



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
MECÁNICA ELÉCTRICA**

**“Aprovechamiento de la cascarilla de café para generar energía eléctrica en la planta  
procesadora Representaciones Mego SRL en Jaén”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniero Mecánico Electricista**

**AUTOR:**

Br. Natán Pérez Pérez (ORCID: 0000-0003-2907-513X)

**ASESOR:**

Mg. Deciderio Enrique Diaz Rubio (ORCID: 0000-0001-5900-2260)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Generación, transmisión y distribución

**CHICLAYO – PERÚ**

**2019**

## **Dedicatoria**

A mi querida esposa Rut Morocho Villalta, a mis adoradas hijas Nátalit Jimena y Lila Fernanda, que motivan día a día mis deseos de superación constante y sin dejar de lado a mis padres Lila Marleni y Gilberto Pérez por su apoyo incondicional que me brindan.

**El autor.**

## **Agradecimiento**

A Dios por darme la fortaleza para seguir adelante y mostrarme el camino para lograr mis objetivos. A mi querida esposa Rut Morocho Villalta y mis hijas Natalit Jimena y Lila Fernanda por ser mi soporte cada día.



ACTA DE SUSTENTACION

En la ciudad de Chiclayo, siendo las 11:00 horas del día 19 de julio del 2019, de acuerdo a lo dispuesto por la resolución de dirección de investigación N° 1271-2019/UCV-CH, de fecha 18 de julio de 2019, se procedió a dar inicio al acto protocolar de sustentación de la tesis titulada: "APROVECHAMIENTO DE LA CASCARILLA DE CAFÉ PARA GENERAR ENERGIA ELECTRICA EN LA PLANTA PROCESADORA REPRESENTACIONES MEGO SRL EN JAEN", presentado por e(la) (los) bachiller PÉREZ PÉREZ, NATÁN, con la finalidad de obtener el título de ingeniero mecánico electricista, ante el jurado evaluador conformado por los profesionales siguientes:


- Presidente : Ing. Anibal Jesús Salazar Mendoza
- Secretario : Ing. Edilbrando Vega Calderón
- Vocal : Ing. Deciderio Enrique Díaz Rubio

Concluida la sustentación y absueltas las preguntas efectuadas por los miembros del jurado se resuelve:


APROBADO POR MAYORIA

Siendo las 11:40 del mismo día, se dio por concluido el acto de sustentación, procediendo a la firma de los miembros del jurado evaluador en señal de conformidad.

Chiclayo, 19 de julio de 2019

  
Ing. Anibal Jesús Salazar Mendoza  
Presidente

  
Ing. Edilbrando Vega Calderón  
Secretario

  
Ing. Deciderio Enrique Díaz Rubio  
Vocal

## Declaratoria de autenticidad

### Declaratoria de autenticidad

Yo, Natán Pérez Pérez, identificado con DNI N° 41914104, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con la tesis titulada **“Aprovechamiento de la cascarrilla de café para generar energía eléctrica en la planta procesadora Representaciones Mego SRL en Jaén”**, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño, los datos e información que se presenta en esta tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información de la Universidad Cesar Vallejo.

Chiclayo, 03 de junio de 2018

  
NATÁN PÉREZ PÉREZ  
DNI N° 41914104

## Índice

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento .....	iii
Página del jurado .....	iv
Declaratoria de autenticidad .....	v
Índice .....	vi
Índice de Tablas.....	ix
Índice de Figuras .....	x
RESUMEN .....	xi
ABSTRACT .....	xii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Realidad Problemática.....	1
1.1.1. Nivel Internacional .....	1
1.1.2. Nivel Nacional .....	2
1.1.3. Nivel Local .....	3
1.2. Trabajos Previos.....	4
1.2.1. Nivel internacional.....	4
1.2.2. Nivel nacional.....	4
1.2.3. Nivel Local .....	6
1.3. Teorías relacionadas al tema. ....	6
1.3.1. Generación de energía eléctrica .....	6
1.3.2. Energías renovables: Biomasa .....	6
1.3.3. Clasificación de la biomasa.....	8
1.3.4. Café .....	10
1.3.5. Residuos de la producción de café .....	11
1.3.6. Cascarilla de Café como alternativa energética.....	13
1.3.7. Propiedades bioquímicas de la cascarilla de café .....	14
1.3.8. El cisco de café (cascarilla) y sus propiedades físicas .....	15
1.3.9. Propiedades químicas de la cascarilla de café .....	17
1.3.10. Procesos para aprovechar la biomasa .....	18
1.3.11. Procesos termoquímicos .....	20
1.3.12. Tipos de gasificadores .....	26
1.3.13. Procesos bioquímicos .....	28

1.3.14.	Selección de la tecnología adecuada .....	31
1.4.	Formulación del problema.....	34
1.5.	Justificación de la investigación.....	35
1.5.1.	Justificación técnica.....	35
1.5.2.	Justificación económica .....	35
1.5.3.	Justificación social.....	35
1.5.4.	Justificación ambiental .....	35
1.6.	Objetivos de la investigación .....	35
1.6.1.	General .....	35
1.6.2.	Específicos.....	35
1.7.	Hipótesis .....	36
<b>II.</b>	<b>MÉTODO .....</b>	<b>35</b>
2.1.	Diseño de Investigación. ....	35
2.2.	Variables, operacionalización .....	35
2.2.1.	Variable independiente .....	35
2.2.2.	Variable dependiente .....	35
2.3.	Población y muestra .....	37
2.3.1.	Población .....	37
2.3.2.	La muestra .....	37
2.4.	Técnicas e Instrumentos de recolección de datos. ....	37
2.4.1.	Técnicas.....	37
2.4.2.	Instrumentos de recolección de datos.....	37
2.4.3.	Validez y confiabilidad .....	38
2.5.	Métodos de Análisis de datos. ....	38
2.6.	Aspectos éticos.....	38
<b>III.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>39</b>
3.1.	Establecer el potencial energético de la producción de cascarilla de café. ....	39
3.1.1	Potencia eléctrica en la planta procesadora.....	41
3.1.2.	Cálculo del poder Calorífico Inferior .....	42
3.2.	Determinar las características apropiadas del gasificador para el aprovechamiento de la producción de cascarilla de café .....	44
3.2.1.	Cálculo del intercambiador de calor.....	49
3.3.	Realizar la evaluación técnica y económica para determinar la viabilidad del proyecto .....	52

IV. DISCUSIÓN.....	60
V. CONCLUSIONES.....	61
VI. RECOMENDACIONES .....	62
REFERENCIAS .....	63
ANEXOS .....	66
Acta de aprobación de originalidad de tesis .....	73
Reporte Turnitin .....	74
Autorización de publicación de tesis en repositorio institucional UCV.....	75
Autorización de la versión final del trabajo de investigación .....	76



## Índice de Tablas

<i>Tabla 1</i> Generación de residuos .....	9
<i>Tabla 2</i> Procesos bioquímicos y físicos de conversión de biomasa en energía .....	10
<i>Tabla 3</i> Composición del grano en base seca.....	13
<i>Tabla 4</i> Composición de la cascarilla de café .....	15
<i>Tabla 5</i> Análisis elemental de algunos combustibles (biomasa) en base seca .....	17
<i>Tabla 6</i> Máximas concentraciones de cloro, azufre y nitrógeno .....	18
<i>Tabla 7</i> Tecnologías para combustión de biomasa.....	22
<i>Tabla 8</i> Propiedades fisicoquímicas que influyen en el proceso de gasificación.....	24
<i>Tabla 9</i> Reacciones típicas de gasificación de biomasa .....	26
<i>Tabla 10</i> Resumen de tecnologías mencionadas con su respectiva aplicación .....	31
<i>Tabla 11</i> Descripción comparativa entre combustión y gasificación.....	33
<i>Tabla 12</i> Tecnologías de gasificación y principales comparaciones.....	34
<i>Tabla 13</i> Producción de cascarilla de café, entre julio de 2017 y junio de 2018 .....	40
<i>Tabla 14</i> potencial energético de la cascarilla de café, julio 2017 – junio 2018.....	41
<i>Tabla 15</i> Equipos eléctricos y su potencia de trabajo .....	42
<i>Tabla 16</i> Composición elemental de algunos combustibles (biomasa) base seca.....	43
<i>Tabla 17</i> Parámetros para calcular la potencia de salida del gasificador .....	44
<i>Tabla 18</i> Descripción del gasificador seleccionado .....	46
<i>Tabla 19</i> Cantidades tolerables de sustancias en el gas para trabajar en motores.....	48
<i>Tabla 20</i> Propiedades del gas y condiciones de operación .....	49
<i>Tabla 21</i> Propiedades del agua y condiciones de operación .....	50
<i>Tabla 22</i> Comparación de potencia de trabajo entre diferentes combustibles .....	52
<i>Tabla 23</i> Inversión inicial del proyecto .....	53
<i>Tabla 24</i> Costos de mantenimiento .....	54
<i>Tabla 25</i> Flujo de caja .....	55
<i>Tabla 26</i> Flujo de caja para determinar el VAN .....	57
<i>Tabla 27</i> Flujo de caja para determinar el TIR.....	58

## Índice de Figuras

<i>Figura 1</i> Origen de la biomasa .....	7
<i>Figura 2</i> Izquierda: café cereza y derecha: partes del café cereza .....	11
<i>Figura 3</i> Etapas del beneficio seco del café .....	12
<i>Figura 4</i> Café pergamino .....	12
<i>Figura 5</i> Cascarilla o cisco de café .....	14
<i>Figura 6</i> Procesos de transformación de la biomasa en energía .....	20
<i>Figura 7</i> Esquematización y rutas del proceso de gasificación.....	25
<i>Figura 8</i> Comparación entre gasificadores Updraft y Downdraft.....	28
<i>Figura 9</i> Sistema de Digestión Anaerobia .....	29
<i>Figura 10</i> Descripción del proceso de la planta de generación de energía eléctrica.....	47

## RESUMEN

La presente investigación titulada “Aprovechamiento de la cascarilla de café para generar energía eléctrica en la planta procesadora Representaciones Mego SRL en Jaén”, es un trabajo científico respaldado por Teorías relacionadas con las variables de la investigación.

Se inicia con un estudio bibliográfico sobre la generación de energía eléctrica, su importancia y fuentes para su obtención, enfocando el estudio en el potencial que posee la cascarilla de café y utilizarlo como fuente de energía renovable para la generación de energía eléctrica en un sistema gasificador/motor de combustión interna.

Seguidamente, se realiza la selección del tipo de gasificador, siendo elegido el tipo Downdraft por presentar ciertas ventajas frente a las demás tecnologías de gasificadores, como: idoneidad para trabajar en rangos de producción de potencia eléctrica de 0.1 y 1 MW, menor producción de alquitranes, es más barato y fácil de usar, además que este tipo de gasificador es el más usado en la generación de energía eléctrica en electrificación rural. La materia prima utilizada es la cascarilla de café y el agente gasificante para las reacciones termoquímicas dentro del gasificador es el aire atmosférico. El gas de síntesis producido en el gasificador downdraft para ser utilizado es acondicionado mediante otros componentes del sistema como un ciclón, un intercambiador de calor, un filtro y un sistema de limpieza con agua. Este sistema es robusto y fiable garantizando la minimización del contenido de alquitranes y partículas, además de proporcionar al motor de combustión interna un gas con una temperatura inferior a 80°C.

Se determinó el potencial energético que posee la cascarilla de café, luego se determinó el consumo promedio diario de energía en la planta procesadora para saber cuánta energía tenemos que suplirla con cascarilla, (cuanto gas producir para accionar el motor de combustión interna y a su vez el generador) y poder cubrir la energía que demanda la planta y vender al sistema la energía sobrante. Para ello se hizo un balance de masa y energía para calcular los equipos del sistema. En el intercambiador de calor determinar cuanta energía se puede recuperar para utilizarlo en otros fines como secado del café.

**Palabras Claves:** biomasa, gasificación, generación.

## ABSTRACT

The present research entitled "Harvesting coffee husks to generate electricity in the processing plant Representaciones Mego SRL in Jaén", is a scientific work supported by theories related to research variables.

It begins with a bibliographical study on the generation of electric power, its importance and sources for its obtaining, focusing the study on the potential that has the coffee husk and use it as a source of renewable energy for the generation of electrical energy in a gasifier system /Internal combustion engine.

Next, the type of gasifier is selected, the Downdraft type being chosen because it has certain advantages compared to other gasifier technologies, such as: suitability to work in power production ranges of 0.1 and 1 MW, lower production of tars, it is cheaper and easier to use, besides this type of gasifier is the most used in the generation of electricity in rural electrification. The raw material used is the coffee husk and the gasifying agent for the thermochemical reactions inside the gasifier is the atmospheric air. The synthesis gas produced in the downdraft gasifier to be used is conditioned by other system components such as a cyclone, a heat exchanger, a filter and a water cleaning system. This system is robust and reliable, guaranteeing the minimization of the content of tars and particles, as well as providing the internal combustion engine with a gas with a temperature lower than 80 ° C.

The energy potential of the coffee husk was determined, then the average daily consumption of energy in the processing plant was determined to know how much energy we have to replace it with scale, (how much gas to produce to drive the internal combustion engine and in turn the generator) and be able to cover the energy demanded by the plant and sell the excess energy to the system. To do this, a balance of mass and energy was made to calculate the equipment of the system. In the heat exchanger determine how much energy can be recovered for use in other purposes such as coffee drying.

**Keywords:** biomass, gasification, generation.

## **I. INTRODUCCIÓN**

Hoy en día nos enfrentamos a deficiencias en el suministro de energía eléctrica, el alto precio y la contaminación que originan los combustibles fósiles tradicionales, nos conducen a la investigación y desarrollo de energías alternativas para cubrir las necesidades básicas de la sociedad.

Entre ellas la biomasa es una de las fuentes que se está promoviendo a nivel mundial como alternativa para la producción de electricidad mediante el uso de tecnologías adecuadas. Entre los principales retos en el Perú tenemos la aplicación de una de estas tecnologías en una planta procesadora de café ubicada en Jaén- Cajamarca, y que constituye el punto central de los cultivos cafetaleros, produciendo cantidades considerables de biomasa susceptible de ser aprovechados para estos fines.

En el beneficio seco del café se produce gran cantidad de cascarilla que se acumula como desecho posibilitando por un proceso de gasificación (generación de gas pobre) la producción de electricidad con un motor de combustión interna y así solucionar problemas socioeconómicos y mejorar la calidad de vida de los trabajadores de la planta y el desarrollo de la provincia de Jaén.

### **1.1. Realidad Problemática**

El aumento de la temperatura en todo el mundo y la baja de las reservas del petróleo han sido determinantes para la búsqueda de otras formas de energía y nuevas fuentes de energía renovable capaces de cubrir la exigencia mundial y la reducción de gases de efecto invernadero, mitigando la contaminación ambiental (Abnisa, y otros, 2013)

#### **1.1.1. Nivel Internacional**

Los mercados en todo el mundo se adecuan a una transición energética: la demanda sube levemente y con ello el mix energético se modifica inclinándose hacia nuevas fuentes más saludables y menos contaminantes logrando que las emanaciones de  $CO_2$  incrementara solo un 0.1 % en promedio, el más bajo desde 1981-83 (BP, España, 2016 parr. 4)

BP Statistical Review informa que el 2016 en todo el mundo los mercados de combustibles fósiles evidencian el cambio a un modelo energético amigable al medio ambiente. Cambios como la disminución en la demanda mundial de energía

y llevar la fuerza de esta demanda a los países con alta tasa de crecimiento poblacional, encabezados por China e India (BP, España, 2016 parr.12)

Se constata también un progreso en la eficiencia energética y una inclinación hacia los combustibles de bajo contenido de carbono dando auge a las energías renovables trascendiendo positivamente en el cambio climático (BP, España, 2016 parr. 13)

La demanda mundial de energía del 2014-2016 se incrementó apenas en 1% que corresponde a casi la mitad del crecimiento promedio de la década pasada (BP, España, 2016 parr. 14)

Este crecimiento débil en la demanda de energía se vio reflejado tan solo en un aumento de 3% del PIB lo más bajo que se ha visto desde el 2002. El menor peso de la industria en el incremento económico, así como la inclinación a una mayor eficiencia y mayor intensidad energética a largo plazo (BP, España, 2016 parr.15)

La mitad del crecimiento mundial en la demanda de energía se evidencio en China con 1.3% y la India con 5.4%, mientras que apenas un 0.2% para los países desarrollados de la OCDE (BP, España, 2016 parr. 16)

Este frenazo del consumo en China dio como respuesta en parte la disminución general de su crecimiento económico y también, en gran medida, el decaimiento especialmente en algunos sectores con mayor intensidad energética en este país, como son el del hierro, el acero y el cemento (BP, España, 2016 parr.17)

Con ello el mix energético a nivel mundial quedo configurado en el 2016 como sigue, con el petróleo y el gas como combustibles dominantes en cuanto a su participación en el consumo de energía primaria con un 33,3%% y un 24,1% respectivamente, seguidos del carbón (28,1%), la generación de energía hidráulica (6,9%), nuclear (4,5%), y las renovables (3,2%) (BP, España, 2016 parr. 18)

### **1.1.2. Nivel Nacional**

El Perú no ha sido ajeno a estas preocupaciones, la demanda nacional de energía y el alza constante de precios de los combustibles tradicionales nos han permitido la exploración de nuevas fuentes amigables al ambiente capaces de cubrir estas expectativas y reducir los contaminantes ambientales.

