



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
"PEDRO RUIZ GALLO"**



**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**

## **TESIS**

**Para Optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**Evaluación De La Gasificación De Cascarilla  
De Arroz Para Optimizar La Eficiencia  
Energética De Un Molino De Arroz**

**Autor:**

**Bach. Diaz Vásquez Edinson Javier**

**Asesor:**

**Ing. Villalobos Cabrera Jony**

**LAMBAYEQUE – PERÚ**

**2023**



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
"PEDRO RUIZ GALLO"**



**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**

## **TESIS**

**Para Optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**Evaluación De La Gasificación De Cascarilla  
De Arroz Para Optimizar La Eficiencia  
Energética De Un Molino De Arroz**

**Presentado por:**

**Bach. DIAZ VASQUEZ EDINSON JAVIER**

**Aprobado por el Jurado Examinador:**

**PRESIDENTE:** M.Sc. Ing. Carlos Yupanqui Rodríguez

**SECRETARIO:** M.Sc. Lic. Egberto Gutiérrez Atoche

**MIEMBRO:** Ing. Teobaldo Julca Orozco

**ASESOR:** M.Sc. Ing. Villalobos Cabrera Jony

**LAMBAYEQUE – PERÚ**

**2023**



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
"PEDRO RUIZ GALLO"**



**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**

**TESIS**

**TITULO**

**EVALUACION DE LA GASIFICACION DE CASCARILLA  
DE ARROZ PARA OPTIMIZAR LA EFICIENCIA  
ENERGETICA DE UN MOLINO DE ARROZ**

**Contenido:**

**CAPITULO I:** PROBLEMA DE LA INVESTIGACION.

**CAPITULO II:** MARCO TEORICO.

**CAPITULO III:** MARCO METODOLOGICO.

**CAPITULO IV:** ANÁLISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS.

**CAPITULO V:** CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

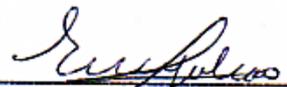
**CAPÍTULO VI:** REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

**CAPITULO VII:** ANEXOS.

**AUTOR: Bach. Díaz Vásquez Edinson Javier**

  
M.Sc. Ing. CARLOS YUPANQUI RODRIGUEZ  
PRESIDENTE

  
M.Sc. Lic. EGBERTO SERAPIN GUTIERREZ ATOCHE  
SECRETARIO

  
ING. TEOBALDO EDGAR JULCA OROZCO  
MIEMBRO

  
M.Sc. Ing. JONY VILLALOBOS CABRE  
ASESOR

  
UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO  
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica  
Dr. Ing. TEOBALDO AGUIRRE  
Decano

**LAMBAYEQUE – PERÚ**

**2023**

### **CONSTANCIA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD DE TESIS**

Yo, Jony Villalobos Cabrera, Docente / Asesor de tesis, del estudiante, Br. DIAZ VASQUEZ EDINSON JAVIER, con su trabajo de investigación Titulada "EVALUACION DE LA GASIFICACION DE CASCARILLA DE ARROZ PARA OPTIMIZAR LA EFICIENCIA ENERGETICA DE UN MOLINO DE ARROZ". luego de la revisión exhaustiva del documento constato que la misma tiene un índice de similitud del 18 % verificable en el reporte de similitud 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 Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Lambayeque, 10 de Octubre del 2023



.....  
JONY VILLALOBOS CABRERA  
DNI: 16699530  
ASESOR



**ACTA DE SUSTENTACION N°022-2023-FIME**



En la ciudad de Lambayeque, siendo las 12:00 p.m. del día viernes 30 de junio de 2023. Se reunieron los miembros del jurado, designados mediante Resolución N°151-2023-D-VIRTUAL-FIME, de fecha 28 de junio de 2023, con la finalidad de Evaluar y Calificar la sustentación de la Tesis - modalidad ordinaria, conformado por los siguientes catedráticos:

<b>M.Sc. Ing. CARLOS YUPANQUI RODRIGUEZ</b>	<b>PRESIDENTE</b>
<b>M.Sc. Lic. EGBERTO SERAFIN GUTIERREZ ATOCHE</b>	<b>SECRETARIO</b>
<b>ING. TEOBALDO EDGAR JULCA OROZCO</b>	<b>MIEMBRO</b>
<b>M.Sc. Ing. JONY VILLALOBOS CABRERA</b>	<b>ASESOR</b>

Se recibió la Tesis – modalidad ordinaria titulada:

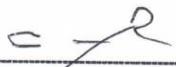
**“EVALUACIÓN DE LA GASIFICACIÓN DE CASCARILLA DE ARROZ PARA OPTIMIZAR LA EFICIENCIA ENERGETICA DE UN MOLINO DE ARROZ”.**

Presentada y sustentada por su autor, Bachiller: **DIAZ VASQUEZ EDINSON JAVIER.**

Finalizada la sustentación de Tesis – modalidad ordinaria, el sustentante respondió las preguntas y observaciones de los miembros del jurado examinador, quienes procedieron a deliberar y acordaron otorgar el calificativo de **APROBADO**, Nota ( 16 ) en la escala vigesimal, mención Buena.

Quedando el sustentante apto para obtener el Título profesional de Ingeniero Mecánico Electricista, de acuerdo a la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente, de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 13:00 del mismo día se da por concluido el acto académico, firmando la presente acta el jurado respectivo:

  
 M.Sc. Ing. CARLOS YUPANQUI RODRIGUEZ  
 PRESIDENTE

  
 M.Sc. Lic. EGBERTO SERAFIN GUTIERREZ ATOCHE  
 SECRETARIO

  
 ING. TEOBALDO EDGAR JULCA OROZCO  
 MIEMBRO

  
 M.Sc. Ing. JONY VILLALOBOS CABRERA  
 ASESOR





## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Edinson Javier Diaz Vasquez  
Título del ejercicio: Quick Submit  
Título de la entrega: EVALUACION DE LA GASIFICACION DE CASCARILLA DE ARRO...  
Nombre del archivo: TESIS\_DIAZ\_VASQUEZ\_EDINSON\_1.docx  
Tamaño del archivo: 14.87M  
Total páginas: 94  
Total de palabras: 11,984  
Total de caracteres: 63,640  
Fecha de entrega: 08-oct.-2023 09:43p. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entre... 2189761061

M.Sc. JONY VILLALOBOS CABRERA

 UNIVERSIDAD NACIONAL  
"PEDRO RUIZ GALLO"  
  
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

**TESIS**

Para Optar el Título Profesional de:

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**EVALUACION DE LA GASIFICACION DE  
CASCARILLA DE ARROZ PARA OPTIMIZAR  
LA EFICIENCIA ENERGETICA DE UN MOLINO  
DE ARROZ**

Autor:

**Bach. DIAZ VASQUEZ EDINSON JAVIER**

Asesor:

**Ing. Villalobos Cabrera Jony**

LAMBAYEQUE - PERÚ  
2023  
1

## EVALUACION DE LA GASIFICACION DE CASCARILLA DE ARROZ PARA OPTIMIZAR LA EFICIENCIA ENERGETICA DE UN MOLINO DE ARROZ

### INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>18%</b>	<b>17%</b>	<b>2%</b>	<b>8%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>6%</b>
<b>2</b>	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>6%</b>
<b>3</b>	<b>repositorio.unprg.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>3%</b>
<b>4</b>	<b>Submitted to Universidad Cesar Vallejo</b> Trabajo del estudiante	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>oa.upm.es</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>repositorio.unprg.edu.pe:8080</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>7</b>	<b>repositorio.ucp.edu.co</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>tesis.pucp.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>9</b>	<b>www.dspace.espol.edu.ec</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>10</b>	<b>Submitted to Universidad Rey Juan Carlos</b> Trabajo del estudiante	<b>&lt;1%</b>
<b>11</b>	<b>repositorio.ute.edu.ec</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>

M.Sc. JONY VILLALOBOS CABRERA

Excluir citas    Activo    Excluir coincidencias < 15 words  
Excluir bibliografía    Activo

## **Dedicatoria**

La presente tesis se la dedico en primer lugar a Dios, ya que el me dio la salud y bienestar para llegar a cumplir esta meta; a mis padres Manuel Díaz Sánchez y Mery Vásquez Cotrina por haberme apoyado en muchos de mis logros incluyendo este y también haberme forjado como persona que soy actualmente; a mi esposa Wendy Chunga Pantaleón y mi pequeño Mauricio Díaz Chunga los que son mi inspiración de superarme cada día para darle lo mejor de mí.

**JAVIER DIAZ VASQUEZ**

## **AGRADECIMIENTO**

Expreso mi más sincero agradecimiento: Doy gracias a Dios por guiarme a este camino de sabiduría, a mis padres por haberme dado una educación y formación fundamental para poder llegar a este grato momento, a mi esposa e hijo por haberme apoyado en todo y todos aquellos profesores que fueron crucial en este largo camino. Un agradecimiento al Ing. Jony Villalobos por guiarme en la asesoría de este proyecto.

Este es un momento muy especial que espero, perdure en el tiempo, no solo en la mente de las personas a quienes agradecí, sino también a quienes invirtieron su tiempo para echarle un vistazo a mi proyecto de tesis, asimismo les agradezco con todo mi ser.

## Índice de contenido

Índice de contenido .....	10
Índice de tablas .....	12
Índice de figuras .....	13
RESUMEN .....	14
ABSTRACT .....	16
Capítulo I Problema de Investigación .....	18
1.1. Realidad Problemática .....	18
1.2. Formulación del Problema .....	18
1.3. Delimitación de la investigación .....	18
1.3.1. Delimitación Espacial.....	18
1.3.2. Delimitación Temporal .....	18
1.4. Justificación e importancia del estudio .....	18
1.5. Limitaciones de la investigación .....	19
1.6. Objetivos .....	19
1.6.1. Objetivos Generales .....	19
1.6.2. Objetivos Específicos .....	20
Capítulo II Marco Teórico .....	21
2.1. Antecedentes de estudios .....	21
2.1.1. Contexto mundial.....	21
2.1.2. Contexto nacional .....	22
2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema investigado .....	24
Capítulo III Marco Metodológico .....	34
3.1. Tipo y Diseño de Investigación. ....	34
3.2. Línea de Investigación .....	34
3.3. Población y Muestra de Estudio .....	34
3.4. Análisis Estadístico e Interpretación de Datos .....	35
3.5. Hipótesis .....	35
3.6. Diseño de Contrastación de Hipótesis .....	36
3.7. Operacionalización de Variables .....	36
3.7.1. Variable independiente .....	36
3.7.2. Variable dependiente.....	36
3.8. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	39

3.9. Procedimientos .....	39
3.10. Método de análisis de datos.....	40
3.11. Aspectos éticos .....	40
Capítulo IV .....	41
Análisis e Interpretación de los Resultados .....	41
4.1.- Características y potenciales energéticos de la cascarilla de arroz pilado, en la región Lambayeque.....	41
4.2.- Principales características del gasificador específico, durante todos los procesos, evaluar la potencialidad de procesos alternativos más modernos....	55
4.3.- Caracterización de la oferta y demanda eléctrica, en molino modelo, caracterizar la demanda energética y las posibilidades de compra y venta de energía al proyecto. ....	67
Capítulo V Conclusiones y Recomendaciones.....	81
5.1. Conclusiones.....	81
5.2. Recomendaciones.....	82

## Índice de tablas

<b>Tabla 1:</b> Variable independiente .....	37
<b>Tabla 2:</b> Variable Dependiente. ....	38
<b>Tabla 3:</b> Características fisicoquímicas en función del grado de humedad de la cascarilla de arroz. ....	43
<b>Tabla 4:</b> Constitución en Material Volátil.....	44
<b>Tabla 5:</b> Potencia y Caudal de la Biomasa. ....	45
<b>Tabla 6:</b> Composición en moles de compuestos de componentes. ....	46
<b>Tabla 7:</b> Volumen de aire y moles estequiométrico. ....	47
<b>Tabla 8:</b> Variables de la Gasificación.....	48
<b>Tabla 9:</b> Constitución del Gasificador. ....	49
<b>Tabla 10:</b> Cuantía a la entrada de la sustancia.....	50
<b>Tabla 11:</b> Número de moles y porcentaje por componentes. ....	50
<b>Tabla 12:</b> Poder Calorífico Inferior. ....	51
<b>Tabla 13:</b> Caudal y consistencia del gas. ....	52
<b>Tabla 14:</b> Componentes del gas.....	53
<b>Tabla 15:</b> Bioaceites - propiedades. ....	57
<b>Tabla 16:</b> Constitución típica del gas de la cascarilla del arroz.....	58
<b>Tabla 17:</b> Selección del gasificador 30/ 300 / 3000 KW.....	60
<b>Tabla 18:</b> Constitución química de la cascarilla de arroz.....	62
<b>Tabla 19:</b> Constitución Molar de la cascarilla de arroz. ....	62
<b>Tabla 20:</b> Transcendentales cargas eléctricas.....	70
<b>Tabla 21:</b> Requerimientos de electricidad.....	71
<b>Tabla 22:</b> Demandas horarias.....	71
<b>Tabla 23:</b> Oferta Térmica, Eléctrica y Energética .....	73

## Índice de figuras

<b>Figura 1:</b> La Biomasa - Ciclo .....	25
<b>Figura 2:</b> Biomasa - Origen .....	26
<b>Figura 3:</b> Producción en el Perú de Residuos Orgánicos.....	28
<b>Figura 4:</b> Cáscara del Arroz.....	30
<b>Figura 5:</b> Procedimiento de entrada del gasificante. ....	31
<b>Figura 6:</b> Gasificadores descendente de Lecho fijo.....	32
<b>Figura 7:</b> Gasificadores circulante de lecho fluidizados.....	33
<b>Figura 8:</b> Opciones de empleo como fuente energética de la cascarilla de arroz. .....	55
<b>Figura 9:</b> Modelo conceptual de gasificador.....	59
<b>Figura 10:</b> Partes integrantes de gasificador.....	60
<b>Figura 11:</b> Cámara de combustión. ....	61
<b>Figura 12:</b> Caudal producido vs Velocidad superficial del gas. ....	66
<b>Figura 13:</b> Proceso de pilado de arroz. ....	68
<b>Figura 14:</b> Maquinaria que integra el proceso. ....	69
<b>Figura 15:</b> Diagrama de carga.....	72
<b>Figura 16:</b> Presupuesto de Inversión Inicial .....	74
<b>Figura 17:</b> Tasas de Interés Base ( Curvas IS – LM ).....	77
<b>Figura 19:</b> Tasa Riesgo País en Latino América ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## RESUMEN

El aprovechamiento de la energía que contiene la cáscara de arroz apilada, que se produce ampliamente en el departamento de Lambayeque y los departamentos próximos de Amazonas, Cajamarca y San Martín, permite diversificar la matriz energética hacia energías no renovables y renovables convencionales, mediante tecnologías como la gasificación en cámaras de combustión, lechos turbulentos y fluidizados.

Se examinaron los avances técnicos como los lechos de combustión fluidizada con lecho presurizado turbulento, que ya se utilizan ampliamente en el extranjero y en todo el mundo, para ver si podrían aplicarse en los molinos de arroz del norte de Perú y para ver si hacerlo sería rentable y permitiría que los molinos para operar los siete días de la semana, las veinticuatro horas del día.

El mercado de la cascarilla de arroz, tiene como sub producto a la cascara de arroz, y en Lambayeque la producción es más de 60 000 hectáreas, a esto le añadimo la producción de Jaén, San Martín y Bagua, siendo una inmejorable oportunidad estratégica para instaurar su aprovechamiento energético, para auto consumo.

La gasificación es una alternativa energética tradicional que combina avances tecnológicos modernos como el lecho fluidizado, el pirólisis anaeróbico y la carbonización hidrotermal. Estas tecnologías producen menos gases de efecto invernadero y contaminación a la atmósfera, así como menos daños a las instalaciones de uso de energía.

El análisis de los procesos de suministro eléctrico reveló que la demanda ya podría ser las 24 horas, los 7 días de la semana ya que no hay problemas. Esto se debe a que las materias primas para el proceso energético se pueden almacenar y los

procesos de suministro son casi uniformes. Para asegurar la calidad del proceso de distribución y comercialización de energía eléctrica, se establecieron tarifas debido a la presencia de horas pico. Estas tarifas determinaron cuál es el excedente vendible al sistema interconectado nacional, así como si los acumuladores de energía son necesarios o no.

Como proyecto de generación energética, se elaboró un plan de negocios con gastos de capital inicial (CAPEX) para acumuladores, gasificadores e interconexión de sistemas. Adicionalmente, se calculó una cantidad de energía comercializable, costos de potencia y energía, además se tomó en cuenta la vida útil económica del proyecto, la tasa de descuento determinada utilizando la tasa de interés base, el resultado de la oferta y demanda de dinero en el mercado monetario, el riesgo país (incluyendo el riesgo de repatriación de capitales y la libertad de reinversión), y el riesgo empresarial privado específico de un individuo que se basa en el historial crediticio del actor o agente económico.

**PALABRAS CLAVE:**

**Eficiencia Energética, Gasificación , Carbonización, Pirolisis.**

## **ABSTRACT**

The use of energy contained in the stacked rice husk, which is produced to a large extent department of Lambayeque and the nearby departments of Amazonas, Cajamarca and San Martín, allows diversifying the energy matrix towards non-renewable and conventional renewable energies.

Technical advances such as turbulent pressurized bed fluidized combustion beds, which are already widely used abroad and around the world, were examined to see if they could be applied to rice mills in northern Peru and to see if doing so would be profitable and would allow the mills to operate seven days a week.

The rice husk market has rice husk as a by-product, and in Lambayeque the production is more than 60,000 hectares, to this we add the production of Jaén, San Martín and Bagua, being an unbeatable strategic opportunity for establish its energy use, for self-consumption.

Gasification is a traditional energy alternative that combines modern technological advances such as the fluidized bed, anaerobic pyrolysis, and hydrothermal carbonization. These technologies produce less greenhouse gases and pollution into the atmosphere, as well as less damage to energy-using facilities.

The analysis of the electricity supply processes revealed that the demand could already be 24/7 since there are no problems. This is because the raw materials for the energy process can be stored and the supply processes are almost uniform. To ensure the quality of the electrical energy distribution and commercialization process, rates were established due to the presence of peak hours. These tariffs determined what is the salable surplus to the national interconnected system, as well as if the energy accumulators are necessary or not.

As a power generation project, a business plan was prepared with initial capital expenditures (CAPEX) for accumulators, gasifiers and system interconnection. Additionally, an amount of marketable energy, power and energy costs were calculated, the economic useful life of the project was also taken into account, the discount rate determined using the base interest rate, the result of the supply and demand of money in the money market, the country risk (including the risk of repatriation of capital and the freedom of reinvestment), and the specific private business risk of an individual that is based on the credit history of the actor or economic agent.

**KEYWORDS: Energy Efficiency, Gasification, Carbonization, Pyrolysis.**

# **Capítulo I**

## **Problema de Investigación**

### **1.1. Realidad Problemática**

En Lambayeque existen los molinos de arroz, los cuales se encargan del pilado de arroz, y como sub producto obtienen la cascarilla de arroz. Todos estos molinos hacen uso de la electricidad como recuso energético que les permite mover la maquinaria para lograr obtener el resultado final.

Estos molinos al hacer uso de la electricidad, en su mayoría trabajan en horas punta lo cual hace que su costo se incremente y haga que su eficiencia energética no sea la más adecuada, lo que redunda en los costos de producción del arroz pilado.

### **1.2. Formulación del Problema**

¿Cómo optimizar la eficiencia energética de un molino de arroz?

### **1.3. Delimitación de la investigación**

#### **1.3.1. Delimitación Espacial**

Esta investigación se desarrolla en el Departamento de Lambayeque.

#### **1.3.2. Delimitación Temporal**

Esta investigación se inicia el 01 de Octubre del 2022.

### **1.4. Justificación e importancia del estudio**

#### **1.4.1 Justificación Técnica**

Al tratarse de una solución alternativa para las industrias, los residuos generados por el descascarillado del arroz serán aprovechados para generar electricidad mediante la obtención de biocombustibles para cubrir sus necesidades energéticas.

#### **1.4.2 Justificación Ambiental**

Se demuestra que, utilizando la cascarilla de arroz, si es factible suministrar energía eléctrica sin impactar impacto al ambiente, y producto de ello menorar el efecto invernadero que afecta a nuestro planeta.

#### **1.4.3 Justificación Social**

Dado que quemar las conchas al aire libre, como se hace hoy en día, evita la inhalación de humos contaminados que son malos para el sistema respiratorio, se centra en cuestiones de salud. Al utilizar la cascarilla de arroz para gasificación, es posible evitar la quema de estos residuos al aire libre, reduciendo la liberación de cantidades significativas de dióxido de carbono y mejorando la calidad del aire de la región de Lambayeque.

#### **1.4.4 Justificación Económica**

Esta investigación tiene grandes beneficios para los molineros de arroz, puesto que, al implementar esta forma de generación de energía en su industria, el costo del kWh será mucho más bajo que el nivel actual. El objetivo general es evaluación y selección de gasificación de cascarilla de arroz para la generación de energía eléctrica en la provincia de Lambayeque.

### **1.5. Limitaciones de la investigación**

- Poca información en el registro de documentación.

