \cdot 10^6$ (K <sup>-1</sup> )	Temperature, $T$ (K)
		$v_f \cdot 10^3$	$v_g$		$c_{p,f}$	$c_{p,g}$	$\mu_f \cdot 10^6$	$\mu_g \cdot 10^6$	$k_f \cdot 10^3$	$k_g \cdot 10^3$	$Pr_f$	$Pr_g$			
295	0.02617	1.002	51.94	2449	4.181	1.868	959	8.89	606	19.5	6.62	0.849	72.7	227.5	295
300	0.03531	1.003	39.13	2438	4.179	1.872	855	9.09	613	19.6	5.83	0.857	71.7	276.1	300
305	0.04712	1.005	29.74	2426	4.178	1.877	769	9.29	620	20.1	5.20	0.865	70.9	320.6	305
310	0.06221	1.007	22.93	2414	4.178	1.882	695	9.49	628	20.4	4.62	0.873	70.0	361.9	310
315	0.08132	1.009	17.82	2402	4.179	1.888	631	9.69	634	20.7	4.16	0.883	69.2	400.4	315
320	0.1053	1.011	13.98	2390	4.180	1.895	577	9.89	640	21.0	3.77	0.894	68.3	436.7	320
325	0.1351	1.013	11.06	2378	4.182	1.903	528	10.09	645	21.3	3.42	0.901	67.5	471.2	325
330	0.1719	1.016	8.82	2366	4.184	1.911	489	10.29	650	21.7	3.15	0.908	66.6	504.0	330
335	0.2167	1.018	7.09	2354	4.186	1.920	453	10.49	656	22.0	2.88	0.916	65.8	535.5	335
340	0.2713	1.021	5.74	2342	4.188	1.930	420	10.69	660	22.3	2.66	0.925	64.9	566.0	340

<b>ANEXO IV</b>	<b>TABLA DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN</b>	<b>1 DE 1</b>
-----------------	---	---------------

<b>Proceso</b>	<b>h [W/m<sup>2</sup> K]</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Convección libre</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Gases</li> <li>– líquidos</li> </ul> </li> </ul>	2 - 25 50 - 1000
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Convección forzada</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Gases</li> <li>– líquidos</li> </ul> </li> </ul>	25 - 250 50 - 20000
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Convección con cambio de fase</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Ebullición o condensación</li> </ul> </li> </ul>	2500 - 100000