Según el Ministerio de Energía y Minas (MEM, 2014 pág. 60), en su “Balance Nacional de Energía 2016”, nos manifiesta que el gas natural es utilizado en las centrales de generación térmica, el petróleo industrial y el diésel B5 usado para generación de electricidad, resaltando al gas distribuido como el de mayor relevancia teniendo un 9.4% de incremento en su consumo respecto del año anterior y siendo este el más utilizado en el mercado eléctrico.

(MEM, 2014 pág. 46), En su “Anuario Ejecutivo de Electricidad 2016”, nos dice que, en el 2016, en todo el sector eléctrico peruano, el consumo per cápita fue de 1 446 KWh/ habitante, se produjo 51 700 GWh de energía, siendo consumido solo 45 533 GWh, lo significo el 11,9% de pérdidas. Además se alcanzó a 6 936,5 miles de usuarios, de los cuales 6935.5 representan los usuarios regulados y tan solo 933 los usuarios libres. En cuanto a la potencia instalada y potencia efectiva, éstas llegaron a 14518 MW y 13 643 MW, respectivamente.

(MEM, 2014 pág. 28), En su Resumen “Plan Energético Nacional 2014-2025”, nos pone de manifiesto un 2025 con emisiones contaminantes que fluctuarían entre 81 mil y 92 mil Giga Gramo de dióxido de carbono equivalente (Gg de  $CO_2$  eq.) en todos los sectores, una disminución entre 15% - 10% aplicando una eficiencia energética en residenciales, industria y transporte. Pero si hablamos del proceso de transformación energética las emisiones oscilarían para el mismo año de 41 mil - 51 mil Gg de  $CO_2$  eq.

El (MEM, 2013), en una de sus publicaciones, dio a conocer en abril del 2010 el informe denominado “Energía para un futuro sostenible” elaborado por un grupo de personas conocedoras en temas de energía y cambio climático constituido por el secretario general de la naciones unidas donde resalta como prioridad que toda persona tiene derecho a contar con energía eléctrica para satisfacer sus exigencias de iluminación, teléfono y servicio comunitario, esto se dio en Dinamarca y se espera un resultado positivo hasta el año 2030.

### **1.1.3. Nivel Local**

Las instalaciones de la procesadora de café “Representaciones Mego SRL” ubicada en la ciudad de Jaén tiene un consumo fuerte de energía eléctrica, las altas facturaciones mensuales que se evidencian han permitido la búsqueda de nuevas

alternativas para satisfacer la demanda bajo aspectos económico, social y contribuyendo con el medio ambiente.

Para solucionar este problema y poder autoabastecerse de energía eléctrica, en este proyecto de investigación trabajamos en un estudio sobre el aprovechamiento del potencial de la cascarilla del café que es un residuo que se cuenta en dicha planta y que muchas veces es vendido para ser quemado en ladrilleras o mandado a rellenos sanitarios.

## **1.2. Trabajos Previos**

### **1.2.1. Nivel internacional**

Los caficultores hacen uso del tamo de café secándolo y convirtiéndolo en gasoil generando su propio combustible, En la Universidad de los Andes, en el laboratorio de Energía y mineralización se diseñó un fermentador con una capacidad de 1200 litros, que utiliza pulpa de café con proceso anaeróbico. Determinándose en este proceso un consumo directo de carbono sin agregar algún aditivo para que esto suceda, sólo se determinó una moderada inhibición por sustrato, al aumentar la pureza de pulpa de café (Arenas Castellanos, 2009). Esta propuesta tiene gran importancia ya que el fermentador puede trabajar solo o sin materia orgánica, dado que la producción de pulpa es estacionaria, el sistema diseñado puede funcionar con ambos combustibles, en la adición propuesta, o con uno sólo, de manera independiente. El fermentador puede funcionar con otros sustratos de origen orgánico que se generen en la unidad de producción cafetalera, para garantizar el funcionamiento del equipo durante todo el año. Con el biogás obtenido, se estudió un sistema híbrido de energía, (Arenas Castellanos, 2009).

Los productos gaseosos se obtienen termoquímicamente dando como resultado la gasificación transformando los materiales orgánicos en productos gaseosos, la pirolisis es una reacción de ruptura de cadena convirtiendo la materia orgánica en productos volátiles y gaseosos enriquecidos en carbón.

### **1.2.2. Nivel nacional**

(Bueno, 2006), en sus indagaciones llevadas a cabo en Loreto (selva peruana), plantea el problema de dotación de energía eléctrica a una comunidad rural específicamente en



el departamento de Loreto, analiza alternativas energéticas, hace un estudio de gasificadores de biomasa, sin dejar de lado el aspecto económico, tecnológico y medioambiental.

Como resultado de estudio del bagazo de caña en base húmeda se obtuvo un poder calorífico superior de 13002.28 kJ/kg y un poder calorífico inferior de 12271.87 kJ/kg, se determinó que la gasificación de biomasa es la alternativa más adecuada, con la adquisición de un gasificador comercial, obteniendo a 25°C y 1 bar de presión por kg de sólido un gas de síntesis cuyo volumen de gas (m<sup>3</sup> por kg de sólido) fue de 2447 Nm<sup>3</sup>/kg sólido, resultando un poder calorífico inferior de 4322 kJ/Nm<sup>3</sup> gas.

Como conclusión la gasificación de biomasa aplicada al bagazo de caña de azúcar cumple aspectos de desarrollo humano, económicos, ambientales y tecnológicos. La biomasa abundante en esta zona posee un gran potencial para el desarrollo del país, siendo un combustible de fácil acceso, barato y utilizado tradicionalmente. Además, nos dice que para una aplicación a pequeña escala el tipo de gasificador downdraft resulta el adecuado por ser más barato, contamina menos (alquitranes) y es de fácil operación.

(Vargas, A y Ramírez, J, 2017), en su investigación "Determinación de polos de generación distribuida a partir de biomasa residual agrícola en la región Madre de Dios, Perú", analizaron con un esquema metodológico las zonas electrificadas de la región, centros poblados sin energía, acumulación de residuos de los principales cultivos y la cantidad de energía que puede producir ésta con el uso de opciones tecnológicas para su aprovechamiento.

Como resultado estimaron 6645.08 ton/año para arroz, 7862.37 ton/año para plátano y 5191.20 ton/año para maíz amarillo duro. Además, se calculó una producción energética de 838.86 a 1319.23 KWh/año con gasificadores de lecho móvil y de 317.99 a 897.56 KWh/año con gasificadores de lecho fluidizado. A su vez se cubriría una exigencia de 211.9 MWh/año priorizado a los 5 centros poblados para energización.

Como conclusión se afirma que la región Madre de Dios pone a nuestro alcance un gran potencial energético para satisfacer las necesidades de los moradores de los cinco pueblos establecidos, ya sea por gasificación de lecho móvil (atender a 3945 habitantes) o por lecho fluidizado (1495 habitantes) aproximadamente.

### **1.2.3. Nivel Local**

No hay investigaciones referentes al tema.

## **1.3. Teorías relacionadas al tema.**

### **1.3.1. Generación de energía eléctrica**

(González, 2012), La electricidad proviene de las centrales de generación, según sea la fuente de energía utilizada para el proceso. Estas fuentes pueden ser renovables o no. Las centrales hidráulicas, eólicas, solares, y de biomasa forman parte de las renovables, las cuales se pueden generar de manera natural o artificial. Por otra parte, se encuentran las térmicas y las nucleares que pertenecen a las centrales cuya fuente de energía son no renovables.

#### **a. Importancia de la generación de energía**

(Echevarría, 2017) Acceso universal a la energía: Actualmente, el uso de la energía es muy diferente al de nuestros antepasados. Ahora forma parte de prácticamente todos nuestros aspectos cotidianos como, por ejemplo, el transporte, el confort, la informática, la alimentación, etc.

Por lo tanto, la energía eléctrica es considerada como un servicio básico y esencial para las personas y debe garantizarse a cada una de ellas en todo momento. Además, este servicio es la base para obtener otros derechos básicos. 2 de cada 10 personas en el mundo no tienen acceso a la energía eléctrica.

Con un buen servicio eléctrico se mejora la vida de los usuarios, los quehaceres cotidianos se tornan más sencillos y confortables donde equipos eléctricos como lavadoras, licuadoras, calefacción, neveras, cocinas, secadoras de ropa, nos facilitan sustancialmente las tareas.

#### **b. Tipos de energía para generación eléctrica**

Tenemos entre las principales a la biomasa, a la hidráulica, eólica, solar, entre otras de menos importancia.

Para nuestro caso de estudio nos centraremos en la energía proveniente de la biomasa.

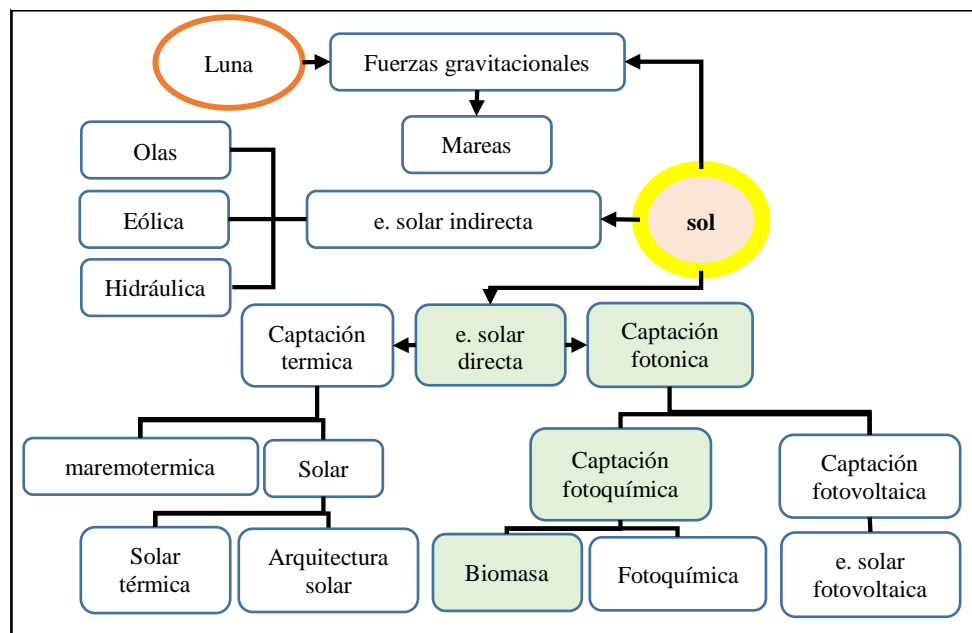
### **1.3.2. Energías renovables: Biomasa**

La energía renovable es la que genera un continuo flujo utilizando fuentes naturales, siendo calculadas como inagotables. (Oviedo-Salazar, y otros, 2015)

El origen de la mayor parte de las energías renovables es el sol, ya sea de forma directa e indirecta. Entre ellas cabe destacar la energía eólica, vientos producidos en la tierra por la diferencia de presiones provocadas por el calor del sol, además este calor origina las lluvias y gracias a ella la energía hidráulica; el cultivo vegetal utilizado para la biomasa también es generada gracias al sol por medio de la fotosíntesis, y por último utilizar la energía del sol de forma directa y como fuente principal (Merino, 2007).

Los residuos agrícolas forman lo que llamamos biomasa secundaria y procede de los cultivos como el café (pajilla, tallos, etcétera), trigo, algodón, arroz, y por los residuos de procesos industriales como el bagazo de la caña de azúcar así como también la cascarilla de arroz. (Hurtado Rengifo. , 2016). En la figura 1 se describe el origen de las energías renovables en especial la biomasa.

Figura 1 Origen de la biomasa



Fuente: Carta, Calero, Colmenar y Castro (2009)

Apuntaré mi estudio en la biomasa, recurso que se forma aprovechando los rayos del sol. Esto se da por un procedimiento fotosintético, es decir las células de las plantas con clorofila transforman los minerales, nutrientes del suelo y el dióxido de carbono del aire en materia orgánica rica en energía. La energía en forma de carbono (C) acumulada en la biomasa puede ser aprovechada y transformada en energía

eléctrica, térmica o bio-carburantes, liberándola de nuevo en forma de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

### 1.3.3. Clasificación de la biomasa

Cuando nos referimos a biomasa estamos hablando de materia viva con capacidad de aportar gran cantidad de energía para generar electricidad y calor así como también sustancias químicas (biocombustibles) para el beneficio del hombre.

Según su origen clasificamos a la biomasa:

**a. Biomasa natural:**

Es la materia orgánica que se genera de forma natural es decir sin la participación humana, como por ejemplo las ramas, hojas, frutos, semillas que se caen a causa de las estaciones del año. Este tipo de biomasa por estar dispersa puede llegar a ser económicamente no viable para proyectos de generación de energía.

**b. Biomasa residual:**

Son los residuos generados por la intervención del hombre: actividades ganaderas, agrícolas, industriales y de transformación de madera (Arevalo, 2015).

**c. Cultivos con finalidad energética:**

Son cultivos destinados exclusivamente para la producción de bio-carburantes y producción de calor, tal es el caso del girasol.

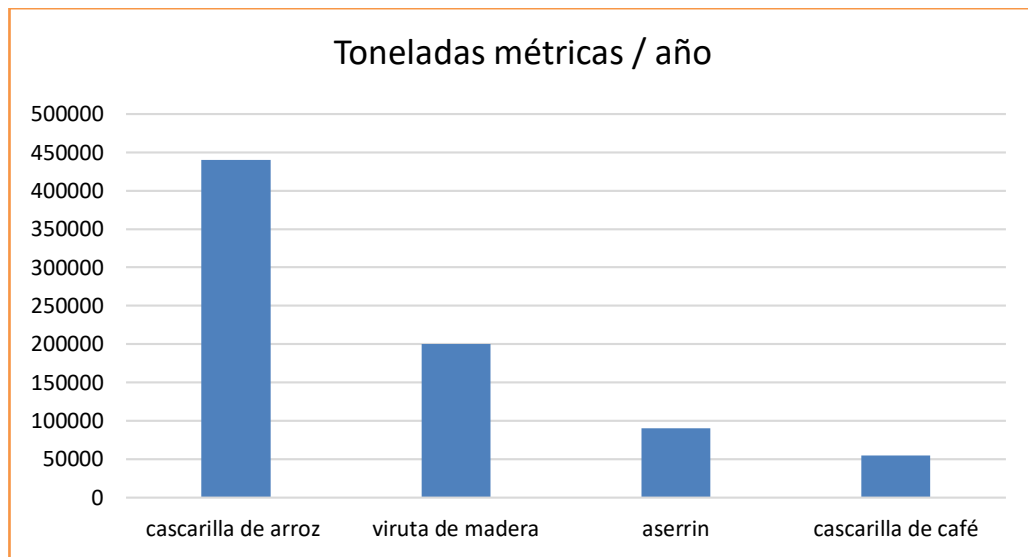
La biomasa según su tipo de residuo se clasifica en:

- **Biomasa residual de orden primario:** se originan con los cultivos y explotación forestal, es decir la maleza extraída en la limpieza de cultivos y también son los remanentes de la misma plantación después de la cosecha. Entre estos tenemos los herbáceos como tallos, pajas, plantas, etc., y la biomasa leñosa como las ramas, residuos de poda, etcétera) (Arevalo, 2015).
- **Biomasa residual de orden secundario:** estos residuos son generados por procesos industriales de alimentos de cosecha en alimentos procesados. Esta biomasa se encuentra disponible y de forma abundante en plantas industriales de alimentos, madera, papel y bebidas (Hurtado Rengifo. , 2016)

En el Perú las industrias de alimentos, granjas, industrias madereras, generan gran cantidad de desechos (biomasa secundaria) que es la principal fuente de biomasa potencialmente aprovechable que corresponde a más de 11 600 000 toneladas métricas/año, conformado principalmente por 440 000 TM de cascarilla de arroz, 200

000 TM de viruta de madera, 90 000 TM de aserrín y 55 000 TM de cascarilla de café como se muestra en la tabla 1. Los residuos de biomasa secundaria contienen en promedio 13 000 KJ/Kg (Hurtado Rengifo. , 2016)

*Tabla 1*  
Generación de residuos



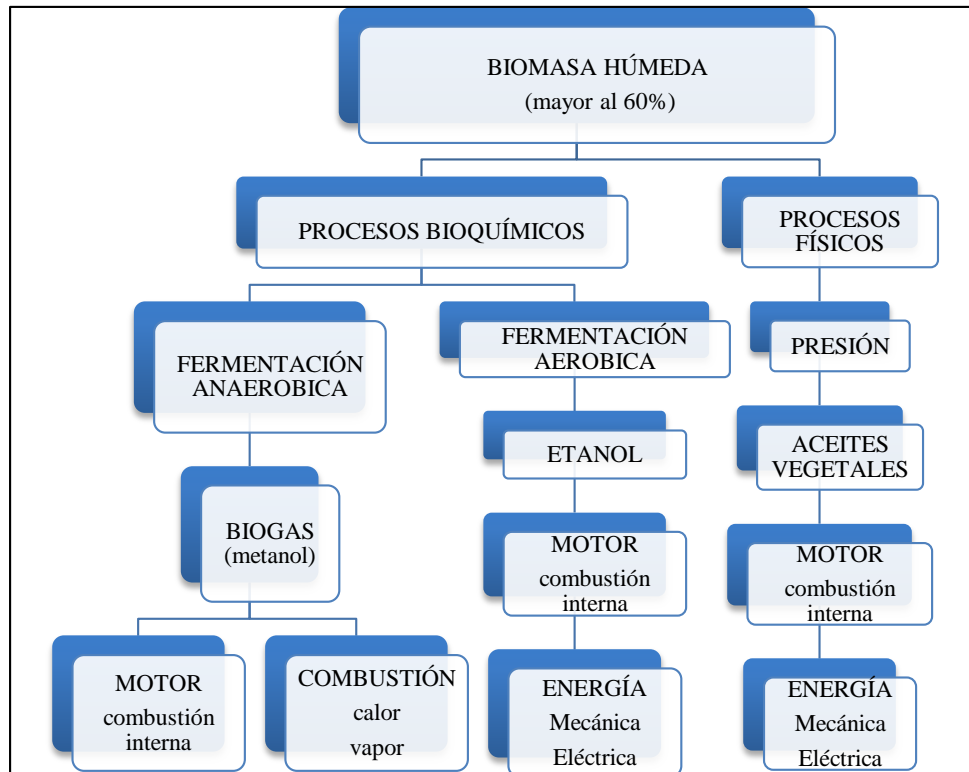
*Fuente:* Hurtado Rengifo, 2016

- **Biomasa residual de orden terciario:** son originados cuando la biomasa ha perdido por completo su valor de consumo, a este grupo corresponde la basura, aguas negras, maderas sobrantes de construcciones.