### **1.6. Objetivos**

#### **1.6.1. Objetivos Generales**

Evaluar la gasificación de cascarilla de arroz para optimizar la eficiencia energética de un molino de arroz

### **1.6.2. Objetivos Específicos**

- Precisar las características y potencial energético de la cascarilla de arroz Lambayeque.
- Identificar las características clave del gasificador en particular y, mientras esté en funcionamiento, considerar el potencial de procesos alternativos más innovadores.
- Describir la oferta y demanda de electricidad, así como el potencial de compra y venta de electricidad al proyecto en la planta modelo.
- Elaborar la estructura de costos, estados financieros Proforma y realizar los análisis económico-financieros necesarios del sistema de generación.

## **Capítulo II**

### **Marco Teórico**

#### **2.1. Antecedentes de estudios**

##### **2.1.1. Contexto mundial**

(Meneses, 2018), “Realizó su indagación en el laboratorio de la Universidad Nacional de Managua, Nicaragua, logrando la identificación de las propiedades del café y el arroz como recursos, para este experimento analítico se tuvo que realizar pruebas analíticas según la norma de la ATICP, para desarrollar las características de los residuos de arroz, los parámetros de este análisis fisicoquímico son contenido de humedad, cenizas, extracto, % celulosa, % Lignina. un resultado importante, los investigadores cuantificaron la cascarilla de arroz de Nicaragua en 2015 en 1,04 billones de toneladas, se obtuvieron valores característicos para la cascarilla con 6,59% de humedad, 18,52% de ceniza, 0,5% de extracto total, y 36,03% de celulosa, lignina es 18,49%, la hemicelulosa es del 45,48%.

Para, (Adara, 2017), realizó su indagación en Madrid, España, donde indagó construir una planta con cogeneración empleando la gasificación utilizando para ello la cascarilla de arroz. A través del análisis de un documental, descubrió que los países nórdicos utilizan una cantidad significativa de biomasa para la generación de electricidad, lo que reduce su dependencia diaria de proveedores de energía externos. También realizó varias entrevistas a expertos en centrales que generan electricidad con biomasa, con el objetivo de profundizar en su comprensión del tema.

Por otro lado, (Chong, 2018), investigó en Guayaquil, Ecuador, utilizando como método de investigación el análisis documental y descriptivo. Se utilizó un gasificador GET, que significa Gasifier Experimenters Kit en inglés, el cual está compuesto por las siguientes etapas: Totti, tolva, quemador y filtro de gas.

Además, (Osorio, 2019), realizó su trabajo en un molino en Villavicencio de Colombia mientras buscaba la forma de desarrollar un análisis económico técnico de un procedimiento de destilación. Pudo caracterizar la envoltura de arroz utilizando tarjetas de registro como método de recolección de datos. Con un nivel de humedad del 10%, también descubrió que los restos de arroz de la piladora en estudio tienen un potencial energético de 9404,69 MJ/h.

Finalmente, (Arteaga, 2020), realizó su trabajo en el Instituto de Investigaciones Geológicas y Energéticas en Quito, Ecuador, donde tuvo como objetivo analizar la constitución de la cáscara de arroz. El análisis elemental proximal produjo una excelente biomasa con poder calorífico alto, de aproximadamente 13,73 MJ/kg.

### **2.1.2. Contexto nacional**

A nivel nacional, tenemos a (Rios, 2018) en la localidad Tarapoteca de Picota, donde se ubica una empresa agroindustrial, es donde actualmente el investigador realiza su investigación. Allí busca la forma de diseñar una instalación para una central de generación. Sus necesidades se pueden satisfacer usando electricidad de las cáscaras de arroz. En su trabajo consideró herramientas y técnicas como la observación directa, dirigida a analizar las necesidades energéticas de las empresas; el análisis documental,

destinado a recopilar información técnica sobre centrales eléctricas; encuestas y entrevistas con personal de empresas ejecutoras de proyectos. Los principales hallazgos de su estudio son los siguientes: la demanda es de 3.829.680.000 kcal, resultando en una potencial eléctrico de 4.454,29 MWh.

Para, (Perez, 2019); realizó su indagación en una planta procesadora en Jaén, donde experimentó con el uso de cáscaras de café para generar electricidad dentro de la planta. Realizaron análisis de datos utilizando estadísticas descriptivas para comprender cómo se comportaban las variables cuando se usaban cascarillas de café como vaporizadores. El potencial energético de la cascarilla de café como biomasa es de 4 785 386 000 kJ por año, o 1.329.273,8 kW/h de producción.

Además; (Gomez, 2020); elaboró investigaciones en la provincia de Jaén, redimensionó centrales térmicas utilizando residuos de arroz para reducir los costes energéticos de la propia central, determinando como población las centrales de Jaén, para formular sus objetivos llevó a cabo realizó una encuesta para comprender la intención del empresario de invertir en una planta de biomasa. La potencia máxima necesaria para cubrir las necesidades eléctricas de la planta es de 300 kW, proporcionada por una central térmica equipada con una caldera pirotubular de 1,5 Tn/h de capacidad, un turbogenerador tipo SST-040 de 300 kW y 400 kVA. El plano de la línea principal se puede diseñar con la ayuda del software AutoCAD.

## **2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema investigado**

Diversos estudios apuestan por el análisis energético de las calderas de los ingenios azucareros, que es central en nuestra tesis de investigación. A continuación, se muestran algunos proyectos.

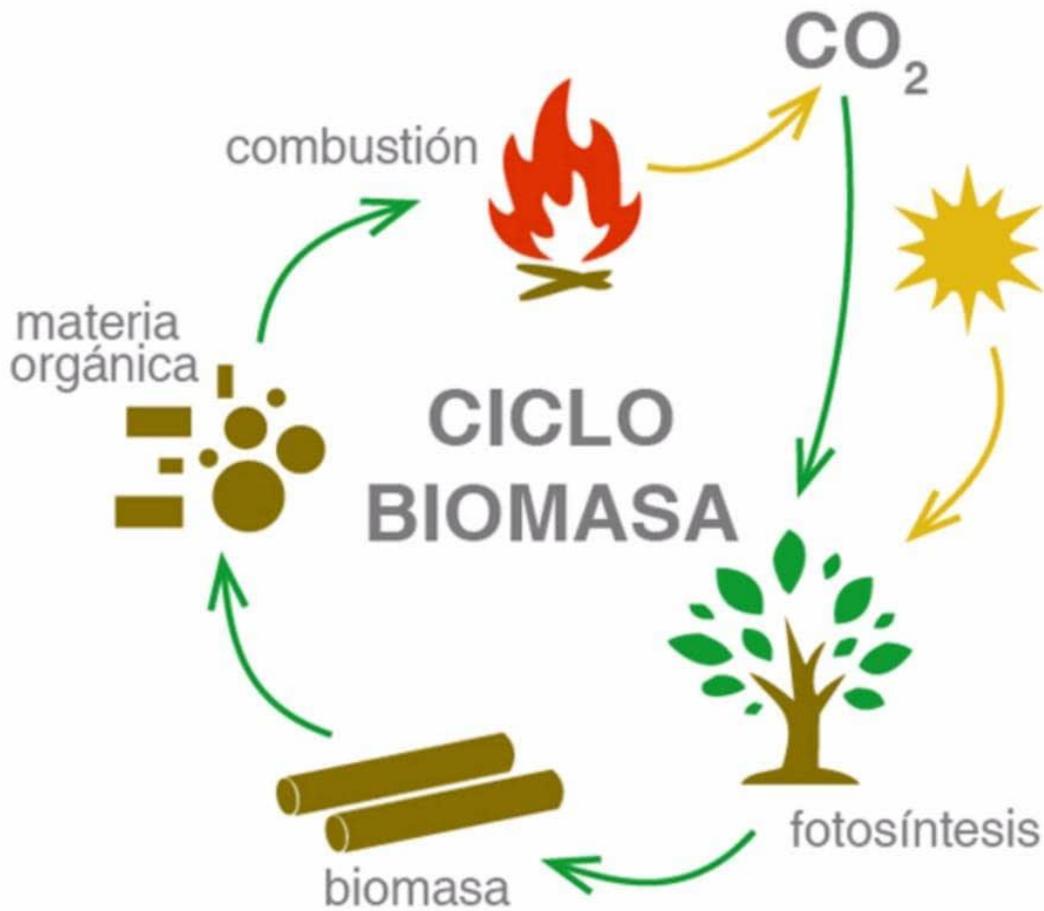
Para desarrollar esta investigación se requiere el empleo de teorías científicamente sustentadas conexas con las variables de estudio.

Dependiendo del tipo de energía utilizada para el proceso, la energía eléctrica se produce en plantas de generación. Se desconoce si estas fuentes pueden renovarse o no. Los sistemas de plomería, viento, energía solar y biomasa son ejemplos de fuentes de energía renovable que se pueden producir de forma natural o artificial. (Gonzalez, 2018).

La energía renovable se considera inagotable porque proviene de fuentes naturales y produce un flujo constante. La energía eléctrica se crea en las plantas de generación en función del tipo de energía utilizada para el proceso. La renovabilidad de estos recursos es discutible. Los ejemplos de fuentes de energía renovable que se pueden crear de una manera artificial o natural circunscriben sistemas de viento, energía solar y biomasa. (Oviedo, 2018).

La energía se produce durante la fotosíntesis. Los animales consumen luz en forma de alimento y energía, mientras que las plantas la absorben y almacenan. Además de los subproductos que no pueden ser consumidos por humanos o animales como alimento pero que pueden usarse como insumo para generar electricidad, (Arevalo, 2017).

**Figura 1: La Biomasa - Ciclo**

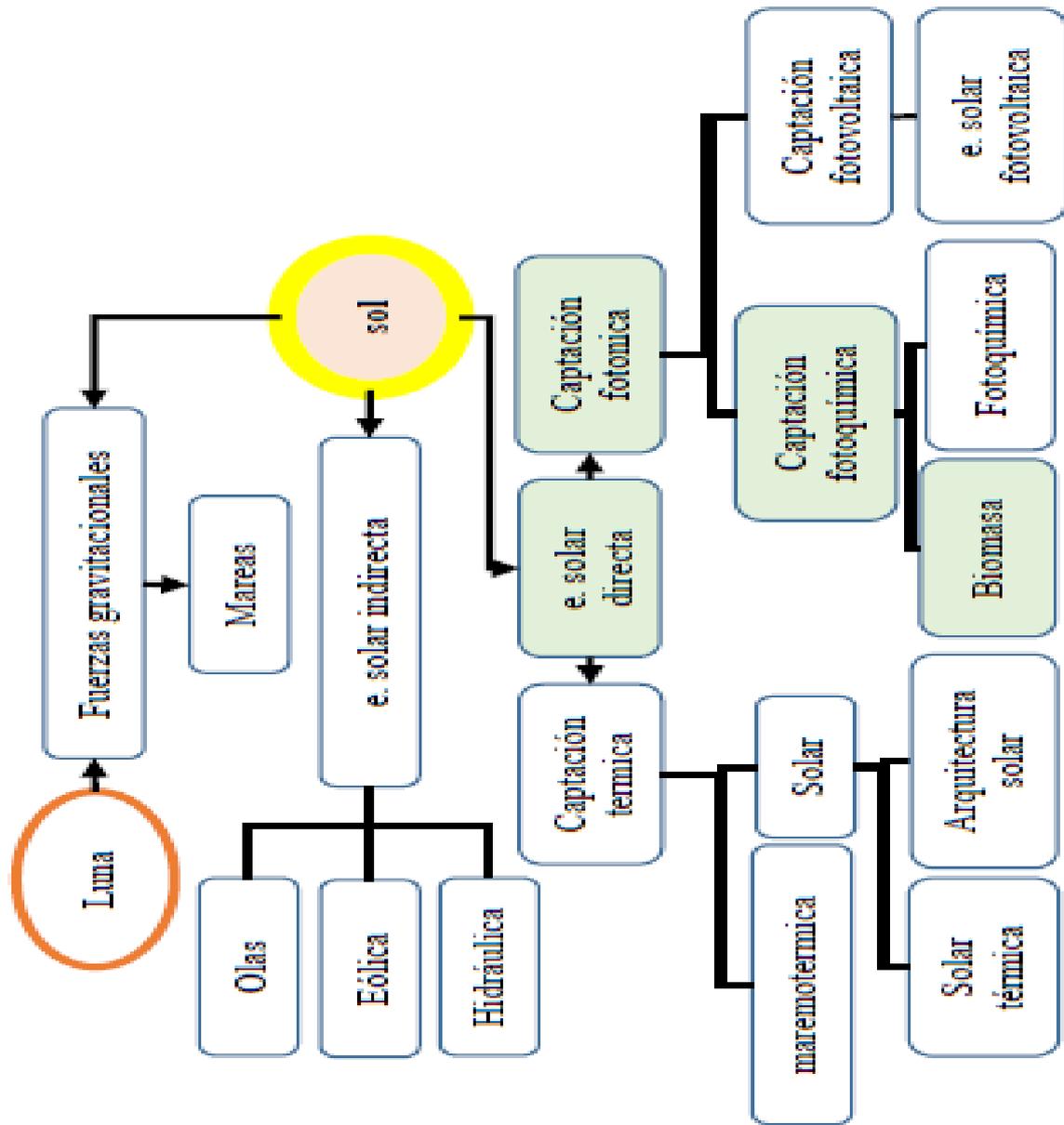


**Fuente:** (Torres, 2017).

Los residuos agrícolas cuyo origen está en los cultivos como café (paja, tallos, etc.) y constituyen la biomasa secundaria y subproductos. (Hurtado, 2018).

El oxígeno, el hidrógeno y el carbono, constituyen la mayor parte de la biomasa; estas sustancias pasan por una reacción exotérmica para liberar su energía.

Figura 2: Biomasa - Origen



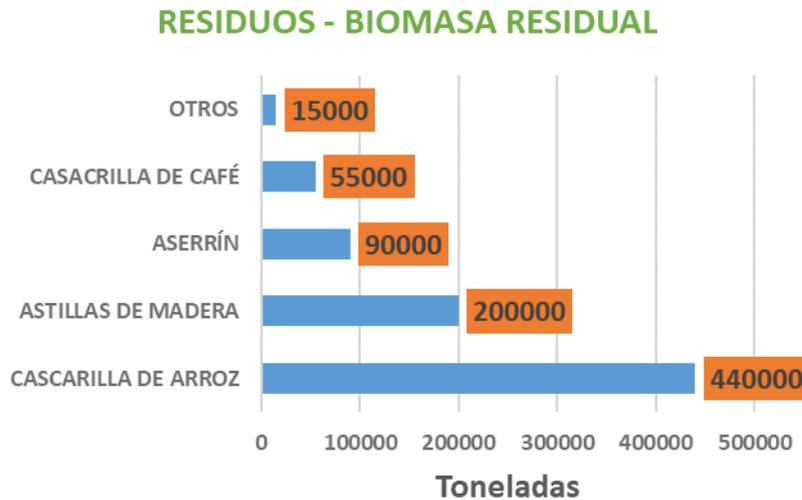
Fuente: (Calero, 2017).

Dependiendo de la función que cumpla, la biomasa se puede clasificar en diferentes niveles; se realizan análisis sobre cosas como su composición elemental, composición orgánica y valor calorífico para la energía.

La biomasa, la energía térmica que se encuentra en las plantas y los animales, se produce de forma natural y se cree que dura para siempre porque corresponde a la fase de reciclaje y utilización. En el proceso de fotosíntesis, los vegetales utilizan la energía proporcionada por el sol para crear compuestos orgánicos que luego son consumidos por los animales para generar desechos ricos en energía. Se pueden producir alrededor de 8 MJ/kg de energía al quemar biomasa, 20 MJ/kg al quemar madera verde, 55 MJ/kg al quemar vegetales secados al horno y metano a razón de 0,1 MJ/kg. versus los 12330 MJ/kg del carbón. (Perez L. , 2021)

En Perú, las fabricaciones alimentaria, agrícola y maderera producen muchos desechos. Estos residuos, que ascienden a más de 800.000 toneladas al año, son la principal fuente de biomasa potencialmente aprovechable, de las cuales 456 200 toneladas son cáscara de arroz, 223 000 toneladas de residuos de madera, 94 362 toneladas de polvillo y 55 385 toneladas de cascarilla de arroz. El contenido medio es de 13.000 KJ. (Miller, 2018).

**Figura 3:** Producción en el Perú de Residuos Orgánicos.



**Fuente:** (Ohama, 2019).

Como biomasa, la cáscara de arroz es un subproducto significativo del procedimiento de pilado del arroz. Este proceso consta en el uso de ruedas de fricción o rodillos de goma para separar el germen estéril que forma la cascarilla, las glumas de la cascarilla, quedando el endospermo y el germen con su cubierta. (Najar, 2017).

«Aunque se ha demostrado que la gasificación es más eficaz que la combustión directa, la cáscara de arroz se ha utilizado durante mucho tiempo para generar electricidad.», (Armestoa, 2020).

«Otras aplicaciones de la gasificación se centran en la creación de gas de síntesis para la producción de hidrógeno, que puede obtenerse de la biomasa de forma renovable. En la bibliografía se puede encontrar un análisis exhaustivo de este tema.» (Werther, 2019).

«Por ello, la gasificación de la cascarilla de arroz se recomienda como método sostenible de captura de dióxido de carbono e hidrógeno. Se han realizado investigaciones experimentales sobre su gasificación.», (Holladay, 2019).

«Las variables operativas (temperatura, presión, cantidad y tipo de agente gasificador), las propiedades únicas de la biomasa (especie, composición y origen), el catalizador y el agente de fluidización afectan la composición de los gases producidos durante la gasificación de la biomasa. empleados. De acuerdo con los ensayos mencionados en las referencias.», (Gil, 2019).

«El CO presente puede utilizarse para aumentar la cantidad de H<sub>2</sub> mediante la reacción shift (R2), la cual puede realizarse sobre un catalizador de Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en el intervalo de temperatura recomendado» (Smith, 2017).

La descomposición del residuo de arroz se da en dos fases. «La primera fase consiste en evacuar el agua que está tanto en la superficie como en los espacios internos de la cáscara. En la segunda etapa se produce la pirolisis, de las cáscaras de arroz es la descomposición química interna, provocada por variación de las temperaturas entre 260 °C y 90 °C. (Prada, 2020).

La cáscara de arroz contiene básicamente (C, H, N, Z, cenizas y H<sub>2</sub>O). La quema de cáscaras de arroz produce dióxido de carbono y combina hidrógeno y oxígeno para formar vapor de agua. Cuando ocurre la combustión completa, el carbón se convierte en dióxido de carbono.

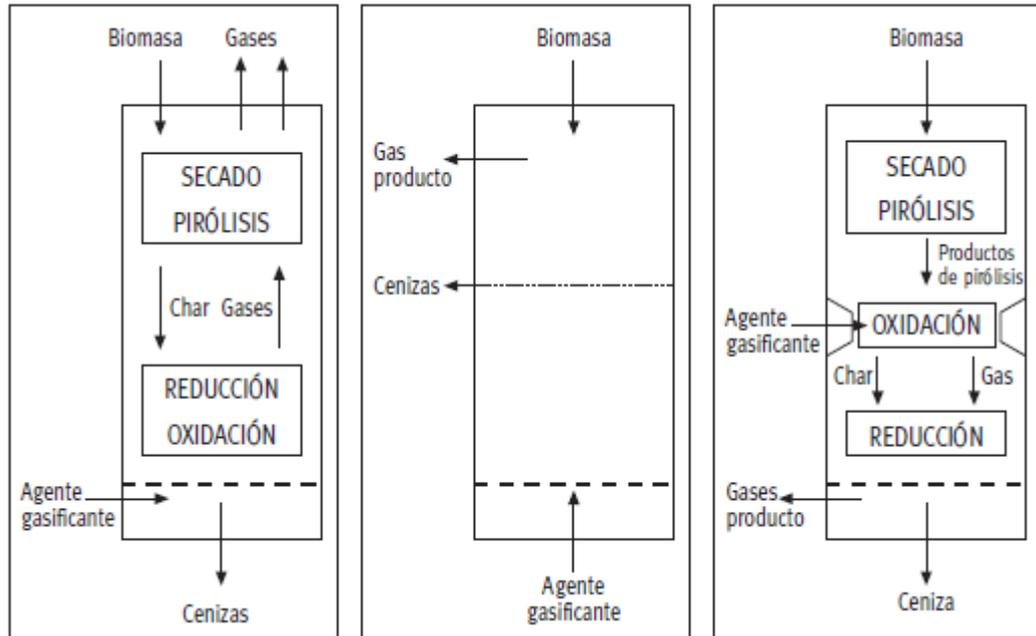
**Figura 4:** Cáscara del Arroz



**Fuente:** Elaborado por el autor

Los pasos son los siguientes: (1) El combustible debe prepararse para homogeneizar el tamaño de las partículas de la biomasa antes de enviarlo al gasificador. (2) Una vez inyectado el gasificante, se vierte la biomasa en el dispositivo. Como salidas se producen gas crudo y restos de escorias y cenizas que deben ser dispuestos apropiadamente. (3) Después de purificar el gas para eliminar la mayor parte de los residuos, debe enfriarse en un intercambiador. El gasificante se calienta utilizando el calor generado durante el proceso de gasificación y durante este mismo proceso. (4) Después de que el gas se haya enfriado, pasa por un filtrado para eliminar las cenizas arrastradas, los naftalenos y el agua. Existen métodos que limpian los gases utilizando agua externa. (5) El gas está preparado para un suministro futuro. (Camargo, 2019)

**Figura 5:** Procedimiento de entrada del gasificante.

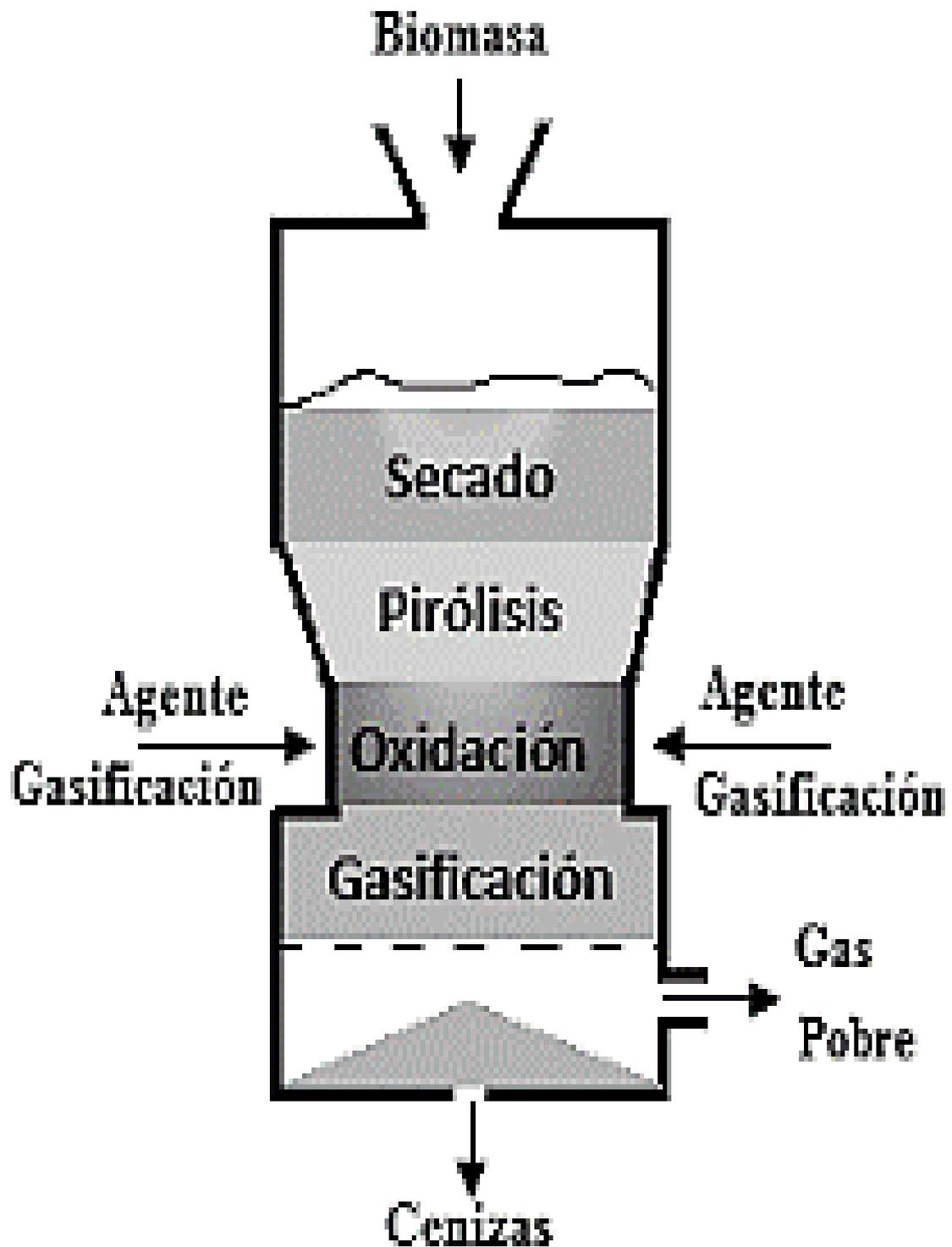


**Fuente:** (Torres W. , 2018).

Cada etapa en un gasificador se pone en contacto en concordancia con el patrón de flujo pistón. El movimiento lento de la biomasa ocurre en circunstancias que el pistón entra en relación con la corriente oxidante. Estos reactores tienen capacidades que van desde los 10 kW hasta los 10 MW con cargas térmicas iniciales.

Su eficiencia de aire caliente oscila entre el 75 y el 95 por ciento y puede producir 6 MJ/Nm<sup>3</sup> de gas pobre. El tamaño varía de 1 a 100 mm. El principal problema es la mala transferencia de calor, que puede hacer que el combustible se aglomere y distorsione la distribución de la temperatura. (Cabrera, 2018).

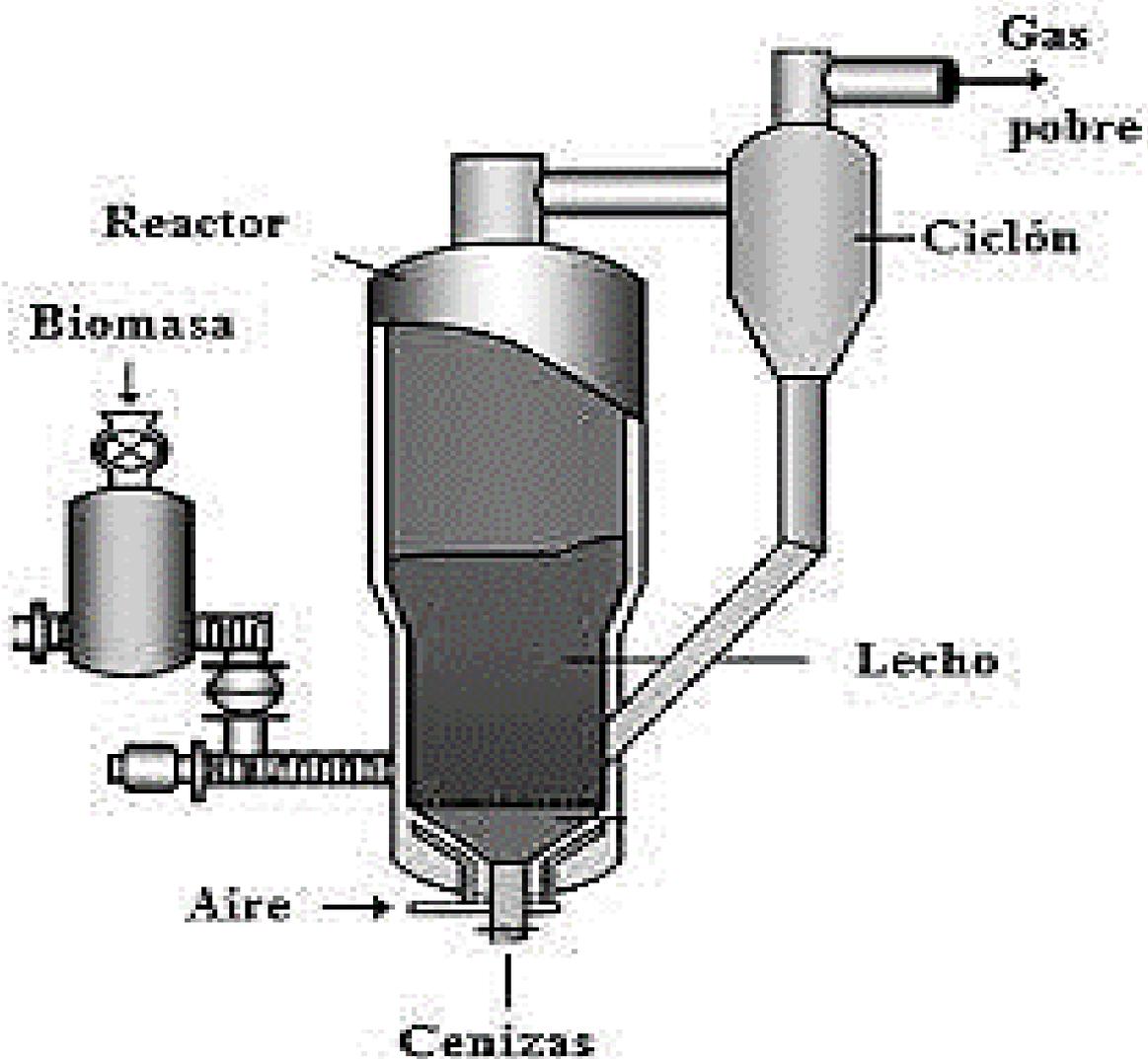
Figura 6: Gasificadores descendente de Lecho fijo.



Fuente: (Tarrillo, 2019).

Al distribuir la temperatura por igual en cada etapa, los gasificadores de lecho fluidizado demuestran una mezcla excelente. El lecho está formado por materiales granulares, algunos de los cuales pueden tener propiedades catalíticas o inertes. Estas herramientas son útiles para convertir la biomasa; la fabricación de alquitrán oscila entre 1 y 50 g/Nm<sup>3</sup>, con una media práctica de 10 g/Nm<sup>3</sup> recirculante y burbujeante son las dos variedades. (Frias, 2019)

**Figura 7:** Gasificadores circulante de lecho fluidizados.



**Fuente:** (Leon, 2018) .

## Capítulo III

### Marco Metodológico

#### 3.1. Tipo y Diseño de Investigación.

**Tipo de investigación:** la investigación a realizar es del tipo aplicada, porque desarrollamos los conocimientos existentes para solucionar una problemática encontrada.

**Diseño de la investigación:** El diseño de la investigación planteada está relacionada a evaluar la destilación de la cascarilla del arroz para optimizar la eficiencia energética de un molino de arroz.

#### 3.2. Línea de Investigación

Ingenierías y Tecnologías.

#### 3.3. Población y Muestra de Estudio

**Población:**

La población está conformada por 30 piladoras de arroz que funcionan en el departamento de Lambayeque.

**Criterio Inclusión:** Se ha tomado a las piladoras de arroz cuya obtención de cascarilla sea superior de 20 ton/día.

**Muestra:**

Se elegirá una unidad como muestra de forma no aleatoria.

$$n = \frac{Z^2 + (N)(p)(q)}{Z^2 + (p)(q) + e^2(N - 1)} \quad Ec, 01$$

**Donde:**

N= 30 - Población.

Z= 1,88 - Nivel de confianza de estudio 94%.

E= 0,09 - Margen de error de muestra.

q= 0,1 - Equilibrio máximo que afecta a la muestra 10%.

p= 0,1 - Equilibrio máximo a favor del prototipo 10%.

Procedemos reemplazar los siguientes datos con la ecuación para hallar el volumen del prototipo:

$$n = \frac{1,88^2(30)(0,1)(0,1)}{1,88^2(0,1)(0,1) + (0,09)^2(30 - 1)}$$

$$n = 1$$

$$n = 1 \text{ Molinos.}$$

**Unidad de análisis:** Molinera de Lambayeque.

### **3.4. Análisis Estadístico e Interpretación de Datos**

Para analizar estadísticamente e interpretación de la información se empleará la estadística descriptiva mediante el estadígrafo Promedio, que nos permitirá deducir valores típicos además es la medida más importante. Así mismo se empleará el índice de dispersión.

### **3.5. Hipótesis**

Mediante la evaluación de la gasificación de la cáscara de arroz se optimiza la eficiencia energética de un molino de arroz.

### **3.6. Diseño de Contrastación de Hipótesis**

En el proceso de desarrollo de la tesis y teniendo en cuenta las metodologías utilizadas, se realizará una evaluación cuantitativa de la validez de la hipótesis. La eficiencia energética de un molino de arroz se optimiza como parte del proyecto actual, que consiste en evaluar la gasificación de la cáscara de arroz.

### **3.7. Operacionalización de Variables**

#### **3.7.1. Variable independiente**

Gasificación de la cascarilla de arroz

#### **3.7.2. Variable dependiente**

Optimización de la eficiencia Energética de Molinos de Pilar arroz

**Definición operacional:**

**Tabla 1:** Variable independiente

VARIABLE DE ESTUDIO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE:</b> Gasificación de cascarilla de arroz.	La gasificación tiene lugar en el interior de los gasificadores. Se caracterizan por el tipo de combustible sólido utilizado, según cómo ingresa el combustible para producir la respuesta deseada. (Diaz, 2018).	Será medido a través de la técnica de observación de características del combustible también se usará la revisión y análisis documental sobre la gasificación de cascarilla de arroz.	Gasificación.	Poder calorífico.	Razón
			Combustible.	Consumo del combustible.	
			Agente gasificante.	Consumo de agente gasificante.	

**Nota:** Elaborado por el autor

**Tabla 2:** Variable Dependiente.

<b>VARIABLE DE ESTUDIO</b>	<b>DEFINICIÓN CONCEPTUAL</b>	<b>DEFINICIÓN OPERACIONAL</b>	<b>DIMENSIÓN</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>ESCALA DE MEDICIÓN</b>
<b>VARIABLE DEPENDIENTE:</b> Optimización de la eficiencia energética de los molinos de arroz	La generación óptima de energía eléctrica, mediante la máquina generador. Los costos de producción de energía eléctrica varían dependiendo el combustible y el sistema de generación. (Barrios, 2018).	Será medido a través de la técnica de revisión y análisis documental sobre la gasificación de la cascarilla de arroz.	Generación	Flujo producido	Razón
			Costo de producción	Costo en kWh.	

**Nota:** Elaborado por el autor

### **3.8. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.**

#### **Técnicas de recolección de datos:**

**a) Análisis de documentos:** Se podrán recopilar datos tanto literarios como técnicos a cerca del empleo de la cáscara de arroz como producción de energía y tecnología gasificadora a base de biomasa.

**b) Observación:** Permitirá observar cómo se apila el arroz en el molino y visualizar los distintos tipos de gasificadores para seleccionar el que mejor se ajuste a las necesidades de reproducción.

#### **Instrumentos de recolección de datos:**

**a) Guía de análisis de documentos:** permitirá analizar los documentos mediante un registro estructurado. Dicha base de datos de información documental son el producto secundario que mejor produce el análisis documental.

**b) Guía de observación:** esta herramienta permitirá crear una relación de indicadores, así como declaraciones y preguntas destinadas a recopilar información pertinente sobre el procedimiento de fabricación de la cáscara de arroz.

### **3.9. Procedimientos.**

Las instalaciones del Molino de Arroz se utilizarán para completar el desarrollo del proyecto. En la empresa, se examinará el procedimiento de molienda. Luego se medirán las propiedades de la envoltura de arroz y su uso, seguido de la aplicación de una guía de observación para aplicar la técnica de observación durante las 24 horas del día de la producción de cascarilla de arroz. De la misma manera, será necesario analizar los registros de los procedimientos de generación de electricidad a partir de biomasa para decretar la efectividad del proceso. Los hitos deben

cuantificarse en el punto de agosto de 2022 cuando se realiza un seguimiento de los costos de producción y los datos de análisis de combustible.

### **3.10. Método de análisis de datos.**

Dado que establece la complementación fundamental entre el sujeto observado y el objeto observado, que es el punto de partida de toda comprensión de la realidad, la técnica de la observación apoya a todas las demás. Los equipos de investigación que elaboran sus propias guías pueden utilizar esta técnica, según Hernández (2017). Los análisis estadísticos, que permiten descubrir promedios, variaciones y errores, se utilizarán como métodos de análisis en este proyecto de investigación. Adicionalmente, se creará una gráfica para mostrar los indicadores de dichas variables.

### **3.11. Aspectos éticos**

Dado que establece la complementariedad fundamental entre el sujeto de la observación y el objeto de la observación, que es el punto de partida de toda comprensión de la realidad, la técnica de la observación apoya a todas las demás. Los equipos de investigación que elaboran sus propias guías pueden utilizar esta técnica, según Hernández (2017). Los análisis estadísticos, que permiten descubrir promedios, variaciones y errores, se utilizarán como técnicas de análisis en este estudio.

## Capítulo IV

### Análisis e Interpretación de los Resultados

#### 4.1.- Características y potenciales energéticos de la cascarilla de arroz pilado, en la región Lambayeque.

La "cáscara de arroz" previamente no utilizada se quemará para obtener energía.

Al hacer esto, se disminuirán las emisiones de metano que resultan del almacenamiento de estos desechos en canteras al aire libre, además de la producción de electricidad para alimentar la red nacional.

La capa resistente que protege el grano de arroz se llama cáscara y forma el 25% del volumen total aproximadamente del arroz procesado.

La cáscara de arroz tiene forma de canoa, tiene un tamaño varía según la variedad, pero normalmente mide entre 8 - 10 mm de largo y 1-2 mm de ancho. Pesa entre 2 y 4 miligramos, dependiendo del tamaño. Tiene una densidad aparente de 1115 kg/m<sup>3</sup>;

Además, hay varias piladoras de arroz en la región, y todos tenían que lidiar con el inconveniente de qué concebir con la cáscara de arroz.

La cascarilla producida en los molinos durante la producción de arroz se vierte en canteras. La calidad del aire se ve afectada cuando estos residuos se queman con frecuencia.

En ausencia de quema, se almacenan en montículos adonde se descomponen lentamente y se fermentan, liberando metano a la atmósfera. Ahora, la prevención de contaminantes se logrará quemando la cáscara para crear energía.

En las regiones cercanas a la siembra y después del procesamiento, la cáscara de arroz es un residuo agroindustrial que se produce en grandes cantidades. Dado que la cáscara normalmente se quema para reducir su volumen y generar humos

contaminantes, se puede utilizar para obtener silicatos debido a su elevada composición de sílice. La cáscara de arroz también se puede utilizar para las siguientes cosas.

Utilizar como combustible en la generación de energía térmica y electricidad.

métodos de combustión utilizados.

Lodos de depuradora, purines o compostaje en instalaciones de tratamiento de aguas residuales (EDAR).

Producción de materiales aislantes, cemento, cerámica y tableros para su empleo en la edificación.

### **Composición de la cascarilla de arroz.**

La relación de la masa de agua contenida por kilogramo de materia seca se utiliza para determinar la cantidad de humedad de la envoltura de arroz posterior del procedimiento de descascarillado, que oscila entre el 5 y el 40%. La humedad promedio de la cáscara después de estar expuesta a la intemperie durante la estación seca es de entre 8 y 15 por ciento.

La biomasa debe tener una humedad menor al 30%. Con frecuencia es necesario implementar operaciones previas de acondicionamiento debido a que los residuos frecuentemente salen del proceso de producción con un contenido de humedad mucho mayor.

**Tabla 3:** Características fisicoquímicas en función del grado de humedad de la cascarilla de arroz.

Grado de humedad (%)	Composición inmediata (%)						Composición inmediata (%)					LVH (MJ/kg)
	C	H	O	N	Cenizas	Total (%)	Materia volátil	Carbono fijo	Cenizas	Humedad	Total (%)	
8.60	42.5	6.0	36.2	0.21	0.49	100	60.20	13.60	17.60	8.60	100	14.58
8.90	39.1	5.2	37.2	0.27	0.43	100	58.80	14.50	17.80	8.90	100	14.09
9.40	37.4	3.7	38.5	0.32	0.38	100	55.70	15.20	19.70	9.40	100	13.34
10.00	36.8	2.9	39.1	0.40	0.30	100	52.90	15.70	21.40	10.00	100	12.54
20.00	21.2	1.9	50.4	0.52	0.08	100	37.20	16.90	25.90	20.00	100	7.07
30.00	12.6	0.5	57.3	0.80	-	100	22.90	18.30	28.80	30.00	100	4.36

**Nota:** (Aita, 2018)

El contenido de humedad del combustible tiene un impacto directo en el poder calorífico, que mide la energía por unidad de masa que está disponible en el combustible. Un alto nivel de humedad disminuye la eficiencia del proceso de combustión porque una gran parte del calor liberado se usa para evaporar el agua en lugar de para la descomposición química de la biomasa.

Según ESPOL en la Revista Tecnológica, el uso de desechos agrícolas para la combustión, como la cascarilla de arroz, resulta en un reciclaje de los materiales de desecho y una disminución de los residuos relacionados con pilas. Es decir, se ha completado la tarea de encaminar estos excedentes agroalimentarios, posibilitando un uso adecuado y posibilitando una reducción de la dependencia del suministro de combustibles.

Cada partícula de biomasa pasa por varias etapas interconectadas durante este proceso, incluido el calentamiento, el secado, la desvolatilización y la ignición de

volátiles y carbón. Para evitar que las partículas sufran una pérdida significativa en más del rango de 200 °C a 300 °C. Sin ninguna pérdida de masa en la biomasa, la combustión del carbón tiene lugar en el rango de 300 °C a 550 °C.

La composición de la materia volátil de la cáscara de arroz se ve afectada por la temperatura, como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 4:** Constitución en Material Volátil.

Temperatura °C	Materia volátil (Composición en %)			
	H2	CO	CO2	CH4
400	1	38	47	14
500	4	33	46	17
600	13	30	36	21
700	20	28	28	24

**Nota:** (Roalcaba, 2017)

En consecuencia, se ve cómo las partículas sufren descomposición térmica durante el proceso de desvolatilización, lo que da como resultado la liberación de compuestos volátiles y la formación de alquitrán y char.

Dado que la cascarilla de arroz tiene un poder calorífico superior al del diésel (de hecho, más del triple), se debe producir la misma cantidad de energía usando tres veces más cascarilla que el diésel.

**Fragmentación.** Permite incrementar el área de superficie específica porque esto hace que el material sea más fácil de encender y quemar al mismo tiempo que produce un tamaño más uniforme.