Con las distintas clasificaciones mencionadas de biomasa, consideramos a la cascarilla o cisco de café entre las del tipo biomasa natural y residual secundario porque el grano primeramente es despulpado, secado y llevado a un molino antes de dar la cascarilla como subproducto. A continuación, hablaremos sobre el café, cómo se produce la cascarilla y qué características tiene.

Tabla 2

Procesos bioquímicos y físicos de conversión de biomasa en energía

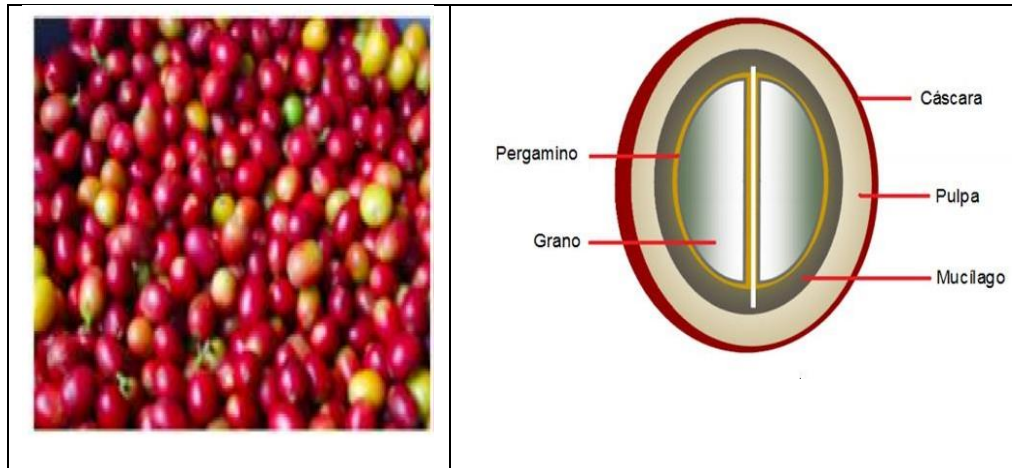


Fuente: Couto et al., 2013

#### 1.3.4. Café

La especie arábica (*coffea arábica*) es el café que se cultiva en esta región del Perú, entre sus variedades tenemos típica, caturra, catimores y bourbón. Es un arbusto que produce en zonas tropicales, cuyos granos de café están contenidos en ella. Estos granos al alcanzar la madurez adquieren un color rojizo (figura 2) al que se conoce como cereza, consta de una delgada capa que cubre el tejido celular dulce (pulpa) y el interior contiene las semillas, cubiertos con una fina lamina de tejido orgánico llamada pergamino o cascarilla. El grano es la parte del fruto que una vez tostado y molido se consume como bebida.

Figura 2 Izquierda: café cereza y derecha: partes del café cereza



Fuente: CENICAFE

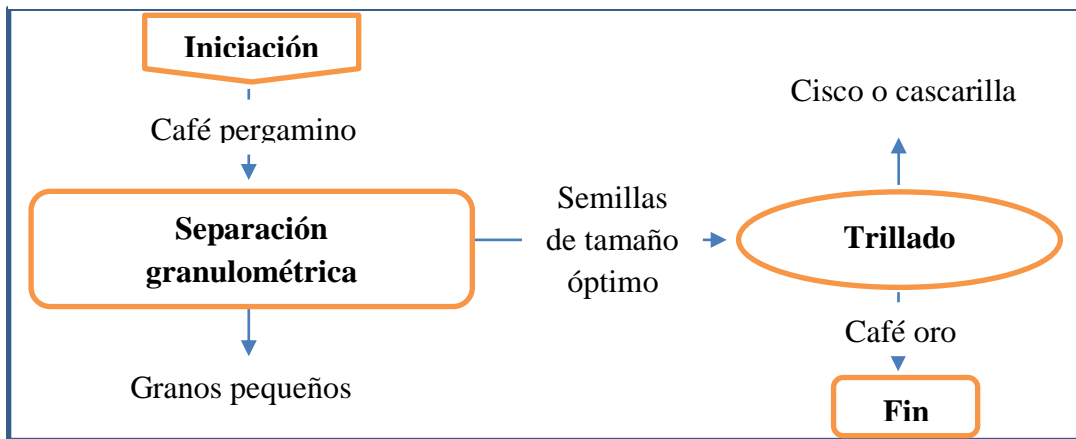
### 1.3.5. Residuos de la producción de café

Los residuos se generan en distintos procesos de la cadena productiva del café, estos son:

- ✓ Producción del fruto
- ✓ Despulpado del café
- ✓ Beneficio seco del café
- ✓ Proceso de manufacturación del grano

El residuo llamado cisco o cascarilla que es lo nos interesa para este tema de estudio, se genera en una etapa del proceso de beneficio seco del café. La figura 3, muestra estas etapas.

Figura 3 Etapas del beneficio seco del café



Fuente: elaboración propia

Los granos ya despulpados (café pergamino) figura 4, abordan la procesadora donde se determina en primera instancia su humedad, si ésta es menor del 10% pasa directamente al proceso, sino se aplica un secado inicial hasta que cumpla este parámetro. Luego los granos pasan hacia una tolva y de ahí hacia una zaranda que se encarga de eliminar los objetos extraños que pueda tener, posteriormente estos granos suben hacia el depósito del molino mediante bandas transportadoras y comienza la operación de molinaje, el grano limpio va hacia un segundo depósito para luego ser clasificado, pesado y almacenado en sacos; por otra parte, cuando se separa el grano de la cascara una criba impide que se mezclen estos y un extractor acoplado al molino se encarga de la separación en sí.

Figura 4 Café pergamino



Fuente: CENICAFE



En el proceso de base seca, el café genera los siguientes subproductos, la tabla 3 nos detalla a continuación:

*Tabla 3*  
Composición del grano en base seca

<b>ETAPAS DEL GRANO</b>					
	<b>Café Cereza</b>		<b>Café Pergamino</b>	<b>Café Oro</b>	
<b>composición</b>	pulpa seca	mucilago	cascarilla	agua y volátiles	grano
<b>% del grano en base seca</b>	29%	4%	12%	16%	39%

*Fuente:* INCAP

INCAP: Instituto Nacional de Nutrición de Centro América y Panamá, en la tabla 3 muestra el valor del peso en porcentaje que se obtiene de 120 kg de café hasta el proceso de tostado. En cuanto al café industrializado solo el 9.5 % del grano se aprovecha para la preparación de la bebida, algo más del 90 % se desperdicia.

### **1.3.6. Cascarilla de Café como alternativa energética**

La cascarilla de café (figura 5), representa el 12% del grano en base seca, es rica en celulosa, lignina, sílice, pentosanos y cenizas entre otros. La cascarilla o pergamino es la capa que envuelve al grano después de la parte mucilaginosa (AKHTAR, 2012).

*Figura 5* Cascarilla o cisco de café



*Fuente:* INCAP, 1978

Como parte del estudio en la planta procesadora, se pudo constatar que este residuo del proceso no se utiliza y que se genera aproximadamente un 23% de cascarilla por masa de café bruto procesado.

En algunos lugares de Jaén la cascarilla se emplea como combustible para el quemado del ladrillo y como también en algunas viviendas de campo. Además, en algunas fincas, estos residuos son combustionados con la finalidad de crear un ambiente con temperatura adecuada para ayudar al secado del grano.

Para aprovechar la cascarilla de café como fuente de energía es necesario conocer sus propiedades bioquímicas, físicas y químicas, para determinar el sub producto energético.

### **1.3.7. Propiedades bioquímicas de la cascarilla de café**

El pergamino o cascarilla es el residuo más importante del beneficio seco del café. Su composición se muestra en la tabla 4.

Tabla 4

Composición de la cascarilla de café

<b>componentes de la cascarilla de café: % (peso en base seca)</b>					
<b>carbohidratos</b>	proteínas	grasas	cafeína	taninos	pectinas
<b>57.8</b>	9.2	2	1.3	4.5	12.4

Fuente: Ashok, Pandey, Soccol y Nigam, 2000

La composición de la cascarilla puede variar según tipo de suelo o variedad de café. La cascarilla contiene 1.3% de cafeína, estimulante natural más poderoso, mientras los taninos representan el 4.5%, que son sustancias que complican el uso de este producto para alimentación animal. La celulosa y lignina corresponden a los carbohidratos los cuales favorecen su incineración directamente.

La biomasa residual agrícola no es aprovechada por los agricultores la primera razón es por desconocimiento de su gran potencial energético y la segunda porque entorpece las faenas agrícolas. Esta abundante diversidad de biomasa y la facilidad de adecuación de las tecnologías actuales hacen posible el uso de la biomasa para cubrir con las exigencias de electricidad en trabajos industriales.

### **1.3.8. El cisco de café (cascarilla) y sus propiedades físicas**

Una de las propiedades físicas es su poder calorífico, además unos ensayos (análisis inmediato), realizados en estufas y hornos de mufla, dispuestos en un laboratorio, determinan valores cuantificados de contenido de humedad, cenizas, materia volátil, y densidad de la cascarilla de café.

#### **A. Poder calorífico**

Expresa la cantidad de energía que puede liberar un kilogramo de combustible sólido al oxidarse completamente. Una bomba calorimétrica adiabática, a volumen constante determina el valor del poder calorífico superior (PCS), que es el calor de condensación del agua producto de la combustión. Como el calor de vaporización del agua se pierde

entonces el poder calorífico inferior (PCI) se determina a partir del PCS restándole el calor latente del agua (Hurtado Rengifo. , 2016)

El poder calorífico depende de la humedad, contenido en peso de las cenizas, materiales volátiles y el carbono fijo (Hurtado Rengifo. , 2016)

#### **B. Contenido de humedad**

El agua contenida en la biomasa es cuantificada como porcentaje en peso.

La cantidad de agua contenida, influye en el poder calorífico del combustible, por eso para un proceso de gasificación es recomendable hasta un 15% de contenido de humedad reduciendo las pérdidas de calor por evaporación. (Huaraz Choi, 2013)

En el Perú el contenido de humedad de la cascarilla de café es de 6.8%, y el poder calorífico con calentamiento de la cascarilla (incremento en un 16%) es de 4653 kcal/kg (19468 KJ/kg) (Hurtado Rengifo. , 2016)

#### **C. Contenido de cenizas**

Es el residuo sólido no quemado que se produce en una combustión completa del combustible, las cenizas además de no aportar calor absorben calor sensible disminuyendo el poder calorífico del combustible (Hurtado Rengifo. , 2016)

Se recomienda un 5% a 6% de contenido de cenizas en la biomasa para que los gasificadores operen sin ningún problema y la formación de escoria no sobrepase el rango de 6% - 12% que depende del punto de fusión. A partir de 12 % de formación de escoria genera un aumento en la generación de alquitranes y el bloqueo del reactor. (Huaraz Choi, 2013)

En el Perú el contenido de ceniza es de 4.3%. (Hurtado Rengifo. , 2016)

#### **D. Contenido de materia volátil**

Son fracciones de la biomasa que se generan en la combustión a temperaturas entre 400°C a 500°C, a esta temperatura del proceso el combustible sólido (biomasa) se transforma en cenizas (sólidos volátiles), gases (metano, acetileno), hidrocarburos, agua en forma de vapor y breas; estos dos últimos dependen del tipo de gasificador, por eso para evitar que el flujo de aire tenga alguna obstrucción en las tuberías, se recomienda el uso de un gasificador del tipo Downdraft, si es que la biomasa contiene un porcentaje mayor al 10% de materia volátil. De lo contrario la formación de corrosivos y breas será inevitable y el flujo de gas generado será restringido. (Huaraz Choi, 2013).

En el Perú la cascarilla de café contiene 82% de materia volátil. (Hurtado Rengifo. , 2016).

### E. Densidad aparente

Se refiere al peso de la materia por unidad de volumen. Al igual que la humedad, la densidad aparente varía desde 150 a 200 kg/m<sup>3</sup> de paja y virutas de cereal hasta 600 a 900 kg/m<sup>3</sup> para madera sólida. La densidad y el poder calorífico favorecen la relación energía / unidad de volumen de biomasa.

Combustible con alta densidad representa alto valor energético por volumen, por lo que es posible utilizar equipos de menor tamaño, menor volumen de acumulación en los depósitos y menos costos en el transporte. Una baja densidad produce bajo caudal y bajo poder calorífico del gas obtenido (baja calidad).

La densidad, contenido de humedad, tamaño, distribución granulométrica y modo de carga del combustible (compacto o no), nos da una idea grosso modo del tamaño del horno y tolva que se debe utilizar. (Huaraz Choi, 2013)

La densidad de la cascarilla de café es de 0.33 g/cm<sup>3</sup> (330 kg/m<sup>3</sup>) (Palacios, Luis; Betancurt, Eduardo, 2005)

### 1.3.9. Propiedades químicas de la cascarilla de café

Tabla 5

Análisis elemental de algunos combustibles (biomasa) en base seca

combustible	Carbón (%)	Hidrogeno (%)	Sulfuro (%)	Nitrógeno (%)	Cloruro (%)
<b>cascara de cebada</b>	51.11	6.78	0.03	3.68	0.02
<b>cascara de café</b>	49.03	5.95	0.05	0.49	0.01
<b>viruta de madera</b>	51.72	6.03	0.05	0.05	0.01

Fuente: Rengifo, 2016

Con un análisis elemental se obtiene las propiedades químicas del combustible representado su contenido en porcentaje en masa de carbono (C), hidrogeno (H), azufre

(S), oxígeno (O), nitrógeno (N), y cenizas, valores importantes para calcular volúmenes de aire, gases y entalpía. El C, H, O, determinan el poder calorífico del combustible, el contenido de nitrógeno (N) forma óxidos de nitrógeno (NO y  $NO_2$ ) llamados  $NO_x$ . El azufre presente en pequeñas cantidades forma el dióxido de sulfuro ( $SO_2$ ) y ácido clorhídrico (HCL) durante la oxidación. (Huaraz Choi, 2013)

Los  $NO_x$  estimulan la generación de las lluvias acidas. El contenido de nitrógeno depende del tipo de biomasa, algunas de ellas como las cascarillas, mazorcas y tallos tienen un bajo contenido del mismo y dependiendo de la temperatura en un proceso de gasificación estas emisiones se reducen aún más comparados con los sistemas de combustión (Huaraz Choi, 2013)

Seguidamente se menciona las concentraciones máximas de nitrógeno, cloro y azufre y valores de la composición elemental de la cascarilla de café.

*Tabla 6*  
Máximas concentraciones de cloro, azufre y nitrógeno

elemento	Concentración (%)	consecuencias
<b>Nitrógeno</b>	<0.6	emisiones de $NO_x$
<b>Cloro</b>	<0.1	corrosión
	<0.1	emisión de HCL
<b>Azufre</b>	<0.1	corrosión
	<0.2	emanación de $SO_x$

*Fuente:* Obernberger, 2006

### 1.3.10. Procesos para aprovechar la biomasa

La conversión de residuos en energía, conocido como bioenergía, abarca un extenso conjunto de variedades de fuentes de biomasa, fases de conversión e infraestructura dependiendo del uso que se le quiere dar a la energía final. Como ya habíamos hablado la biomasa puede obtenerse de diferentes fuentes ya sea cosechas, cultivos energéticos, residuos orgánicos, cualquiera sea el caso la biomasa requiere ser cosechada, recolectada transportada y almacenada en el lugar donde se desea ser aprovechada energéticamente.

Aspectos técnicos como cantidades de biomasa disponible, cantidad de energía que contiene, características físicas y químicas; aspectos ambientales y aspectos sociales como la aceptación de los usuarios, son trabajos complejos para el aprovechamiento de los residuos biomásicos (Hurtado Rengifo. , 2016)

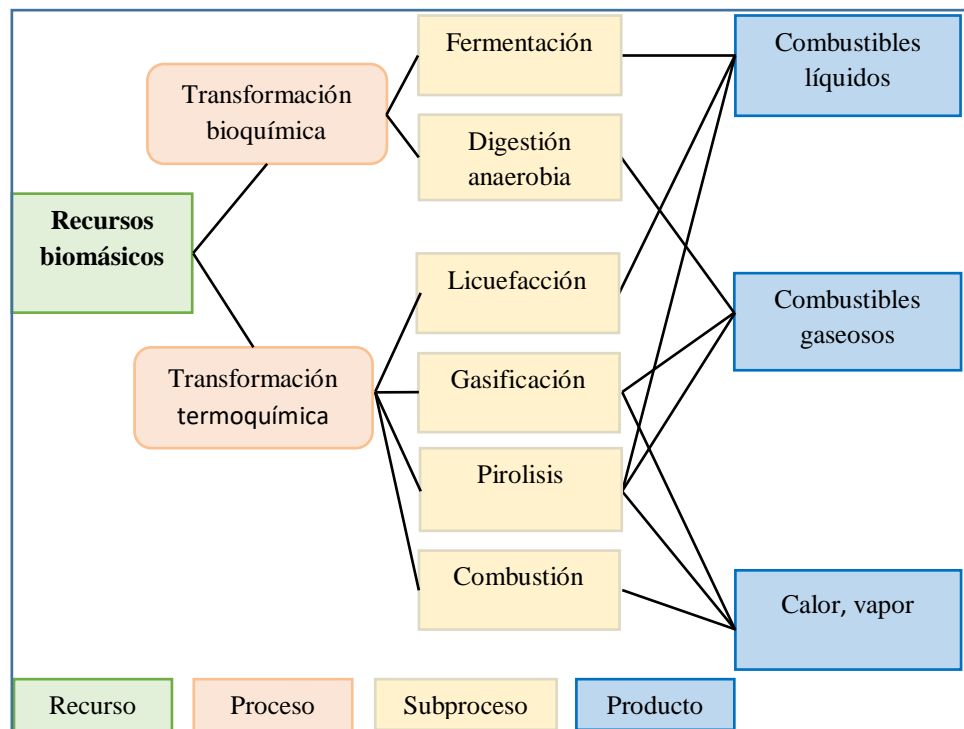
Usando distintos procesos es posible transformar la biomasa en formas útiles de energía, teniendo en consideración ciertos factores influyentes como variedad y magnitud de residuos que se tiene al alcance, la utilización que le vamos a dar a la energía obtenida, parámetros del ambiente a los cuales se sujeta esta investigación de generación limpia y sin dejar de lado las condiciones económicas. Normalmente el uso final que se dará a la energía obtenida es lo primero que se establece para fijar el plan de acción a seguir del proyecto de investigación. (McKendry, 2002)

Con la transformación de residuos orgánicos se puede obtener diferentes sustancias utilizables para:

- Producir calor y potencia.
- Hacer funcionar motores de combustión interna.
- Producción de productos químicos que no tienen nada que ver con las dos anteriores.

Para resultados positivos de esta indagación innovadora, las tecnologías de aprovechamiento energético la clasificaremos en transformación termoquímica (combustión, pirolisis, gasificación licuefacción) y transformación bioquímica cuyo método como la fermentación y la digestión anaerobia posibilitan la extracción de combustibles líquidos y biogás. Con la figura 6 se aclara un poco más las sustancias que se obtiene con las diferentes tecnologías aplicadas.

Figura 6 Procesos de transformación de la biomasa en energía



Fuente: Mckendry, 2002

Seguidamente hablaremos de estos procesos.

### 1.3.11. Procesos termoquímicos

Entre estos tenemos la combustión, la pirolisis y la gasificación. (Patiño M, 2014)

#### a. Combustión

La combustión es una reacción química, en la cual se oxida un combustible para liberar energía en forma de calor (reacción exotérmica). En este proceso termoquímico la cantidad de oxígeno determinara si la combustión es completa produciendo principalmente  $CO_2$  y  $H_2O$ , o puede ser insuficiente para oxidar la materia orgánica del combustible produciendo CO (Peña, y otros, 2017)

La combustión de biomasa alcanza temperaturas entre 800-1000 °C y es utilizada para generar calor como las estufas, producir energía eléctrica como



las turbinas acopladas a un generador y trabajo mecánico como las turbinas a vapor. Esto es posible solo si la biomasa tiene una humedad inferior al 50%, de lo contrario tendría que tener un secado previo para cumplir la condición. La biomasa con humedad superior es más provechosa en procesos bioquímicos (McKendry, 2002)

La combustión de biomasa es usada en calentadores domésticos con eficiencias hasta el 70%. Sin embargo, para la generación de electricidad, la biomasa es quemada en una caldera (hasta 1MW) para producir vapor y este a su vez accionar una turbina, tecnología con lo que se alcanza una eficiencia entre 20% - 40% (McKendry, 2002)

Los gases producto de la combustión son utilizados para:

- ❖ Generación de calor para calefacción y cocción de alimentos.
- ❖ Calentar agua en zonas frías.
- ❖ Generación de vapor y producción de electricidad utilizando turbinas y un generador.

En la tabla 7 se muestra diversas tecnologías para combustión de biomasa con sus ventajas y desventajas además de sus principales aplicaciones.

Tabla 7  
Tecnologías para combustión de biomasa

<b>tecnologías de combustión</b>					
	<b>estufas y calderas</b>	<b>horno de parrilla</b>	<b>combustión de partículas muy pequeñas</b>	<b>lecho fluidizado burbujeante (BFB)</b>	<b>lecho de fluido circulante (CFB)</b>
<b>aplicaciones</b>	generación de calor, hasta 6MWh	Incineración de basura, se puede producir hasta 20-30MWe.	se aplica solo en instalaciones con abundante biomasa (aserrín o polvo)	utilizada en plantas de gran capacidad de producción, recibe diversos combustible y produce hasta 20MWh.	utilizada en plantas de grandes producciones, acepta diversos combustibles y produce hasta 30MWh.
<b>ventajas</b>	sencillo de controlar, bajo costo	resistencia a la escoria, bajo costo de proceso	alta eficiencia, fácil de controlar la carga de biomasa, emisión de óxidos nitrosos en bajas	Alta eficiencia, flexible al contenido de humedad en la biomasa, baja emisión de óxidos nitrosos.	buena eficiencia, flexible al contenido de humedad en la biomasa y bajas emisiones de óxidos nitrosos,
<b>desventajas</b>	Alta cantidad y calidad en la alimentación de combustible.	Dificultad en la mezcla de combustibles, genera emisiones contaminantes por una combustión no homogénea.	proporciones funciona solo con biomasa pelletizada y necesita un revestimiento especial para el horno de combustión	Infraestructura y operación costosa, emisión de gases con alto contenido de partículas y cenizas. La escoria maltrata los componentes.	Infraestructura y operación costosa, emisión de gases con alto contenido de partículas y cenizas. La escoria causa oxidación de tuberías. Ineficiente con baja alimentación de residuos.

Fuente: Faaij, 2004

Utilizar la combustión aprovechando biomasa es ampliamente aceptada para la generación de calor, pero para generación eléctrica de gran potencia e inversión su potencial es limitada.

## **b. Pirolisis**

Transforma la biomasa en subproductos energéticos, o sea se descompone la biomasa con calor externo y sin la presencia de oxígeno (Peña, y otros, 2017)

Como resultado de la pirolisis se obtiene carbón, bio-aceites, agua y alquitranes, además de algunos gases como CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>. La distribución de los productos se ve afectada por parámetros operacionales tales como la velocidad de calentamiento, presión, componentes de materia prima, temperatura final (Miandad, y otros, 2017).

La pirolisis lenta produce principalmente productos solidos (carbón) y la de hidrocarburos de alto peso molecular (alquitranes) inconveniente técnico en la fase gaseosa del proceso de gasificación (Basu, 2010)

La pirolisis es usada para producir biocombustibles especialmente con la técnica bio-flash, generando bio-crudo de una manera eficiente incluso superior al 80%. Estos lípidos extraídos son usados en motores alternativos, pero su poca estabilidad térmica y poder corrosivo dificulta su producción.

## **c. Gasificación**

Consiste en la descomposición térmica por medio de la oxidación parcial, utilizando un gasificante a temperaturas entre 700- 900 °C, para conseguir un combustible con poder calorífico bajo como es el gas de síntesis. (Romero Salvador, 2010)

La gasificación degrada toda la materia orgánica convirtiendo al carbono (C) que está presente en los residuos orgánicos en un gas conformado por monóxido de carbono, hidrogeno, dióxido de carbono, metano y agua (Uribe Soto, y otros, 2017). Este gas tiene un poder calorífico de 4-6 MJ/Nm<sup>3</sup> (McKendry, 2002b)

La biomasa tiene algunas características que influyen directamente en el proceso de gasificación como el clima, y características intrínsecas y su naturaleza (McKendry, 2002c). Las propiedades fisicoquímicas que deben determinarse son: estructura celular, análisis próximo, análisis elemental, poder calorífico, se explica con detalles en la tabla 8:

Tabla 8

Propiedades fisicoquímicas que influyen en el proceso de gasificación

PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS QUE INFLUYEN EN EL PROCESO DE GASIFICACIÓN		
ANÁLISIS PRÓXIMO	<b>humedad</b>	entre 10 % y 20 % para los procesos termoquímicos, es decir la biomasa debe estar parcialmente seca antes de ingresar al gasificador para evitar un mayor gasto
	<b>materia volátil</b>	permite estimar el porcentaje de material orgánico que puede reaccionar durante el proceso termoquímico
	<b>cenizas</b>	representa el material inorgánico de la biomasa que no reacciona
ANÁLISIS ELEMENTAL	cantidad de carbono, hidrogeno, nitrógeno, azufre y oxígeno presente en el material orgánico de la biomasa	
ESTRUCTURA CELULAR	cantidad de celulosa, hemicelulosa y lignina que contiene la biomasa	a partir del conocimiento de la composición de la estructura celular de la biomasa se puede viabilizar un tipo de conversión energética

*Fuente:* Elaboración propia

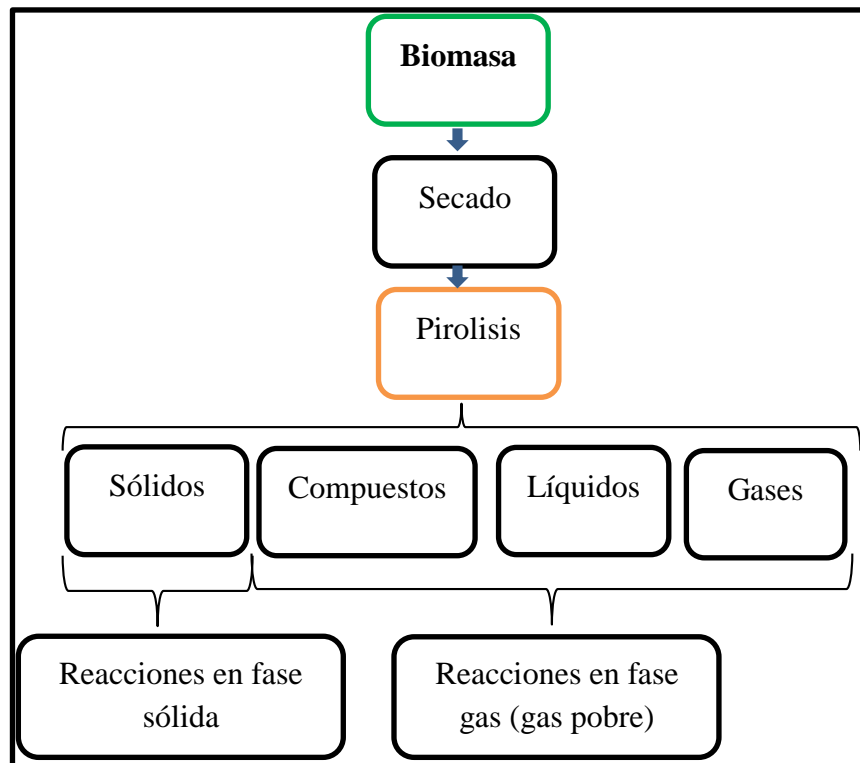
Cabe señalar que el gas producido por la gasificación de la biomasa contiene impurezas y tóxicos, debiendo ser purificado primero para su posterior combustión.

El gas de biomasa produce emisiones con porcentaje cercano a cero, por eso es utilizado para la generación de energía a través de motores y turbinas de gas y calentadores de agua.

La gasificación se da por una serie de procesos en la secuencia que sigue: secado de biomasa, calentamiento, descomposición térmica (combustión y pirolisis) y finalmente la gasificación (SCOZZINA, 2018).

En la figura 7 se muestra una esquematización del proceso de gasificación:

Figura 7 Esquematación y rutas del proceso de gasificación



Fuente: Scozzina, 2018

Zona de secado: la biomasa ingresa por la parte superior del gasificador donde el calor transferido desde la zona inferior del gasificador remueve el contenido de agua a una temperatura superior a 100°C.

La descomposición térmica o pirolisis: el intenso calor (350°C) con ausencia de aire hace que el material se rompa y se descomponga en una mezcla sólido, líquido y gas. El Char o residuo carbonoso corresponde a la parte sólida, y los líquidos debido a la presencia de vapores condensables y alquitranes se llama tar.

Combustión (oxidación): se produce una reacción de oxidación con la intervención de un agente gasificante los cuales son exotérmicos (reacción química que desprende luz y calor), manteniendo el calor necesario para el proceso térmico.

Tabla 9  
Reacciones típicas de gasificación de biomasa

proceso	reacción
<b>combustión</b>	$C + \frac{1}{2}O_2 = CO$ $C + O_2 = CO_2$
<b>pirolisis</b>	$4 \cdot C_nH_m = m \cdot CH_4 + (4n - m) \cdot C$
<b>gasificación</b>	$C + CO_2 = 2 \cdot CO$ $C + H_2O = CO + H_2$ $C + 2 \cdot H_2 = CH_4$
<b>reacciones en fase de gas</b>	$CO + H_2O = CO_2 + H_2$
<b>metanización</b>	$CO + 3 \cdot H_2 = CH_4 + H_2O$

Fuente: Bauen, 2004

### 1.3.12. Tipos de gasificadores

Tenemos principalmente los gasificadores rotatorios, de lecho fluidizado, y los gasificadores de lecho fijo, dentro de este último tenemos los gasificadores en equicorriente (downdraft) o en contracorriente (updraft).

- **Gasificadores rotatorios:** la biomasa troceada es suministrada por la parte superior del gasificador, y el aire con o sin vapor por la parte inferior (de manera opuesta) para lograr una reacción en contracorriente, descargando las cenizas por el lado opuesto al de carga de la biomasa. El rendimiento térmico es aceptable, pero debido a la temperatura baja en que salen los gases se produce aceites por destilación y alquitranes.
- **Gasificadores de lecho fluidizado:** operan a 800-900°C, el sólido es suministrado por la parte lateral del gasificador, y los agentes gasificantes por la parte inferior suspendiendo las partículas durante la reacción. El gas generado sale con partículas de sólido sin quemar y las cenizas se recogen en la parte inferior. Con un diseño de gasificador más avanzados se logra recircular estas partículas al lecho produciendo un volumen de gas mayor a los de lecho fijo que

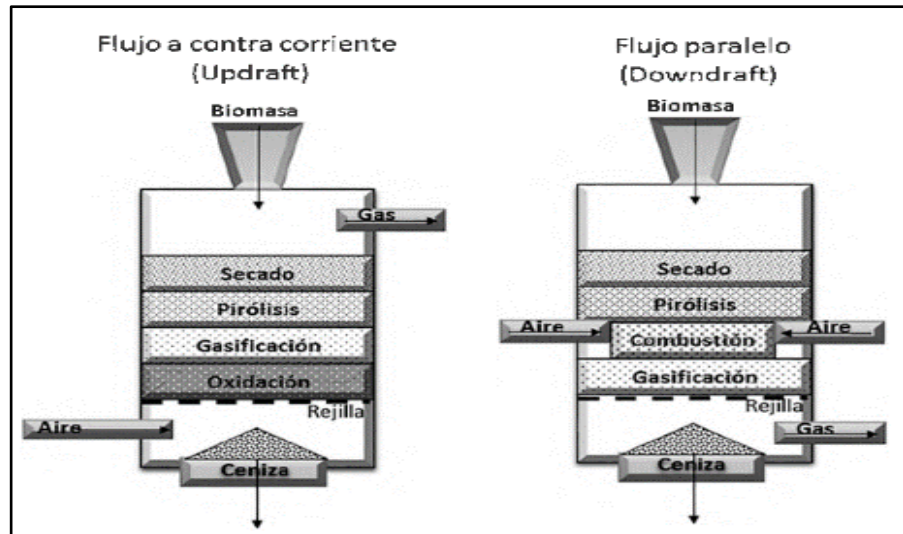
se traduce en un menor costo, pero no son económicamente viable a pequeña escala.