**Secado.** Su objetivo es hacer que el combustible sea más eficaz para proporcionar calor. Se utiliza particularmente en la adquisición de tarimas y briquetas.

**Compactación.** Además de disminuir los costes de transporte y almacenamiento, aumenta la densidad del combustible.

Las materias primas que se utilizan y el combustible que se producirá determinan las transformaciones químicas.

### **Flujo Concurrente o Gasificador Down Draft**

El procedimiento planteado producirá un poder calorífico mínimo (LHV) al 10% de humedad (MJ/kg) = 12,54 MJ/kg utilizando las 6307,2 Tn/año de biomasa para el gasificador, lo que corresponde a un flujo de biomasa de 0,28 kg/ s.

De donde de acuerdo al estudio propuesto de la potencia térmica de la cascarilla de arroz ( $p_{casc}$ ), se calcula el caudal de biomasa por el LHV , en donde considerando que se permitido la reducción del contenido en humedad de acuerdo al detalle procedente del Molino , de modo que:

$$p_{casc} \text{ (MW)} = \text{Biomasa residual (kg/s)} \cdot L_{HVh} \text{ al 10\% humedad (MJ/kg)}$$
$$p_{casc} \text{ (MW)} = 0,28 \text{ Kg/s} \cdot 12,54 \text{ MJ/kg}$$

$$P \text{ (MW)} = 3,51 \text{ MW.}$$

**Tabla 5:** Potencia y Caudal de la Biomasa.

<b>Caudal de biomasa disponible (kg/s)</b>	0.28
<b>Potencia térmica que aporta la cascarilla (MW)</b>	3.51

**Nota:** Elaborado por el autor.

Se piensa determinar este indicador a partir del ensayo sobre 100,00 kg de la cubierta del arroz con una humedad del 10%, obteniendo los efectos que se muestran en la tabla 6. Esta cuantía de oxígeno es necesaria para la combustión completa en el gasificador.

**Tabla 6:** Composición en moles de compuestos de componentes.

Componente	Porcentaje en masa, m (%)	Masa molar, Mm (kg/kmol)	Cantidad de sustancia por casa 100 kg de biomasa, $n=m/mm$ (kmol/100 kg biomasa)	Productos de la combustión completa	fracción de O que se consume en la combustión completa	Moles estequiométricos de O consumidos en la combustión completa, $neo=nY$ (kmol/100 kg biomasa)
C	36.8	12	3.067	CO <sub>2</sub>	2	6.134
H	2.9	1	2.9	HO <sub>2</sub>	0.5	1.45
O	39.1	16	2.444	-	-1	-2.444
N	0.4	14	0.0094	N <sub>2</sub>	0	0
S	0.3	32	0.56	SO <sub>2</sub>	2	0.0188
H <sub>2</sub> O	10	18		-	-	5.1588

**Nota:** Elaborado por el autor.

La tabla que se muestra indica que la cantidad requerida de O<sub>2</sub> será la mitad de la cantidad calculada de O. El porcentaje de nitrógeno en el aire atmosférico es del 79%, mientras que el porcentaje de oxígeno es del 21%.

Moles estequiométricos de O,  $neO = 5,16$  kmol O/100 kg biomasa

Moles estequiométricos de O<sub>2</sub>,  $neO_2 = 2,6$  kmol O<sub>2</sub>/100 kg biomasa

Moles estequiométricos de aire,  $neaire = 2,6$  kmol O<sub>2</sub>/100 kg biomasa \*  $100/21$  kmol aire/kmol O<sub>2</sub> =  $12,4$  kmol aire/100 kg biomasa.

Dado que conocemos la masa molar promedio del aire a partir de su composición química, tiene la siguiente masa:

$M_{mair}$  es igual a (N<sub>2</sub>)  $14 \cdot 2 \cdot 0,79$  y (O<sub>2</sub>)  $16 \cdot 2 \cdot 0,21$ .

$M_{mair}$  equivale a  $28,84$  kg/kmol de aire.

$M_{\text{aire}} = 12,4 \text{ kmol aire}/100 \text{ kg biomasa} * 28,84 \text{ kg aire}/\text{kmol aire}$  es la fórmula para la masa de aire.

$M_{\text{aire}}$  es 357,62 kg de aire por 100 kg de biomasa.

El volumen de aire se obtiene:

( $T=273,15 \text{ K}$ ,  $p = 101325 \text{ Pa}$ ) como sigue.

$PV = nRT$  es la fórmula.

$V = (n \cdot R \cdot T)/P$ .

V se calcula como  $(12,4 \text{ kmol aire}/100 \text{ kg de biomasa} * 8,314 \text{ J}/\text{mol} \cdot \text{K} * 273,15 \text{ K}) / 101325 \text{ Pa} * 1000 \text{ kmol aire}/\text{mol aire}$ .

$V_{\text{aire}}$  se define como  $100 \text{ kg de biomasa}/277,9 \text{ Nm}^3$  de aire.

**Tabla 7:** Volumen de aire y moles estequiométrico.

<b>Moles estequiométricos de O neO</b>	5.16 kmolO/100kg biomasa
<b>Moles estequiométricos de O neO2</b>	2,6 kmol aire/100 kg biomasa
<b>Moles estequiométricos de aire, ne aire</b>	12,4 kmol aire/100 kg biomasa
<b>Masa estequiométricos de aire, ne aire</b>	357,62 kg aire/100 kg biomasa
<b>Volumen de aire necesario, Vaire</b>	277,9 Nm3 aire/100 kg biomasa

**Nota:** Elaborado por el autor.

La siguiente fórmula se utiliza para expresar la relación equivalente (ER):

ER es una fórmula estequiométrica que equivale a  $(\text{flujo de aire}/\text{biomasa consumida}) / (\text{flujo de aire}/\text{biomasa consumida})$ .

Donde el ER es estequiométricamente igual a 0,30.

La masa de aire real se calcula como  $m_{\text{aire}} = m_{\text{aire}} * \text{ER}$ .

$m_{\text{aire}} = 3,57 \text{ kg aire}/\text{kg biomasa} * 0,3$ .

$m_{\text{aire}} = 1,07 \text{ kg aire}$ .

$Biomasa_{disp} = 0,28 \text{ kg biomasa/s.}$

$Aire_{steq}, \text{ caudal de aire.} = m_{aire} * Biomasa \text{ disp.}$

$Aire_{steq.} = 0,28 \text{ kg biomasa/s} * 3,57 \text{ kg aire/kg biomasa.}$

$Aire_{steq.} \text{ 1 kg de aire por segundo.}$

Flujo de aire real:  $Aire \text{ real} = m_{aire} * \text{Eliminación de biomasa.}$

$Air_{real}$  se calcula de la siguiente manera:  $1,07 \text{ kg aire/kg biomasa} * 0,28 \text{ kg biomasa/s.}$

$Air_{real}$  es igual a  $0,29 \text{ kg/s.}$

**Tabla 8:** Variables de la Gasificación.

<b>Ratio Equivalente, ER</b>	0.3
<b>Masa de aire estequiométrico, <math>m_{aire}</math></b>	3,57 kg aire/kg biomasa
<b>Masa de aire real, <math>m_{aire}</math></b>	1,07 kg aire/kg de biomasa
<b>Caudal de biomasa disponible, <math>Biomasa_{disp}</math></b>	0,28 kg biomasa/s
<b>Caudal de aire estequiométrico, <math>Aire_{steq}</math></b>	1,0 kg aire/s
<b>Caudal de aire real, <math>Aire_{real}</math></b>	0,29 kg aire/s

**Nota:** Elaborado por el autor.

De acuerdo al ensayo,  $P = P_e - P_{salida}$

Los resultados del acuerdo por  $P_{salida}$  fueron los siguientes:

$P_{salida} = P_e - P$  donde.

$P_{salida} = 101,325 \text{ kPa} - 0,98 \text{ kPa.}$

$P_{salida} = 100,345 \text{ kPa.}$

El análisis para conocer la composición y características del gas de síntesis se realizó de acuerdo al contenido de la biomasa, Esto se obtuvo a partir de análisis elementales y estudios analíticos directos de caracterización de combustibles

(cáscara de arroz). En base a la siguiente información obtenida de las tablas proporcionadas y teniendo en cuenta la temperatura del gas de escape en el gasificador, la biomasa que entra al gasificador tiene una humedad del 10% y consiste principalmente en sustancias volátiles.

**Tabla 9:** Constitución del Gasificador.

Temperatura (°C)	Composición	Contenido (%)
700	H <sub>2</sub>	20
	Cl	28
	CO <sub>2</sub>	28
	CH <sub>4</sub>	24
Total		100

**Fuente:** (Ankur, 2019).

La composición de nitrógeno y oxígeno se determina a partir del "análisis de resultados", que se requiere para determinar cuántos moles de O y N forman parte de la constitución del aire.

Los moles obtenidos de O en el aire,  $n_{O_{aire}} = n_{eO} * ER$

$$n_{O_{aire}} = 5,16 \text{ kmol O/100 kg biomasa} * 0,3$$

$$n_{O_{aire}} = 1,548 \text{ kmol O/100 kg aire.}$$

De igual forma se encuentra los Moles de N en el aire,

$$n_{N_{aire}} = n_{eO} * ER * 79/21$$

$$n_{N_{aire}} = 5,16 \text{ kmol O/100 kg biomasa} * 0,3 * 79/21$$

$$n_{N_{aire}} = 5,82 \text{ kmol N/100 kg aire.}$$

La tabla muestra los moles que forman parte de la biomasa y el aire, y cuando se suman, dan como resultado:

**Tabla 10:** Cuantía a la entrada de la sustancia.

Cantidad de sustancia a la entrada (biomasa + aire)			
	Componente	n (kmol/100 kg biomasa)	Total
BIOMASA	C	3.067	3.067
	H	2.9	4.02
	O	2.444	4.552
	N	0.03	5.85
	S	0.0094	0.0094
	H <sub>2</sub> O	0.56	-
	Componente	n (kmol/100 kg biomasa)	-
AIRE	O	1.548	-
	N	5.82	-
Temperatura a la salida del gasificador (°C)		850	-

**Fuente:** Elaborado por el autor.

La siguiente tabla se utilizó para calcular la el contenido total de cada componente químico que se encuentra en la mezcla de gas de síntesis según la información proporcionada en la tabla y los datos proporcionados anteriormente:

**Tabla 11:** Número de moles y porcentaje por componentes.

Compuesto	Composicion (%)	C	H	N	O	S	Numero de moles, n (kmol/100 kg biomasa)
C	48	1.472	-	-	1.4722	-	1.4722
CO <sub>2</sub>	48	1.472	-	-	2.9444	-	1.4722
CH <sub>4</sub>	4	0.1227	0.4908	-	-	-	0.1227
N <sub>2</sub>	-	-	-	5.85	-	-	2.9250
H <sub>2</sub> O	-	-	0.2332	-	0.1166	-	0.1166
H <sub>2</sub>	-	-	3.296	-	-	-	1.6480
SO <sub>2</sub>	-	-	-	-	0.0188	0.009400	0.0094
<b>Total</b>	100	3.067	4.02	5.85	4.552	0.009400	7.7661

**Fuente:** (Baron, 2018)

Los compuestos constituyentes del gas de síntesis, empleando la formula siguiente:

$$X_i = (n_i \cdot M_{mi}) / [\sum (n_i \cdot M_{mi})]. \quad \text{Ec, 02}$$

Mostrados en la tabla 12:

**Tabla 12:** Poder Calorífico Inferior.

Compuesto	Masa molar, Mm (g/mol)	Y (% en volumen)		X (% en volumen)		Gas húmedo Mm*Y	Gas seco Mm*Y	LHV kJ/Nm <sup>3</sup>	LHV*Y (base seca) kJ/Nm <sup>3</sup>
		Base húmeda	Base seca	Base húmeda	Base Seca				
C	12	18.96	10	21.05	21.28	5.31	5.39	12618	1261.8
CO <sub>2</sub>	44	18.96	19.24	33.09	33.44	8.34	8.47	0	0
CH <sub>4</sub>	16	1.58	1	1	1.01	0.25	0.26	35807	358.07
N <sub>2</sub>	28	37.66	38.22	41.83	42.28	10.54	107	0	0
H <sub>2</sub> O	18	1.5	-	1.07	-	0.27	-	0	0
H <sub>2</sub> O	2	21.22	10	1.68	1.7	0.42	0.43	10788	1078.8
SO <sub>2</sub>	64	0.12	0.12	0.31	0.31	0.08	0.08	0	0
Total		100	100	100	100	25.21	25.33	59213	2698.67

**Nota:** Elaborado por el autor.

La información obtenida según las tablas se utiliza para calcular el LHV del gas de síntesis que es 2698,67 kJ/Nm<sup>3</sup> = 2,69 MJ/Nm<sup>3</sup>, asumiendo que el proceso utilizado en la presente investigación tiene el poder calorífico más bajo del gas de síntesis.

El volumen de gas necesario para una combustión completa de un kilogramo de biomasa también se calcula en el estudio propuesto. Para ello sometemos el gas a condiciones normales (T = 273,15 K, P = 101325 Pa), aplicando la ley de los gases perfectos (R = 8,314 J/mol K).

T = 273,15 K, P = 101325 Pa y R = 8,314 J/mol son las ecuaciones resultantes. K, n = 6, 978 kmol/100 kg biomasa, volumen molar de gas, Vmolar = 22,41 Nm<sup>3</sup>/kmol.

PV = nRT como resultado.

$$V_{\text{gas}} = (n \cdot R \cdot T) / P = (7,7661 \text{ kmol} / 100 \text{ kg biomasa} \cdot (1/100) \cdot 100 \text{ kg biomasa} / \text{kg biomasa} \cdot 1000 \text{ mol} / \text{kmol} \cdot 8,314 \text{ J} / \text{mol} \cdot (\text{K} \cdot 273,15 \text{ K}) / (101325 \text{ Pa}).$$

$$V_{\text{gas}} = 1,7406 \text{ Nm}^3 / \text{kg de biomasa}.$$

$M_m$  (gas seco) = 25,33 kg/kmol y  $M_m$  (gas húmedo) = 25,21 kg/kmol, respectivamente, según datos externos.

**Tabla 13:** Caudal y consistencia del gas.

<b>Densidad del gas húmedo, <math>D_{\text{humedo}}</math></b>	1,125 kg/Nm <sup>3</sup>
<b>Densidad del gas seco, <math>D_{\text{seco}}</math></b>	1,13 kg/Nm <sup>3</sup>
<b>Caudal volumétrico del gas húmedo, <math>Q_v</math> húmedo</b>	0,487 Nm <sup>3</sup> /s
<b>Caudal volumétrico del gas seco, <math>Q_v</math> seco</b>	0,481 Nm <sup>3</sup> /s
<b>Caudal masico del gas húmedo, <math>Q_m</math> húmedo</b>	0,548 kg/s
<b>Caudal masico del gas seco, <math>Q_m</math> seco</b>	0,543 kg/s
<b>Caudal masico de vapor presente en el gas, <math>Q_m</math> vapor</b>	0,00576 kg/s

**Nota:** Elaborado por el autor.

Los resultados del estudio se utilizan para calcular la potencia térmica del gas de síntesis, que también tiene en cuenta la temperatura del punto de rocío a la que se condensa el vapor de agua del gas.

La siguiente fórmula describe cómo cambia la presión del vapor de agua con la temperatura de rocío en la salida del gasificador.

$P_{\text{aire}}$   $P_{\text{steam}}$  también se conoce como  $P_{\text{out}}$ .

la presión del agua del vapor.

$$P_{\text{vapor}} = ((0,0057 \text{ kg} / \text{s} / 0,48 \text{ Nm}^3 / \text{s}) \cdot 8,314 \text{ J} / \text{mol} \cdot \text{K} \cdot 273,15 \text{ K}) / 0,018 \text{ kg} / \text{mol}$$

$$P_{\text{vapor}} = 1498,2 \text{ Pa} = 1,49 \text{ kPa}.$$

$$P_{\text{aire}} = 100,3 \text{ kPa} - 1,49 \text{ kPa} = 98,81 \text{ kPa}.$$

$T_{\text{rocío}}$ : grados Celsius para el punto de rocío.

$P_{\text{vapor}}$ : La presión de vapor de agua, en kPa, del gas de síntesis.

La  $T_{\text{rocio}}$  es 286K.

El poder calorífico del gas de síntesis se multiplica por el caudal volumétrico del gas seco para calcular la potencia del gas seco como combustible para el estudio actual.

$$P_{\text{seco}} = \text{LHV} \cdot Q_{\text{vdry}} = 0,4801 \text{ Nm}^3/\text{s} \cdot 2,69 \text{ MJ}/\text{Nm}^3 = 1,29 \text{ MW}.$$

El total de lo que el gas seco ( $PG_{\text{dry}}$ ) y el gas húmedo ( $PG_{\text{wet}}$ ) contribuyeron cada uno en términos de potencia.

$$F_{\text{térmico}} = PG_{\text{húmedo}} + PG_{\text{seco}}.$$

El estudio propuesto determinó las entalpías con base a la entrada, salida del gasificador y para cada compuesto químico presente en el syngas.

**Tabla 14:** Componentes del gas.

Componente	Calor específico de cada componente $C_p$ ( $T = a + b \cdot T + cT^2 + d \cdot T^3$ (kJ/kmol $\cdot$ K))				$T_{\text{entrada}}$		$T_{\text{salida}}$		$h_{i,\text{entrada}}$ (kJ/kmol)	$h_i$ , (kJ/kmol)	$h_i$ , Gas (kJ/kg)	$\Sigma h_i$ , GAS (kJ/kg)
	a	b	c	d	$^{\circ}\text{C}$	K	$^{\circ}\text{C}$	K				
CO	28.16	0.0017	$5,4 \cdot 10^{-6}$	$-2,2 \cdot 10^{-9}$	25	298.2	850	1123	8514.82	34375.2	196.54	1126.53
CO <sub>2</sub>	22.26	0.0598	$-3,5 \cdot 10^{-5}$	$7,5 \cdot 10^{-9}$					9000.34	49173.32	305.3	
CH <sub>4</sub>	19.89	0.0502	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$-1,1 \cdot 10^{-8}$					8254.55	55765.72	29.99	
N <sub>2</sub>	28.9	-0.0016	$8,1 \cdot 10^{-6}$	$-2,9 \cdot 10^{-9}$					8611.25	34121.57	385.21	
H <sub>2</sub>	29.11	-0.0019	$4 \cdot 10^{-6}$	$-8,7 \cdot 10^{-10}$					8628.32	33039.48	207.5	
SO <sub>2</sub>	25.78	0.058	$-3,81 \cdot 10^{-5}$	$8,61 \cdot 10^{-9}$					9944.63	50952.2	1.99	

**Nota:** Elaborado por el autor.

Entonces para el estudio la potencia térmica equivale al caudal másico del gas seco por la suma de entalpías de los compuestos químicos.

$$PG_{\text{seco}} = Q_{\text{mseco}} \cdot \Sigma h_{i,\text{gas}} = 0,543 \text{ kg}/\text{s} \cdot 1126,53 \text{ kJ}/\text{kg} = 611,71 \text{ kW}$$

$$P_{G\text{seco}} = 0,6117 \text{ MW}$$

Potencia térmica disponible en el gas húmedo:

$$P_{G\text{húmedo}} = Q_{m\text{vapor}} * h_{G\text{húmedo}} = 0,0057 \text{ kg/s} * 4036,11 \text{ kJ/kg} = 23 \text{ kW}$$

$$P_{G\text{húmedo}} = 0,023 \text{ MW}$$

$$P_{\text{térmica}} = P_{G\text{seco}} + P_{G\text{húmedo}}$$

$$P_{\text{térmica}} = 0,611 \text{ MW} + 0,023 \text{ MW}$$

$$P_{\text{térmica}} = 0,635 \text{ MW}$$

$$P_{\text{total}} = P_{\text{seco}} + P_{\text{térmica}} = 1,29 \text{ MW} + 0,635 \text{ MW}$$

Potencia total aportada por el gas de síntesis:

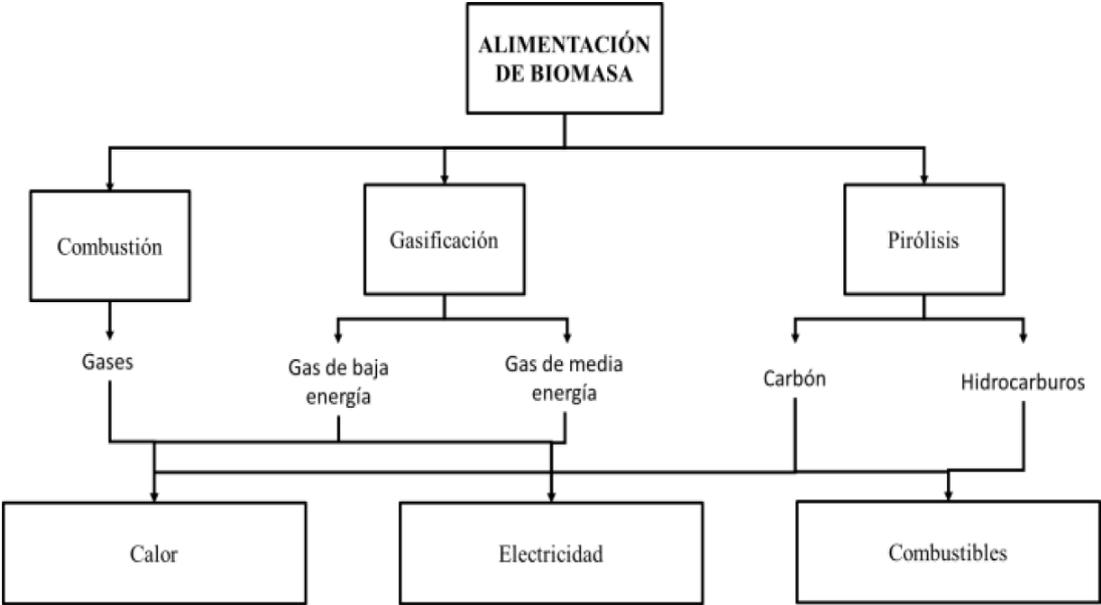
$$P_{\text{total}} = 1,93 \text{ MW}$$

**4.2.- Características principales del gasificador específico, durante todos los procesos, evaluar la potencialidad de procesos alternativos más modernos.**

La combustión, la pirólisis y la gasificación son solo algunas de las tecnologías que se pueden utilizar para extraer energía de las cáscaras de arroz. Las rutas para la conversión termoquímica de la biomasa y los subproductos se representan en la Figura 6. Cada procedimiento para extraer energía de la cáscara de arroz se describe a continuación con ejemplos de diferentes naciones de acuerdo con la figura anterior.:

**Combustión:** Un proceso termoquímico llamado combustión directa implica quemar biomasa en el exterior o con aire adicional presente.