Los gasificadores de lecho fluidizado operan con buena transferencia de calor y materia, expulsando los gases a temperatura elevada lo que obliga a ser cuidadosos en la recuperación de calor para mantener una temperatura constante en el sistema. Como ventajas tenemos la factibilidad de usar biomasa con alto contenido de humedad y la baja producción de alquitranes, haciéndolo viable para aplicaciones a gran escala. Como desventaja, el sistema es demasiado caro, complicado y difícil modo de funcionar.

- **Gasificadores de lecho fijo:** En este tipo, el sólido es suministrado por la cabeza del gasificador y las cenizas por la parte inferior del lecho. Se utiliza aire, oxígeno o vapor de agua como medio gasificante. Estos se clasifican a su vez en flujo en contracorriente y flujo paralelo.
- **Gasificadores de lecho fijo en contracorriente (Updraft):** En este tipo el sólido entra por la parte superior y baja lentamente en contracorriente con el gas que se produce al ingresar los agentes gasificantes. Conforme baja lentamente el sólido es calentado hasta llegar a la cámara de combustión donde alcanza su máxima temperatura, la cual es controlada mediante inyección de vapor. Como ventajas, este sistema es simple y acepta biomasa hasta un 60% de humedad. Como desventaja, esta tecnología produce un gas con alto contenido de alquitranes, siendo aceptable para usos térmicos, pero no para aplicaciones energéticas donde la exigencia de un gas limpio es fundamental.
- **Gasificadores de lecho fijo o en flujo cruzado (Downdraft):** La biomasa ingresa por la parte superior y con un aumento progresivo de la temperatura experimenta procesos de secado y pirolisis. Esta conducción del calor se origina en la parte inferior mediante una combustión parcial (deficiencia de oxígeno), llegando a la mitad del reactor donde se produce la oxidación completa, y el gas que se obtiene sale por la parte inferior.

Como ventaja esta tecnología produce bajos contenidos de alquitranes y en otros condensables. Como desventaja la biomasa debe ser secada hasta obtener menos del 20% de humedad antes de ingresar al gasificador, y como segundo punto, el gas obtenido del proceso es de bajo poder calorífico.

Figura 8 Comparación entre gasificadores Updraft y Downdraft



Fuente: Peña, 2017

En un gasificador de corriente paralela (Updraft) los gases liberados en la etapa de pirolisis y gasificación pasa necesariamente por la parte de alta temperatura en la zona de oxidación, mientras que el de corriente paralela (Downdraft) los gases producto de la pirolisis ingresan primero a la zona de combustión y luego a la zona de reducción, logrando de esta manera un buen quemado de los gases de pirolisis y reducción del contenido de alquitranes formados al pasar a la zona de gasificación.

### 1.3.13. Procesos bioquímicos

En este proceso intervienen agentes biológicos para la transformación de la biomasa en un combustible de uso directo. Entre estos procesos tenemos la gasificación por digestión anaerobia y fermentación.

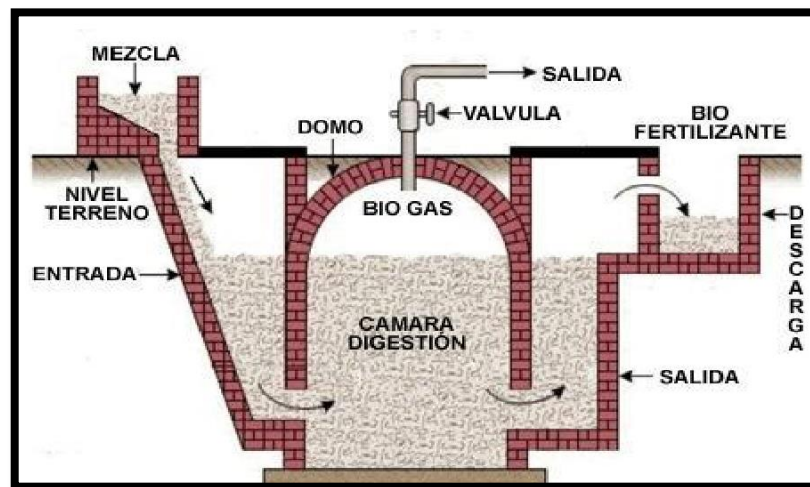


### a. Digestión anaerobia

Esta forma de descomposición de la materia se da con ausencia de oxígeno y con el metabolismo de unas bacterias hasta una temperatura de 30 °C, esta degradación de la materia orgánica ocurre en tres etapas, que son la hidrólisis - Acidogenesis, homoacetogenesis - acetogenesis, metanogenesis. El principal producto de la digestión anaerobia es el biogás, una combinación de metano (CH<sub>4</sub>), bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y bajas proporciones de hidrogeno (H), sulfuro de hidrogeno (SH<sub>2</sub>) y nitrógeno (N).

En la figura 9 muestro un gasificador de biomasa para digestión anaerobia:

Figura 9 Sistema de Digestión Anaerobia



Fuente: Asignatura Producción Limpia

El biogás obtenido es usado en combustión directa, motores a gas, y en turbinas, es posible mejorar sus propiedades cercanas a los hidrocarburos de uso doméstico utilizando otras tecnologías de remoción del dióxido de carbono. Este biogás, para producir energía eléctrica solo alcanza una eficiencia del 10 y 16 % (McKendry, 2002)

La biomasa también es utilizada para producir biodiesel y alcohol, el biodiesel proviene de la grasa de los animales por procesos químicos y el alcohol por fermentación de caña de azúcar especialmente.

Los combustibles líquidos son extraídos de la biomasa por tres procesos, la pirolisis que produce "bio-crudo" como ya se explicó y los otros dos se explicaran a continuación.

#### **b. Licuefacción**

"La licuefacción es un proceso de hidrogenación indirecta, en el que las moléculas complejas de celulosa y lignina se rompen, el oxígeno es retirado y se adicionan átomos de hidrógeno" (Peña, y otros, 2017)

En el proceso de licuefacción se necesita presiones entre 5-20 MPa a una temperatura entre 250-400 °C, sin la presencia de oxígeno y catalizadores como los carbonatos y metales (níquel, cobre y zinc) y los catalizadores heterogéneos de níquel y rutenio (Machado, 2010).

Al calentar la biomasa lignocelulósica con vapor y monóxido de carbono se obtienen los llamados bio-aceites como el etanol, metanol supercrítico y compuestos fenólicos como mezclas de gases. El Bio-aceite producto de la licuefacción tiene un mayor poder calorífico debido a que tiene menor cantidad de agua y menos oxígeno, además para el proceso, la biomasa no necesita estar plenamente seca. Este proceso no es muy viable porque las presiones a la que trabaja hacen el uso de reactores de complejo diseño y dificultad en la alimentación del sistema (Aysu, T y Durak, H, 2016)

#### **c. Fermentación**

Es un método para la producción de alcoholes, extraídos principalmente de la caña de azúcar, trigo y maíz, donde las enzimas convierten los azúcares en alcoholes y luego destilados para su purificación. La materia sólida sobrante del proceso es usada como alimento en establos o como fertilizante para los cultivos, y si hablamos de la caña de azúcar el bagazo es utilizado para su incineración directa o como material útil para la gasificación.

La cascarilla de café y la madera tienen un alto contenido de lignocelulosa por lo que hace compleja la aplicación de un proceso de fermentación, esta práctica está en etapas de prueba.

### 1.3.14. Selección de la tecnología adecuada

Si queremos generar electricidad con residuos de biomasa se debe determinar primero el uso que se le dará a la energía final, para establecer una adecuada hoja de ruta. (McKendry, 2002).

Las aplicaciones de las principales tecnologías son presentadas a continuación en la tabla 10:

*Tabla 10*

Resumen de tecnologías mencionadas con su respectiva aplicación

Producto	Utilizado para:	tecnología
<b>Calor</b>	❖ Producir potencia: turbina accionada por vapor. ❖ climatización.	Combustión
<b>Bio-crudo</b>	❖ elaboración de carburantes líquidos y otros extraídos del crudo.	Pirolisis
<b>Gas metano</b>	❖ Producir potencia con motores a gas ❖ climatización.	Gasificación
<b>Gas metano</b>	❖ producir potencia con motores a gas. ❖ climatización.	Digestión anaerobia
<b>Bio-crudo</b>	❖ elaboración de carburantes líquidos y otros extraídos del crudo.	Licuefacción
<b>Etanol</b>	❖ obtener biocombustibles líquidos utilizado para el transporte.	Fermentación

*Fuente:* Arenas castellanos

Para seleccionar la tecnología adecuada debemos tener en cuenta primero que la biomasa a utilizar es la cascarilla de café, y segundo determinar si la tecnología y su producto principal se ajustan o no al proyecto de investigación que queremos desarrollar.

Teniendo en cuenta lo explicado anteriormente y el objetivo al que queremos llegar con este proyecto utilizando cascarilla de café, digo que:

Con el proceso de **Fermentación**, no es posible aprovechar la cascarilla de café, porque el alto contenido de lignocelulosa presente en la misma, lo hace difícil. Se halla aun en etapas de prueba. Además, su principal producto (etanol) no es aplicable a la generación directa de energía eléctrica sino a la producción de combustibles líquidos para el transporte.

Con el proceso de **Licuefacción y de Pirolisis**, no es factible su aprovechamiento, porque su producto principal (Bio-crudo) debe someterse a otras transformaciones para poder ser usado en generación de energía eléctrica, originando mayores gastos. Está aún en etapa de estudio.

Con el proceso de la **Digestión Anaerobia**, tampoco es posible transformar la cascarilla o cisco en gas, porque se necesitaría un 80% y 90% de humedad, parámetro con el que no cuenta la cascarilla de café, para el uso de esta tecnología.

Al analizar las tecnologías de **combustión y gasificación** presento a continuación una tabla mostrando su costo y eficiencia según su aplicación y capacidad correspondiente:

Tabla 11

Descripción comparativa entre combustión y gasificación

tecnología	aplicación	capacidad	eficiencia	inversión (Euros/kW)
gasificación	Combustión directa: generar calor	Cerca de 100 kwth	80% - 90%	desde 100 a mas según capacidad
	CHP con motor a gas	0.1 - 1 MW	15% - 30%	1000 - 3000 según configuración
	BIG/CCT	30 - 100 MW	40% - 50% hasta más en la generación de electricidad	3500 - 5000 instalaciones pequeñas. 1000 - 2000 instalaciones grandes
combustión	Combustión directa para generación de calor	1 - 5 MW	A pequeña escala 70% - 90% de eficiencia en hornos modernos	100 - 700
	CHP	0.1 - 1 MW	60% - 90% produciendo calor y menos del 10% produciendo energía eléctrica	N/A
	combustión directa para energía eléctrica	20 - 100 MW	20% - 40% en la generación de electricidad	1600 a 2500
	co-combustion	5 - 20 MW	30% - 40% en generación de electricidad	cerca de 250

Fuente: Faaij, 2004

CHP: Combined Heat and Power (combinación de calor y potencia).

KWth: kw térmicos equivalentes.

BIG/CCT: Biomass integrated Gasification with Clean Coal Technology (gasificación de biomasa integrada con tecnología de carbón limpio).

A la cantidad de energía necesitada en la planta que es menor a 1 MW, y teniendo en cuenta la eficiencia de los dos sistemas llegamos a la conclusión de

que la técnica CHP de gasificación de residuos biomásicos es más eficiente en 5% y 20% frente a la CHP de combustión.

Por último, analizamos con un cuadro comparativo las clases de tecnología CHP de gasificación: Updraft, downdraft y lecho fluidizado.

*Tabla 12*

Tecnologías de gasificación y principales comparaciones

	lecho fijo		lecho fluidizado
	updraft	downdraft	
Biomasa con alto contenido de humedad (25-50%)	si	no	no
tamaño del combustible uniforme	poco critico	critico	no critico
alquitranes contenidos en el gas	alto	bajo	moderado
productos comerciales para generación de electricidad de pequeña escala (< 100 kW e)	medianamente adecuado	adecuado	no adecuado

*Fuente:* Bueno 2008

En base a lo detallado anteriormente y teniendo en cuenta algunas características como tipo de biomasa, humedad, uniformidad del material y generación a pequeña escala podemos decir que un gasificador del tipo Downdraft es el más apropiado porque produce menos cantidad de alquitranes, es más barato y fácil de usar, otro punto importante es aclarar que la mayoría de gasificadores usados en generación de energía eléctrica son del tipo Downdraft, principalmente en proyectos de electrificación rural.

#### **1.4. Formulación del problema**

¿Cómo aprovechar la cascarilla de café para generar energía eléctrica en la planta procesadora Representaciones Mego SRL en Jaén?

## **1.5. Justificación de la investigación**

### **1.5.1. Justificación técnica**

Otros países como España, EE. UU, Japón, aportan a la tecnología limpia, utilizan la biomasa para la generación de energía eléctrica con resultados positivos, pues es el momento de que en el Perú (Jaén-Cajamarca) aprovechemos la cascarilla del café, la cual es abundante en esta zona, utilizándola como fuente primaria en la producción de electricidad de manera sustentable en la planta procesadora en Jaén.

### **1.5.2. Justificación económica**

Como la biomasa residual está concentrada en un solo punto, su aprovechamiento en la generación de energía eléctrica será posible y se reducirá la demanda de energía nacional logrando una auto sostenibilidad y un ahorro económico en la planta procesadora de café en Jaén.

### **1.5.3. Justificación social**

La energía es fundamental para el desarrollo de los pueblos, la generación de electricidad a partir de los desechos del café generara empleo, mejorando la calidad de vida de los trabajadores de la empresa y ciudadanos de la provincia de Jaén.

### **1.5.4. Justificación ambiental**

La generación de electricidad a partir del cisco de café, con un sistema de tecnología adecuada disminuirá las emisiones de CO<sub>2</sub> y contribuirá a la mitigación del cambio climático.

## **1.6. Objetivos de la investigación**

### **1.6.1. General**

Aprovechar la cascarilla de café para generar energía eléctrica en la planta procesadora Representaciones Mego SRL en Jaén.

### **1.6.2. Específicos**

- ✓ Establecer el potencial energético de la producción de cascarilla de café, para generar energía eléctrica a partir del gas de síntesis en la procesadora Representaciones Mego SRL en Jaén.

- ✓ Determinar las características apropiadas del gasificador para el aprovechamiento de la producción de cascarilla del café en la generación de gas de síntesis para producir energía eléctrica.
- ✓ Realizar la evaluación técnica y económica para determinar la viabilidad del proyecto de generación de energía eléctrica

### **1.7. Hipótesis**

Si se aprovecha la cascarilla del café, entonces se generará energía eléctrica en la planta procesadora Representaciones Mego SRL en Jaén.



## **II. MÉTODO**

### **2.1. Diseño de Investigación.**

Este proyecto de indagación será descriptivo, es decir queremos dar a conocer la producción de electricidad con desechos de biomasa como la cascarilla de café en una planta procesadora en Jaén- Cajamarca para su propio beneficio y de los demás mediante la venta de energía sobrante.

### **2.2. Variables, operacionalización**

#### **2.2.1. Variable independiente**

Cascarilla de café.

#### **2.2.2. Variable dependiente**

Generación de electricidad.

	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores	Escala de Instrumentos Medición
Variables				
Variable Independiente: <b>APROVECHAMIENTO DE LA CASCARILLA DE CAFE</b>	La Biomasa del Café , así como la de otros Cultivos de la Zona Nor-Oriental , constituyen un Potencial Energético de la Región , que debe ser utilizado para lograr el auto abastecimiento de Energía Eléctrica de la Región	El aprovechamiento energético de la biomasa del café , conlleva superar una serie de problemas tecnológicos de pureza de los gases y de duración de los equipos	Cantidad de Cascarilla de Café que se aprovechará energéticamente  Flujo másico de gases pobres producidos	Guía de observación  TM de Cascarilla
Variable Dependiente: <b>ENERGÍA ELÉCTRICA</b>	La Energía Eléctrica producida, de buena calidad , sin perturbaciones e interrupciones alimentan al sistema interconectado Nacional	Se alimenta de energía eléctrica a través de generación de energía eléctrica y su posterior transmisión desde las zonas cafetaleras	Cantidad de Energía Producida a partir de la Cascarilla de Café	Guía de observación  Kwhr Producidos

## **2.3. Población y muestra**

### **2.3.1. Población**

La población en análisis será el flujo de 92.81 kg/h de cascarilla de café, para producir gas de gasificación y posteriormente energía eléctrica en un día en la planta procesadora Representaciones Mego SRL en Jaén.

### **2.3.2. La muestra**

La muestra será también 92.81 kg/h.

Y las unidades para ser analizadas se tomaran de la muestra. Sera del tipo no probabilístico, es decir no será un proceso de selección aleatoria ni al azar, más bien los sujetos se tomaran según nuestra realidad problemática. (Ñaupas; Mejia; Novoa; Villagomez, 2011 pág. 237)

## **2.4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.**

### **2.4.1. Técnicas**

#### **Observación**

Esta técnica posibilitara la visualización del proceso, cantidad de motores eléctricos, entre otros equipos, utilizados para el descascarillado del café los cuales demandan una gran cantidad de energía, pero también se observó gran cantidad de cascarilla durante el pilado y así poder evaluar el potencial de éste para generar un gas de síntesis y utilizarlo en un motor acoplado a un generador y producir electricidad.

#### **Análisis de documentos**

Tomaremos en cuenta opiniones de especialistas, tesis, papers, artículos y revistas científicas para aclarar dudas o inconvenientes durante el desarrollo de nuestro proyecto de investigación.

### **2.4.2. Instrumentos de recolección de datos**

- **Guías de observación**

Una guía de observación en la planta permitirá que nos familiaricemos con el proceso que se le da al café en pergamino y la magnitud de cómo se concentra la cascarilla de café en la planta procesadora en Jaén.

### **2.4.3. Validez y confiabilidad**

Para validar los instrumentos esta investigación estará encaminada al análisis correcto y al cuidado de la metodología empleada en la obtención de los resultados del tema científico en cuestión, en este caso el aprovechamiento de cascarilla de café para generar electricidad en una planta procesadora en Jaén. Los datos no serán alterados y en caso contrario se brindara información respectiva (Ver Anexos 1, 2 y 3).

### **2.5. Métodos de Análisis de datos.**

Se analizará empleando una estadística descriptiva, para ver de qué manera se comportan las variables en el aprovechamiento de cascarilla de café con un gasificador para producir gas de síntesis y utilizarlo en un motor acoplado a un generador para producción de electricidad, se aplicará: el promedio, la media, valores máximos y mínimos.

### **2.6. Aspectos éticos.**

La información recolectada será utilizada con toda la veracidad del caso y sin alterar los datos durante el desarrollo del proyecto de investigación, respetando todas las pautas necesarias y confiables determinadas por el jurado evaluador.

### **III. RESULTADOS**

#### **3.1. Establecer el potencial energético de la producción de cascarilla de café.**

Se realizó una entrevista con el operador de la planta para determinar la cantidad promedio de cascarilla que se puede acumular en un año. El poder calorífico del mismo se recurrirá a una fuente confiable y el consumo eléctrico en la planta procesadora por datos proporcionados por la misma.

Con el apoyo del personal, se cuantificó la cantidad de cascarilla de café producida en la planta procesadora.

Desde julio del 2017 hasta junio del 2018, la planta ha procesado cerca de 2227 toneladas de café en pergamino. Apoyado en las investigaciones de CENICAFE y como ya se mencionó anteriormente en la tabla 05 se sugiere que el 12 % del café en base seca corresponde a cascarilla, es decir hablamos cerca de 267 toneladas de cascarilla y una producción de 1960 toneladas de café pilado en este periodo, ver tabla 13.

Tabla 13

Producción de cascarilla de café, entre julio de 2017 y junio de 2018

Año 2017				
Mes	Café en pergamino (kg)	Porcentaje de cascarilla	Cascarilla disponible (kg)	Café pilado (kg)
julio	108636	12%	13036	95600
agosto	220000	12%	26400	193600
setiembre	191022	12%	22922	168100
octubre	229488	12%	27538	201950
noviembre	327272	12%	39272	288000
diciembre	254886	12%	30586	224300
Año 2018				
enero	181931	12%	21831	160100
febrero	163863	12%	19663	144200
marzo	101647	12%	12197	89450
abril	107727	12%	12927	94800
mayo	112727	12%	13527	99200
junio	228693	12%	27443	201250
Producción de cascarilla promedio mensual			22278.50	
cascarilla diaria disponible			742.62	
producción anual de cascarilla			267342	

Fuente: Elaboración propia

Para la producción de electricidad con la tecnología de gasificación, contamos en total con una cantidad de 742 kg de cisco generados en un día.

El poder calorífico inferior para la cascarilla: 19468 KJ/kg (Hurtado Rengifo. , 2016)

El potencial energético de la biomasa residual (cascarilla de café) se evalúa mediante la ecuación 1:

$$PE = \alpha * B * PCI$$

Ecuación 1

Dónde:

- PE = potencial energético (KJ / año).
- $\alpha$  = constante de conversión de unidades.
- B = biomasa de residuo (t / año).
- PCI = poder calorífico inferior (KJ/kg).

Reemplazando valores, la tabla 14 muestra la energía potencial / año que se puede producir.

Tabla 14

potencial energético de la cascarilla de café, julio 2017 – junio 2018

B(t/año)	$\alpha$	PCI (KJ/kg)	potencial energético (KJ/año)
267.34	1000	17900	4785386000

Fuente: Elaboración propia

El cuadro muestra:

Un potencial de 4785386000 KJ por año, equivalente a 1329273.8 Kwh de producción en la planta procesadora.

### 3.1.1 Potencia eléctrica en la planta procesadora

La planta cuenta con varios dispositivos eléctricos (motores) que consumen gran cantidad de energía eléctrica. A continuación, la tabla 15 muestra la potencia de los de los equipos considerados para el cálculo de requerimiento.

Tabla 15

Equipos eléctricos y su potencia de trabajo

motores eléctricos	cantidad	potencia (HP)	$\eta$	potencia (HP)	potencia (KW)	factor de simultaneidad (Fs.)	potencia de trabajo (KW)
<b>trilladora A</b>	1	30	0.85	25.5	18.99	1	18.99
<b>compresora de aire</b>	1	30	0.85	25.5	18.99	0.5	9.50
<b>turbina de aire</b>	1	25	0.85	21.25	15.83	0.85	13.46
<b>trilladora B</b>	1	20	0.85	17	12.66	0.75	9.50
<b>Despedradora</b>	2	7.5	0.85	6.375	4.74	0.85	4.03
<b>Gravimétrica</b>	1	6	0.85	5.1	3.79	0.75	2.84
<b>fajas transportadoras</b>	12	1.8	0.85	1.53	1.13	0.85	0.96
<b>POTENCIA TOTAL DE TRABAJO</b>							<b>59.27</b>

Fuente: Elaboración propia

Todos los motores no trabajan al 100 % ni tampoco todos trabajan a la vez es por eso que considera un factor de simultaneidad y una eficiencia de acuerdo al trabajo que realiza

La conversión completa de combustibles sólidos recomienda las especificaciones técnicas en cadena de proceso y son como sigue:

- ✓ El aire de oxidación debe ser suministrado en exceso (más que el estequiometrico).
- ✓ El control del proceso debe tener una suficiente buena mezcla de los gases del combustible y del aire suministrado.
- ✓ La mezcla de los gases del combustible y el aire generada en el proceso, requiere de un tiempo de residencia en la zona de la reacción.
- ✓ El proceso de combustión requiere una temperatura suficientemente alta.

### 3.1.2. Cálculo del poder Calorífico Inferior

Cómo sigue a continuación:



Tabla 16

Composición elemental de algunos combustibles (biomasa) base seca

Residuos	Análisis último de porcentaje en peso						Contenido de humedad
	C	H	O	N	S	Cl	
Cascara de cebada	51.11	6.78	38.38	3.68	0.03	8.2	8.2
Cascara de café	49.03	5.95	44.47	0.49	0.05	6.8	6.8
Viruta de madera	51.72	6.03	41.4	0.05	0.05	0.01	11

Fuente: Rengifo, 2016

$$PCS = 0.3491 * X_C + 1.1783 * X_H + 0.1005 * X_S - 0.0151 * X_N - 0.1034 * X_O - 0.0211 * X_{Cenizas}; \left[ \frac{MJ}{Kg} \right]$$

### Ecuación 2

$$PCS = 0.3491 * 46.03 + 1.1783 * 5.95 + 0.1005 * 0.05 - 0.0151 * 0.49 - 0.1034 * 44.47 - 0.0211 * 0.9 \left[ \frac{MJ}{Kg} \right]$$

$$PCS = 27.7095 \left[ \frac{MJ}{Kg} \right]$$

$$PCI = PCS \left( 1 - \frac{W}{100} \right) - 2.444 \left( \frac{W}{100} \right) - (2.444)(8.396) \left( \frac{H}{100} \right) \left( 1 - \frac{W}{100} \right); \left[ \frac{MJ}{Kg} \right]$$

### Ecuación 3

$$PCI = PCS \left( 1 - \frac{10}{100} \right) - 2.444 \left( \frac{10}{100} \right) - (2.444)(8.396) \left( \frac{4.86}{100} \right) \left( 1 - \frac{10}{100} \right); \left[ \frac{MJ}{Kg} \right]$$

$$PCI = 17.90 \left[ \frac{MJ}{Kg} \right]$$

**3.2. Determinar las características apropiadas del gasificador para el aprovechamiento de la producción de cascarilla de café**

El gasificador más apropiado para el proceso de gasificación de cascarilla de café es el de corrientes paralelas (Downdraft), tal como se explicó en el capítulo I. la tabla 17 muestra datos necesarios para el cálculo.

Se determinó el flujo de masa de producción de cascarilla de café en la planta y se sacó un promedio diario de la producción obteniendo un valor en horas de 92.81 kg (cascarilla)/h.

La tabla 17 muestra los datos necesarios para calcular la potencia de salida del gasificador.

*Tabla 17*

Parámetros para calcular la potencia de salida del gasificador

Nombre	Símbolo	unidad	valor	referencia
Flujo de cascarilla	$M_f$	kg/h	92.81	
Poder calorífico inferior de la cascarilla	$PCI_{bm}$	KJ/kg	17900	(Rengifo, 2016)
eficiencia de la gasificación	$\eta_g$	%	60	(Choi, 2013)
Poder calorífico inferior del gas producido	$PCI_g$	KJ/m <sup>3</sup>	5046	(Aguilar-Trujillo, 2013)

*Fuente:* Elaboración propia

$PCI_g = 5046 \text{ KJ/m}^3$ , y es igual a  $14417.14 \text{ KJ/kg}$

La potencia de salida (Q) de la cascarilla se calcula relacionando, flujo de cascarilla, eficiencia del gasificador ( $\eta_g$ ) y poder calorífico inferior de la cascarilla ( $PCI_{bm}$ ), (Basu, 2010)

$$M_f = \frac{Q}{PCI_{bm} * \eta_g}$$

**Ecuación 4**

$$Q = M_f * PCI * \eta_g$$

$$Q = 92.8125 * 17900 * 0.60$$

$$Q = 276.88 \text{ KW}$$

Despejando la potencia (Q) de la ecuación 4, se obtiene como resultado 276.88 kW de potencia de salida del gasificador.

El flujo de gas (Vg) producido, se define como la relación entre la potencia de salida (Q) y el poder calorífico inferior del gas (PCIg). Tal como se muestra:

$$V_g = \frac{Q}{PCI_g} = \frac{Nm^3}{h}$$

**Ecuación 5**

$$V_g = \frac{276.88 * 3600}{5046} ; \frac{Nm^3}{h}$$

$$V_g = 197.54 ; \frac{Nm^3}{h}$$

Reemplazando valores en la ecuación 5 y asumiendo un poder calorífico inferior del gas (PCIg) de 5046 KJ/m<sup>3</sup> (Aguilar-Trujillo , y otros, 2013), se calcula un flujo volumétrico del gas (Vg) de 197.54 Nm<sup>3</sup>/h.

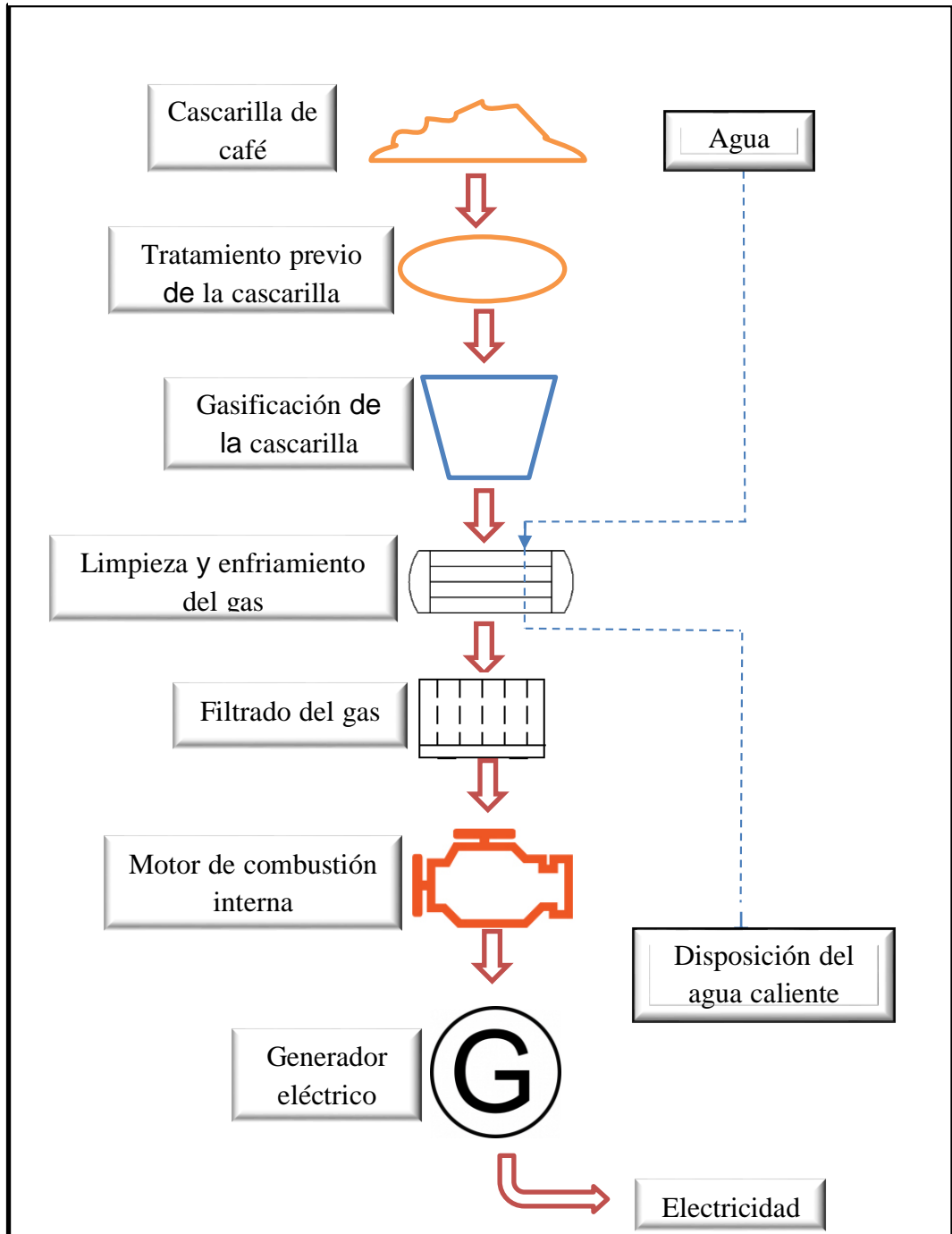
*Tabla 18*  
 Descripción del gasificador seleccionado

General	
Tipo de gasificador	Downdraft
tipo de material gasificado	cascarilla de café
<b>Sistema de alimentación</b>	
Capacidad	371.24 kg
Eficiencia	60%
Agente gasificante	Aire
Tiempo estimado de gasificación	4 horas
<b>Condiciones de operación</b>	
Presión	1 atm
Temperatura máxima	1000 °C
<b>Alimentación de biomasa</b>	
Tamaño promedio de partícula	0.3-0.5 cm
Humedad promedio	6 - 15 %
Sistema de recarga del gasificador	Faja transportadora
<b>Gas de salida</b>	
cantidad promedio de gas generado	197.54 m <sup>3</sup> /h
cantidad de partículas	Bajo
poder calorífico inferior (PCI)	5.046 MJ/m <sup>3</sup>
temperatura de salida	700 ° C

*Fuente:* Elaboración propia

La figura 10, menciona los recursos necesarios: maquinaria y equipo que se pretende usar.