**Figura 8:** Opciones de empleo como fuente energética de la cascarilla de arroz.



**Fuente:** Elaborado por el autor.

Debido a la carbonización de la atmósfera provocada por el fenómeno del Pico del Petróleo, una parte importante de los países de Europa y el extremo asiático han experimentado crisis energéticas a gran escala, que los han afectado con mayor severidad como consecuencia a su alta dependencia de los combustibles fósiles. Los agentes molineros de Perú de Lambayeque se han enfocado en producir la energía a partir de biomasa de cáscara de arroz debido a los efectos macroeconómicos y microeconómicos de los hidrocarburos, que son un componente de la fórmula de ajuste de precios polinómicos. en varias regiones y naciones del mundo. Desde entonces, se ha expandido a cinco plantas de energía, utilizando una variedad de fuentes de energía verde renovables y no convencionales.

Sin la presencia de O, los agregados orgánicos generados por pirólisis se someten a elevadas temperaturas en una transformación termoquímica de la materia orgánica. El uso térmico inicial de la cáscara condujo al desarrollo de la pirólisis. La producción de petróleo a gran escala es el principal uso de esta técnica de pirólisis, que se piensa una tecnología relativamente madura. Cuando la temperatura está entre 400 y 1000 °C, produce subproductos cruciales de este proceso como aceites y biocarbón industrial.

China y otras naciones asiáticas utilizan varios tipos de reactores de pirólisis para una variedad de aplicaciones y objetivos. Debido a que el reactor en uso es un reactor de gusano, requiere poca biomasa para procesar una cantidad típica.

Mediante el uso de procesos rápidos en un reactor de lecho fluidizado, Fast Pyrolysis, una variación contemporánea de la pirólisis, crea bioaceites a partir de cáscaras de arroz. Por el momento, estos bioaceites se producen en laboratorio y sus propiedades y eficacia están demostradas.

**Tabla 15:** Bioaceites - propiedades.

Propiedad		Valor
	pH	3.36
	Porcentaje de masa de agua	33.80
	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	1.21
	Viscosidad a 40°C (mm <sup>2</sup> /s)	82.43
Composición másica (%)	O	57.37
	C	35.63
	H	7
	N	0

**Nota:** Xiujnan (2021).

Resaltamos que el uso de biocarbón en la tierra sirve como escurridor de carbón y disminuye la traza ecológica de CO<sub>2</sub>, que se produce por la ignición de la biomasa perturba a Chiclayo con sus cenizas. Es importante señalar que el pirólisis, que es un tipo de quema, es uno de los procesos utilizados para producir biocarbón, entre otros.

Recientemente se ha incrementado la instalación de gasificadores para sustituir la compra de energía eléctrica a concesionarios por la posibilidad de vender electricidad. Como una serie de reacciones termoquímicas que tienen lugar en ambientes bajos en oxígeno para producir un sólido en gas de síntesis, la gasificación se conoce como un proceso térmico. El CO, el H<sub>2</sub> y metano (CH<sub>4</sub>) son componentes comunes de las mezclas de gas de síntesis:

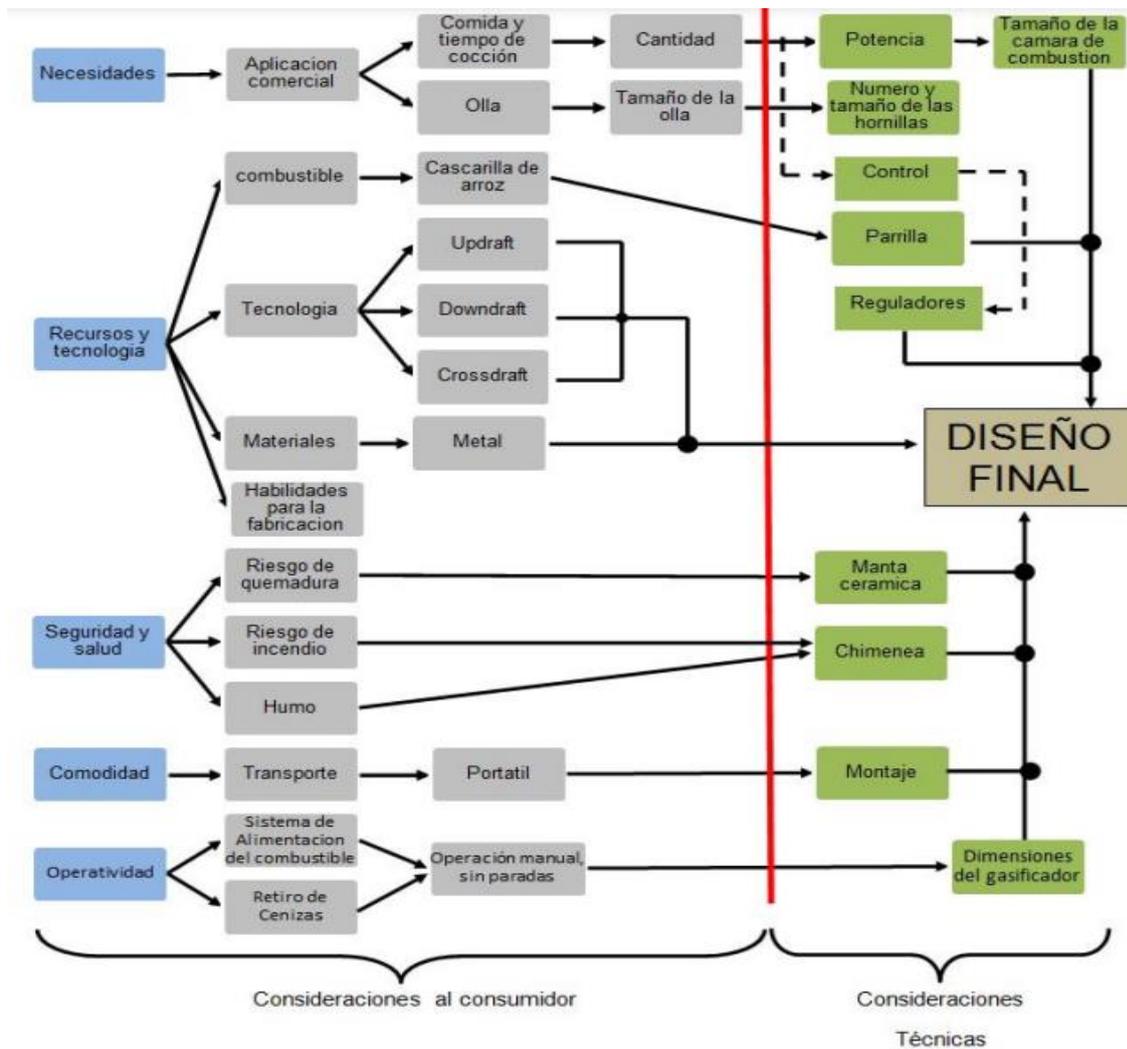
**Tabla 16:** Constitución típica del gas de la cascarilla del arroz.

<b>Compuesto</b>	<b>Porcentaje de composición</b>
Monóxido de carbono (CO)	18.6 – 8.6
Hidrógeno (H <sub>2</sub> )	21.5 – 8.7
Metano (CH <sub>4</sub> )	0
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	9.5 – 12.6
Agua (H <sub>2</sub> O)	18 – 21.1

**Nota:** Elaborado por el autor.

El objetivo de este estudio es concebir y desarrollar un generador de gas a base de la cáscara de arroz para empleo comercial (cocinas hospitalarias, calderas comunales y cocinas comunales, así como cárceles, comedores, etc.), cámaras de combustión turbulenta, alimentación de carbón líquido o en polvo. El sistema de regulación (control) es estricto de acuerdo con los requerimientos del usuario y utiliza materiales locales existentes y la última tecnología de producción, es decir, de acuerdo con las normas de seguridad y salud industrial del Minsa y la OIT y la comodidad del fabricante.

**Figura 9:** Modelo conceptual de gasificador.



**Fuente:** Elaborado por el autor.

La cascarilla de arroz es un recurso local que se utiliza en el diseño; se utiliza para darnos una idea inicial de la importancia de la cascarilla para el procedimiento de combustión y su ubicación típica en la cámara de combustión. Para evaluar la destreza de fabricación del dispositivo generador de gas más adelante.

Para determinar qué tipo de vínculo se realizará, es necesario considerar los factores que afectan al gasificador al utilizar rúbricas de evaluación que otorgan puntuaciones que van desde 4 puntos hasta 1 punto, teniendo las primeras

opciones una puntuación entre 4 puntos y 1 ser elegido entre las opciones antes mencionadas: Downdraft, Updraft y Crossdraft:

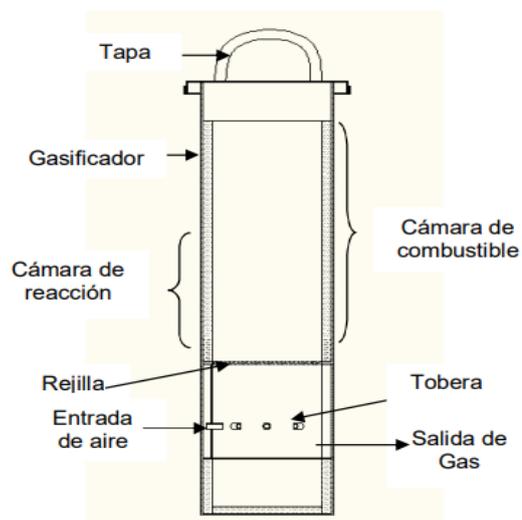
**Tabla 17:** Selección del gasificador 30/ 300 / 3000 KW.

		Gasificador		
		Downdraft	Updraft	Crossdraft
<b>Potencia (30 kW)</b>		4	2	4
<b>Aplicación</b>		4	3	3
<b>Fabricación y montaje</b>		3	3	3
<b>Retiro de cenizas</b>		3	3	3
<b>Mantenimiento</b>		3	3	3
<b>Operatividad</b>		3	3	3
<b>Forma de alimentación</b>		3	3	3
<b>Transporte</b>		4	4	4
<b>Combustible</b>	<b>Preparación</b>	3	4	2
	<b>Tamaño</b>	3	4	3
<b>Seguridad</b>	<b>Contenido de tar</b>	4	2	3
	<b>Contenido de polvo</b>	4	3	3
<b>Eficiencia y costo</b>		3	3	2
<b>Estado de la tecnología</b>		4	3	3
<b>Puntaje</b>		48	43	42

**Nota:** Elaborado por el autor.

Los componentes básicos del aparato son:

**Figura 10:** Partes integrantes de gasificador.

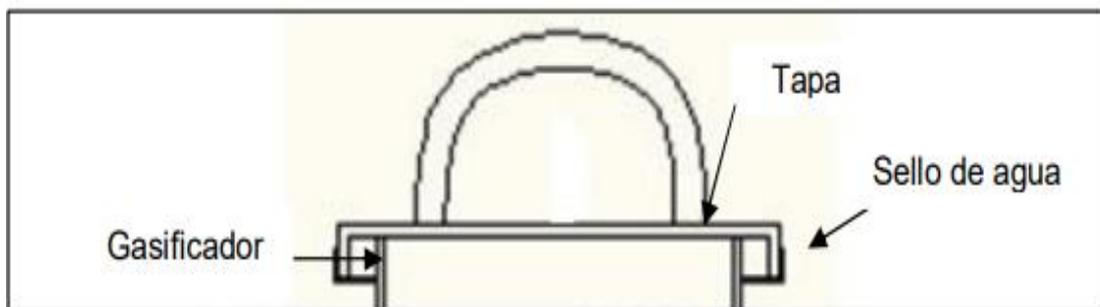


**Nota:** Elaborado por el autor

### **Cámara de combustible.**

Su ubicación dentro de la cámara de reacción simplifica el abastecimiento de combustible y permite el mantenimiento de temperaturas ideales de precalentamiento. La parte superior de la cámara está protegida contra posibles fugas de gas mientras está en uso.

**Figura 11:** Cámara de combustión.



**Nota:** Elaboración Propia

El centro del aparato es la cámara de reacción, también conocida como reactor, que es donde se recoge el gas producido antes de ser transportado al enfriador y luego a los abrasadores, donde tiene lugar la ignición.

El combustible se mantiene contenido en la cámara del combustible ya que se introduce por peso gracias a una rejilla que se instala en el tramo final de la cámara de reacción.

Ingreso de aire primario: a través de un ventilador que hace circular el gas hacia el enfriador a la vez que suministra el aire obligatorio para la gasificación.

El proceso de gasificación requiere aire. Este resultado se puede observar en la tabla N 18, donde se puede apreciar el análisis, teniendo en cuenta que la relación estequiométrica es el análisis fundamental de proporciones que se puede encontrar entre la composición química y física de la cáscara de arroz

**Tabla 18:** Constitución química de la cascarilla de arroz.

<b>Ensayo</b>	<b>Base seca</b>	<b>Base recibida</b>
Carbono	39,7%	35,55%
Hidrogeno	4,98%	5,63%
Oxigeno	35,22%	40,82%
Azufre	0,06%	0,06%
Cloruro	0,03%	0,03%
Nitrógeno	0,44%	0,4%
Cenizas	19,56%	17,51%
TOTAL	100%	100%

**Nota:** Elaborado por el autor.

Para simplificar la fórmula molar, es importante comprender que algunos compuestos, como el nitrógeno y los sulfuros, solo contribuyen en cantidades muy pequeñas al proceso de combustión, mientras que otros, como las cenizas, son inertes (no reaccionan). Como resultado, para simplificar las cosas, solo se tomarán en cuenta el carbono, el hidrógeno y el oxígeno al calcular la fórmula estequiométrica equivalente para la cáscara de arroz. Los resultados de multiplicar estos porcentajes por el peso molecular de cada componente para determinar su cantidad molar se muestran en la Tabla 19 a continuación. (base seca).

**Tabla 19:** Constitución Molar de la cascarilla de arroz.

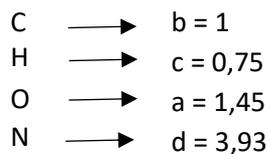
<b>Componente</b>	<b>Mol</b>
Carbono	3,31
Hidrógeno	4,98
Oxígeno	2,20

**Nota:** Elaborado por el autor.

Para comprender en qué se diferencia esto de la composición fisicoquímica de la biomasa, que se muestra a continuación:



Luego se encuentra el valor de "a", que es la cantidad de aire molar estequiométrico. Esto se hace a través del balance atómico de cada elemento presente en los compuestos de la reacción. Luego calculamos la relación estequiométrica.



Con el valor de "a" se hallará  $r_{a/c}$ ,

$$r_{a/c} = \frac{1,045x(16x2+3,76x2x14)}{12+1,5+0,66x16} = 5,96 \frac{kg \text{ de aire}}{kg \text{ de combustible}} \quad \text{Ec, 05}$$

Para la gasificación sólo se tiene en cuenta el treinta por ciento de este valor, que será:

**Circulación De Combustible.** Representa el gasto de combustible por unidad de tiempo para la operación de la estufa. Esto se puede establecer usando la siguiente ecuación:

$$\dot{m} = \frac{3487,77 \times Q_n}{P_c \times \eta} \quad \text{Ec, 06}$$

$\dot{m}$ : Flujo masico del combustible (kg/h).

$Q_n$ : Potencia del gasificador (kW)

$P_c$ : Poder calorífico del combustible (kJ/kg)

$\eta$ : Eficiencia del gasificador

La siguiente formula se puede utilizar para determinar el diámetro del reactor:

$$D = \left( \frac{(1,27 \times \dot{m})}{S_{gr}} \right)^{0.5} \quad \text{Ec, 07}$$

D: El diámetro del gasificador.

$\dot{m}$ : Caudal másico (kg/h).

$S_{gr}$ : Relación de gasificación específica (SGR) de la gasificación de la cáscara de arroz: 110–120 kg/m<sup>2</sup>–h.

#### **Altura del reactor:**

Esto describe la distancia total dentro del reactor, de arriba a abajo. La siguiente ecuación determina esto:

$$H = \frac{(S_{gr} \times T)}{\rho_c} \quad \text{Ec, 08}$$

H: Altura del reactor.

$S_{gr}$ : Relación específica de gasificación de la cascarilla de arroz (110–120 kg/m<sup>2</sup>–h).

$\rho_c$ : El peso por metro cúbico de cascarilla de arroz (kg/m<sup>3</sup>).

T: La cantidad de tiempo necesario para consumir combustible (en horas).

El tiempo que el combustible usado (cáscara de arroz) pasó siendo gasificado en el reactor en su conjunto debe entenderse. No obstante, esto debe tener en cuenta el tiempo requerido para la generación de gas, la ignición del combustible y la quema completa del combustible del reactor. La siguiente ecuación calcula, mide y determina esto:

$$T = \frac{(\rho \times V_r)}{\dot{m}} \quad \text{Ec, 09}$$

T: Tiempo necesario para el gasto de la cascarilla de arroz.

$\dot{m}$  : Flujo másico (kg/h).

$\rho$  : Densidad de la cascarilla de arroz (kg/m<sup>3</sup>).

$V_r$ : Volumen del gasificador (m<sup>3</sup>).

### **Cantidad de aire necesario para la gasificación:**

El flujo de aire es indispensable para gasificar las cáscaras de arroz. De esto dependerá la dimensión del ventilador necesario para airear las cascarillas de arroz, lo cual es significativo. Esto se puede calcular usando la siguiente ecuación:

$$Q_a = \frac{\Phi \times \dot{m} \times A_e}{\rho_a} \quad \text{Ec, 10}$$

$Q_a$ : Flujo de aire (m<sup>3</sup> /h)

$A_e$ : Aire estequiométrico

$\dot{m}$  : Flujo másico (kg/h)

$\Phi$ : Relación de equivalencia (se recomienda que sea 0,3)

$\rho_a$  : Densidad del aire (1,23 kg/m<sup>3</sup> al nivel del mar) .

### Velocidad superficial:

Hay canales que se forman en el lecho de combustible como resultado de la rapidez del aire en el lecho de combustible, lo que puede tener un impacto significativo en la gasificación (mejorándola al aumentar la probabilidad de mezcla). La siguiente ecuación se puede utilizar para determinar esto.

$$V_s = \frac{4 \times Q_a}{\pi \times D^2} \quad \text{Ec, 11}$$

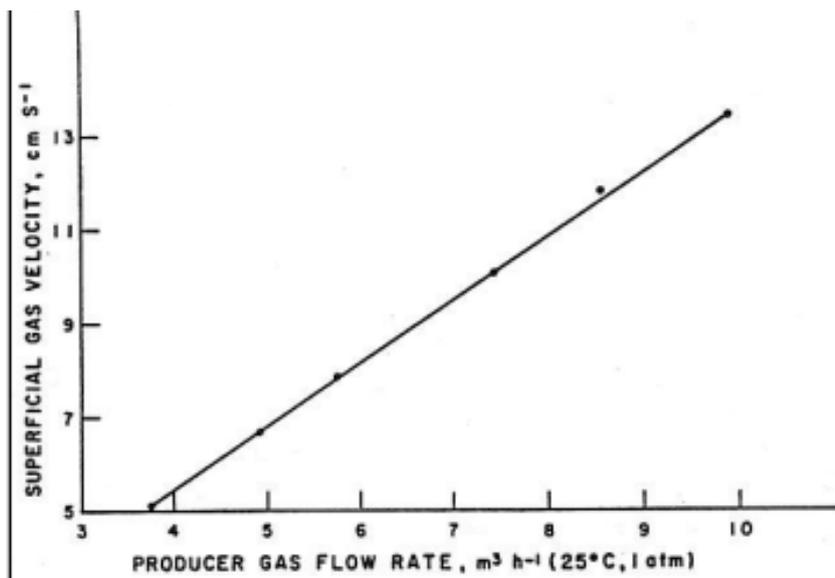
Vs: Velocidad superficial del gas (m/s).

Qa: Flujo de aire (m<sup>3</sup> /h).

D: Diámetro del gasificador.

Puede introducir esta cantidad en el gráfico 4.1 para calcular la producción de gas (m<sup>3</sup>/h).

**Figura 12:** Caudal producido vs Velocidad superficial del gas.



**Fuente:** Elaborado por el autor.

#### **4.3.- Caracterización de la oferta y demanda eléctrica, en molino modelo, caracterizar la demanda energética y las posibilidades de compra y venta de energía al proyecto.**

Hay muchas piladoras de arroz, que son estructuras comunes, en la zona norte del país. Sin embargo, antes de 1990, la industria de molienda de arroz estaba bajo el control de ECASA, un monopolio estatal que imponía restricciones a la construcción, expansión y operación de nuevos molinos de arroz. Esto se debió a la desfavorable reforma agraria iniciado y llevado a cabo por el gobierno militar socialista, que gobernó de 1968 a 1980. En consecuencia, se redujo el número total de molinos de arroz.

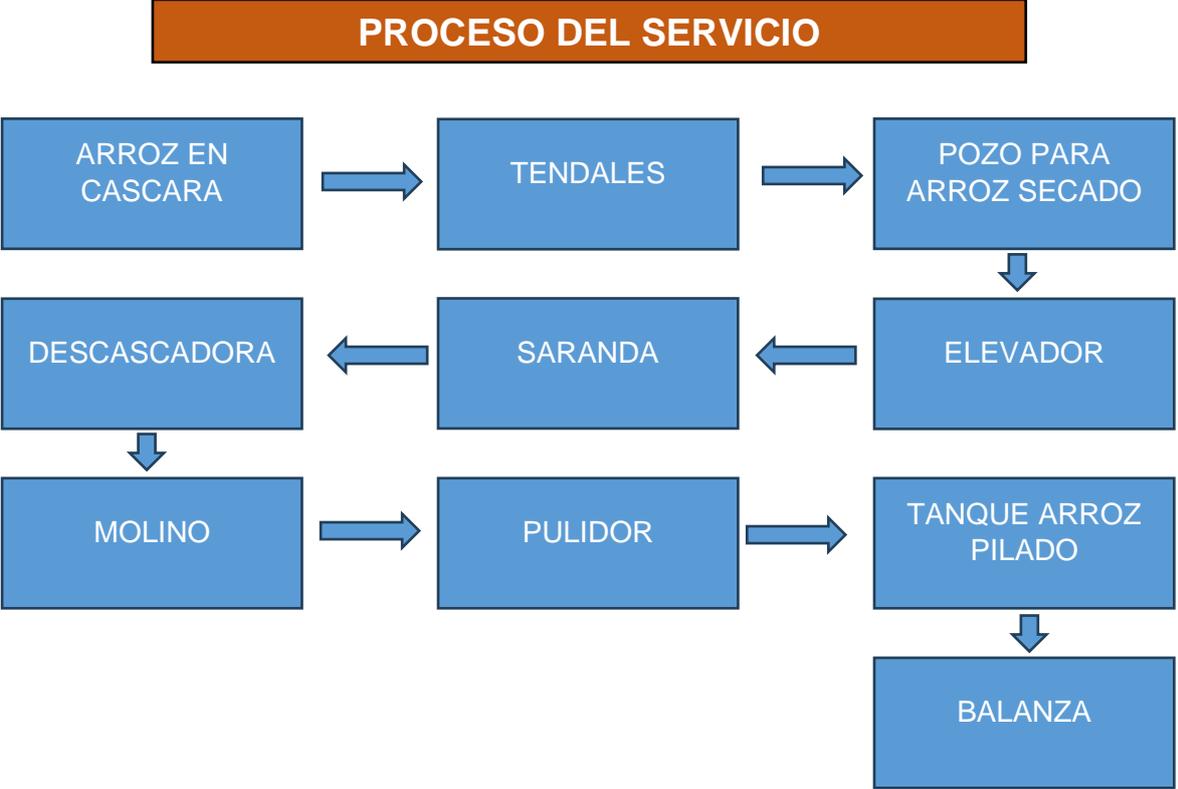
Sin embargo, la industria se liberalizó a partir de 1990, lo que permitió a cualquier persona construir un molino de arroz donde quisiera, siempre que cumpliera con las leyes ambientales y de desarrollo urbano. Esto provocó un avance en la tecnología con el desarrollo de nueva maquinaria, como las prelimpiadoras, que eliminan las malas hierbas grandes y las piedras grandes del arroz con cáscara, y ahora se utilizan pequeñas máquinas depredadoras de piedras además de las máquinas originales para seleccionar y descascarar el arroz. Estas máquinas también han eliminado la vieja práctica de cocinar el arroz antes de seleccionar el arroz. Se utilizaron dos rodillos con núcleo de acero con alta resistencia al desgaste y la fricción que se mueven en contrarrotación para crear fricción entre ellos.

Luego viene la mesa, donde los productos de las cascarillas (arroz integral, cascarilla de arroz y arroz que todavía está en la cascarilla) se separan mediante movimientos de gravedad y balanceo. Se utilizan transportadores separados para mover estos tres subproductos. tornillo helicoidal (basado en ejes, hélices de acero resistente a la oxidación-corrosión, fatiga y fricción), mediante elevadores de

cangilones, la pieza ya procesada es llevada al siguiente proceso productivo, es decir, a las pulidoras, donde se elimina la cutícula o el endospermo. se extrae del arroz integral para formar el producto llamado polvillo, que antes en tiempos de ECASA era un excedente que se votaba, se regalaba, y actualmente es un subproducto rentable, que es integral.

El esquema de producción que sigue, que ilustra todo de forma clara y gráfica, puede utilizarse para definir este proceso:

**Figura 13:** Proceso de pilado de arroz.



**Nota:** Elaborado por el autor.

Además, se creó un gráfico con vistas que revelan parte de la maquinaria del proceso de pilotaje, que discutimos anteriormente.

**Figura 14:** Maquinaria que integra el proceso.



**Fuente:** Molinera de Lambayeque.

Luego enumeramos y agrupamos las máquinas según su potencia real, potencia nominal, y horas de funcionamiento típicas. Más tarde, mediremos la cantidad de cáscaras de arroz que producen y evaluaremos si tienen un calor específico potencial más bajo.

**Tabla 20:** Transcendentales cargas eléctricas.

ITEM	DESCRIPCION	POT NOMNAL	POT REAL
1	Maquina Prelimpiadora	5	3
2	Elevador de Cangilones 1	3	2
3	Descascaradora de Rodillos	15	12
4	Elevador de Cangilones 2	3	2
5	Clasificadora Paddy	5	4
6	Tornillo Sin Fin de Cascara	4	3
7	Elevador de Cangilones 3	3	2
8	Maquinas Pulidoras de Esmeril	60	45
9	Elevador de Cangilones 4,5 y 6	9	6
10	Maquina Lustradora	20	15
11	Elevador de Cangilones 7	3	2
12	Clasificadores Cilindricos Triue	12	9
13	Elevador de Cangilones 8	3	2
14	Clasificadoras Cromaticas	15	12
15	Elevador de Cangilones 9	4	3
16	Maquina Añejadora	30	25
17	Envolsadora de Arroz	10	8
18	Maquina Despredadora	6	4
19	Transporte Neumatico de Cascara	6	4
20	Transporte Neumatico de Povolillo	8	6
21	Iluminacion y Aire Acondicionaljdo	15	12
<b>TOTAL DEMANDA</b>		<b>239</b>	<b>181</b>

**Nota:** Elaborado por el autor.

En esta tabla No. 20, de esto se puede concluir que el requerimiento energético diario es de 3355 kWh para una jornada típica de trabajo, que puede ser de lunes a viernes.

De esta forma puedo elaborar los diagramas de carga de la piladora de arroz objeto de esta investigación.

Sin embargo, para determinar el diagrama de carga, con el que se puede crear el diagrama eléctrico de carga posterior, también es necesario conocer el consumo

de energía eléctrica aparente, reactiva y activa, así como su correspondiente horario de demanda:

**Tabla 21:** Requerimientos de electricidad

ITEM	DESCRIPCION	POT NOMINAL	POT REAL	HORAS	ENERGIA
1	Maquina Prelimpiadora	5	3	19	57
2	Elevador de Cangilones 1	3	2	19	38
3	Descascaradora de Rodillos	15	12	19	228
4	Elevador de Cangilones 2	3	2	19	38
5	Clasificadora Paddy	5	4	19	76
6	Tornillo Sin Fin de Cascara	4	3	19	57
7	Elevador de Cangilones 3	3	2	19	38
8	Maquinas Pulidoras de Esmeril	60	45	19	855
9	Elevador de Cangilones 4,5 y 6	9	6	19	114
10	Maquina Lustradora	20	15	19	285
11	Elevador de Cangilones 7	3	2	19	38
12	Clasificadores Cilindricos Triue	12	9	19	171
13	Elevador de Cangilones 8	3	2	19	38
14	Clasificadoras Cromaticas	15	12	19	228
15	Elevador de Cangilones 9	4	3	19	57
16	Maquina Añejadora	30	25	19	475
17	Envolsadora de Arroz	10	8	19	152
18	Maquina Despredadora	6	4	19	76
19	Transporte Neumatico de Cascara	6	4	19	76
20	Transporte Neumatico de Polvillo	8	6	19	114
21	Iluminacion y Aire Acondicional;do	15	12	12	144
<b>TOTAL DEMANDA</b>		<b>239</b>	<b>181</b>	<b>392</b>	<b>3355</b>

**Nota:** Elaborado por el autor.

De la tabla 21 tenemos los requerimientos de electricidad diaria, que asciende a 3,355 kWh, por cada día de trabajo normal.

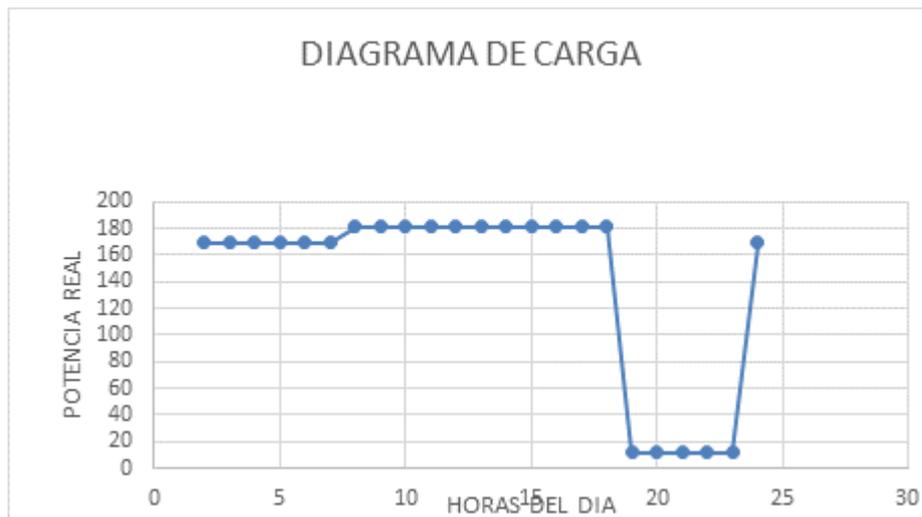
**Tabla 22:** Demandas horarias.

HORA	DEMANDA
1	169
2	169
3	169
4	169
5	169
6	169
7	169
8	181
9	181
10	181
11	181
12	181
13	181
14	181
15	181
16	181
17	181
18	181
19	12
20	12
21	12
22	12
23	12
24	169

**Nota:** Elaborado por el autor.

Lo podemos utilizar para confeccionar los siguientes diagramas de carga diaria y de acuerdo a las especificaciones:

**Figura 15:** Diagrama de carga.



**Nota:** Elaborado por el autor.

En relación al suministro energético, se debe tener en cuenta la producción de cascarilla de arroz que, junto con el poder calorífico y la disponibilidad termodinámica, da una buena estimación del suministro eléctrico a ocasionar.

**Tabla 23:** Oferta Térmica, Eléctrica y Energética

MES	CASCARILLA	ENERGIA T	ENERGIA E
ENERO	427.500	1.581.750.000	275.751
FEBRERO	427.500	1.581.750.000	275.751
MARZO	427.500	1.581.750.000	275.751
ABRIL	427.500	1.581.750.000	275.751
MAYO	427.500	1.581.750.000	275.751
JUNIO	427.500	1.581.750.000	275.751
JULIO	213.750	790.875.000	137.876
AGOSTO	213.750	790.875.000	137.876
SETIEMBRE	213.750	790.875.000	137.876
OCTUBRE	213.750	790.875.000	137.876
NOVIEMBRE	213.750	790.875.000	137.876
DICIEMBRE	213.750	790.875.000	137.876

**Nota:** Elaborado por el autor.

#### **4.4.- Estructura de costo, flujos de caja y realizar la respectiva evaluación económica – financiera del sistema de generación**

El propósito de estimar financiera y económicamente, es probar completamente que una modalidad de generación de electricidad usando gasificación de cáscara de arroz es factible, ambientalmente factible y rentable en términos de flujos monetarios, financieros, financieros y personales. , determinaremos el valor de CAPEX (inversión de capital inicial), incluidos los gastos generales, los servicios públicos y el impuesto general a las ventas o IGV, utilizando un presupuesto de mano de obra (que incluye la entrega y el montaje) como se detalla a continuación.

**Tabla 24:** Presupuesto de Inversión Inicial

PRESUPUESTO DE INVERSION DE PLANTA GENERACION DE ELECTRICIDAD CON CASCARILLA DE ARROZ US \$					
ITEM	DESCRIPCION	CANT	P.UNITARIO	P. PARCIAL	P. TOTAL
<b>SUM INISTRO</b>					
1	Hornos quemadores de Cama Turbulente	1	45.000	45.000	
2	Caldero Acuotubular+ economizador+ recalentador	1	72.000	72.000	
3	Sistema de tuberias de conduccion yDistribucion	1	21.000	21.000	
4	Turbinas a vapor Doble etapa sin sangria	2	42.000	84.000	
5	Geenradores electricos de 250 - 400 KVA	1	135.000	135.000	
6	Sistema de transformacion Electrico	1	76.000	76.000	
7	Tableros de control, Mando, Scada y Diversos	1	54.000	54.000	487.000
<b>MONTAJE Y PUESTA EN OPERACIÓN</b>					
8	Montaje de Elementos Mecanicos y Obra CdVIL	1	23.000	23.000	
9	Montaje de Parte Electricas	1	15.000	15.000	
10	Montaje de Elementos de Control y Mneto	1	17.000	17.000	
11	Pruebas para Puesto en Marcha	1	15.000	15.000	
12	Expediente Tecnico y demas estudios complementarios	1	27.000	27.000	97.000
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>					<b>584.000</b>
<b>GASTOS GENERALES Y UTILIDAD</b>					<b>116.800</b>
<b>IMPUESTO GENERAL A LAS VENTAS</b>					<b>126.144</b>
<b>TOTAL MONTO DE LA INVERSION INICIAL</b>					<b>826.944</b>

**Nota:** Elaborado por el autor

Hay que destacar en este presupuesto la presencia de:

**Hornos de quemador de chorro** que crean un ciclón de aire en el que se suspende la cal, una relación aire/combustible buena y óptima que produce la temperatura de llama correcta, lo que resulta en una ignición completa con poca o ninguna formación de cenizas.

**Calderas acuotubulares**, media presión entre 40 y 50 bar, maximización del salto de entalpía, uso eficiente de la energía térmica y exergía disponible, instalación termodinámica aumentada, con cúpula economizadora para calentar el agua de entrada a la caldera - llamado sistema de piernas calientes, salida de la cúpula

sobrecalentadora utiliza alta acero de alta resistencia, para elevar la presión del vapor y la temperatura que entra a la turbina y proporcionar potencia y energía.

La alta eficiencia hidráulica, volumétrica y mecánica se logra **mediante turbinas de vapor** de etapas múltiples con difusores y rotores con ángulos de triángulo de Euler para optimizar el par de elevación o la transmisión de accionamiento. De acuerdo con la visión moderna, que debe ser respondida y entendida por toda la sociedad, la corriente eléctrica cumple con los estándares.

**El generador** es alimentado por un motor de combustión interna, controlado electrónicamente, que permite programar los parámetros del motor dentro del rango de potencia.

**Transformadores** tipo seco con modernas funciones de protección, control y medición, tales como interruptores, Trafomix, aislamiento de polímero con revestimiento aislante de cera y caucho, aceptables para la protección contra las influencias ambientales en espacios cerrados.

### **Ventas de energía.**

En días laborables típicos, sin tener en cuenta las horas punta, la potencia media es de 180 (160-200 kW).

Por lo general, habrá 20 horas de funcionamiento por día.

Los días del año se descuentan debido a circunstancias y desafíos imprevistos;

Inicialmente, supondremos que hay 360 días en un año.

Se puede estimar un ingreso promedio anual de US\$160,000 utilizando un precio único igual a S/0.50 kwhr.

Utilizando el método tradicional de flujo anual, que opera durante toda la existencia útil del estudio y tiene las siguientes características clave, lo evaluaremos.

**Valor de recuperación:** \$0 o valor de desecho menos el costo de desmontaje y transporte.

La siguiente ecuación produce el costo de capital ponderado, o WACC, en el lenguaje de la OCDE moderna.

$$\text{El WACC} = \text{Deuda COCP} / \text{Pasivo total} * \text{CDB} * \text{Patrimonio} / \text{Pasivo total}$$

¿Dónde deben definirse los siguientes términos?

**Equidad:** La deuda de una empresa con sus accionistas que se ajusta anualmente en función de sus resultados anuales.

**Pasivos totales:** la suma de las deudas de una empresa con sus propietarios, accionistas, el sistema bancario y otras instituciones financieras.

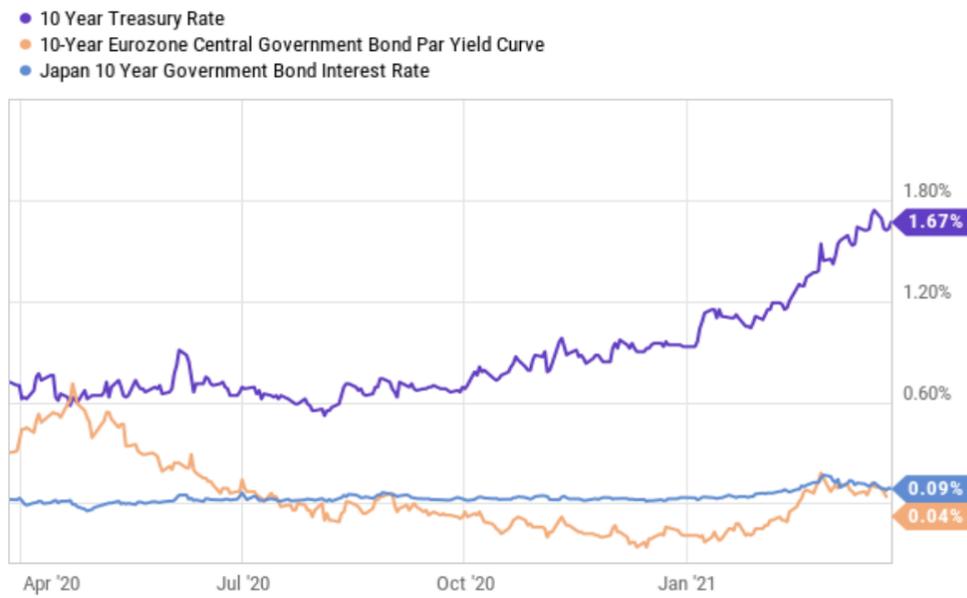
**COCP: Costo de oportunidad de negocio alternativo,** que asumen los accionistas cuya ganancia es con la venta de sus acciones.

**Deuda:** Montos adeudados por una empresa o emprendimiento a instituciones financieras, así como a instituciones no financieras.

**CDB: Costo de la deuda real,** constante, deflactado y variable.

Hay tres factores principales que pueden hacer que aumenten estos costos de la deuda: la tasa de interés básica, que está determinada por las leyes de la oferta y la demanda en el mundo real de la producción (la Curva IS y la Curva LM, respectivamente, para bienes y servicios del mercado real).

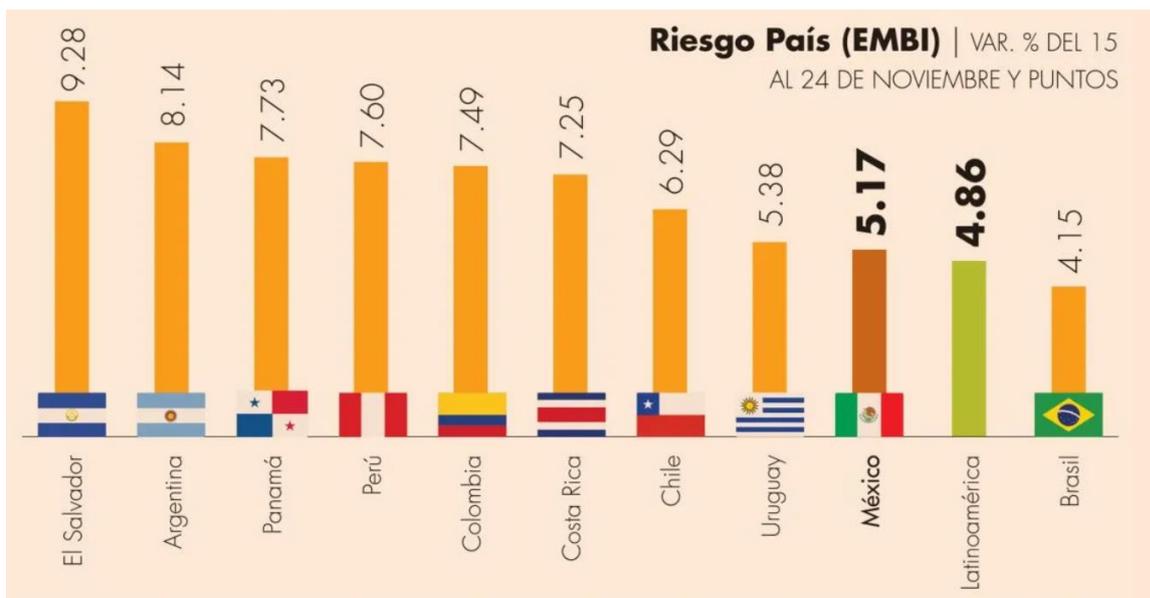
**Figura 16** Tasas de Interés Base (Curvas IS – LM )



**Nota:** Elaborado por el autor

A lo que hay que sumar las correspondientes comisiones por Riesgo País, lo cual se puede apreciar en las tablas y gráficos que siguen:

**Figura 17** Latino América y su principal tasa de riesgo País



Fuente: Propia elaboración

Figura 18 Latinoamérica y el riesgo País en el Tiempo

PAÍS	2019	2018	2017	2016
Perú	1.07	1.68	1.36	1.70
Chile	1.35	1.66	1.17	1.58
Uruguay	1.48	2.07	1.46	2.44
Colombia	1.61	2.28	1.73	2.25
Paraguay	2.03	2.60	2.00	2.81
Brasil	2.12	2.73	2.32	3.30
Bolivia	2.18	3.78	2.03	0.83
<b>Ecuador</b>	<b>8.26</b>	<b>8.26</b>	<b>4.59</b>	<b>6.47</b>
Argentina	17.44	8.17	3.51	4.55
Venezuela	147.40	68.45	48.54	21.68

Fuente: Elaboración propia.

Para finalizar debemos de tener en cuenta, las principales consideraciones de riesgo por el tipo de negocio que nos permite determinar lo siguiente:

Figura 19: Riesgo Negocio y la tasa de Interés

Tasa de Interés Interbancaria de Equilibrio (TIIE, cotización a 28 días)													
Periodo	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Enero	8.41	7.41	7.93	8.41	4.91	4.86	4.79	4.84	3.78	3.29	3.56	6.15	7.66
Febrero	7.97	7.46	7.93	7.94	4.92	4.84	4.78	4.80	3.79	3.29	4.05	6.61	7.83
Marzo	7.68	7.46	7.93	7.64	4.92	4.84	4.77	4.35	3.81	3.30	4.07	6.68	7.85
Abril	7.51	7.47	7.94	6.68	4.94	4.85	4.75	4.33	3.80	3.30	4.07	6.89	7.85
Mayo	7.32	7.70	7.93	5.78	4.94	4.85	4.76	4.30	3.79	3.30	4.10	7.15	7.86
Junio	7.33	7.70	8.00	5.26	4.94	4.85	4.77	4.31	3.31	3.30	4.11	7.36	8.10
Julio	7.31	7.70	8.28	4.92	4.92	4.82	4.78	4.32	3.31	3.31	4.59	7.38	
Agosto	7.30	7.71	8.56	4.89	4.90	4.81	4.79	4.30	3.30	3.33	4.60	7.38	
Septiembre	7.31	7.70	8.66	4.91	4.90	4.78	4.81	4.03	3.29	3.33	4.67	7.38	
Octubre	7.31	7.73	8.68	4.91	4.87	4.79	4.83	3.78	3.28	3.30	5.11	7.38	
Noviembre	7.30	7.93	8.73	4.93	4.87	4.80	4.85	3.80	3.31	3.32	5.57	7.39	
Diciembre	7.34	7.93	8.74	4.93	4.89	4.79	4.85	3.79	3.31	3.55	6.11	7.62	

**Fuente:** Propia Elaboración

De acuerdo al correspondiente flujo de caja:

FLUJO DE CAJA A PRECIOS PRIVADOS PERIODO 2023 - 2032											
AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INGRESOS	0,00	160.000,00	160.000,00	160.000,00	160.000,00	160.000,00	160.000,00	160.000,00	160.000,00	160.000,00	160.000,00
EGRESOS	826.944,00	8.269,44	8.269,44	8.269,44	8.269,44	8.269,44	8.269,44	8.269,44	8.269,44	8.269,44	8.269,44
UTILIDAD	-826.944,00	151.730,56	151.730,56	151.730,56	151.730,56	151.730,56	151.730,56	151.730,56	151.730,56	151.730,56	151.730,56

**VALOR ACTUAL NETO**            **95.795,10**

**TASA INTERNA DE RETORNO**            **13%**

## **Capítulo V**

### **Conclusiones y Recomendaciones**

#### **5.1. Conclusiones**

En cuanto a detallar y analizar el potencial energético de la cascarilla de arroz pilado (biomasa del arroz), en términos numéricos, es de una potencia firme de 1.93 MW, lo cual aunado a la amplia producción de cascarilla de arroz en los valles Costeños de la región Lambayeque y de las regiones cercanas como Cajamarca , Amazonas y San Martín los cuales son procesadas (Piladas ) en el departamento de Lambayeque, permite la diversificación de la matriz energética a Energías Renovables no Convencionales, en el Norte del País, se analizó las tecnologías tradicionales de aprovechamiento energético, como la gasificación en cámaras de lechos fluidizados, combustión y turbulentas, pero también se visualizó la potencialidad de su utilización de las tecnologías de pirolisis anaeróbica y carbonización hidrotermal con el resultado de detectar enormes potencialidades de optimización de la matriz energética.

Saber las características y mejoras técnicas y tecnológicas como el lecho turbulento a presión, camas de combustión fluidizados, se analizaron de manera conceptual , para ver su posible aplicación en el Norte del País, en los abundantes molinos de arroz, ( mas de cien en el Departamento de Lambayeque ) , pudiendo llegar a ser porcentajes importantes del Potencial energético del departamento de Lambayeque ( Materias de Próximos trabajos de investigación ), así mismo en el marco de la próxima normatividad en el Perú, pero ya muy usada en el extranjero y el Mundo entero.

En cuanto a analizar la cuantificación de la oferta Eléctrica ( Determinada por la potencia eléctrica del Molino materia de la presente investigación dentro del rango de calor de 3,355 kWhr/Día , y la demanda eléctrica dada por la suma de todas las cargas eléctricas, equivalentes también a 3,355 kWhr/Día y de esta manera ver la posibilidad y rentabilidad de ventas de energía sobrante, así como la opción de parte de los molinos de poder trabajar los siete días de la semana, las veinticuatro horas del día.

Y por último se evaluó la rentabilidad del uso energético de la cascarilla del arroz, confeccionando a detalle la estructura de costo y los estados financieros , teniendo

siempre muy presente, el costo de la inversión inicial en estos equipos e implementos, así como los ingresos por venta de energía al sistema en hora base y hora punta , los costos de la cascarilla ( teniendo en cuenta sus actuales usos alternativos ) y su análisis de rentabilidad con la metodología tradicional del VAN y la TIR , se obtuvo un VAN de US \$ 96,795.10 y un TIR 13 % , mayor que la TIR determinada por la ley y reglamento de concesiones eléctricas, , así como con la vida útil económica de las instalaciones y el costo promedio de capital, con los cuales se descontaran los flujos económicos y financieros que se producen con la ejecución de estos proyectos.

## **5.2. Recomendaciones**

Lo que se obtiene del presente trabajo de investigación es que la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, debe conformar un potente equipo de investigación, con otras universidades, Colegio de Ingenieros, Cámara de Comercio, Sociedad Nacional de Industrias, Cámara Peruana de la Construcción, se puedan alentar los negocios de cascarilla de arroz, la gasificación, para favorecer a la sociedad y el energético entorno regional y Nacional con alternativas viables desde el punto económico financiero y desde el punto de vista ambiental.

Se recomienda utilizar otras biomásas como el bagazo (con un poder calorífico de 7350 KJ/Kg), aprovechando que este también abunda en nuestro departamento, para proyectos alternativos de generación de energía mediante la gasificación o pirolisis, y proponer este proyecto a programas como PERUCIENCIA para impulsar este tipo de innovaciones.

## VII.- REFERENCIAS

- Adara, T. (2017). *Procesos Energeticos de Cogeneracion con el aprovechamiento de residuos del Proceso del Arroz*. Madrid: SALAMANCA .
- Aguilar, Z. (2021). *Evaluacion de los Residuos de Cascarilla de Arroz y Cafe como sustratos para generacion de Biogas*. MANAGUA: UNAM.
- Aita, G. (2018). *Estudios Calorimetricos de la Cascarilla del Arroz*. BOGOTA: LIMUSA.
- Alcantara , E. (2020). *Diseño de una Central Termoelectrica utilizando cascarilla de Arroz para reducir costos de Energia Electrica* . CHICLAYO: USS.
- Ankur, D. (2019). *Experimentos Modernos en Gasificador* . BOGOTA: NEXUS.
- Arevalo, J. (2017). *Proceso de Fotosintesis, optimizacion Numerica* . SANTIAGO: MIR.
- Armestoa, L. (2020). Combustion Behavior of rice husk in a bubbling fluidised bed. *Biomass and Bioenergy*, 171 - 179.
- Arteaga, J. (2020). *Caracterizacion de Cascarilla de Arroz como Biomasa Residual para combustible Termico*. QUITO: UISEK.
- Baron, M. (2018). *Analisis Molar de Productos de Gasificacion de la Cascara del Arroz*. LIMA: UNALM.
- Barrios, E. (2018). *Tendencia de los costos de generacion de energia renovable no convencional* . MONTEVIDEO: TUPAC.
- Cabrera, T. (2018). *Procesos de Produccion de Gas Pobre*. LIMA: FIMUNI.
- Calero, C. (2017). *Tendencias de las Energias Renovables no Convencionales* . LIMA: UNALM.
- Camargo, D. (2019). Analisis Exergetico de la Combustion de Mezclas de Maiz y Algodon. *InformacionTecnologica* , 30 - 36.
- Chong, H. (2018). *Analisis para la obtencion de Energia Electrica utilizando un gasificador de Biomasa* . GUAYAQUIL: ESPOL.
- Cortez, P. (2020). *Valorizacion de la cascarilla de Arroz en diferentes Procesos Industriales* . MEDELLIN: ANTIOQUIA.
- Diaz, D. (2018). *Clasificacion del Diseño de Gasificadores* . VALLALODID: BRAGANZA.
- Franco, C. (2016). *The study of reactions influencing the biomass stema gasisification*. BOSTON: PEARSON.
- Frias, F. (2019). *Gasificadores de Lecho Fluidizado* . PEREYRA: MAS.

- Gil, J. (2019). Biomass gasification in atmospheric and bubbling fluidized bed. *Biomass and Bioenergy*, 389 - 403.
- Gomez, E. (2020). *Evaluacion Sinergica de la Gasificacion de Biomasa Residual en Mezclas de Maiz y Algodon* . JAEN: UNIPE.
- Gonzalez, A. (2018). *Generacion de Energias Renovables*. BOGOTA: WILLEY.
- Hernandez, B. (2017). *Metodos de inferencia Estadistica aplicada a la Investigacion Energetica* . QUITO: SALESIANA.
- Holladay, J. (2019). An overview of hydrogen production Technologies. *Catalysis Today*, 244 - 260.
- Hu, G. (2016). Steaalysisism Gasification of aprocot stones with olovine and dolomite as downstream ca. *Fuel Processing Technology*, 375- 382.
- Hurtado, C. (2018). *Potencial Energetico del Bagazo de la Caña de Azucar*. QUITO: MIR.
- Leon, R. (2018). *Diseño de Gasificadores de leche Circundante*. BUENOS AIRES: UBA.
- Mahishia, M. (2017). Thermodynamic optimization of biomass gasifer for hydrogen production . *International Journal of Hydorgen Energy*, 831 - 840.
- Mendez, A. (2020). *Alternativas Energeticas de la Cascarilla de Arroz en Lambayeque* . Chiclayo: USAT.
- Meneses, J. (2018). *Caracterizacion Termica de los Residuos agroindustriales del arroz y CAFE* . Managua: REVERTE.
- Miller, H. (2018). *Balance de Residuos de Biomasa aplicados a la Generacion Electrica*. LIMA: LIBRE.
- Najar, C. (2017). *Mejoras en el Proceso Productivo y Modernizacion mediante Sustitucion y Tecnologias Limpias en Molino de Arroz* . LIMA: TECNOLOGIA
- Ohama, P. (2019). *Estadisticas de produccion de Residuos Organicos Energeticos* . LA HABANA: PRESOS.
- Osorio, L. (2019). *Analisis Tecnico Economico de la Gasificacion del Arroz en Colombia* . Villavicencio: ATHENEO.
- Oviedo, A. (2018). *Prospectivas de Energias Renovables*. QUITO: SALECIANA.
- Perez, L. (2021). *Disponibilidad de SIO2 a partir de la Quema controlada de Cascara de Arroz en Lambayeque* . CHICLAYO: USS.
- Perez, N. (2019). *Aprovechamiento de la Cascarilla de Cafe para generar energia electrica en la Planta Procesadora Mego SRL*. JAEN: UNJ.

- Prada, C. (2020). La descomposicion Termica de la cascarilla de Arroz Una alternativa de aprovechamiento Integral. *ORINOQUIA*, 155 - 170.
- Quintanilla, E. (2019). *Estructura de Costos de Generacion Renovable*. SANTIAGO: MAPUCHE.
- Rapagna, S. (2018). Steam gasification of biomass in a fluisedbed . *Biomass and Bioenergy*, 187 - 197.
- Recuenco, A. (2021). *Analisis de las tendencias de los Commodites*. LIMA: MINAG.
- Rios, F. (2018). *Diseño de un Sistema de Generacion Termoelectrica a partir de la Cascarilla del Arroz - Caso Picota* . Tarapoto: UCV.
- Roalcaba, A. (2017). *Analisis espectografico de la composicion Quimica del Material Volatil*. LIMA: UNALM.
- Rodriguez, L. (2016). *Rice Husk as an alternativa in decontamination processes*. Miami: GLORIA.
- Romero, j. (2018). *Potencial Energetico de la Cascarilla de Arroz en la Region Lambayeque* . LIMA: UNALM.
- Senneca, O. (2017). KINETICS OF PYROLYSIS COMBUSTION AND GASIFICATIONOF THREEE BIOMASS FUELS. *Fuel Procesing Technology*, 87 - 97.
- Smith, J. (2017). Equilibrio en las reacciones Quimica. *Ingenieria Quimica*, 639 - 691.
- Tarrillo, A. (2019). *Diseño de Gasificadores y Pirolisis* . BOGOTA: PEREYRA.
- Torres, P. (2017). *Eficiencia Renovable*. SANTIAGO: REVERTE.
- Torres, W. (2018). *Procesos de Gasificacion de la Cascarilla del Arroz*. TRUJILLO: MANUELITA.
- Verastegui, J. (2021). *Estimacion del Potencial Energetico del Gas de Cascara de Cacao y Racimos de Frutos vacios* . LIMA: ROT.
- Werther, J. (2019). Combustion of agricultural residues. *Progress in Energy and COmbustion Science*, 1-27.
- Zhang, L. (2017). Comparative research abiut wheat straw lignin from the black liquor after soda oxygen . *Energia & Fuels*, 916 - 923.

## VII.- ANEXOS

### ANEXO N° 1 PODERES CALORIFICOS DE LA CASCARILLA DE ARROZ

#### Descomposición térmica de la cascarilla de arroz

**Tabla 6.** Valores de la temperatura en el proceso de combustión de la cascarilla de arroz

Ensayo	Temperatura (°C)
1	763
2	782
3	804
4	813
5	758
Promedio	784
Desviación estándar	24
Error estándar	28
Coefficiente de variación, (%)	3,1
Media Verdadera de la Temperatura, °C	784±28

**Tabla 7.** Porcentaje de humedad de la cascarilla de arroz utilizada en el proceso de combustión

Ensayo	Humedad (%)
1	8,42
2	8,10
3	7,72
4	6,95
5	8,51
Promedio	7,94
Desviación estándar	0,63
Error estándar	0,73
Coefficiente de variación, (%)	7,99
Media Verdadera de la Humedad, %	7,94±0,73

**Tabla 8.** Tiempo de combustión completa de la cascarilla de arroz

Ensayo	Tiempo (min)
1	74
2	127
3	120
4	96
5	281
Promedio	140
Desviación estándar	82
Error estándar	94
Coefficiente de variación, (%)	58
Media Verdadera del tiempo de combustión, min	140±94

## ANEXO N° 2 A CATALOGOS DE GASIFICADORES DE ARROZ

Descripción de Producto

Información de la Compañía

Descripción de Producto

### sistema de gasificación de biomasa de centrales eléctricas

#### 1. Compañía capacidad de producción

1. Tecnología avanzada de gasificación.

Capacidad: 10KW-1000kW(30m<sup>3</sup>-3000m<sup>3</sup>). 2.

3. CE y ISO9001:2008 Compañía.

4. Desde 2012

#### 2. 200kW Gasifier de biomasa parámetro general

Modelo	HBF-30~3000W
Tipo	Cama fija de ángulo de salida inferior
Tasa de gas	30 m <sup>3</sup> /h~3.000 m <sup>3</sup> /h
Material de consumo	15kg/h~1500kg/h
Valor de calor	4600-5200kJ/m <sup>3</sup>
Eficiencia	> 72%
Potencia del ventilador	220V/380V
Aplicación	Para ejecutar el grupo electrógeno de biomasa 10KW~1000kW

#### 3. Generador de biomasa aprobado por la CE uso astillas de madera gasificador estufa

El principio básico del sistema de gasificación de biomasa (abreviado como BGS) es convertir los productos agrícolas y forestales y los restos de procesamiento de madera (incluyendo rick cascarillas, polvo de madera, ramas, cortes, paja de maíz, pajuelas de arroz, pajuelas de trigo, pajuelas de algodón, conchas de fruta, conchas de coco, Las conchas de palma, bagazo, corncoobs y etc.) en el gas combustible. Se utiliza entonces como combustible en la aplicación de energía eléctrica y térmica. La gasificación de biomasa logra superar con éxito las desventajas de la biomasa, como la baja inflamabilidad y la amplia diversidad. El sistema de gasificación de biomasa es característico de las pequeñas necesidades de tierras y es respetuoso con el medio ambiente. Es una de las formas más eficaces de utilización de biomasa.

4. Las materias primas pueden ser gasificadas

Tamaño: ≤10cm; humedad: ≤20%



Wood Chips



Sawdust



Biomass Particles



Palm Shells

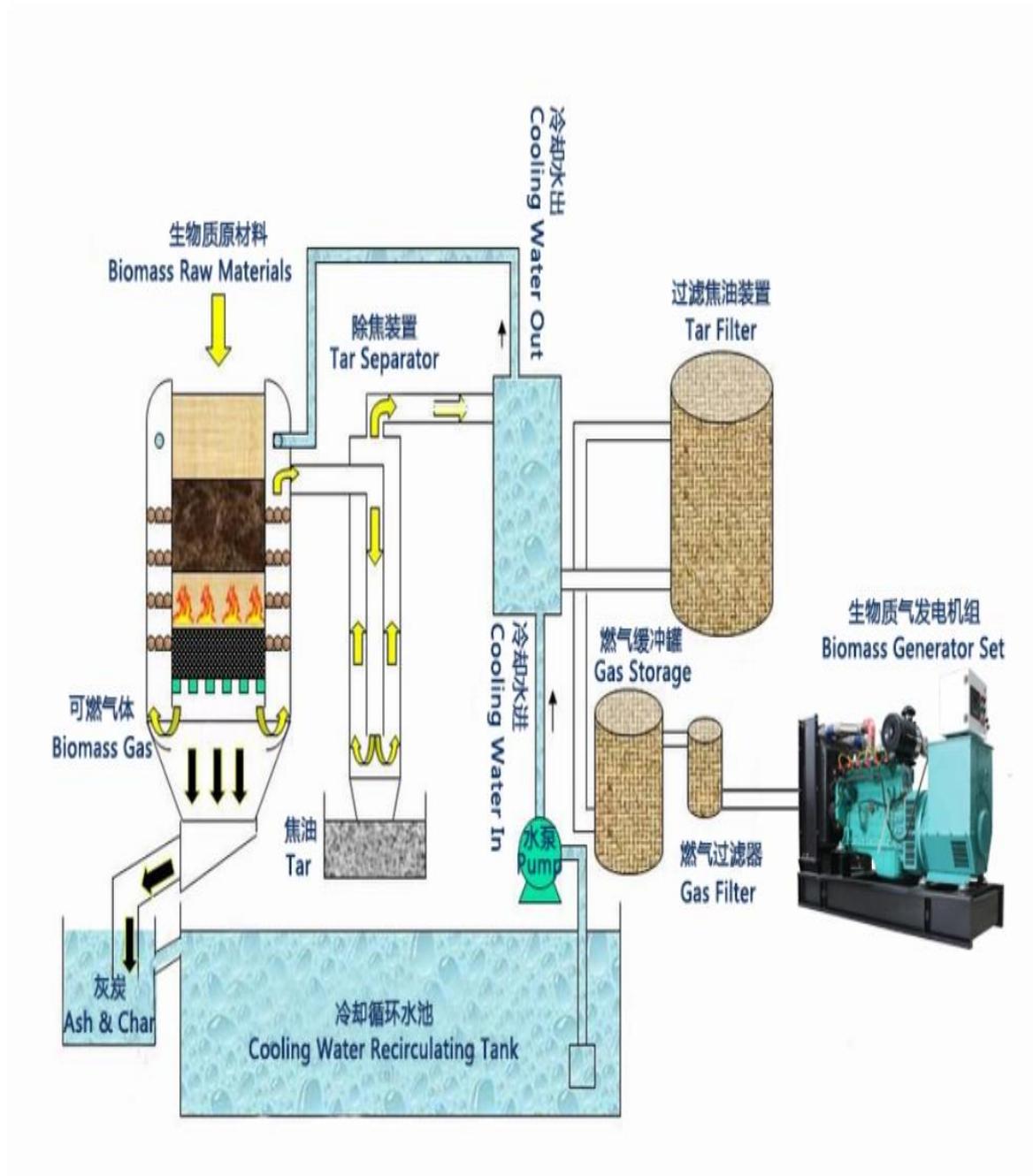


Peanut Shells



Rice Husk

## 5. Diagrama esquemático del gasificador



7. 50kW Biomass gasifier Fotos



## Carbonizador de cascarilla de arroz para la venta

Beston tiene varios carbonizador de cáscara de arroz para la venta, que puede procesar de 500 a 3000 kg de cascarilla de arroz por hora. Especialmente, nuestro diseño continuo de carbonizador de cáscara de arroz lo hace eficiente y fácil de operar. Entonces, si desea convertir las ricas cáscaras de arroz en riqueza, puede comprar una máquina para fabricar carbón vegetal con cáscara de arroz para su negocio. Bienvenido a contactar Beston Group Co., LTD. para más detalles!



Beston Carbonizador de cascarilla de arroz para la venta

**Beston Carbonizador de cascarilla de arroz para la venta**

## ANEXO N° 3 B CATALOGO DE PIROLIZADOR

### Beston Carbonizador de cascarilla de arroz para la venta

Actualmente, Beston ha diseñado 7 modelos de carbonizador de cascarilla de arroz para la venta con una capacidad horaria de 500 a 3000 kg. Aquí está el diseño del carbonizador de cáscara de arroz y los parámetros detallados para su referencia.



Modelo	BST-J12	BST-J18	BST-J40	BST-05 Pro (montado en patin)	BST-10	BST-30	BST-50
Capacidad de entrada	12m³/lote	18m³/lote	40m³/lote	0.3-0.5m³ / h	2-4m³ / h	7-9m³ / h	10-15m³ / h
Tamaño del reactor	φ1900mm*L4500mm	φ1900mm*L6600mm	φ2800mm*L7100mm	φ830mm*L6500mm	φ1300mm*L14051mm	φ1700mm*L14180mm	φ2000mm*L14260mm
Terreno para equipo (L*W*H, configuración estándar)	9m ** 8m 6m	12m ** 6m 7m	15m ** 18m 7m	10m ** 8m 3.9m	29m ** 15m 5m	30m ** 15m 8m	35m ** 18m 9m
Peso (configuración estándar)	18T	22T	34T	15T	32T	35T	49T
Consumo de energía (configuración estándar)	11kw / h	13.5kw / h	25kw / h	31kw / h	34.7kw / h	61.5kw / h	118kw / h
Método de trabajo	Lote			Totalmente continuo			
Requisito de alimentación	/			Tamaño: ≤20 mm; humedad: ≤15%; fuerte liquidez			
curso en línea	Rotación horizontal			Hogar simple de doble barril	Doble hogar doble barril		
Velocidad	0-2RPM			1-9RPM			
Método de control	Control por botones			Control automático			
Material del reactor	Q245R				Q245+310S		
Presión	Micropresión negativa						
Material de calentamiento	Diésel, gas natural, petróleo pesado, biomasa, etc.						
Método de calentamiento	Calentamiento directo						

## ANEXO N° 3 C CATALOGO DE PIROLIZADOR

### Carbón de cascarilla de arroz

La cáscara de arroz carbonizada es un gran fertilizante y acondicionador del suelo debido a sus ricos micronutrientes y su estructura porosa. Por lo tanto, se usa ampliamente para la siembra y propagación de semillas. Por supuesto, también puede convertirse en briquetas de carbón como combustible. Su poder calorífico es de alrededor de 3.125 cal / g por lo que puede ser una energía alternativa para reemplazar el combustible fósil con fines domésticos o domésticos. Además, también puede utilizarse como materia prima de carbón activado.



### Vinagre

Acido *perifoxo* contiene alrededor de 400 compuestos químicos. Por lo tanto, se puede utilizar en muchos campos, incluidos cosméticos, desodorantes, procesamiento de alimentos y agricultura.



### Alquitrán

Su uso principal es la conservación de productos de madera contra la putrefacción, así como materiales impermeables por su alta resistencia a la corrosión y al desgaste. Además, también se emplea para producir pintura al óleo o como material auxiliar para la producción de barcos. Evidentemente, existe un mercado prometedora para la producción de cáscara de arroz carbonizado. Bienvenido a contactar *Beslon* para obtener un carbonizador de cáscara de arroz de calidad a la venta.

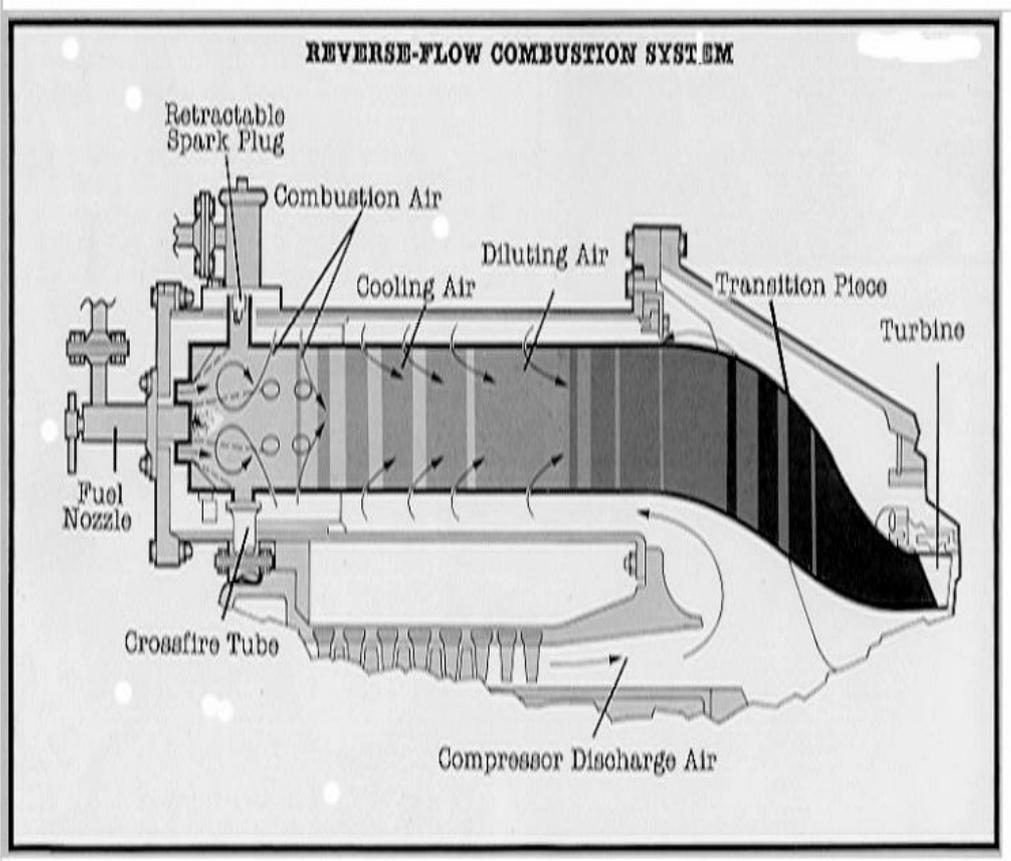


### ¿Cómo hacer carbón vegetal con cáscara de arroz?

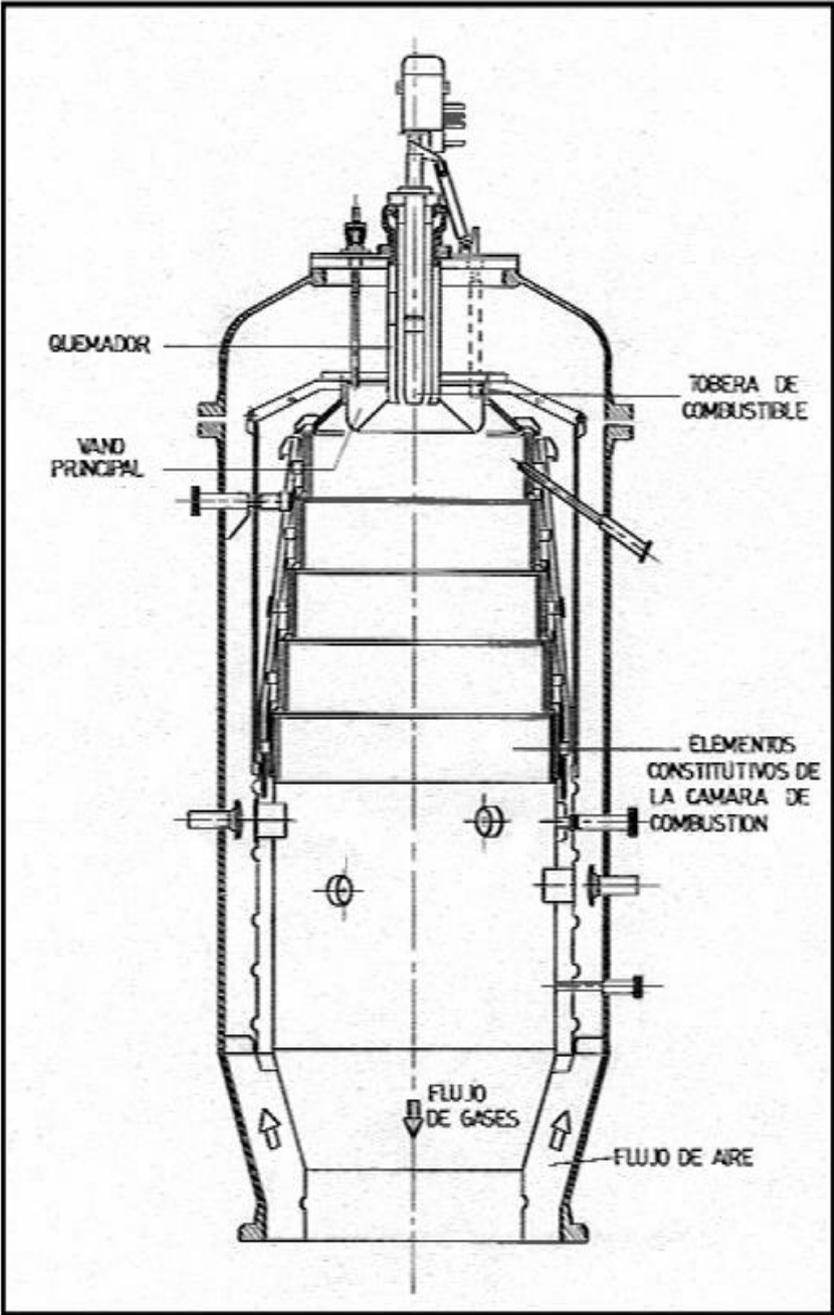
Con la *Beslon* máquina para hacer carbón, es muy fácil hacer carbón a partir de cáscara de arroz, cáscara de coco, fibra de palma, bambú y otros desechos de biomasa. Veamos paso a paso el proceso de producción de cáscara de arroz carbonizado.

Comienza con el pretratamiento. A diferencia de las cáscaras de coco, las cáscaras de arroz tienen un tamaño perfecto para la carbonización (8-15 mm). Puede tener una secadora para que su contenido de agua sea inferior al 15%. A continuación, introduzca la materia prima preparada en el reactor de bio-carbón. Calentar el horno. Después de hornear

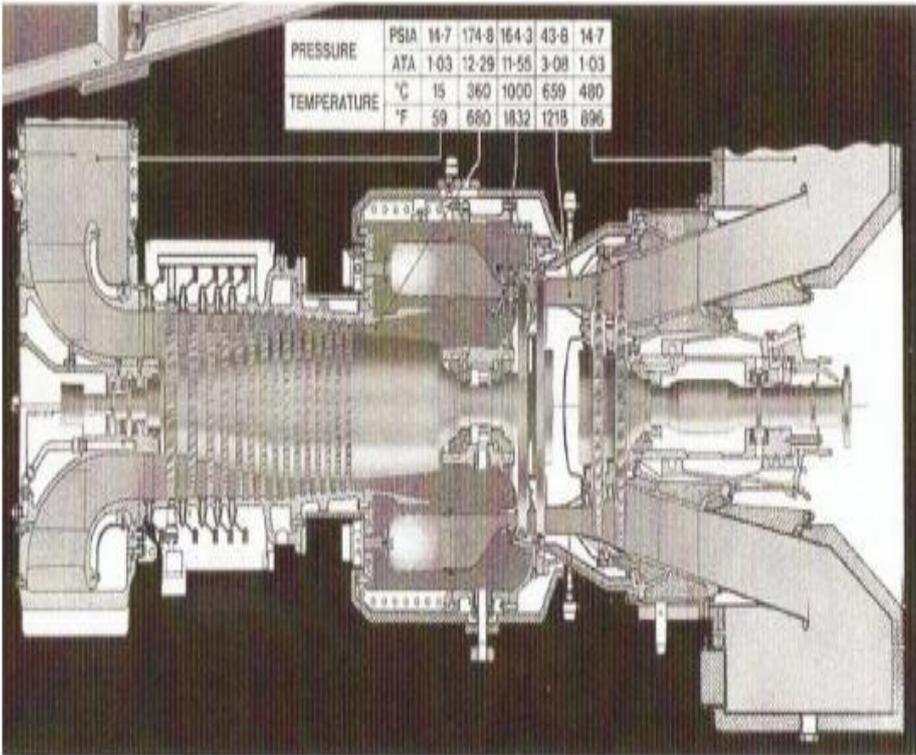
ANEXO N° 4 A TURBINAS A GAS



ANEXO Nº 4 B TURBINAS A GAS – CAMARA DE COMBUSTION

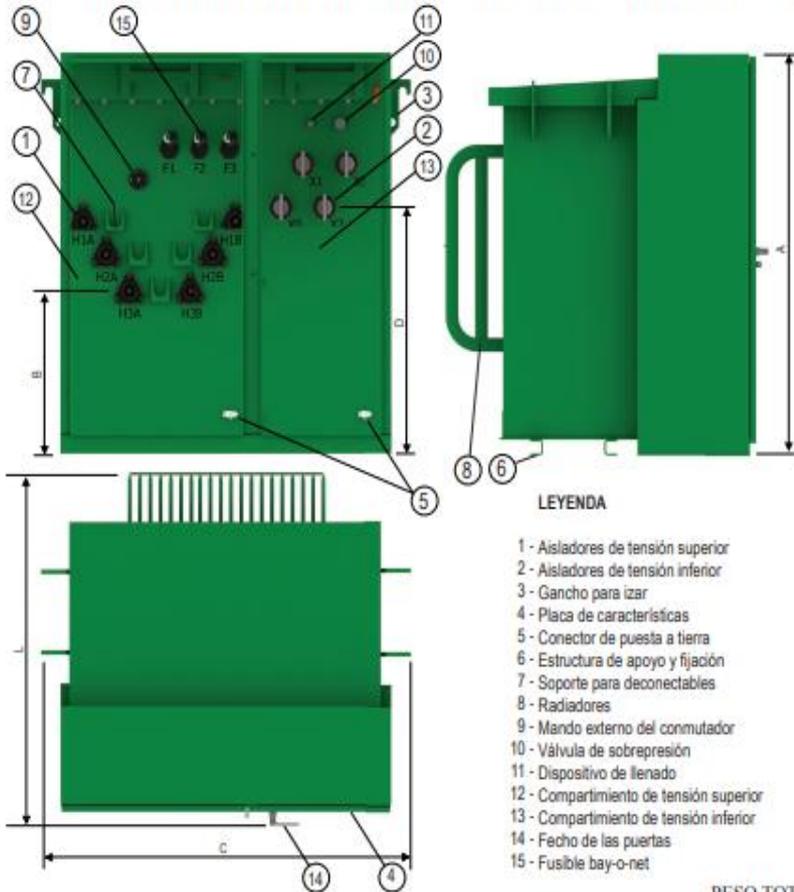


ANEXO N° 4 C TURBINAS A GAS DE DOBLE EJE



# ANEXO Nº 5 – TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION

## 3.2 - Transformador trifásico tipo anillo (Loop Feed)



- LEYENDA**
- 1 - Aisladores de tensión superior
  - 2 - Aisladores de tensión inferior
  - 3 - Gancho para izar
  - 4 - Placa de características
  - 5 - Conector de puesta a tierra
  - 6 - Estructura de apoyo y fijación
  - 7 - Soporte para desconectables
  - 8 - Radiadores
  - 9 - Mando externo del conmutador
  - 10 - Válvula de sobrepresión
  - 11 - Dispositivo de llenado
  - 12 - Compartimiento de tensión superior
  - 13 - Compartimiento de tensión inferior
  - 14 - Fecho de las puertas
  - 15 - Fusible bay-o-net

DIMENSIONES APROXIMADAS (mm)

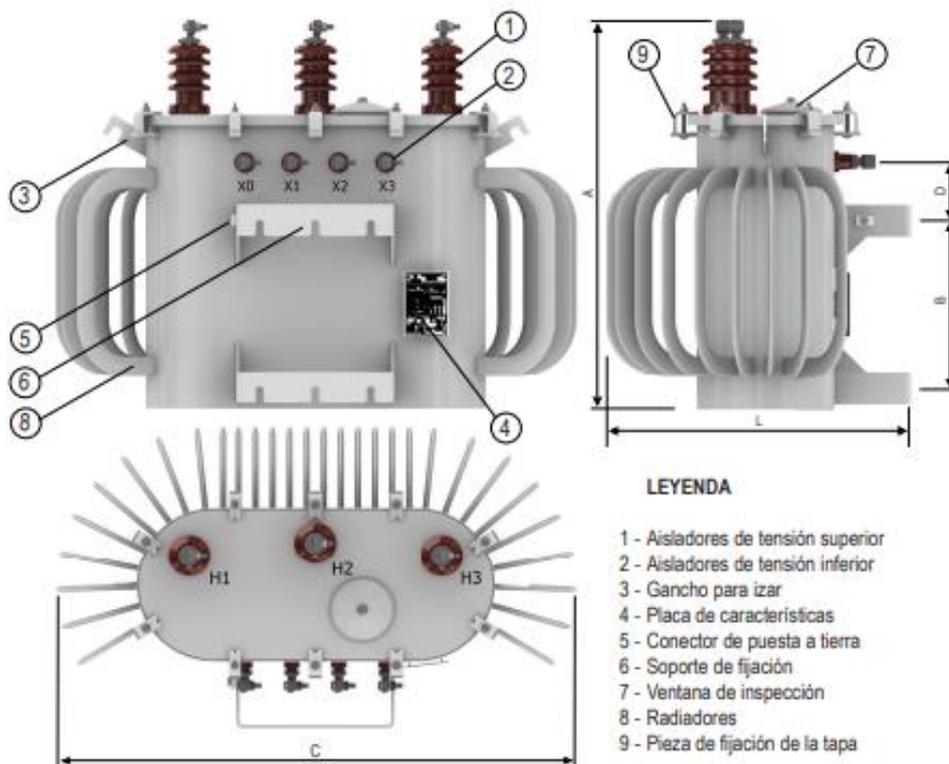
POT. (kVA)	15 kV				
	A	C	L	B	D
75	1395	1320	1245	610	635
112.5	1395	1320	1245	610	635
150	1395	1320	1245	610	635
225	1395	1480	1425	610	635
300	1395	1480	1425	610	635
500	1780	1525	1450	925	940
750	1780	1780	1450	925	940
1000	2050	2120	1495	1200	1190

PESO TOTAL APROXIMADO (kgf)

15 kV
895
1050
1145
1495
1780
2430
3280
3830

## ANEXO Nº 5 B – TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION TIPO POSTE

### 2.1 - Transformador tipo poste con aisladores secundarios en la lateral



DIMENSIONES APROXIMADAS (mm)

POT. (kVA)	15 kV					25 o 34.5 kV				
	A	C	L	B	D	A	C	L	B	D
15	680	820	620	200	120	790	860	660	200	120
30	740	1020	650	200	120	940	1060	700	200	120
45	750	1130	720	200	120	950	1160	760	200	120
75	940	1280	770	400	150	1050	1300	820	400	150
112.5	950	1300	820	400	150	1080	1360	900	400	150
150	1000	1350	840	400	150	1220	1400	900	400	150

PESO TOTAL APROXIMADO (kgf)

15 kV	25 kV	34.5 kV
190	210	260
210	255	270
310	335	350
400	430	530
580	600	650
600	640	700