Figura 10 Descripción del proceso de la planta de generación de energía eléctrica



Fuente: Elaboración propia

Requerimiento del gas de gasificación (GG) para trabajar en motores.

En un sistema gasificación – motor se requiere  $4.2 \text{ MJ/nm}^3$  para una eficiencia aceptable.

El gas a utilizar debe estar libre de partículas, alquitranes y ácidos, que varía según tipo de motor, como referencia podemos considerar:

*Tabla 19*

Cantidades tolerables de sustancias en el gas para trabajar en motores

Sustancias	Cantidad tolerable
Partículas	Menor a 50 mg/m <sup>3</sup> de gas, preferentemente 5 mg/m <sup>3</sup> de gas
Alquitranes	Menor a 500 mg/m <sup>3</sup> de gas
Ácidos	Menor a 50 mg/m <sup>3</sup> de gas (medido como ácido acético)

*Fuente:* FAO, 1993

Con el uso de ciclones convencionales retenemos partículas hasta 10 micras (60 – 70 % del contenido total), tiene la ventaja de trabajar a temperaturas elevadas (900 °C).

Las partículas más pequeñas se eliminarán con filtro de tela para alta temperatura.

La refrigeración del gas es necesaria para:

- Evitar la auto-inflamación de la mezcla gas/aire, las altas temperatura pueden ocasionar el pre encendido o la detonación.
- Aumentar la densidad del gas y por consiguiente de la mezcla gas / aire. Mayor flujo volumétrico mayor ingreso de gas combustible al cilindro del motor.
- Ayuda a depurar el gas, evitando que la humedad contenida en el mismo se condense (antes de entrar al motor).

Es posible utilizar motores de encendido por chispa, pero para nuestro caso de estudio emplearemos un motor Diésel.

Los motores diésel pueden trabajar con syngas con algunas modificaciones como: disminuyendo el índice de compresión e instalando un sistema de encendido por chispa. Otra posibilidad es el "sistema de doble combustible", donde el motor diésel normal sin modificar, permite generar del 0 al 90% de potencia, el resto será diésel para el encendido de la mezcla gas/aire. Este último sistema nos da una ventaja de flexibilidad, pues ante un mal funcionamiento del gasificador o falta de biomasa habrá un cambio inmediato a diésel al 100%.

No todos los motores diésel pueden acoplarse para trabajar con el "sistema doble combustible", los de inyección indirecta presentan problemas de detonaciones por los índices de compresión elevados, siendo los de inyección directa (menor índice de compresión) los que pueden adaptarse con éxito (FAO, 1993).

### 3.2.1. Cálculo del intercambiador de calor

Para calcular el intercambiador es necesario conocer las propiedades del gas y del agente enfriador, que en este caso se utilizara agua.

#### Gas de síntesis: propiedades y condiciones

El gas sale del ciclón a 700°C (973.15 K) y necesita enfriarse hasta los 30°C (303.15 K). El gas de síntesis ira por los tubos según recomendación porque tiende a ensuciarse y corroerse (Vargas, 2010).

*Tabla 20*

Propiedades del gas y condiciones de operación

Datos	Símbolo	Unidad	Valor	Referencia
Flujo másico del gas	$M_g$	kg/h	74.248	
Densidad del gas	$D_g$	kg/m <sup>3</sup>	0.35	(Reed y Das, 1988)
Capacidad calorífica del gas	$Cp_g$	kcal/kg	0.35	(Sánchez, 2007)
Temperatura de entrada	T1	K	973.15	
Temperatura de salida	T2	K	303.15	

*Fuente:* Ankur Scientific Energy

#### Agua: propiedades y condiciones

Para el enfriamiento del gas de síntesis utilizaremos el agua, el cual presenta una temperatura ambiente de 25°C (298.15 K)

Tabla 21  
Propiedades del agua y condiciones de operación

Datos	Símbolo	Unidad	Valor	Referencia
Flujo de agua supuesto	$M_a$	kg/h	400	
Densidad del agua	$D_a$	kg/m <sup>3</sup>	997.13	(Reed y Das, 1988)
Capacidad calorífica	$C_{pa}$	kcal/kg	0.99	(Sánchez, 2007)
Temperatura de entrada	T1	K	298.15	

Por medio del calor transferido entre los dos fluidos, determinamos la temperatura de salida del agua, que es el primer paso para calcular el intercambiador de calor.

$$Q = m_g * C_{pg} * (T_2 - T_1) = m_a * C_{pa} * (t_2 - t_1) \quad \text{Ecuación 6}$$

$$Q = M_g * C_{pg} * (T_2 - T_1)$$

$$Q = 74.248 * 0.3535 * (973.15 - 303.15)$$

$$Q = 17585.27 \text{ Kcal}$$

El calor transferido es igual **17585.27 Kcal**; con la ecuación mencionada.

$$Q = m_a * C_{pa} * (t_2 - t_1)$$

$$17585.27 \text{ Kcal} = 300 * 0.9988 * (t_2 - 298.15)$$

$$t_2 = 342.17 \text{ }^\circ\text{K}$$

Despejamos la temperatura final del agua que es de **342.17 °K**

Con la temperatura de salida del agua calculamos ahora la diferencia de temperatura media logarítmica ( $\Delta TLM$ ) entre el agua y el gas de síntesis, donde se tiene:



$$\Delta TLM = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}}$$

**Ecuación 7**

$$\Delta T_1 = T_1 - t_2$$

$$\Delta T_1 = 973.15 - 342.17 = 630.98 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$\Delta T_2 = T_2 - t_1$$

$$\Delta T_2 = 303.15 - 298.15 = 5 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$\Delta TLM = \frac{5 - 630.98}{\ln \frac{5}{630.98}}$$

$$\Delta TLM = 129.39 \text{ } ^\circ\text{K}$$

Cuando el fluido es un gas que se enfría con agua, el valor del coeficiente (U) para transferir el calor es de 13 kcal/m<sup>2</sup>\*h\*K (Huaraz Choi, 2013), y el factor de corrección 1, porque solo se tomara un paso por la coraza y por los tubos.

El área y el número de tubos que se necesita para el intercambiador se calculan de la siguiente manera:

$$A = \frac{Q}{U * f * \Delta TLM}$$

**Ecuación 8**

$$A = 10.45 \text{ } m^2$$

El intercambiador debe utilizar tubos de 0.75 pulgadas de diámetro estándar con una longitud de 16 pies. Calculando el número de tubos se tiene:

$$N^\circ \text{ de Tubos} = \frac{A}{\pi * D_o * L}$$

**Ecuación 9**

$$N^{\circ} de Tubos = \frac{10.45 m^2}{0.2918 m^2}$$

$$N^{\circ} de Tubos = 36 Tubos$$

La biomasa (material biológico) para ser utilizado como combustible, debe tener la propiedad de liberar energía de forma violenta. La biomasa acumula menos del 1% de energía de la fotosíntesis, es decir a la tierra llega 173000 TW de energía, pero solo 40 TW se convierte en materia orgánica por medio de la fotosíntesis (Velasco, 2009).

**Un kilogramo de biomasa puede proporcionar 12560 KJ, un litro de gasolina genera 41868 KJ** (Creus Solé, 2004).

- ✓ **Consumo esperado de cascarilla:** el cuadro muestra los kilogramos de cascarilla/hora necesarios para alimentar el gasificador.

*Tabla 22*

Comparación de potencia de trabajo entre diferentes combustibles

RESULTADOS	Flujos máxicos (kg/h)	capacidad calórica (Kcal/Kg)
Planta		
Gasificador	74.248	0.3535
Gasolina	1	10048.32
Gas pobre	17.53	4653

*Fuente:* Elaboración propia

### **3.3. Realizar la evaluación técnica y económica para determinar la viabilidad del proyecto**

Para desarrollar un análisis de situación económica, utilizaré indicadores (VAN, TIR, relación beneficio/costo) para recoger previsiones sobre la evolución futura de la economía que ocasionaría un sistema de aprovechamiento de cascarilla de café

por un proceso de gasificación para generar energía eléctrica, así mismo el impacto que se generaría con el cuidado de medio ambiente. También facilitará estimar el tiempo y la duración de la investigación en cuestión, en caso de ser viable económicamente.

### **Inversión inicial del proyecto**

El monto de dinero para iniciar el proyecto consiste en la suma de costos del gasificador, un generador acoplado a un motor a gas y una plataforma como soporte de los elementos mecánicos mencionados.

*Tabla 23*

Inversión inicial del proyecto

Ítem	Unidad	Cantidad	Costo unitario (S/.)	Costo total (S/.)
Obras civiles	unidad	30	200	6000
Gasificador	unidad	1	17500	17500
Intercambiador de calor	unidad	1	3200	3200
ciclón	unidad	1	6550	6550
Accesorios	unidad			640
Filtro	unidad	1	1200	1200
Motor	unidad	1	15000	15000
Generador	unidad	1	25000	25000
<b>TOTAL</b>				<b>75090</b>

*Fuente:* Elaboración propia

### **Costos de mantenimiento**

En todo proyecto de inversión lo primero que hay que tener en cuenta son los gastos en mantenimiento de equipo y para la ampliación o expansión de planta, considerando que el gasificador a fabricar sea eficiente.

Para ello consideramos lo siguiente:

*Tabla 24*  
Costos de mantenimiento

DATOS	VALOR
Número de Periodos	10
Tipo de Periodo	Anual
Taza de interés	12%
Monto de la Inversión (S/)	75090

*Fuente:* Elaboración propia

### **Determinación del flujo de caja**

El flujo de caja está en función de los ingresos y egresos para nuestro proyecto en un tiempo de estimación de 10 para poder hallar nuestro valor neto actual del dinero a través del tiempo.

Tabla 25  
Flujo de caja

<b>Determinación del Flujo de caja</b>			
<b>Nº</b>	<b>Ingreso</b>	<b>egreso</b>	<b>FUJO DE CAJA ANUAL</b>
<b>0</b>	75090		
<b>1</b>	60000	36000	<b>24000</b>
<b>2</b>	60000	24000	<b>36000</b>
<b>3</b>	60000	28000	<b>32000</b>
<b>4</b>	60000	35000	<b>25000</b>
<b>5</b>	60000	36000	<b>24000</b>
<b>6</b>	60000	29000	<b>31000</b>
<b>7</b>	60000	29000	<b>31000</b>
<b>8</b>	60000	35000	<b>25000</b>
<b>9</b>	60000	40000	<b>20000</b>
<b>10</b>	60000	29000	<b>31000</b>

*Fuente:* Elaboración propia

### **Determinando la Valoración Actual Neto (VAN)**

Este procedimiento nos permite determinar el valor presente de acuerdo al flujo de caja anual futuros que son evaluados para poder tomar una decisión en la inversión del proyecto.

$$VAN = Inv. + \sum_{j=1}^n \frac{F_j}{(1+i)^j}$$

**Ecuación 10**

Donde:

$F_j$  = Flujo Neto en el Periodo j

$I_{nv}$  = Inversión en el Periodo 0

$i$  = Tasa de Descuento del Inversionista (TMAR)

$n$  = Horizonte de Evaluación

*Tabla 26*  
Flujo de caja para determinar el VAN

<b>Determinación Del Flujo de caja</b>			
<b>Nº</b>	<b>Ingreso</b>	<b>egreso</b>	<b>flujo de caja anual</b>
<b>0</b>	75090		-75090
<b>1</b>	60000	36000	24000
<b>2</b>	60000	24000	36000
<b>3</b>	60000	28000	32000
<b>4</b>	60000	35000	25000
<b>5</b>	60000	36000	24000
<b>6</b>	60000	29000	31000
<b>7</b>	60000	29000	31000
<b>8</b>	60000	35000	25000
<b>9</b>	60000	40000	20000
<b>10</b>	60000	29000	31000
<b>n</b>	10		
<b>Inv.</b>	75090		
<b>i</b>	12%		
		<b>VAN</b>	<b>S/159,429.56</b>

*Fuente:* Elaboración propia

## Determinando la Tasa Interna de Retorno (TIR)

$$TIR = \sum_{T=0}^n \frac{Fn}{(1+i)^n} = 0$$

**Ecuación 11**

*Tabla 27*  
Flujo de caja para determinar el TIR

Determinación del TIR	
Nº	flujo de caja anual
0	-75090
1	24000
2	40000
3	32000
4	25000
5	24000
6	31000
7	31000
8	25000
9	20000
10	31000

*Fuente:* Elaboración propia



Aplicando la formula

$$\text{TIR} = 38\%$$

Nuestra tasa interna de retorno calculada de acuerdo a la fórmula establecida da como resultado 38% lo que indica una buena rentabilidad frente al proyecto de inversión. Es decir, el porcentaje es de beneficio y no de pérdida, resultado positivo el beneficio – costo del proyecto.

#### **IV. DISCUSIÓN**

La discusión de la investigación, está basada en una apreciación a las diferentes conclusiones obtenidas, entre las más importantes mencionamos:

- Las variables analizadas, en el aprovechamiento de la cascarilla de café, y la producción de gas pobre a partir del proceso de gasificación, resulta rentable en su utilización en motores de combustión interna.
- La inversión, justifica el uso de gas pobre como resultado de una combustión de la cascarilla de café.
- El accionamiento del gasificador que es causado por la combustión de la propia biomasa respalda el buen funcionamiento del equipo debido al potencial energético de la cascarilla de café

## V. CONCLUSIONES

- Al aprovechar la cascarilla de café como fuente de energía, aportamos en la reducción de una parte de la contaminación ambiental. La utilización de gasificadores del Tipo Downdraft ofrece grandes ventajas para el aprovechamiento de la cascarilla de café en la planta procesadora “Representaciones Mego SRL”, además de disminuir la contaminación ambiental extrae gran parte de su energía contenida, teniendo en cuenta que el potencial de 4785386000 KJ por año, equivalente a 1329273.8 KWh de producción en la planta procesadora.
- El uso de gas pobre para la generación de la electricidad da un valor adicional al empleo de gasificadores en las plantas procesadoras de café. La densidad energética del gas pobre es menor a la del gas natural, sin embargo, su utilización en motores de combustión interna es satisfactorio, dando como resultado que por cada kilogramo de biomasa puede proporcionar 12560 KJ, un litro de gasolina genera 41868 KJ.
- Después de haber realizado una evaluación técnica y económica los resultados obtenidos determinaron un TIR del 38% esto nos indica que el proyecto es factible para los inversionistas desde el punto de vista bancario y con un costo beneficio de 2.67 lo que hace viable la propuesta hecha.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- ✓ El gasificador debe estar cubierto de materia aislante térmico para evitar las pérdidas de calor.
- ✓ Debe estar en lugares aislados por posible fuga de gas, lo que ocasionaría una explosión.
- ✓ Se recomienda la utilización de motores diésel de inyección directa con sistema de doble combustible, con el propósito de generar del 0 al 90% de potencia, a la vez tiene la ventaja de flexibilidad, pues ante una falla del gasificador o falta de biomasa Habrá un cambio al diésel al 100 %.

## REFERENCIAS

**Abnisa, F., y otros. 2013.** Utilization of oil palm tree residues to produce bio-oil and bio-char via pyrolysis. *Energy Conversion and Management*. 2013, Vol. 76, págs. 1073-1082.

**Aguilar-Trujillo , L, y otros. 2013.** Gasificación con aire en lecho fluidizado de los residuos sólidos del proceso industrial de la naranja. *Ingeniería Mecánica*. 2013, Vol. 16, 1, págs. 41-51.

**AKHTAR, J. 2012.** A review on operating parameters for optimum liquid oil yield in biomass pyrolysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2012, Vol. 16, 7, págs. 5101-5109.

**Arenas Castellanos, Daniel. 2009.** *Propuesta de Diseño de un Proceso para la Generación de Energía Eléctrica a partir de los Residuos de la Producción del Café (Tesis de Licenciatura)*. Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá : s.n., 2009.

**Arevalo, William. 2015.** *La Biomasa: Una Alternativa energética proveniente de la vida misma*. Nariño : Libros Editoriales UNIMAR, 2015.

**Aysu, T y Durak, H. 2016.** Bio-oil production via catalytic supercritical liquefaction of syrian. *The Journal of Supercritical Fluids*. March de 2016, Vol. 109, págs. 26-34.

**Basu. 2010.** Gasification theory and modeling of gasifiers. En *Biomass gasification and pyrolysis. Practical design and theory*. 2010.

**BP, España. 2016 parr. 4.** BP Statistical Review of World Energy 2016. [En línea] 2016 parr. 4. [Citado el: 13 de Julio de 2017.]

—. **2016 parr.12.** BP Statistical Review of World Energy 2016. [En línea] 2016 parr.12. [Citado el: 15 de Julio de 2017.]

—. **2016 parr. 13.** BP Statistical Review of World Energy 2016. [En línea] 2016 parr. 13. [Citado el: 18 de julio de 2017.]

—. **2016 parr. 14.** BP Statistical Review of World Energy 2016. [En línea] 2016 parr. 14. [Citado el: 2 de Agosto de 2017.]

—. **2016 parr.15.** BP Statistical Review of World Energy 2016. [En línea] 2016 parr.15. [Citado el: 3 de julio de 2017.]

—. **2016 parr. 16.** BP Statistical Review of World Energy 2016. [En línea] 2016 parr. 16. [Citado el: 4 de julio de 2017.]

—. **2016 parr.17.** BP Statistical Review of World Energy 2016. [En línea] 2016 parr.17. [Citado el: 1 de Agosto de 2017.]

—. **2016 parr. 18.** BP Statistical Review of World Energy 2016. [En línea] 2016 parr. 18. [Citado el: 5 de Agosto de 2017.]

**Bueno, Lorenzo Miriam. 2006.** *Estudio de alternativas para la electrificación rural en la zona de selva del Perú.* Peru : s.n., 2006.

**Creus Solé, Antonio. 2004.** *Energías Renovables.* España : Ediciones Ceysa, 2004. 9788486108540.

**Echevarría, Mercedes. 2017.** Acceso a la energía y cambio climático. [En línea] 29 de 05 de 2017. [Citado el: 19 de octubre de 2018.] <https://twenergy.com/a/bloque-1-acceso-a-la-energia-y-cambio-climatico-2660>.

**FAO. 1993.** [En línea] 1993.

**González, Roberto. 2012.** Energía Eléctrica. *Twenergy.* [En línea] 1 de FEB de 2012. [Citado el: 19 de OCT de 2018.] <https://twenergy.com/a/que-es-la-energielectrica-381>.

**Huaraz Choi, Carlos Yi. 2013.** *Diseño de un gasificador de 25 kW para aplicaciones domésticas usando como combustible cascarilla de arroz (Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecánico).* Lima : PUCP, 2013. 20047087.

**Hurtado Rengifo, Pablo Jose. 2016.** Aprovechamiento de residuos de biomasa secundaria como combustible. *Ingenium.* 2016, Vol. 1, 1.

**Machado, Cristina M. 2010.** Situación de los biocombustibles de 2a y 3a generación en América Latina y Caribe. *Organización Latinoamericana de Energía OLADE, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura IICA.* 2010, págs. 55-71.

**McKendry, P. 2002.** *Energy production from biomass (part 2): conversion technologies.* s.l. : Bioresour Technol, 2002. págs. 47-54. Vol. 83. 12058829.

—. **2002b.** *Energy production from biomass (part 3): Conversion technologies.* 2002b. págs. 55-63. Vol. 83.

—. **2002c.** *Energy production from biomass (part 3): Gasification technologies.* s.l. : Bioresource Technology, 2002c. págs. 55-63. Vol. 83.

**MEM. 2014.** "Anuario Ejecutivo de Electricidad 2016". [En línea] 2014. [Citado el: 10 de ABRIL de 2018.]

—. **2014.** "Balance Nacional de Energía 2016". [En línea] 2014. [Citado el: 13 de MAYO de 2018.]

—. **2013.** "Energía para un Futuro Sostenible". [En línea] 2013. [Citado el: 02 de JUNIO de 2018.]

—. **2014.** "Plan Energético Nacional 2014-2025". [En línea] 2014. [Citado el: 12 de MAYO de 2018.]

- Merino, L. 2007.** Las Energías Renovables. *Energías renovables para todos*. Edit. Haya Comunicación. España. 2007.
- Miandad, R., y otros. 2017.** Effect of plastic waste types on pyrolysis liquid oil. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2017, Vol. 119, págs. 239-252.
- Ñaupas; Mejia; Novoa; Villagomez. 2011 .** *Metodología de la investigación científica y asesoramiento de tesis. Una propuesta didáctica para aprender a investigar y elaborar la tesis. Segunda Edición*. Lima : Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2011 .
- Oviedo-Salazar, J L, y otros. 2015.** Historia y Uso de Energías Renovables. *International Journal of Good Conscience*. ABRIL de 2015, Vol. 10, 1, págs. 1-18.
- Palacios, Luis; Betancurt, Eduardo. 2005.** *Caracterización de propiedades fluidodinámicas de lechos fluidizados en frío con mezclas de carbón - biomasa, usados en procesos de co-gasificación*. Medellín, Medellín, Colombia : s.n., 2005.
- Patiño M, Pedro Elias. 2014.** Biomasa residual vegetal: tecnologías de transformación y estado actual. *Innovacion Universidad de Santander*. 2014, Vol. 2, 1, págs. 45-52.
- Peña, Jesika, y otros. 2017.** Uso energético de la biomasa a través del proceso de gasificación. *Fundación Universidad de América*. 2017, Vol. 10, 2, págs. 165-181.
- Romero Salvador, Arturo. 2010.** Aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía alternativa a los combustibles fósiles. *Rev.R.Acad.Cienc.Exact.Fís.Nat. (Esp)*. 2010, Vol. 104, 2, págs. 331-345.
- SCOZZINA, Emilio Fabián. 2018.** Biomasa: consideraciones generales de la gasificación respecto de ciclos térmicos para generación de electricidad y calor. *Extensionismo, Innovación y Transferencia Tecnológica*. 2018, Vol. 4, págs. 211-217.
- Uribe Soto, Wilmar, y otros. 2017.** A review of thermochemical processes and technologies to use steelworks off-gases. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017, Vol. 74, págs. 809-823.
- Vargas, A y Ramírez, J. 2017.** Determinación de polos de generación distribuida a partir de biomasa residual agrícola en la región Madre de Dios, Perú. *Revista Tecnura*. 2017, Vol. 21, 53, págs. 61-77.
- Vargas, P. 2010.** Intercambiadores tubo y carcasa: análisis térmico. *Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. Dpto. Energética*. 2010.
- Velasco, Jaime González. 2009.** *Energías renovables*. Barcelona : Reverte, 2009. 978-84-291-7912-5.

## ANEXOS

### *Anexo 1: Instrumento de validación de datos*

Producto	Utilizado para:	Tecnología
<b>Calor</b>		
<b>Bio-crudo</b>		
<b>Gas metano</b>		
<b>Bio-crudo</b>		
<b>etanol</b>		



ROBERTO CARLOS AYASTA CUSTODIO  
ING. MECANICO ELECTRICISTA  
REG. CIP. 209717

---

**Firma de validación del instrumento por un profesional**



*Anexo 2: Características del gasificador*

General	
Tipo de gasificador	
tipo de material gasificado	
Sistema de alimentación	
Capacidad	
Eficiencia	
Agente gasificante	
Tiempo estimado de gasificación	
Condiciones de operación	
Presión	
Temperatura máxima	
Alimentación de biomasa	
Tamaño promedio de partícula	
Humedad promedio	
Sistema de recarga del gasificador	
Gas de salida	
cantidad promedio de gas generado	
cantidad de partículas	
poder calorífico inferior (PCI)	
temperatura de salida	

ROBERTO CARLOS AYASTA CUSTODIO  
ING. MECANICO ELECTRICISTA  
REG. CIP. 209717



-----  
**Firma de validación del instrumento por un profesional**

*Anexo 3: Parámetros de Operación Importantes del Gasificador*

<p><b>Medidor de Flujo de Gas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Indicador de variación de presión en la boquilla a flujo promedio (<math>\Delta PN</math>).</li><li>- Caída de presión en la boquilla al nivel admisible más bajo (<math>\Delta PN</math>).</li></ul>	
<p><b>Variación de presión del Gasificador:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Indicador de variación de presión en el gasificador a flujo promedio (<math>\Delta PG</math>).</li><li>- Límites permisibles a flujo promedio <math>\Delta PG</math>.<ul style="list-style-type: none"><li>• Máximo</li><li>• Mínimo</li></ul></li></ul>	



ROBERTO CARLOS AYASTA CUSTODIO  
ING. MECANICO ELECTRICISTA  
REG. CIP. 209717

---

**Firma de validación de los parámetros de operación de un profesional**

**Anexo 4: Solución de Problemas**

	<b>Problema</b>	<b>Posible causa</b>	<b>Solución</b>
1	Muy alta variación de presión del gasificador $\Delta PG$ .	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cama de carbón de madera ahogada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Operar el combo rotor en modo manual continuamente de 5 a 10 minutos. Si no mejora, detener el gasificador y comprobar exceso de ceniza o acumulación de basura en la cama de reducción.</li> </ul>
2	Regreso de fuego por las boquillas de aire.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cama de carbón de madera ahogado exceso de aire entrante en el gasificador por otro lado diferente a las toberas de aire.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Comprobar si hay ingreso de aire en el gasificador por entradas adicionales a las toberas de aire. Comprobar el cierre del cordón de caucho de la puerta de alimentación, pernos de la brida en unión tolva-reactor y pernos en la brida de las toberas de aire.</li> </ul>
3	Muy alta caída de presión a través de los filtros finos, $\Delta PFF$ .	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cama de material para filtrado ahogada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Operar el agitador del filtro fino en el modo manual.</li> <li>▪ Si no mejora, sustituir la materia para filtrado y recuperar su nivel.</li> </ul>

4	Alta temperatura del Gas en la salida del depurador.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bomba depuradora defectuosa o ahogada en la salida de la Boquilla.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Comprobar la bomba depuradora y limpiarla boquilla de salida.</li> <li>▪ Bomba depuradora no funciona.</li> <li>▪ Comprobar la bomba depuradora y limpiarla boquilla de salida.</li> <li>▪ Toberas no están suficientemente encendidas.</li> <li>▪ Encender correctamente las toberas como indica el procedimiento.</li> <li>▪ Pedazos de madera húmedos. El contenido de humedad superior al 20%.</li> <li>▪ Comprobar y sustituir la biomasa.</li> </ul>
5	El gasificador no produce gas durante el arranque.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La caída de presión <math>\Delta</math>PG en la cama de reducción puede ser tan elevada que reduce el flujo en el inicio, (por encima de 50 mm.)Esto sucede cuando el combo rotor no opera lo suficiente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Intentar correr el rotor manualmente de forma continua Si esto no funciona, levantar la tolva, cambiar la cama.</li> <li>▪ Comprobar el tiempo del combo rotor antes de reiniciar.</li> </ul>
6	El gasificador no succiona aire por la tobera incluso después de arrancar la bomba depuradora.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Asentamiento de partículas de carbón en la boquilla y en la garganta del Venturi.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Limpieza regular de la boquilla de agua y del depurador Venturi (dos veces a la semana).</li> </ul>
7	Motor no llega a plena carga.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La producción de gas es insuficiente.</li> </ul>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ahogada la cama reductora, elevada variación de presión del generador <math>\Delta</math>PG.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Proceda según las instrucciones del problema 2.</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Saturada la cama reductora <math>\Delta</math>PG muy baja, menos de 10mm. Combo rotor opera durante períodos largos erráticamente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Intentar correr el rotor manualmente de forma continua. Si esto no funciona, levantar la tolva, cambiar la cama.</li> <li>▪ Comprobar el tiempo del combo rotor antes de reiniciar.</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ El gas no está suficientemente frío y su temperatura es superior a la que se desea. 40 °C.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Comprobar que el flujo de la bomba de depuración sea mínimo 2700 l/h. Limpiar: bomba, válvula de aspiración, boquilla de salida y punta de boquilla con alambre.</li> </ul>
8	Motor no arranca.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Falla de las bujías.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Limpiar las bujías.</li> </ul>
9	Explosiones en el motor.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sistema de encendido defectuoso, si sucede principalmente durante el arranque.</li> <li>▪ El exceso de gas en el motor con baja carga puede producir explosiones por el escape.</li> <li>▪ El exceso de carga con disminución de gas o gas caliente pueden crear explosiones en el lado de entrada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Revisar: bujías, condensador, cable defectuoso HT. Reemplazar. Comprobar si hay conexiones sueltas en el sistema de encendido LT. Apretar.</li> <li>▪ Reducir ligeramente la válvula de gas del motor.</li> <li>▪ La disminución de gas podría deberse a una gran caída de presión en el gasificador, filtro fino y los filtros de seguridad. Revisar y corregir como sea procedente. El gas puede calentarse (más de 40°C), debido a un defectuoso sistema de enfriamiento de agua. Revisar y rectificar como es procedente de acuerdo al numeral 3.</li> </ul>

10	El motor no funciona.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Batería descargada del motor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Comprobar los fusibles de la batería.</li> <li>▪ Comprobar que el arrancador de la batería debe estar apretado en ambos extremos.</li> <li>▪ Comprobar alternador de carga la batería.</li> </ul>
11	Motor en marcha, no hay energía.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Interruptor de carga no está encendido "On".</li> <li>▪ MCB del circuito de carga con fallas.</li> <li>▪ HRC fusible dañado.</li> <li>▪ Generador defectuoso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Chequear y rectificar.</li> </ul>
12	Gasificador caliente en la parte inferior.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Combo rotor con fugas en el sello eje.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Apriete la tuerca del collarín ligeramente. Nunca apriete o fuerce el eje.</li> </ul>
13	Caída de presión muy baja a través del filtro fino. $\Delta$ PFF	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La cama de materia del filtro está abierta en alguna parte, es decir, la cama de materia del filtro no está cubierta al nivel especificado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Llene el filtro de materia para filtrado al nivel especificado.</li> </ul>

LEYENDA:

$\Delta$ PG. = Caída de presión del gas.

$\Delta$ PFF = Caída de presión por Filtro Fino.

## Acta de aprobación de originalidad de tesis

 <b>UCV</b> UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	<b>ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD DE TESIS</b>	Código : F06-PP-PR-02.02 Versión : 09 Fecha : 23-03-2018 Página : 1 de 1
--	--	---

Yo, **ING DANTE OMAR PANTA CARRANZA**, docente de la Facultad **DE INGENIERÍA** y Escuela Profesional **INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA** de la Universidad César Vallejo Chiclayo, revisor (a) de la tesis titulada

**"APROVECHAMIENTO DE LA CASCARILLA DE CAFÉ PARA GENERAR ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA PLANTA PROCESADORA REPRESENTACIONES MEGO SRL EN JAEN"**

Del estudiante **NATÁN PÉREZ PÉREZ**, constato que la investigación tiene un índice de similitud de **20%** verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

Chiclayo, 05 de diciembre de 2019



Mgtr Ing Dante Omar Panta Carranza

DNI: 17435779

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante del SGC	Aprobó	Vicerrectorado de Investigación
---------	----------------------------	--------	-----------------------	--------	---------------------------------

## Reporte Turnitin

### APROVECHAMIENTO DE LA CASCARILLA DE CAFÉ

#### INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>20%</b>	<b>15%</b>	<b>2%</b>	<b>13%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

#### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>Submitted to Fundacion Universidad de America</b> Trabajo del estudiante	<b>2%</b>
<b>2</b>	<b>repository.eafit.edu.co</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>3</b>	<b>docplayer.es</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>4</b>	<b>scielo.sld.cu</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>journals.continental.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>



## Autorización de publicación de tesis en repositorio institucional UCV

 <b>UCV</b> UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	<b>AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b> UCV	Código : F08-PP-PR-02.02 Versión : 10 Fecha : 10-06-2019 Página : 1 de 1
--	---	---

Yo, **Natán Pérez Pérez**, identificado con DNI N° 41914104, egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad César Vallejo, autorizo ( X ) , No autorizo ( ) la divulgación y comunicación pública de mi trabajo de investigación titulado

**“APROVECHAMIENTO DE LA CASCARILLA DE CAFÉ PARA GENERAR ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA PLANTA PROCESADORA REPRESENTACIONES MEGO SRL EN JAÉN”**

en el Repositorio Institucional de la UCV (<http://repositorio.ucv.edu.pe/>), según lo estipulado en el Decreto Legislativo 822, Ley sobre Derecho de Autor, Art. 23 y Art. 33

Fundamentación en caso de no autorización:

.....  
.....  
.....  
.....  
.....



FIRMA

DNI: 41914104

FECHA: 05 de diciembre del 2019

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante de la Dirección SGC	Aprobó	Vicerrectorado de Investigación
---------	----------------------------	--------	-----------------------------------	--------	---------------------------------

## Autorización de la versión final del trabajo de investigación



# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

### AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTE POR EL PRESENTE EL VISTO BUENO QUE OTORGA EL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN DE

#### ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

A LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN QUE PRESENTA:

**NATÁN PÉREZ PÉREZ**

INFORME TITULADO:

**APROVECHAMIENTO DE LA CASCARILLA DE CAFÉ PARA GENERAR ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA PLANTA PROCESADORA REPRESENTACIONES MEGO SRL EN JAÉN**

PARA OBTENER EL TÍTULO O GRADO DE:

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

SUSTENTADO EN FECHA : **19 DE JULIO DEL 2019**

NOTA O MENCIÓN : **APROBADO POR MAYORÍA**



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Mgr. Dante Omar Panta Carranza  
Coordinador de Escuela Ingeniería Mecánica Eléctrica

FIRMA DEL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN