



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**

"Evaluación y selección de generación de energía eléctrica
mediante la gasificación de la cascarilla de arroz – Lambayeque"

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTORES:

Cruz Matos, Jorge Luis (orcid.org/0000-0001-8544-4601)

Guayanay Rosillo, Eswuar (orcid.org/0000-0002-5442-7451)

ASESOR:

Dr. Salazar Mendoza, Aníbal Jesus (orcid.org/0000-0003-4412-8789)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Generación, transmisión y distribución

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

CHICLAYO – PERÚ

2022

Dedicatoria

A Dios quien ha sido mi guía, fortaleza en mi día a día. Mis padres Sergio y Carmen quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre. A toda mi familia con sus consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas, siempre los llevare en mi corazón.

Eswuar Guayanay Rosillo

Dedico esta tesis principalmente a Dios, quien me ha dado la fuerza para superar todas las dificultades. A mi padre, quien desafortunadamente no puede estar presente en este momento tan importante, a mi familia por el apoyo que me brindaron en todo este proceso de mi educación sin descansar, quienes me incentivaron a seguir estudiando una carrera universitaria y a mis hermanos menores para que de la educación se les haga el camino de superarse.

Jorge Luis Cruz Matos

Agradecimiento

Mi agradecimiento es dirigido a quien forjo mi camino y me dirigió por el sendero de la luz, a Dios, quien está en todo instante conmigo iluminando mi día a día.

Mi gran estima y consideración a toda la comunidad educativa de la Universidad Cesar Vallejo, del cual me encuentro orgulloso de pertenecer.

Mi enorme gratitud, a mis queridos padres por su sacrificio de mi bienestar.

Eswuar Guayanay Rosillo

Agradezco a Dios padre todopoderoso, por haberme permitido estudiar una carrera universitaria de Ingeniería Mecánica Eléctrica, brindarme salud día a día. También a mis padres y Docentes que transmiten sus enseñanzas de la mejor forma, dejando conocimientos para aplicarlos exitosamente.

Jorge Luis Cruz Matos

Índice de contenidos

Caràtula.....	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
Índice de gràficos	vii
Resumen	viii
Abstract	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA	15
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	15
3.2. Variables y operacionalización	15
3.3. Población (criterios de selecci3n), muestra, muestreo, unidad de anàlisis	16
3.4. Tècnicas e instrumentos de recolecci3n de datos	17
3.5. Procedimientos	18
3.6. Mètodo de anàlisis de datos	18
3.7. Aspectos èticos.....	18
IV. RESULTADOS	20
V. DISCUSI3N.....	59
VI. CONCLUSIONES.....	63
VII. RECOMENDACIONES.....	65
REFERENCIAS.....	66
ANEXOS	70

Índice de tablas

Tabla 1. Dependiendo de la humedad las propiedades fisicoquímicas de la cascarilla de arroz	22
Tabla 2. Composición en material volátil.....	23
Tabla 3. Caudal y potencia de biomasa	24
Tabla 4. Contenido de componentes en moles de compuesto.....	25
Tabla 5. Moles estequiométrico y volumen de aire	26
Tabla 6. Indicadores de los componentes de la gasificación	27
Tabla 7. Composición y contenido del Gasificador.....	28
Tabla 8. Cantidad de sustancia a la entrada	29
Tabla 9. Porcentaje y numero de moles por componente	29
Tabla 10. Capacidad calorífica inferior	30
Tabla 11. Densidad y caudal de gas	31
Tabla 12. Densidad del gas.....	32
Tabla 13. Propiedades del bioaceites obtenido de la cascarilla de arroz	35
Tabla 14. Composición típica del gas obtenido de la cascarilla de arroz	36
Tabla 15. Selección del tipo de gasificador 30/300/300 kW	38
Tabla 16. Composición química de la cascarilla de arroz	40
Tabla 17. Composición de la cascarilla de arroz.....	41
Tabla 18. Relación de principales cargas eléctricas.....	47
Tabla 19. Demanda de energía eléctrica	48
Tabla 20. Demanda horaria.....	49
Tabla 21. Valores de oferta energética, térmica y eléctrica.....	51
Tabla 22. Presupuesto de inversión generadora de electricidad con cascarilla US (\$).....	52
Tabla 23. Riesgo país en el tiempo en Latinoamérica.....	56
Tabla 24. Tasa de interés interbancaria de equilibrio (TIIE, cotización a 28 días)	57
Tabla 25. Flujo de caja a precios privados periodo 2023 – 2032	58

Índice de figuras

Figura 1. Ciclo de la biomasa.....	7
Figura 2. Origen de la biomasa.	8
Figura 3. Generación de residuos orgánicos en el Perú.	9
Figura 4. Cascarilla del arroz.....	11
Figura 5. Proceso del ingreso del agente gasificante.....	12
Figura 6. Gasificador de lecho fijo descendente.....	13
Figura 7. Gasificador de lecho fluidizados circulante.	14
Figura 8. Alternativas de uso de la cascarilla de arroz como fuente energética... 33	
Figura 9. Modelo conceptual de gasificador.	37
Figura 10. Partes integrantes de gasificador.....	39
Figura 11. Cámara de combustión.	39
Figura 12. Proceso de pilado de arroz.	46
Figura 13. Vista fotográfica de la maquinaria, que integra el proceso.....	46

Índice de gráficos

Gráfico 1. Velocidad superficial vs caudal producido del gas.....	44
Gráfico 2. Diagrama de carga.	51
Gráfico 3. Tasas de interés base (Curvas IS – LM).....	55
Gráfico 4. Tasa riesgo País en Latino América	56

Resumen

La utilización del potencial energético de la biomasa del arroz (cascarilla de arroz pilado), de amplia producción en los valles de la región Lambayeque y de las regiones vecinas de Cajamarca, Amazonas y San Martín, da inicio a la diversificación de la matriz energética de la Región Norte del País, se analizó las tecnologías tradicionales de aprovechamiento energético, como la gasificación en cámaras turbulentas y en lechos fluidizados, 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.

Mejoras tecnológicas como el lecho turbulento a presión, cámaras de combustión fluidizados, se analizaron para ver su posible aplicación en el Norte del País, en los abundantes molinos de arroz, así mismo en el marco de la próxima normatividad en el Perú, pero ya muy usada en el extranjero y el mundo entero, 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 de arroz, 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 y su análisis de rentabilidad con la metodología VAN y TIR, 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.

Palabras clave: Gasificación, pirolisis, carbonización, viabilidad.

Abstract

The use of the energy potential of rice biomass (crushed rice husk), widely produced in the valleys of the Lambayeque region and the neighboring regions of Cajamarca, Amazonas and San Martin, allows the diversification of the energy matrix of the Region. In the North of the country, the traditional technologies for energy use were analyzed, such as gasification in turbulent chambers and in fluidized beds, but the potential of using anaerobic pyrolysis and hydrothermal carbonization technologies was also visualized, with the result of detecting enormous potential for optimization of the energy matrix

Technological improvements such as the turbulent pressure bed, fluidized combustion beds, were analyzed to see their possible application in the North of the Country, in the abundant rice mills, as well as in the framework of the next regulations in Peru, but already very used abroad and throughout the world, see the possibility and profitability of sales of surplus energy, as well as the option for the mills to be able to work seven days a week, twenty-four hours a day

And finally, the profitability of the energy use of the rice husk was evaluated, always keeping in mind the cost of the initial investment in these equipment and implements, as well as the income from the sale of energy to the system in base hour and peak hour and its profitability analysis with the VAN and TIR methodology, as well as with the economic useful life of the facilities and the average cost of capital, with which the economic and financial flows that are produced with the execution of these projects will be discounted.

Keywords: Gasification, pyrolysis, carbonization, roads.

I. INTRODUCCIÓN

En las naciones, uno de los retos a futuro que enfrenta la sociedad, es la estructura de consumo por fuentes energéticas. La agroindustria del arroz, estimó una producción a nivel mundial de 502,086 millones de toneladas al cierre del 2020, siendo el mayor productor China con 149 millones de toneladas, seguido de India con 118, nuestro país ocupa el puesto 20 con un aporte de 2,277 millones de toneladas de arroz. El 20% del peso, se convierte en residuo, o cascarilla de arroz, constituyendo unos 100,417 millones de toneladas en el mundo», (Recuenco, 2021).

Según el Ministerio de Agricultura, en la región de Lambayeque operan 90 molinos, siendo esta región con la de mayor capacidad de pilado, representando el 16% del total de molinos del país, los cuales son 636. Hoy en día las industrias afrontan considerables déficits energéticos, a pesar de que cuentan con recursos de biomasa, partiendo de esa realidad se pueden generar alternativas, donde se aprovecha la materia prima para la generación de la energía faltante. A pesar de que representan una oportunidad rentable para obtener energía eléctrica y calor, a partir de biomasa, no se ha incursionado en la producción industrial en la región, aun cuando sería una solución a los residuos orgánicos, por lo tanto, esta materia abarca la solución a dos puntos muy importantes: energética y medioambiental, (Romero, 2018).

Actualmente la cascarilla de arroz, sirve como combustible para los hornos de ladrilleras. Cabe resaltar que el proceso de quemado es al aire libre la cual contamina el medio ambiente. Como consecuencia trae enfermedades respiratorias comunes, como el asma o cáncer al pulmón, (Alcantara , 2020).

Se realizó una investigación en Camboya, donde se determinó la relación o ratio de la cascarilla de arroz a electricidad, siendo esta de 1,6 a 1,8 kg de cascarilla / 1 kilovatio – hora, mediante un gasificador downdraft, (Zhang, 2017).

En el departamento de San Martín, se realizó una evaluación sobre el potencial del residuo de arroz, donde en el 2015, se produjeron 17,43 toneladas de cascarilla, siendo su potencial energético en biomasa de 58,43 MWh aproximadamente, (Aguilar, 2021).

Actualmente, en el caso específico del departamento de Lambayeque, la utilización de biocombustibles se presenta como la nueva alternativa energética y dependiente de combustibles fósiles, en los que se utilizarán residuos agrícolas. Ante la problemática descrita líneas arriba, esta tesis propone un estudio centrándose en la cascarilla de arroz, generada por los molinos de arroz en el departamento de Lambayeque. Esta fuente será analizada en el proceso de gasificación, para la generación de electricidad, (Mendez, 2020).

Por este motivo, se plantea la siguiente interrogante ¿Se logrará la generación de energía eléctrica mediante la gasificación de la cascarilla de arroz?

Este análisis, se justifica técnicamente, porque se presenta como una alternativa de solución a las industrias, donde se hará uso del residuo del pilado de arroz, para generar energía eléctrica, mediante la obtención de biocombustible, satisfaciendo su demanda energética. Por otro lado, este trabajo servirá de guía para futuras investigaciones relacionadas a este tema.

En cuanto a la justificación social, se enfoca en el tema de salud, ya que se evitaría la quema al aire libre de la cascarilla, como se viene haciendo hoy en día, evitando la inhalación de humos contaminantes, que son peligrosos para las vías respiratorias del ser humano. Gracias al uso de la cascarilla de arroz como recurso para la gasificación, se evitaría la quema al aire libre de este residuo, evitando las emisiones de grandes contenidos de CO₂, ayudando a mejorar la calidad del aire en la región.

En el tema económico, será muy beneficioso para los molinos de arroz, ya que, implementando este sistema de generación a sus industrias, el costo de kWh será mucho menor al de la tarifa actual. Se tiene como objetivo general, para este proyecto de investigación: realizar una evaluación y selección de generación de energía eléctrica mediante la gasificación de la cascarilla de arroz, en el departamento de Lambayeque.

Para dar cumplimiento al objetivo general, se desarrollarán los siguientes objetivos específicos:

1. Describir las características y potenciales energéticos de la cascarilla de arroz pilado, en el departamento de Lambayeque.
2. Determinar las principales características del gasificador específico, durante todos los procesos, evaluar la potencialidad de procesos alternativos más modernos.
3. Caracterizar la oferta y demanda eléctrica, en molino modelo, caracterizar la demanda energética y las posibilidades de compra y venta de energía al proyecto.
4. Elaborar la estructura de costo, flujos de caja y realizar la respectiva evaluación económica – financiera del sistema de generación.

II. MARCO TEÓRICO

Para el sustento de nuestra tesis de titulación, existen varias investigaciones que argumentan el estudio energético de las calderas en ingenios azucareros. A continuación, citaremos algunos proyectos:

En investigaciones realizadas a nivel internacional, encontramos a, (Meneses, 2018), quien desarrollo su investigación en los laboratorios de universidad nacional de Nicaragua Managua, donde logró realizar una caracterización físico-química de los residuos agroindustriales (arroz y café), como recurso para la obtención de bioetanol, para este análisis experimental, tuvieron que realizar ensayos analíticos, desarrollando la caracterización de los residuos del arroz, bajo las normas TAPPI (Asociación técnica de la industria de la celulosa y el papel), los parámetros en este análisis fisicoquímica, fueron el contenido de humedad, contenido de cenizas, extractivos, % de celulosa, % de lignina. Como resultados importantes los autores cuantifican la cascarilla de arroz para el 2015 en Nicaragua, siendo 1,040 millones de toneladas. Se obtuvieron los valores de la caracterización de la cascarilla, con 6,59% de humedad, 18,52% de cenizas, 0.5% extractivos totales, 36,03% celulosa, 18,49% lignina, y 45,48% de hemicelulosa.

Para, (Adara, 2017), desarrolló su investigación en la ciudad de Madrid, España; donde buscó, diseñar una planta de gasificación con cogeneración a partir de cascarilla de arroz en un proceso industrial, gracias a la revisión documentaria, determinó que el uso de biomasa para generación eléctrica en países nórdicos es muy grande, donde cada día genera una menor dependencia energética externa, también realizó una serie de entrevistas a especialistas en plantas de generación a partir de biomasa, donde su fin era obtener los criterios a tener en cuenta para la instalación de la planta, siendo estos: tener la materia prima cerca de la planta, no contar con una planta en la zona, con las mismas características, respetar la normativa vigente, tener una coordinación con el municipio local.

Así mismo, (Chong, 2018), desarrolló su trabajo de investigación, en la ciudad de Guayaquil, Ecuador; donde buscó realizar un análisis para la obtención de energía eléctrica mediante un gasificador de Biomasa, donde la metodología empleada para su investigación fue, análisis documental, y descriptivo; para realizar su análisis utilizó un gasificador GET, por sus siglas en inglés Gasifier Experimenters Kit,

compuesto por subsistemas o etapas: Totti, tolva, quemador, filtro de gas; empleando la técnica downdraft (lecho de corriente descendiente), en el interior del reactor.

Por otro lado; (Osorio, 2019), quien desarrolló su investigación en una molinera, en la ciudad de Villavicencio, Colombia; donde buscó, realizar un análisis técnico - económico para un proceso de gasificación. Utilizando fichas de registro como técnica de recolección de datos, logró caracterizar la cascarilla de arroz, con una humedad del 10%, también determinó que el potencial energético de los residuos de arroz del molino en estudio, es de 9404,69 MJ/h. Eligió un gasificador de lecho fluidizado burbujeante, ya que es un equipo de pequeña escala, es económico en su fabricación, y lo bueno es que con pequeñas cantidades. Como resultado final determinó que el molino produce 858,3 kg/h de cascarilla de arroz, pudiendo alimentar a la planta de gasificación de 0,7 MW, proyectándose a una planta con una potencia instalada de 1 MW.

También, (Arteaga, 2020), desarrollando su investigación en el laboratorio de biomasa del Instituto de investigación geológico y energético de la ciudad de Quito, Ecuador; donde buscó, realizar un análisis de la composición de la cascarilla de arroz, para cual realizó un muestreo en algunos molinos mediante la técnica de muestreo en cuarteo, donde la población es la cascarilla de arroz. El análisis proximal, elemental, dieron valores altos en cuanto al poder calorífico, teniendo un valor de 13,73 MJ/kg, siendo una excelente biomasa.

En investigaciones realizadas a nivel nacional, encontramos a, (Rios, 2018); desarrollando su investigación en una empresa agroindustrial, en la localidad de Picota, Tarapoto; donde buscó, diseñar una instalación para un sistema de generación eléctrica, utilizando cascarilla de arroz, para la demanda de la misma empresa. Para la recolección de datos y a fin de conocer la problemática, consideró en su investigación, técnicas e instrumentos, como la observación directa, con la intención de analizar la demanda de energía de la empresa; análisis documental, con la finalidad de recopilar información técnica sobre plantas de generación; encuestas y entrevista, dirigidas al personal de la empresa donde se implementó el proyecto. Como principales resultados de su investigación, podemos mencionar: se determinó la demanda energética de la empresa, siendo esta 1.091 MW/h al año, también se halló la cantidad energía calorífica proveniente de 5 400 toneladas

anuales de cáscara de arroz, significando 3 829 680 000 kcal, obteniendo 4 454,29 MWh como potencial eléctrico.

Para, (Perez N. , 2019); desarrollando su investigación en una planta procesadora en la ciudad de Jaén; donde buscó, aprovechar la biomasa de la cascarilla de café mediante ella generar energía eléctrica en la planta de procesos, donde el análisis de sus datos, lo realizó empleando estadística descriptiva, con la finalidad de ver el comportamiento de las variables en el aprovechamiento de cascarilla de café, para un gasificador. La cáscara de café como biomasa, tiene un potencial energético de 4 785 386 000 kJ anualmente, lo que equivale a 1 329 273,8 kW/h de producción en la planta.

Por otro lado; (Gomez, 2020); quien desarrolló su investigación, en la provincia de Jaén; donde buscó, dimensionar una termoeléctrica, mediante el uso de residuo de arroz, con la finalidad de disminuir costos de energía de la misma molinera; tomando como población los molinos de la provincia de Jaén, para el desarrollo de sus objetivos, elaboró una encuesta, con la finalidad de ver la intención de inversión por parte de los empresarios, en una central a partir de biomasa. Como principales resultados que obtuvo, se puede mencionar: la máxima potencia para satisfacer la demanda eléctrica de los molinos es de 300 kW, para la planta termoeléctrica, contando con una caldera piro tubular con una capacidad de 1,5 Tn/h; un turbogenerador modelo SST-040, con una potencia de 300 kW y un transformador de 400 kVA de potencia. Con ayuda del Software AutoCAD, se logró diseñar los planos de línea primaria.

Para el desarrollo de este proyecto se necesita el uso de teorías relacionadas a las variables de estudio, como sustento científico.

La energía eléctrica proviene de las centrales de generación, dependiendo de la fuente de energía utilizada para el proceso. Estas fuentes pueden ser renovables o no. Las energías renovables, que pueden generarse de forma natural o artificial, incluyen sistemas de plomería, eólicos, solares y de biomasa. Por otro lado, existen centrales térmicas y nucleares que pertenecen a plantas cuya fuente de energía no es renovable, (Gonzalez, 2018).

La energía renovable es aquella que genera un flujo continuo a partir de fuentes naturales, siendo calculada como inagotable, (Oviedo, 2018).

Mediante el proceso de la fotosíntesis, se logra obtener energía. Las plantas absorben y almacenan la luz y los animales la ingieren en forma de energía y alimentos. Cuando los materiales orgánicos almacenan energía solar, también producen subproductos que los animales no pueden utilizar ni producir alimentos, pero que pueden utilizarse para generar energía, (Arevalo, 2017).

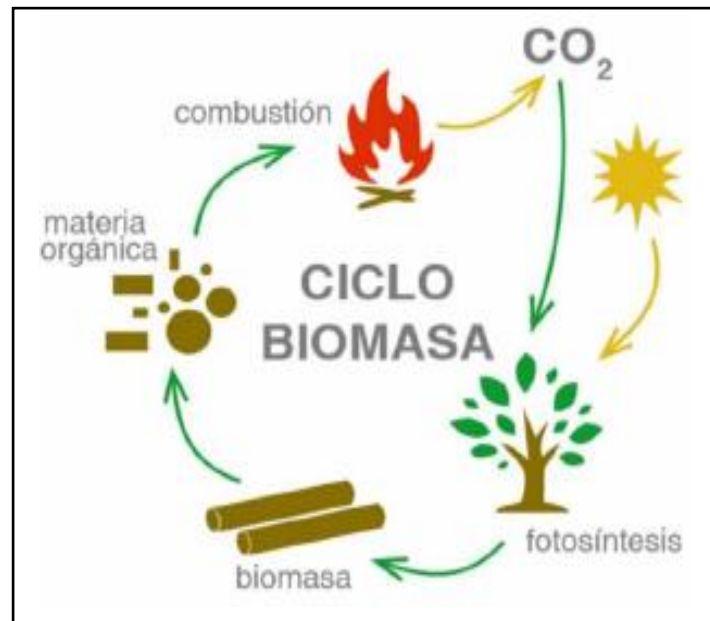


Figura 1. Ciclo de la biomasa

Fuente: (Torres P. , 2017)

Los residuos agrícolas “forman lo que se conoce como biomasa secundaria y provienen de cultivos como el café (paja, tallos, etc.), trigo, algodón, arroz y de residuos de procesos industriales como el bagazo de caña de azúcar y la cáscara de arroz, de caña de azúcar”, (Hurtado, 2018).

La biomasa se compone principalmente de carbono, hidrógeno y oxígeno; estos compuestos son: compuestos que experimentan una reacción exotérmica cuando los desechos producen energía.

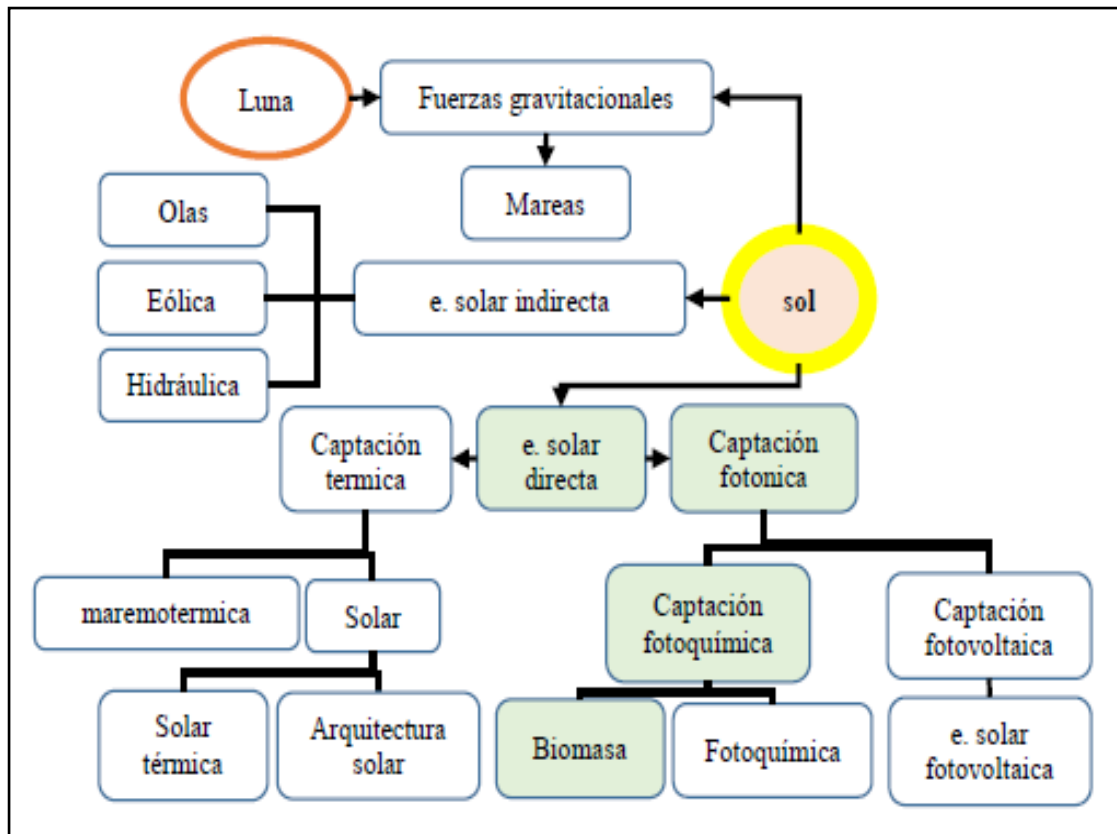


Figura 2. Origen de la biomasa

Fuente: (Calero, 2017)

La biomasa residual, son residuos generados por procesos industriales desde la recolección de alimentos hasta el procesamiento de los mismos. Esta biomasa es muy abundante en plantas agroindustriales de alimentos, madera, papel y bebidas, (Rodríguez, 2016).

La biomasa se puede caracterizar en varios niveles, dependiendo de la función que realice, se realizan análisis como: elemental, compuestos orgánicos, poder calorífico, con fines energéticos.

La biomasa, es la energía térmica almacenada en la flora y fauna que se da en la naturaleza y se considera duradera para siempre, ya que cumple con las fases de recirculación y uso. En el ciclo de la fotosíntesis, las plantas con la energía solar son capaces de producir sustancias naturales; los animales luego la consumen y convierten estas sustancias en desechos llenos de energía. La producción de energía disponible cuando se quema biomasa es de alrededor de 8 MJ / kg; para

madera verde 20 MJ / kg para hortalizas secadas al horno 55 MJ / kg; para el metano. Comparado con 2330 MJ / kg para carbón, (Perez L. , 2021).

En el Perú, las industrias alimentarias, agropecuarias, madereras generan una gran cantidad de residuos, que es la principal fuente de biomasa potencialmente utilizable que corresponde a más de 800 000 Tn / año, de las cuales en 440 000 Tn son cascarilla de arroz, 200 000 Tn de astillas de madera, 90 000 Tn de aserrín y 55.000 Tn de cascarilla de café. Los residuos de biomasa secundaria contienen un promedio de 13 000 KJ / Kg, (Miller, 2018).

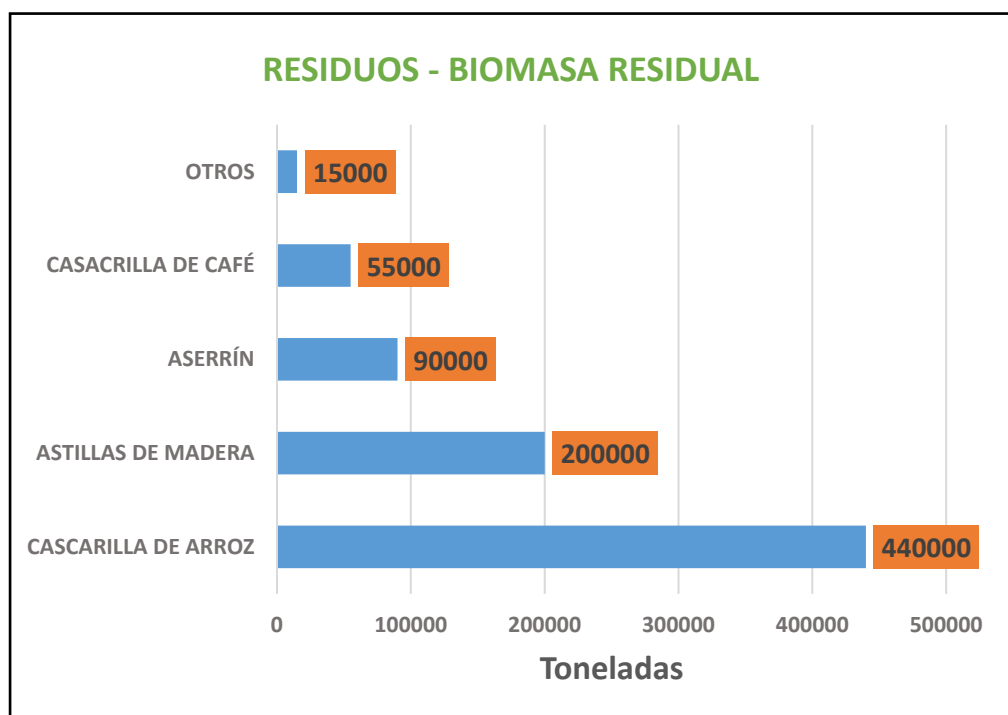


Figura 3. Generación de residuos orgánicos en el Perú

Fuente: (Ohama, 2019)

La cáscara de arroz, como biomasa, es un residuo importante en el proceso de descascarado del arroz; “Esta operación consiste en separar los gérmenes estériles que constituyen la cáscara del arroz mediante ruedas de fricción o rodillos de goma, es decir, las glumas de las cáscaras de arroz, dejando el endospermo y embriones y su cubierta”, (Najar, 2017).

La mayor eficiencia de la gasificación de la cascarilla de arroz ha sido ampliamente demostrada para la generación de electricidad mediante su combustión, ahora, puede argumentarse que la gasificación es más eficiente comparando con la combustión directa, (Armestoa, 2020).

Se encontró en las referencias detalladas acerca del tema de otros usos de la gasificación están enfocados a la producción de gas de síntesis para la producción de forma renovable de hidrógeno, (Werther, 2019).

Se ha estudiado de manera académica y experimental la propuesta gasificación de cascarilla de arroz como fuente no convencional renovable de hidrógeno y captura de dióxido de carbono y producción de metanol, (Holladay, 2019).

Según los ensayos detallados en las referencias los factores de operación (temperatura, presión, cantidad y tipo de agente gasificante), las características particulares de la biomasa (especie, composición y origen), y del catalizador y el agente de fluidización utilizado. De acuerdo con los ensayos reportados en las referencias, (Gil, 2019).

Las limitaciones cinéticas y su alto grado de concentración de escape están en el orden del 3 – 6 % en volumen másico de las principales reacciones que ocurren en el proceso de gasificación se acerca al equilibrio químico, (Hu, 2016).

La olivina tiene una temperatura óptima de trabajo menor y es permanente estructuralmente que la dolomita; y las condiciones promedio que ayudan al equilibrio de calor cercanas a los 1000 Kelvin ambas minimizan la formación de alquitranes y residuos de carbón, (Senneca, 2017).

Es razonable el gasificar con vapor si se desea obtener alta concentración de H₂, (Rapagna, 2018).

Aquí se asumió arbitrariamente que 100 kg de biomasa seca (82,4 kg libres de ceniza) es igual a 1 kmol de biomasa seca, para conocimiento del análisis de último ratio de la biomasa utilizada, como cascarilla de arroz, convertido en gasificante para la obtención de la maquinaria de producción de los gases obtenidos en determinadas condiciones de, (Mahishia, 2017).

La cual puede realizarse sobre un catalizador de Fe₃O₄Cr₂O₃, en el intervalo de temperatura recomendado, el CO, presente puede utilizar la cantidad de H₂, mediante reacción Shift 8 r2 9 (Smith, 2017).

La conversión de equilibrio de esta reacción les facilita las bajas temperaturas por ser una reacción exotérmica. Aquí se propone utilizar la menor temperatura del intervalo, que es de 573 K y resulta en un aumento de la fracción molar del H₂ hasta 0,557 a la salida del reactor, (Franco, 2016). En la segunda etapa tiene lugar la pirolisis, es la descomposición química interna de las cáscaras de arroz y

conversión de equilibrio de esta reacción a bajas temperaturas inducida térmicamente cuando alcanza temperaturas entre 260 y 90 ° C, (Prada, 2020).



Figura 4. Cascarilla del arroz

Fuente: Elaboración propia

Las etapas de un gasificador típicos son: (1) se debe preparar el combustible que se enviará al gasificador, para lograr homogeneizar el tamaño de partícula de la biomasa. (2) La biomasa se vierte en el gasificador inyectándose el agente gasificante, a medida que se obtienen salidas, residuos de cenizas y escorias que deben eliminarse adecuadamente y gas crudo. (3) El gas en cuestión debe purificarse para eliminar la mayor cantidad de residuos y a su vez enfriarse en un intercambiador. El calor liberado por este proceso y en la propia gasificación, se utiliza para calentar el agente de gasificación. (4) Una vez que el gas se ha enfriado, se filtra separar el agua, los naftalenos y las cenizas arrastradas. Hay sistemas que utilizan agua externa para limpiar los gases. (5) El gas se acondiciona para el posterior suministro, (Camargo, 2019).

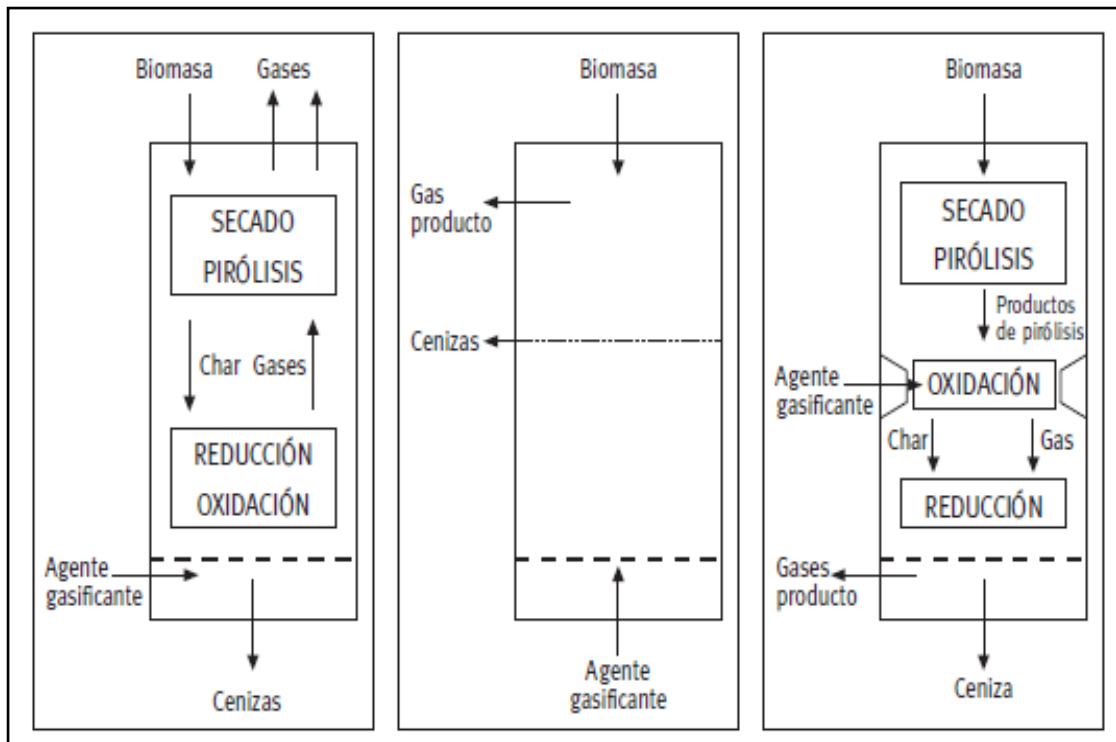


Figura 5. Proceso del ingreso del agente gasificante

Fuente: (Torres W. , 2018)

En un gasificador de lecho fijo / lecho móvil, cada etapa se contacta de acuerdo con el patrón de flujo del tapón. Cuando el pistón está en contacto con la corriente oxidante, la biomasa se mueve lentamente. Dependiendo de la dirección del flujo de biomasa, estos reactores fluyen hacia arriba, hacia abajo o lateralmente, con capacidades que van desde 10 kW a 10 MW con cargas de calor iniciales.

El tamaño es 1 a 100 mm, su eficiencia de aire caliente es del 75 - 95%, produciendo gas pobre de 6 MJ / Nm³. La dificultad fundamental radica en la baja eficiencia de transferencia de calor, que puede provocar una distorsión de la distribución de la temperatura y la aglomeración del combustible, (Cabrera, 2018).

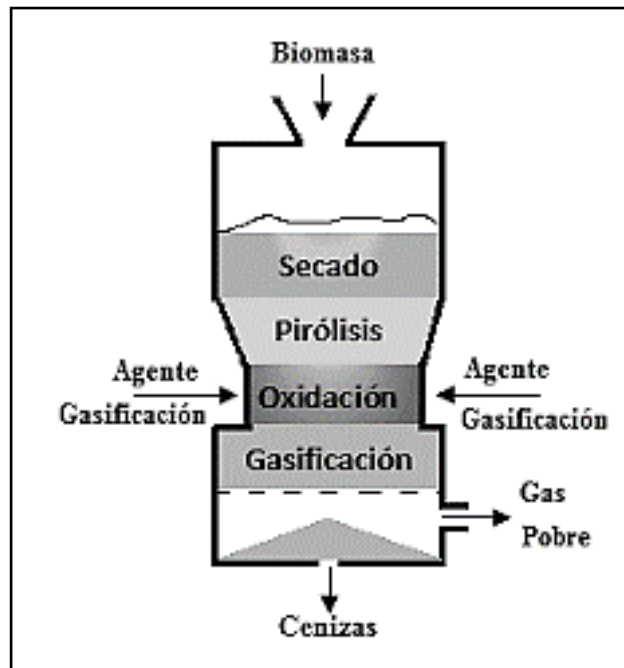


Figura 6. Gasificador de lecho fijo descendente

Fuente: (Tarrillo, 2019)

Los gasificadores de lecho fluidizados muestran una excelente mezcla en las etapas distribuyendo uniformemente la temperatura. El lecho consta de un material granular que puede ser inerte o de un componente con propiedades catalíticas. Estos equipos son beneficiosos para la conversión de biomasa, la producción de alquitrán varía de 1 a 50 g/Nm³, que promedia con propósitos prácticos a 10 g/Nm³. Existen dos tipos: burbujeante y recirculante. La aplicación del gasificador lecho burbujeante son de escala media (< 25 MW térmicos) y a bajas (800 ° C) o altas temperaturas (1000 ° C), presión atmosférica o alta presión (10 bar) con flexibilidad para el tratamiento de biomasa de diferentes propiedades, (Frias, 2019).

Los de lecho circulante consta de un lecho para convertir la biomasa, un ciclón para recircular sólidos. La velocidad de fluidización es de 3,5 y 5,5 m/s, siendo superior a la de los lechos de burbujas 0,5 y 1 m/s y gracias a la recirculación, el reactor se mantiene en un régimen de fluidez rápido. Se instalan térmicamente sistemas de hasta 60 MW.

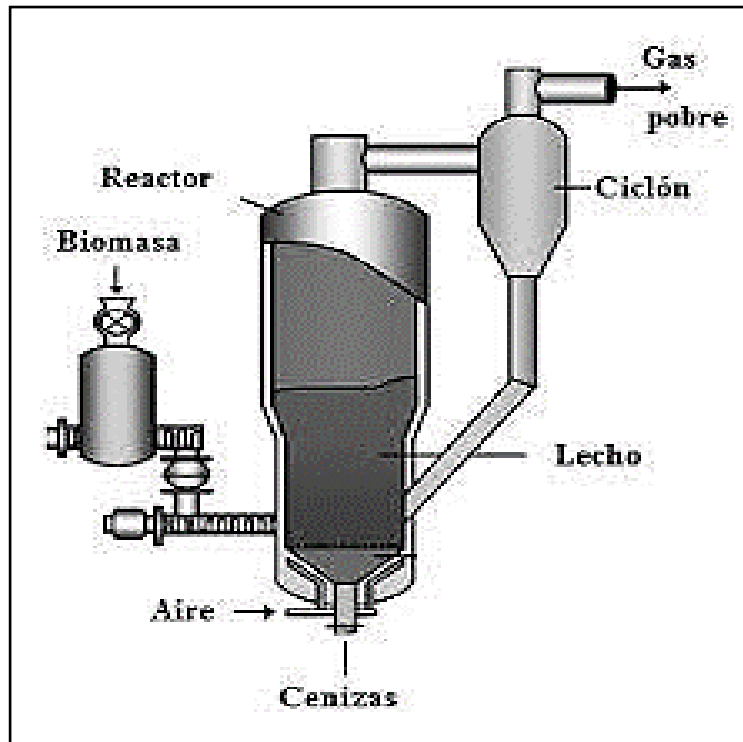


Figura 7: Gasificador de lecho fluidizados ccirculante

Fuente: (Leon, 2018)

El poder calorífico de un combustible sólido es la energía liberada por unidad de masa cuando ocurre una reacción química. El PCI, se determina utilizando una bomba térmica adiabática. Bajo un volumen constante, el valor obtenido corresponde al poder calorífico principal (HHV o PCS) o también llamado poder calorífico total, es decir, el agua formada durante la combustión del combustible, (Verastegui, 2021).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación: nuestra tesis de titulación se considera de tipo descriptivo - aplicativo, porque se describe y analiza el dimensionamiento de un sistema de generación eléctrica mediante la gasificación de la cascarilla de arroz.

Diseño de la investigación: Se enmarca dentro del método científico, cuantitativo, ya que se calcularán el dimensionamiento del gasificador de biomasa, también se efectuarán los cálculos para cuantificar el balance de masas y balance energético. Se consideró diseño no experimental.

3.2. Variables y operacionalización

Variante independiente: Evaluación y selección de la 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 entra el combustible y el agente gasificante para producir la respuesta deseada, (Cortez, 2020).

Variable dependiente: Generación de energía eléctrica.

La generación de energía eléctrica es la transformación de alguna clase de energía, cinética, nuclear, térmica, química, etc; en energía eléctrica, mediante la máquina generadora.

Los costos de producción de energía eléctrica varían dependiendo el combustible y capacidad del sistema de generación, (Quintanilla, 2019).

3.3. Población (criterios de selección), muestra, muestreo, unidad de análisis

Población: La población tomada para la ejecución de la aplicación del muestreo estuvo conformada por los molinos del departamento de Lambayeque.

La población estuvo constituida por los 30 molinos que operan en el departamento de Lambayeque.

Criterio Inclusión: Aquellos molinos cuya producción de cascarilla sea mayor de 20 toneladas diarias.

Muestra: La muestra serán 1 unidades escogidas de manera no aleatoria.

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

Dónde:

N= Población (30).

p= Equilibrio máximo a favor del prototipo 10% (0.1).

q= Equilibrio máximo que afecta a la muestra 10% (0.1).

Z= Nivel de confianza de estudio 94% (1.88).

E= Margen de error de muestra (0.09).

Procedemos sustituir los siguientes datos con la ecuación para calcular 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 Tropical del Norte S.A.C.

Muestreo: El muestreo es no probabilístico intencionado.

Para esta investigación, se utilizó las siguientes técnicas en campo.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

a) Análisis de documentos: Esta técnica permitirá la recopilación de información literaria y técnica acerca de la cascarilla de arroz como recurso energético y también sobre la tecnología de los gasificadores a partir de biomasa.

b) Observación: Esta técnica permitirá observar el proceso del pilado de arroz en la molinera, también permitirá visualizar los diferentes tipos de gasificadores y poder elegir el que más este acorde a la necesidad de generación.

Instrumentos de recolección de datos:

a) Guía de análisis de documentos: Este Instrumento ayudará representar la información de un documento en un registro estructurado, abrevia todos los datos descriptivos físicos y de contenido en un esquema inequívoco. El producto secundario por excelencia al que ocasiona el análisis documental son las bases de datos documentales.

b) Guía de observación: Este Instrumento ayudará a redactar la lista de indicadores tanto como afirmaciones y preguntas, orientado a observar datos relevantes del proceso de la cascarilla de arroz.

Validez y confiabilidad:

La propuesta actual en esta investigación está revisada por expertos para comprender la correcta interpretación y tratamiento detallado del proceso metodológico de los resultados obtenidos en la investigación.

3.5. Procedimientos

El desarrollo del trabajo se realizará en las instalaciones de la empresa Molinera Tropical del Norte S.A.C, al cual tienen acceso los autores. En la empresa se analizará el proceso de molienda, para luego realizar la técnica de la observación a la producción de cascarilla de arroz durante las 24 horas del día, se considerará una guía de observación, luego se medirá las características de la cascarilla de arroz y la utilización del mismo. Del mismo modo se tendrá que analizar documentos de procesos de generación de energía eléctrica con biomasa para determinar la eficiencia del proceso. Los indicadores deben medirse en la etapa del mes mayo del 2022 donde se registran los datos de análisis combustible y costo de producción.

3.6. Método de análisis de datos

Mediante la técnica de la observación se sustentan todas las demás, ya que fundamenta la complementación básica entre el sujeto que observa y el objeto que es observado, que es el inicio de todo el conocimiento de la realidad. Esta técnica es aplicable a grupos de investigación generando su propia guía, (Hernandez, 2017). En la presente tesis los métodos de análisis que serán utilizados son: tratamientos estadísticos, que conllevan a encontrar los promedios, variaciones y errores. Se generará también un gráfico para describir los indicadores de las variables. Con la finalidad de analizar los documentos de forma eficiente para la recopilación de datos, la información seleccionada se procesará en tablas y gráficos comparativos. Los resultados de la investigación se presentarán y desarrollarán en el orden de objetivos específicos para lograr el objetivo general de la investigación.

3.7. Aspectos éticos

Los autores afirman en forma de declaración que en el desarrollo de la tesis se practicará los principios morales y ética profesional, dejando en el alto el nombre de la universidad. Se cumplirá la normativa legal siguiendo la guía del contexto donde se desarrolla la investigación. La información recogida se utilizará de

acuerdo con toda la autenticidad del caso, y los datos no se modificarán durante el desarrollo de la tesis, y se respetarán todas las pautas necesarias y fiables determinadas por el jurado evaluador. No se divulgará información que sea de tipo confidencial de las bases de la empresa. Se respetará los derechos de autor citándolos dentro de su contenido para reconocer su autoría. Los autores afirman que es una investigación original la que se realizará donde no procede de una copia.

IV. RESULTADOS

4.1 Describir las características y potenciales energéticos de la cascarilla de arroz pilado, en el departamento de Lambayeque.

Sera incinerada para utilización energética, esta cáscara de arroz, que en resumidas cuentas es un residuo de la industrialización del cereal que hasta la fecha era muy poco aprovechada, será quemada con propósitos energéticos, reduciéndose las emisiones de gas efecto invernadero cuando este residuo industrial es quemada al aire libre para la producción de productos como el pulitón industrial, esta corteza dura que separada en la operación inicial de descascarado y selección en la mesa paddy y los respectivos elevadores de cangilones, llega a ser hasta el 25 % del peso del arroz en cascara transportado desde el campo, en algunos casos desde la regiones de San Martín y Amazonas, si la describimos a detalle, tiene geometría de balsa, con una superficie áspera y con tamaños de acuerdo a la variedad, que van desde 7 a 11 milímetros de longitud y con ancho de hasta 2 milímetros, se aprecian tres formas de almacenamiento, a granel, que se encuentra en los silos con valores antes de compactación de 110 kg/m^3 , que llega hasta los 300 Kg/m^3 , luego de un proceso de compactación por pistones compactadores, movidos por circuitos oleo hidráulicos, se debe analizar y tener en cuenta que el grado de porosidad, es decir la que considera la presencia de aire entre los granos de arroz en cascara depende de la humedad, y que humedad óptima para el descascarado, para evitar a manchas por quemaduras de descascarado o roturas de grano que hace disminuir la calidad y valor del arroz a la hora de ser comercializado en los grandes malls y supermercados, en los últimos años el manejo del arroz ha pasado a ser todo un problema pues implica pagar el transporte para su disposición, el verse afectado por sanciones ambientales por su depósito en canteras, donde es quemado al aire libre, con la generación de gases de efecto invernadero.

El departamento es una región altamente productora de arroz, con un promedio anual de más de 40,000 hectáreas de tierras de buena calidad, destinadas al cultivo y cosecha de diversas de arroz, en diversas variedades, que tiene un elevado potencial calorífico superior, que puede y deber ser utilizado para generar energía

en procesos limpios de generación de dioxinas y furanos, en procesos de gasificación y pirolisis química, evitando la contaminación ambiental por gases efecto invernadero, que están contribuyendo a la acumulación de carbono en la atmosfera, y en contra de lo cual se ha iniciado todo un proceso de disminución de emisiones de carbono, y que ha originado que las Naciones Unidas, haya iniciado un proceso de control periódico de los avances y logros en conferencias anuales denominadas COP, en donde los países se comprometen a la disminución de las emisiones, tal es el caso del Perú, en donde en la COP 19, realizada en la ciudad de Glasgow Escocia en el mes de Noviembre del 2021, se ha comprometido a disminuir sus emisiones de 287 millones de toneladas al año, a 218 millones de toneladas al año lo cual implica que la industria arrocera va a tener que contribuir con una masiva utilización energética de la cascara de arroz, para disminuir las emisiones en las que el Perú se ha comprometido, evitando que el Perú, sea motivo de sanciones por incumplimiento, sino más bien sea merecedora de bonos verdes, que hagan más rentable el competitivo negocio del pilado del arroz en la región norte del País.

En el pasado, por ejemplo en el gobierno revolucionario de las fuerzas armadas de 1968 a 1980, se le dio aplicaciones para la fabricación de tableros aglomerados, aislantes térmicos en la industria del hielo y alimentos congelados, de acuerdo al nuevo Reglamento Nacional de Construcciones, su utilización en PTAR, específicas de depuración de aguas servidas para la formación de los purines o lodos de depuración y filtrado, los cuales periódicamente son recogidos por EPS, ahora reguladas y reglamentadas por el ministerio del ambiente, a través de la oficina de evaluación y fiscalización ambiental (OEFA).

Composición de la cascarilla de arroz

La humedad optima de la cascarilla del arroz es una función de la calibración optima de los rodillos de jebe de las descaradoras de arroz, que de ser es muy húmeda se negreen y de ser muy seco se rompan y pierdan calidad, por lo que el contenido neto de humedad en la cascarilla de arroz después del proceso de pilado y clasificado en mesa vibradora paddy están en el rango de 15 %, en climas secos tales como los de la región Lambayeque y 30 % en climas húmedos, tales como los

que se dan en Jaén, Bagua Chica, Utcubamba, Pedro Ruiz, Moyobamba, Tarapoto, se realiza el análisis de composición química por procedimientos de laboratorios acreditados estequiométrico, donde para procesos de aprovechamiento energéticos la humedad intrínseca debe ser inferior al 30 %, pues de no ser el caso, mucha energía se pierde en el cambio de estado del agua de líquido a vapor, expresado por el calor latente de cambio de estado, evitándose labores de secado previo que son altamente consumidores de energía térmica.

Tabla 1. *Dependiendo de la humedad las propiedades fisicoquímicas de la cascarilla de arroz*

Grado de humedad (%)	Composición inmediata (%)						Composición elemental (%)					LHV (MJ/KG)	
	C	H	O	N	S	Cenizas	Total (%)	Materia volátil	Carbono fijo	Cenizas	Humedad		Total (%)
8.60	42.5	6	36.2	0.21	0.49	14.6	100	60.2	13.6	17.6	8.6	100	14.58
8.90	39.1	5.2	37.2	0.27	0.43	17.8	100	58.8	14.5	17.8	8.9	100	14.09
9.40	37.4	3.7	38.5	0.32	0.38	19.7	100	55.7	15.2	19.7	9.4	100	13.34
10.00	36.8	2.9	39.1	0.4	0.3	20.5	100	52.9	15.7	21.4	10	100	12.54
20.00	21.2	1.9	50.4	0.52	0.08	25.9	100	37.2	16.9	25.9	20	100	7.07
30.00	12.6	0.5	57.3	0.8	-	28.8	100	22.9	18.3	28.8	30	100	4.36

Fuente: (Aita, 2018)

Utilizando el método del análisis muestral por materia sólida en las cenizas de combustión se determina la buscada composición química elemental de acuerdo a la tabla periódica de los elementos en Carbono, Azufre, Nitrógeno elemental, hidrogeno verde y nos determina el potencial calorífico, el porcentaje de elementos que se queman y el porcentaje de elementos que no se queman y por lo tanto las posibilidades de mejora energética. La presencia de ceniza nos indica la cantidad de elementos no quemados, esta ceniza tiene una aplicación industrial como filtros de aguas en procesos de osmosis inversa para desalinizar agua de mar, o filtros de carbón activo en los procesos de concentración del oro en el proceso Merrill Crown en la Industria metalurgia del oro.

Es importante el mostrar la relación existente entre la materia volátil de la cascarilla del arroz pilado y las temperaturas.

Tabla 2. *Composición 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

Fuente: (Roalcaba, 2017)

La formación pura y directa del char y los alquitranes, dependen directamente de la descomposición y desvolatilización de los elementos que han pasado por la descomposición térmica primaria, donde sus valores en el balance final son función de las condiciones de operación.

Se realizan una serie de operaciones unitarias de transformación física y Química para la obtención de los combustibles en base a la biomasa, las cuales son básicamente:

Fragmentación. Para obtener dimensiones, más uniformes y homogéneas, se logra también aumentar la superficie de transferencia lo que facilita su ignición y combustión.

Secado. Utilizado con la ayuda de prensas para la obtención de pallets y briquetas. Su objetivo es aumentar el valor de calentamiento primario e inicial del combustible.

Compactación. La inversión de transporte y almacenamiento tan sensibles en una época de subida de combustibles son logrados por obra y gracia de los procesos de compactación y traen consigo el aumento o incremento de la densidad del combustible.

De manera primaria el poder calorífico unitario de la cascarilla de arroz, se obtiene por la multiplicación del caudal másico de la biomasa por el poder calorífico elemental o LHV obtenido, teniendo en cuenta que se ha disminuido el contenido en humedad de acuerdo a la biomasa procedente del Molino Gavilán, obteniendo:

$$P_{casc} \text{ (MW)} = \text{Residual Biomasa (kg/s)} \cdot \text{LHVh al 12 \% humedad (MJ/kg)}$$

$$P_{casc} \text{ (MW)} = 0,28 \text{ Kg/s} * 11,94 \text{ MJ/kg}$$

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

Tabla 3. *Caudal y potencia de biomasa*

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

Fuente: Elaboración propia

Si se experimenta con la muestra posible de obtener que es de 100 kg/s bien pesados y medidos, con una humedad interna intrínseca del orden aproximado del 10 %, se logra calcular la cantidad de oxígeno equivalente para la combustión completa en el gasificador.

Tabla 4. Contenido de componentes en moles de compuesto

Componente	Porcentaje en masa, m(%)	Mesa molar, Mm(kg/kmol)	Cantid. de sustancia por cada 100kg de biomasa, n= m/mm (kmol/100kg 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, n _O =n _y (kmol/100kg biomasa)
C	36.8	12	3.067	CO ₂	2	6.134
H	2.9	1	2.9	H ₂ O	0.5	1.45
O	39.1	16	2.444	-	-1	-2.444
N	0.4	14	0.03	N ₂	0	0
S	0.3	32	0.0094	SO ₂	2	0.0188
H ₂ O	10	18	0.56	-	-	0
						5.1588

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la tabla presentada de acuerdo con el número de moles de oxígeno (O₂) necesarios habrá la mitad de los moles de oxígeno puro (O) calculados. Composición en nitrógeno en el aire atmosférico es de 79% y en Oxígeno del 21%.

Estequiométricos moles de O = 5,16 kmol O/100 kg biomasa.

Estequiométricos moles de O₂ = 2,6 kmol O₂/100 kg biomasa.

Estequiométricos Moles de aire = 2,6 kmol O₂/100 kg biomasa * 100/21 kmol aire/kmol O₂ = 12,4 kmol aire/100 kg biomasa.

La masa de aire, expresando su masa molar media, mediante la siguiente composición:

$$M_{\text{aire}} = 14 \cdot 2 \cdot 0,79 (\text{N}_2) + 16 \cdot 2 \cdot 0,21 (\text{O}_2)$$

$$M_{\text{aire}} = 28,84 \text{ kg aire/kmol aire}$$

$$\text{Masa de aire } M_{\text{aire}} = 12,4 \text{ kmol aire/100kg Biomasa} \cdot 28,84 \text{ kg aire/kmol aire}$$

$$M_{\text{aire}} = 357,62 \text{ kg aire/100 kg Biomasa.}$$

Tabla 5. Moles estequiométrico y volumen de aire

Moles estequiométricos de O ₂	5,16 kmol O ₂ /100kg biomasa
Moles estequiométricos de N ₂	2,6 kmol N ₂ /100kg biomasa
Moles estequiométricos	12,4 kmol aire/100kg biomasa
Masa estequiométricos de aire, m _{aire}	357,62 kg aire/100kg biomasa
Volumen de aire necesario, V _{aire}	277,9 Nm ³ aire/100kg biomasa

Fuente: Elaboración propia

La razón elemental que debemos de observar en este experimento de laboratorio, en donde la razón del ratio equivalente (ER) viene dado de manera científica y detallada por la siguiente ecuación de naturaleza experimental:

$$ER = (\text{Caudal de aire} / \text{Biomasa consumida}) / (\text{Caudal de aire} / \text{Biomasa consumida})$$
 estequiométrico.

Las relaciones optimas equivalentes (ER), en los flujos optimizados de gasificación de biomasa acostumbran operar con (ER), cercanas a 0,30; es así que se aplicara este valor para encontrar la masa real del aire.

Masa estequiométrica de aire = 357,62 kg aire/100 kg biomasa $m_{aire} = 3,57$ kg aire/kg biomasa.

Donde el $ER = (\text{Caudal de aire} / \text{Biomasa consumida}) / (\text{Caudal de aire} / \text{Biomasa consumida})$ estequiométrico = 0,3

Es decir, se pueden calcular y obtener claramente los siguientes valores primarios:

Equivalente Ratio

Aire en masa estequiométrica en aire.

Masa realizada en tiempo real.

Estequiométrico Caudal iniciado.

Real caudal medido en tiempo promedio temporal.

Tabla 6. *Indicadores de los componentes de la gasificación*

Ratio Equivalente, ER	0.3
Masa de aire estequiométrico, me aire	3,57 kg aire/kg biomasa
Masa de aire real, m aire	1,07 kg aire/kg biomasa
Caudal de biomasa disponible, Biomasa disp.	0,28 kg biomasa a/s
Caudal de aire estequiométrico, Aire esteq	1,0 kg aire/s
Caudal de aire, Aire real	0,29 kg aire/s

Fuente: Elaboración propia

Según la prueba realizada la presión de salida del gasificador esta medida por la fórmula: $\Delta P = P_e - P_s$

Se obtuvo como resultados de acuerdo para (P_s):

$P_s = P_e - \Delta P$ donde:

$P_s = 101,325 \text{ kPa} - 0,98 \text{ kPa}$

$P_s = 100,345 \text{ kPa. 69}$

La composición de la biomasa en el caso de los RSU, dependen de diversos factores tales como el nivel socio económico de su origen, en donde los sectores A y B se obtiene altos contenidos de plásticos y papeles, envases trepack, térmicos y modernos en sectores más populares tales como D, E con mayor contenido orgánico de orgánicos, restos vegetales de baja densidad y alta densidad.

La biomasa inicia el proceso ingresa al gasificador con un contenido en humedad del 10% y está integrado en su mayor parte por se compone mayoritariamente de materia volátil, de acuerdo a los datos conformes a tablas y considerando los gases de salida en un gasificador.

Tabla 7. Composición y contenido del Gasificador

Temperatura (°C)	Composición	Contenido (%)
700	H2	20
	CO	28
	CO2	28
	CH4	24
		100

Fuente: (Ankur, 2019)

Del análisis de resultados se consigue la composición de nitrógeno y oxígeno, los cuales son necesarios para encontrar el número de moles de N y O presentes en la composición del aire.

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

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

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

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

$n_{\text{Naire}} = n_{\text{eO}} * ER * 79/21$

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

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

Se presenta la tabla para mostrar los moles de los elementos y compuestos presentes en la biomasa, el aire y sumados dan:

Tabla 8. Cantidad de sustancia a la entrada

Cantidad de sustancias a la entrada (biomasa + aire)			
	componente	n (kmol/100kg 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
	H2O	0.56	
Aire	Componente	n (kmol/100kg aire)	
	O	1.548	
	N	5.82	
Temperatura a la salida del gasificador (°C)		850	

Fuente: Elaboración propia

Se realiza un detallado y analítico proceso numérico físico integral y derivado de suma aleatoria y diferencial de suma del resto de porcentajes, mediante la siguiente tabla:

Tabla 9. Porcentaje y numero de moles por componente

Compuesto	Composición n (%)	C	H	N	O	S	Numero de moles, n (kmol/100 kg biomasa)
C	48	1.472	-	-	1.4722	-	1.4722
CO2	48	1.472	-	-	2.9444	-	1.4722
CH4	4	0.1227	0.4908	-	-	-	0.1227

N2	-	-	-	5.85	-	-	2.925
H2O	-	-	0.2332	-	0.1166	-	0.1166
H2	-	-	3.296	-	-	-	1.648
SO2	-	-	-	-	0.0188	0.009400	0.0094
Total	100	3.067	4.02	5.85	4.552	0.009400	7.7661

Fuente: (Baron, 2018)

Presentados de manera ordenada y metódica la relación entre compuestos y poderes caloríficos en versiones de base húmeda y base seca en gases húmedos y gases secos, de acuerdo a la tabla mostrada a continuación:

Tabla 10. Capacidad calorífica inferior

Com- puesto	Mesa molar, Mm (g/mol)	Y(% en volumen)		X(% en masa)		Gas húmedo Mm Y	Gas seco Mm Y	LHV Kj/Nm ³	LHV Y (base seca) kJ/Nm ³
		Base húmeda	Base seca	Base húmeda	Base seca				
C	12	18.96	10	21.05	21.28	5.31	5.39	12618	1261.8
CO2	44	18.96	19.24	33.09	33.44	8.34	8.47	0	0
CH4	16	1.58	1	1	1.01	0.25	0.26	35807	358.07
N2	28	37.66	38.22	41.83	42.28	10.54	10.7	0	0
H2O	18	1.5	-	1.07	-	0.27	-	0	0
H2	2	21.22	10	1.68	1.7	0.42	0.43	10788	1078.8
SO2	61	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

Fuente: Elaboración propia

De la información lograda de acuerdo a las tablas presentadas se determina el LHV del gas de síntesis = **2698,67 kJ/Nm³ = 2,69 MJ/Nm³**, así asumiendo la potencia calorífica inferior del gas de síntesis para el proceso empleado en la presente investigación.

Tabla 11. Densidad y caudal de gas

Densidad del gas húmedo, Dhúmedo	1, 125 kg/Nm ³
Densidad del gas seco, Dseco	1,13 kg/Nm ³
Caudal volumétrico del gas húmedo, Qv húmedo	0,487 Nm ³ /s
Caudal volumétrico del gas húmedo, Qv seco	0,4801 Nm ³ /s
Caudal masico del gas húmedo, Qm húmedo	0,548 kg/s
Caudal masico del gas seco, Qm seco	0,548 kg/s
Caudal masico de vapor presente en el gas, Qm vapor	0,00576 kg/s

Fuente: Elaboración propia

Del estudio efectuado se determina la potencia térmica que aporta el gas de síntesis considerando además a la temperatura de rocío del syngas, el cual tolera que el vapor de agua contenido en el gas se condense.

La temperatura de rocío en función de la presión del vapor de agua a la salida del gasificador, expone la siguiente formula:

$$P_{salida} = P_{aire} + P_{vapor}$$

La presión del vapor de agua

$$P_{vapor} = [(0,0057 \text{ kg/s} / 0,48 \text{ Nm}^3/\text{s}) * 8,314 \text{ J/mol.K} * 273,15 \text{ K}] / 0,018 \text{ kg/mol}$$
$$P_{vapor} = 1498,2 \text{ Pa} = \mathbf{1,49 \text{ kPa}}$$

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

T(rocio): Temperatura de rocío, en °C

Pvapor: presión del vapor de agua contenido en el gas de síntesis, kPa.

$$\mathbf{T(rocio) = 286 \text{ K.}}$$

Para el presente estudio la potencia del gas seco como combustible; es el producto del valor de calentamiento del gas de síntesis por el caudal volumétrico del gas seco.

$$P_{seco} = LHV * Q_{vseco} = 2.69 \text{ MJ/Nm}^3 * 0,4801 \text{ Nm}^3/\text{s} = \mathbf{1,29 \text{ MW.}}$$

Además, se determina la potencia térmica del gas de síntesis utilizado por el sistema de gasificación de acuerdo a la presente investigación.

La suma de potencias proporcionadas por el gas seco (PGseco) y la proporcionada por el gas húmedo (PGhumedo).

$$P_{\text{térmica}} = P_{\text{Gseco}} + P_{\text{Ghúmedo}}$$

Conforme al estudio propuesto se calculó las entalpías según (Sánchez 2017) a la entrada del gasificador, entalpías a la salida del gasificador, entalpías de cada uno de los compuestos químicos presentes en el syngas.

Tabla 12. Densidad del gas

Componente	Calor específico de cada componente Cp (T)=a+b*T+cT ² +d*T ³ (Kj/kmol*K)				Tentrada		Tsalida		hi, entrada (kj/kmol)	hi, (kj/kmol)	hi,Gas (kj/kg)	Σhi,Gas (kj/kg)
	a	b	c	d	°C	K	°C	K				
CO	28.16	0.0017	5,4*10 ⁻⁶	-2,2*10 ⁻⁹					8514.82	34375.2	196.54	
CO ₂	22.26	0.0598	-3,5*10 ⁻⁵	7,5*10 ⁻⁹					9000.34	49173.32	305.3	
CH ₄	19.89	0.0502	1,3*10 ⁻⁵	-1,1*10 ⁻⁸					8254.55	55765.72	29.99	
N ₂	28.9	- 0.0016	8,1*10 ⁻⁶	-2,9*10 ⁻⁹	25	298.2	850	1123	8611.25	34121.57	385.21	1126.53
H ₂	29.11	- 0.0019	4*10 ⁻⁶	-8,7*10 ⁻¹⁰					8628.32	33039.48	207.5	
SO ₂	25.78	0.058	-3,81*10 ⁻⁵	8,61*10 ⁻⁹					9944.63	50952.2	1.99	

Fuente: Elaboración propia

4.2. Determinar las principales características del gasificador específico, durante todos los procesos, evaluar la potencialidad de procesos alternativos más modernos.

Existen varias tecnologías para obtener energía con la cascarilla de arroz como combustión, pirólisis y gasificación. En la figura 8 se muestra la ruta de conversión termoquímica de la biomasa y sus respectivos productos. De acuerdo a la figura anterior a continuación se describen cada uno de los procesos para lograr generar energía a partir de cascarilla de arroz, con casos de estudio en diferentes países. Combustión: La combustión directa es una técnica termoquímica en la que la biomasa es quemada al aire libre o en presencia de aire en exceso.

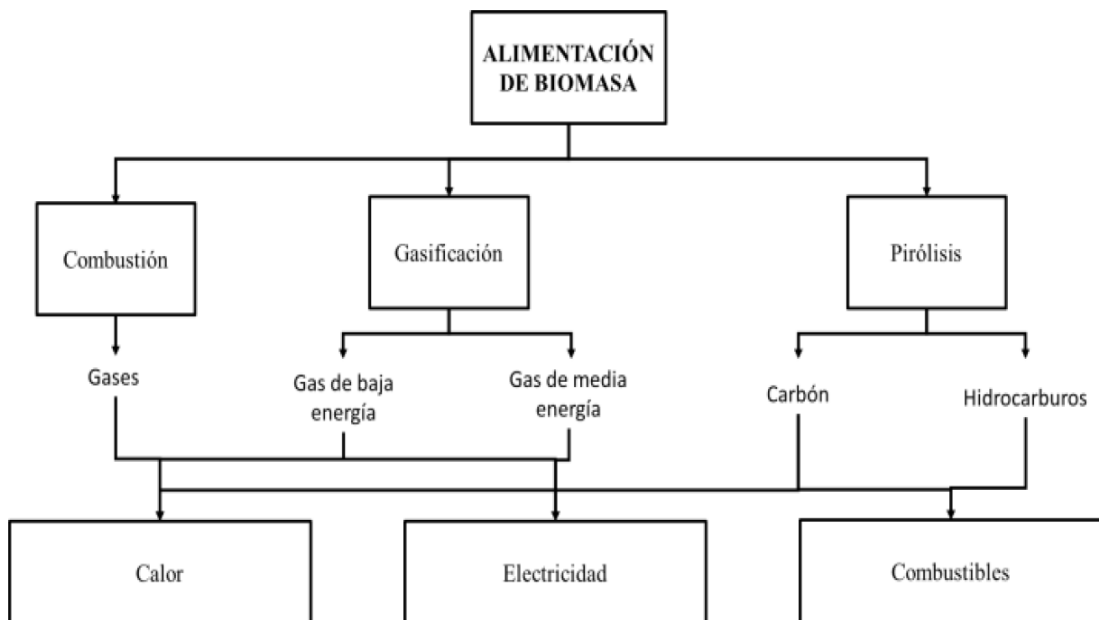


Figura 8. Alternativas de uso de la cascarilla de arroz como fuente energética

Fuente: Elaboración propia

Gran parte de los países de Europa y de la extrema Asia, han sufrido de lleno la crisis energética debido al fenómeno del cenit del Petróleo, la carbonización de la atmosfera y los ha afectado a ellos en mayor intensidad debido a su alta dependencia de los combustibles hidrocarburos, a partir del punto de vista macro económico, desde el punto de vista micro económico, se representa en la reducción de las reservas probadas, probables y posibles, así como un aumento en el costo

de la energía eléctrica, por ser parte de la fórmula polinómica de reajuste, de precios, es por esto que de manera los empresarios molineros en el Perú y la región Lambayeque, se han fijado en proyectos para la generación de energía de la biomasa de la cascarilla del arroz, en diversas regiones y países del mundo, se están implementando proyectos de energía verde renovable y no convencional que se basaran en el poder energético de la cascara de arroz, subproducto del pilado, empleando el procedimiento de combustión directa, con una potencia firme de 10 MW, utiliza un promedio de 225 toneladas de cáscara de arroz al día y 1 400 toneladas de agua al día, abastecía de manera inicial un diagrama de demanda inicial de 1 MW y una potencia efectiva neta variable de 8,8 MW, en la actualidad este proyecto ha crecido hasta, cinco plantas de energía con una potencia instalada superior a 35 MW, utilizando como combustible la biomasa de la cascara del arroz. La utilización térmica de la cascara, ha evolucionado al inicio al proceso termo químico denominado Pirolisis, que es un proceso de transformación termo química de la orgánica materia, que básicamente utiliza un catalizador en ausencia de oxígeno, los compuestos orgánicos producidos se exponen a altas temperaturas en el rango de 400 a 1000 ° C, a partir de este proceso se obtienen importantes productos, como los aceites y bio carbón, este proceso de pirolisis se considera como una tecnología relativamente madura, y su principal propuesta es la producción de aceite a escala industrial.

En países de Asia como la china, se utilizan diferentes variedades de reactores de pirolisis para diversos propósitos y aplicaciones, el reactor utilizado es del tipo de tornillo sinfín, por lo que no requiere de grandes volúmenes y se puede procesar regular cantidad de biomasa.

La Pirolisis rápida, versión moderna de la pirolisis, produce bioaceites de la cascarilla del arroz, por el momento a escala de laboratorio en un reactor de lecho fluidizado mediante procesos ágiles, se obtienen bioaceites cuyas propiedades y eficiencias se muestran.

Tabla 13. *Propiedades del bioaceites obtenido de la cascarilla de arroz*

Propiedad	Valor
Ph	3.36
Porcentaje de masa de agua	33.80
Densidad (g/cm ³)	01.21
Viscosidad de 40°C (mm ² /s)	82.43
O	57.37
Composición másica	35.63
%	7.00
N	0.00

Fuente: Xiujinan

Debemos de indicar que para la producción de biocarbon, se emplean diversos procesos, en las quemas destaca es la pirolisis, el producto de este proceso se utiliza en la agricultura y la biorremediación de suelos afectado por la actividad petrolera, remarcamos que el uso del bio carbón en el suelo actúa como sumidero de carbono, y reductor de la huella ecológica de CO₂, generado por la quema de biomasa, que afecta con sus cenizas a la ciudad de Chiclayo.

La Gasificación como proceso térmico, queda definido como un conjunto de reacciones termoquímicas, dentro de atmosferas con presencia pobre de oxígeno, y origina la creación de un sólido en gas síntesis, que generalmente presenta una mezcla de monóxido de carbono CO, hidrogeno H₂ y pequeñas trazas de metano CH₄, la instalación de gasificadores se intensificado en los últimos tiempos, para sustituir la adquisición de electricidad a los concesionarios, en molinos de arroz con la posibilidad de vender energía eléctrica al sistema distribuido, para electrificar pueblos, industrias, esta alternativa se verá intensificada con la entrada en vigencia del futuro mercado de energía distribuida, lo que permitirá seguir en el camino del cambio de la matriz energética, que conlleva la utilización de este gas de síntesis, la composición típica de los gases obtenidos de la gasificación son:

Tabla 14. *Composición típica del gas obtenido de la cascarilla de arroz*

Compuesto	Porcentaje de composición
Monóxido de Carbono (CO)	18.6 - 8.6
Hidrogeno (H ₂)	21.5 – 8.7
Metano (CH ₄)	0
Dióxido de carbono (CO ₂)	9.5 – 12.6
Agua (H ₂ O)	18 – 21.1

Fuente: Elaboración propia

En la presente tesis de investigación, se trabaja la idea de conceptualizar y diseñar una maquina generadora de gas a partir de la cascarilla de arroz, para uso comercial (comedores populares, ollas comunes, cocinas de hospitales y cárceles, restaurantes etc), por lo que el diseño de las partes de los componentes de los equipos, donde la cámara de combustión turbulenta, el sistema de alimentación del combustible líquido o pulverizado, el sistema de regulación (control), se diseñan en estricto cumplimiento de las solicitudes de los usuarios, a los materiales existentes al interior del país y a la tecnología de frontera presente para su fabricación, cumpliendo las normas de seguridad industrial, salubridad por el Minsa y confort por la OIT y los fabricantes, no existe ningún problema para su operación, es decir trabajamos con un modelo conceptual en el cual se ha considerado los requerimientos técnicos completos y las necesidades de los usuarios.

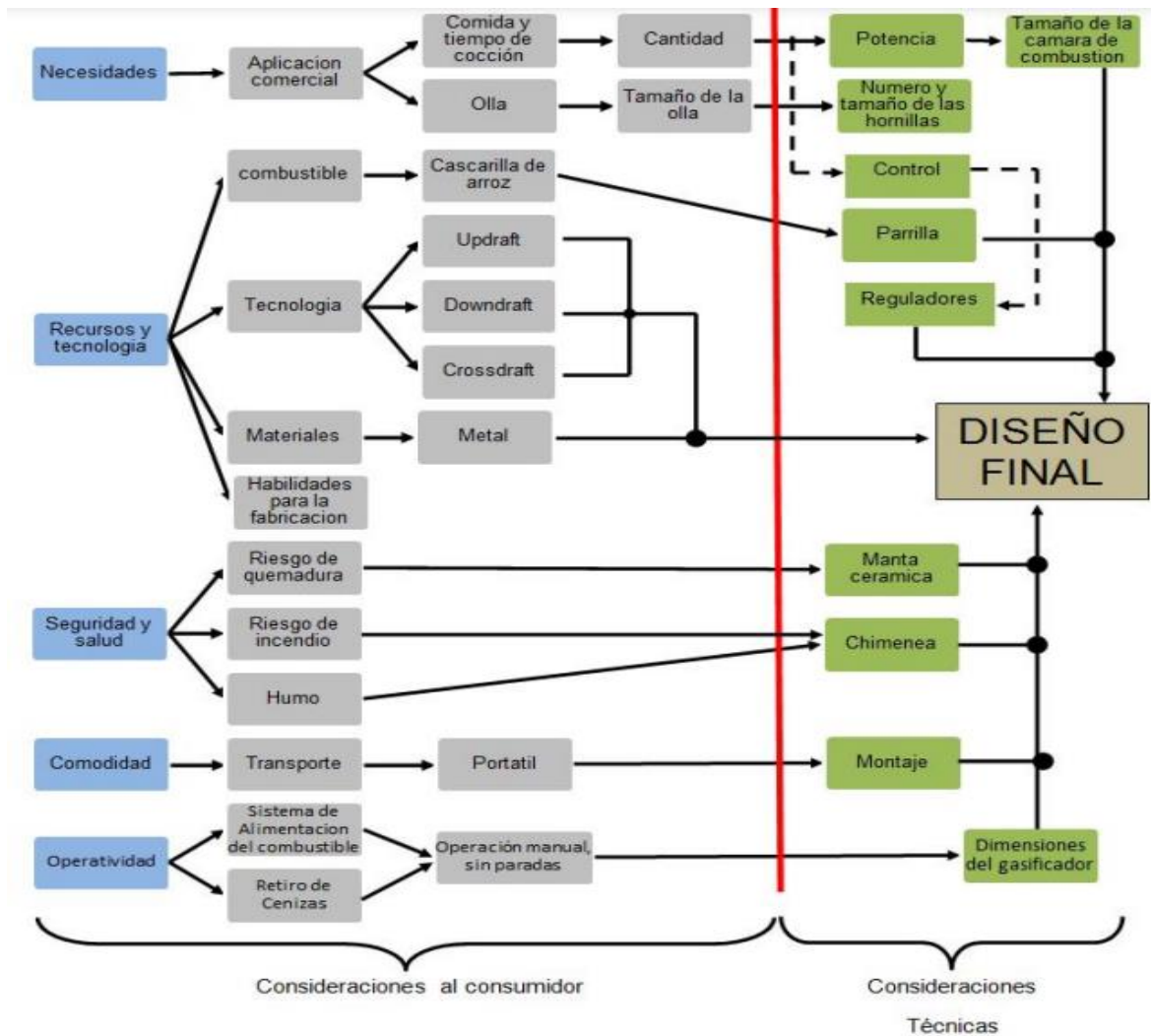


Figura 9. Modelo conceptual de gasificador

Fuente: Elaboración propia

Para el diseño debemos de tener en cuenta, los recursos locales con los que se cuenta en el Perú y compararla con la tecnología disponible en el mundo, se utiliza un recurso local que es la cascarilla de arroz, con lo cual tendremos una concepción inicial de la cascarilla cual es fundamental para el proceso de combustión y suele ir dentro de la cámara de combustión, debemos de mencionar que la tecnología está ligada al proceso de combustión y luego analizar las habilidades del fabricante del equipo generador de gas, existe un gran potencial de biomasa en el país, ligada como material residual de múltiples actividades agrarias industriales, entre las cuales podemos resaltar.

Principales criterios para elegir el Gasificador, primero debemos de tener en cuenta los requerimientos del consumidor, criterios de diseño para su construcción y criterios ambientales para su correcto funcionamiento.

Para determinar qué tipo de link, será utilizado entre las siguientes alternativas: Downdraft, Updraft y Crossdraft, hay que tener en cuenta los parámetros que alteran al gasificador, con rubricas de evaluación que otorgan puntajes de 4 puntos a 1 punto, en donde las primeras opciones alcanzaran un puntaje de 4 puntos a un punto.

Tabla 15. Selección del tipo de gasificador 30/300/300 kW

Características	Downdraft	Updraft	Crossdraft	
Potencia (30 kW)	4	2	4	
Aplicación	4	3	3	
Fabricación y montaje	3	3	3	
Retiro de cenizas	3	3	3	
Mantenimiento	3	3	3	
Operatividad	3	3	3	
Forma de alimentación	3	3	3	
Transporte	4	4	4	
Combustible	Preparación	3	4	2
	Tamaño	3	4	3
Seguridad	Contenido de t.a.	4	2	3
	Contenido de polvo.	4	3	3
Eficiencia y costo	3	3	2	
Estado de la tecnología	4	3	3	
Puntaje	48	43	42	

Fuente: Elaboración Propia

Las partes fundamentales del equipo de gasificación son:

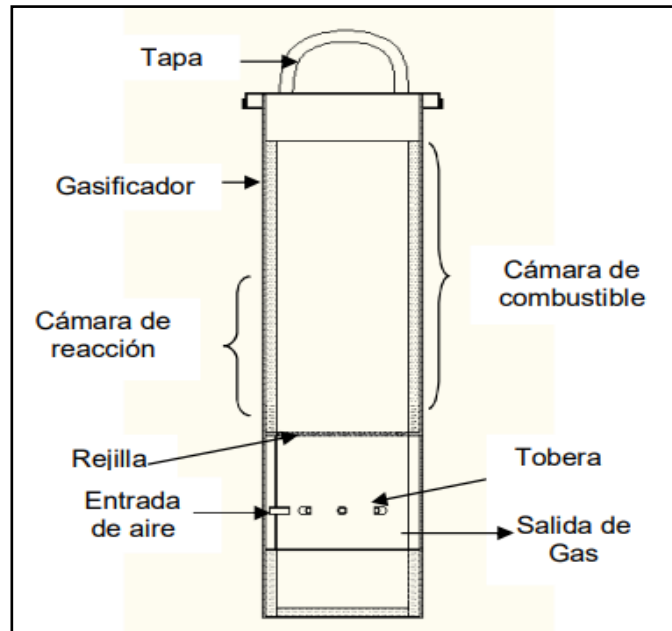


Figura 10. Partes integrantes de gasificador

Fuente: Elaboración propia

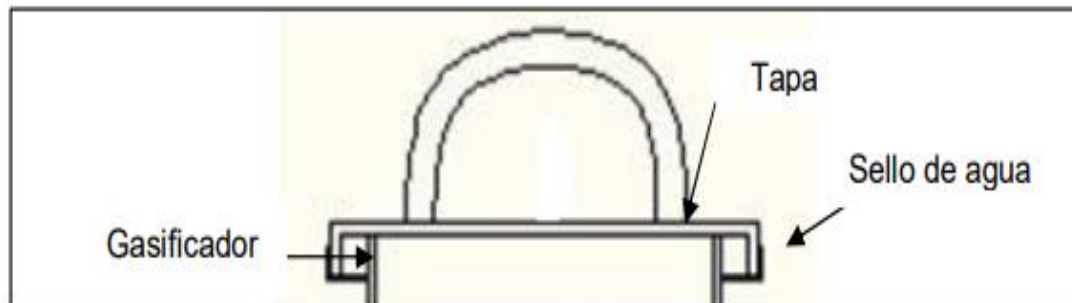


Figura 11. Cámara de combustión

Fuente: Elaboración propia

Cámara de reacción, siguiente elemento, llamado también o reactor significa el corazón del equipo, ya que ahí es donde el gas producido es obtenido y luego dirigido al enfriador, para que luego se dirija a los quemadores, donde ocurre la combustión.

El combustible que se halla en la cámara de combustible cae por peso a la cámara de reacción y es contenida por una parrilla alojada en la parte final de la cámara de

reacción. Las cenizas adquiridas del reactor transitan a través de la parrilla y son acumuladas en el fondo del equipo.

Tabla 16. *Composición química de la cascarilla de arroz*

<i>Ensayo</i>	Base seca	Base recibida
Carbono	39.70 %	35.55%
Hidrogeno	4.98%	5.63%
Oxígeno	35.22%	40.82%
Azufre	0.06%	0.06%
Cloruro	0.03%	0.03%
Nitrógeno	0.44%	0.40%
Cenizas	19.56%	17.51%
TOTAL	100%	100%

Fuente: Elaboración propia

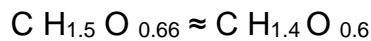
Para reducir la formula molar, debemos de apreciar que se encuentran compuestos en una proporción muy pequeña como el nitrógeno, los sulfuros y otros que son inertes (no reaccionan) en la reacción química de la combustión como las cenizas. Por lo que por motivos de simplificación sólo se considerara el carbono, el hidrógeno y el oxígeno para conseguir la fórmula estequiométrica equivalente de la cascarilla de arroz, cuyos porcentajes se fraccionan por el peso molecular de cada uno para encontrar su cantidad molar, las cuales se muestran en la siguiente tabla 17 (base seca).

Tabla 17. Composición de la cascarilla de arroz

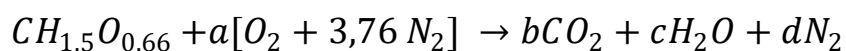
Componente	Mol
Carbono	3.31
Hidrogeno	4.98
Oxigeno	2.20

Fuente: Elaboración propia

Luego, estas cantidades de moles de carbono, se dividen por el número de moles de carbono para alcanzar apreciar la diferencia entre este y la composición física química de la biomasa, el cual se puede apreciar a continuación y se nota que la composición química para la reacción de combustión es aproximadamente.



Luego se trabajará con la ecuación a emplear para hallar la relación estequiométrica, cuando se produce la combustión ideal con aire, los compuestos que se conforman son el CO₂, H₂O y el N₂, luego se halla el valor de "a" que es la cantidad molar estequiométrica del aire, esto se ejecutara mediante el balance atómico de cada uno de los elementos presentes en los compuestos de la reacción.



$$C \rightarrow b = 1$$

$$H \rightarrow c = 0.75$$

$$O \rightarrow a = 1.45$$

$$N \rightarrow d = 3.93$$

Con el valor de "a" se halla el valor de la $r_{a/c}$

$$r_{a/c} = \frac{1,045 \times (16 \times 2 + 3,76 \times 2 \times 14)}{12 + 1,5 + 0.66 \times 16} = 5,96 \frac{Kg \text{ de aire}}{Kg \text{ de combustible}}$$

De este valor se considera solo el 30%, para la gasificación que será:

Flujo de combustible. Esta es la cantidad de combustible que se usa en el funcionamiento de la estufa por unidad de tiempo. Esto se resuelve con la siguiente ecuación.

$$\dot{m} = \frac{3\,487,77 \times Q_n}{PC \times \eta} \dots \dots$$

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

Q_n : Potencial del gasificador (kW).

PC : Poder calorífico del combustible (kJ/kg).

η : Eficiencia del gasificador.

De acuerdo a este valor se determina con la siguiente ecuación:

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

D : Gasificador dos veces radio

\dot{m} : Másico Flujo (kg/h)

S_{gr} : Gasificación de la cascarilla de arroz (110-120 kg/m² -h).

Altura del reactor:

La sección alta del extremo inferior del reactor. Esto halla con la siguiente ecuación:

$$H = \frac{S_{GR} \times T}{\rho_c} \dots \dots$$

H : Altura del reactor

S_{gr} : Relación específica gasificación de la cascarilla de arroz (110-120 kg/m² -h).

ρ_c : Densidad de la cascarilla de arroz (kg/m³).

T : Combustión el Tiempo requerido consumo (h).

Tiempo de uso del combustible. Esta referido al total del tiempo de gasificación completa del combustible utilizado (cascarilla de arroz) dentro del reactor. Esto debe de todas maneras incluir el tiempo necesario de encendido del combustible y el tiempo de generación de gas, más el tiempo para quemar todo el combustible en el reactor.

Esto se calcula, mide y determina mediante la siguiente ecuación:

$$T = \frac{\rho \times V_r}{\dot{m}} \dots$$

T: Consumo del tiempo de la cascara de arroz.

V_r: Gasificador del Volumen (m³).

ρ: Arroz cascara Densidad (kg/m³).

ṁ: Masa Flujo (kg/h).

Cantidad de aire necesario para la gasificación:

Este concepto se refiere a la relación proporcional de flujo de aire necesario para gasificar cascara de arroz. Esto es importante para precisar el tamaño del ventilador necesario para gasificar la cascara de arroz. Esto se halla mediante la siguiente ecuación:

$$Q_a = \frac{\Phi \times \dot{m} \times A_e}{\rho_a} \dots$$

Q_a: Aire en el Flujo

M: Masa de Flujo

Φ: Equivalencia Relacionada

A_e: Estequiométrico Aire

ρ_a: Aire y densidad

Velocidad superficial.

Se refiere a la velocidad del aire a lo largo del lecho del reactor, es una variante de la velocidad de capa límite.

Esto se refiere a la velocidad del aire en la cámara de combustible, esto hace que se formen canales en el lecho, que pueden afectar en gran medida la gasificación (mejorándola al aumentar las probabilidades de mezclado). Esto se halla con la siguiente ecuación.

$$V_s = \frac{4 \times Q_a}{\pi \times D^2}$$

Vs: Gas velocidad superficial

Qa: Aire en flujo

D: Gasificador en diámetro.

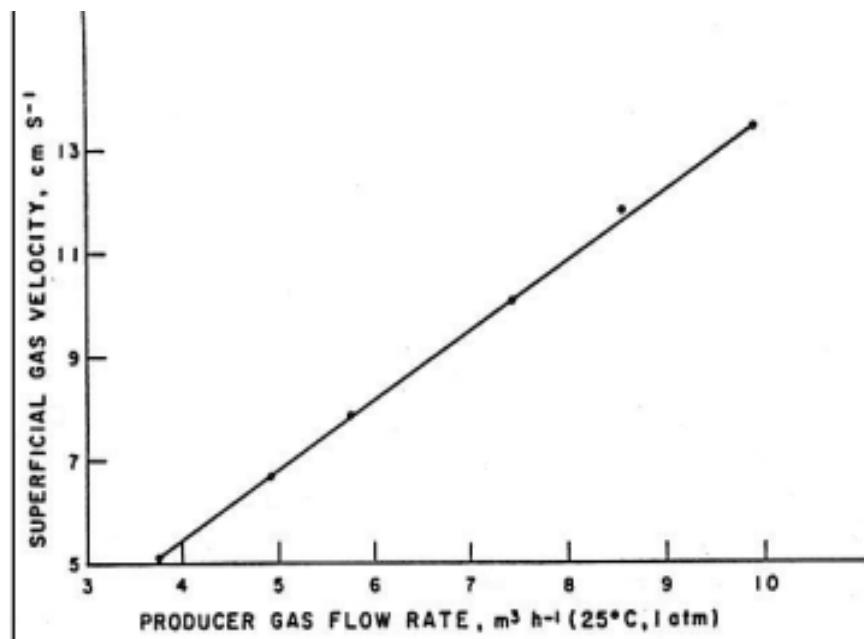


Gráfico 1. Velocidad superficial vs caudal producido del gas

Fuente: Elaboración propia

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

Los molinos de arroz, son instalaciones normalizadas muy presentes en la zona norte del país, antes de 1990, por efecto de la negativa proceso de reforma agraria iniciada y realizada por la dictadura militar socialista que duro de 1968 a 1980, la industria del pilado del arroz, estaba controlada por una empresa estatal, monopólica denominada ECASA, que restringía la instalación, ampliación y operación de nuevos molinos de arroz, es decir el número de molinos de arroz estaba limitado, por valle o zona arroceras, por lo que no existía ningún incentivo para la modernización, mejoramiento y optimización de los procesos productivos de pilado de arroz en cascara, por lo que no existía una política de renovación, instalación de maquinaria agrícola de pilado, durante muchos años la industria del pilado de arroz, permaneció estática, sin rumbo tecnológico de mejoramiento social y tecnológico.

Pero a partir de 1990 se liberalizo la industria, cualquiera podría instalar un molino de arroz, en el lugar y ubicación que deseara, cumplimiento únicamente las normas de desarrollo urbano y medio ambientales, lo cual propicio una mejora tecnológica, con la introducción de nueva maquinaria, tal como las prelimpiadoras, que desbastan de malezas grandes y piedras grandes al arroz en cascara, que ahora han sido complementadas, con las maquinas despredadora de piedras pequeñas que han dejado de lado la antigua actividad previa al cocido de arroz, que era el escoger el arroz, cuando este se comercializaba a granel, sin marca, luego se utilizan las maquinas descaradoras de arroz, por medio de la fricción de dos rodillos de alma de acero, con resistencia a la fatiga y a la fricción, que se mueven en contragiro y que por alta fricción, generar la separación de la cascara del grano de arroz moreno, en un proceso de alta eficiencia, del orden esta del 95 %, siendo el restante 5 % enviado por medio de los correspondientes cangilones, del mecanismo elevador, consistente en un faja de goma y de acero flexible y altamente sujetos, dentro de una caja metálica hecha de plancha metálica, hermética y segura contra escapes de polvo, ruidos y sólidos en suspensión.

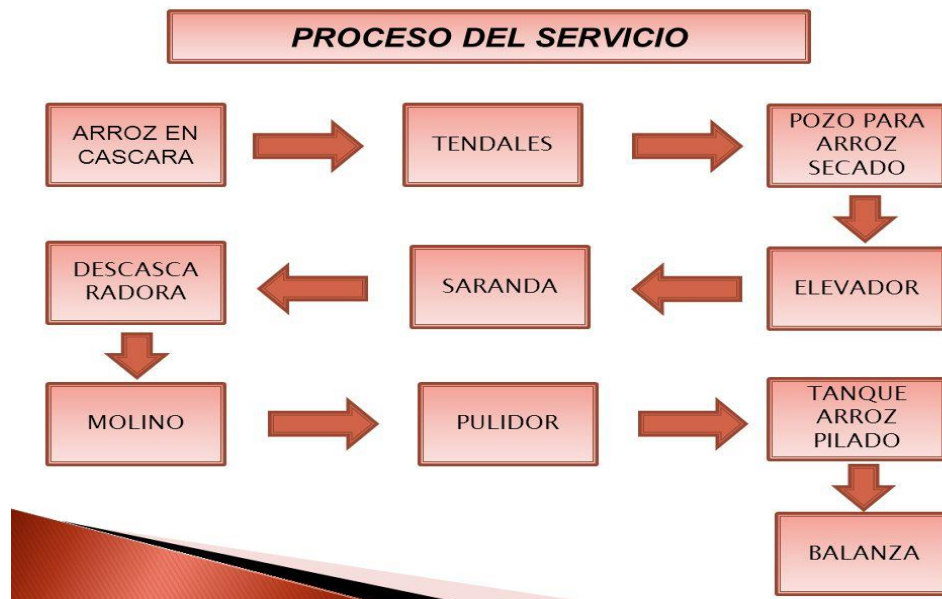


Figura 12. Proceso de pilado de arroz

Fuente: Elaboración propia

También graficado con las vistas, que exponen algunas de las máquinas del proceso de pilado, que hemos descrito en la sección anterior:



Figura 13. Vista fotográfica de la maquinaria, que integra el proceso

Fuente: Elaboración propia

Procedemos a enumerar, clasificar las máquinas, en función de su potencia nominal, potencia real y horas promedio de funcionamiento promedio, así como posteriormente pasaremos a medir su producción de cascarilla de arroz y su potencial calor específico inferior:

Tabla 18. *Relación de principales cargas eléctricas*

ITEM	Descripción	Pot. Nominal (Kw)	Pot. Real (Kw)
01	Máquina prelimpia	5	3
02	Elevador de cangilones 1	3	2
03	Descascaradora de rodillos	15	12
04	Elevador de cangilones 2	3	2
05	Clasificadora paddy	5	4
06	Tornillo sin fin de cascara	4	3
07	Elevador de cangilones 3	3	2
08	Maquina pulidora de esmeril	60	45
09	Elevador de cangilones 4-5y 6	9	6
10	Maquina abrillantadora	20	15
11	Elevador de cangilones 7	3	2
12	Clasificadores cilíndricos triue	12	9
13	Elevador de cangilones 8	3	2
14	Clasificadores cromáticos	15	12
15	Elevadores de cangilones 9	4	3
16	Maquina añejadora	30	25
17	Embolsadora de arroz	10	8
18	Maquina despredadora	6	4
19	Transportador neumático de cascara	6	4

20	Transportador neumático de polvillo	8	6
21	Iluminación y aire acondicionado.	15	12
DEMANDA TOTAL		239	181

Fuente: Elaboración propia

En esta tabla 18 apreciamos las máquinas y las potencias nominales de sus motores eléctricos, así como su potencia real, producto de las respectivas mediciones con amperímetro y/o analizador de redes eléctricas, con lo cual determinamos la máxima demanda del molino de arroz.

Pero también es necesario, determinar los consumos de energía eléctrica activa, reactiva, aparente y su respectivo horario de demanda, para determinar el diagrama de cargas.

Con lo cual podemos construir la siguiente tabla de carga eléctrica:

Tabla 19. Demanda de energía eléctrica

ITEM	Descripción	Potencia Nominal (Kw)	Potencia Real (Kw)	Horas	Energía (kW)
01	Máquina prelimpia	5	3	19	57
02	Elevador de cangilones 1	3	2	19	38
03	Descascaradora de rodillos	15	12	19	228
04	Elevador de cangilones 2	3	2	19	38
05	Clasificadora paddy	5	4	19	76
06	Tornillo sin fin de cascara	4	3	19	57
07	Elevador de cangilones 3	3	2	19	38
08	Maquina pulidora de esmeril	60	45	19	855
09	Elevador de cangilones 4-5y 6	9	6	19	114
10	Maquina abrillantadora	20	15	19	285

11	Elevador de cangilones 7	3	2	19	38
12	Clasificadores cilíndricos triue	12	9	19	171
13	Elevador de cangilones 8	3	2	19	38
14	Clasificadores cromáticos	15	12	19	228
15	Elevadores de cangilones 9	4	3	19	57
16	Maquina añejadora	30	25	19	475
17	Embolsadora de arroz	10	8	19	152
18	Maquina despredadora	6	4	19	76
19	Transportador neumático de cascara	6	4	19	76
20	Transportador neumático de polvillo	8	6	19	114
21	Iluminación y aire acondicionado.	15	12	12	114
DEMANDA TOTAL		239	181	392	3325

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 19 podemos deducir que la demanda de energía diaria, es de 3 325 kWh, por día de trabajo normal, que es de lunes a viernes, sobre todo en época de cosecha de arroz.

Esto me permite construir los diagramas de carga del molino de arroz materia de la presente tesis de investigación:

Tabla 20. Demanda horaria

Hora	Demanda (kW)
01	169
02	169
03	169
04	169
05	169

06	169
07	169
08	181
09	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

Fuente: Elaboración propia

Con lo cual podemos elaborar los diagramas de carga, diarios siguientes y de acuerdo a detalles:

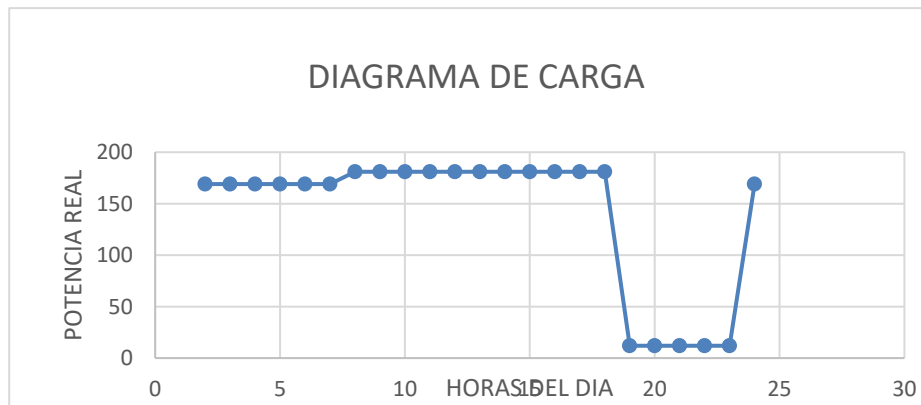


Gráfico 2. Diagrama de carga

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la oferta energética, debemos de trabajar con la producción de cascarilla, lo cual, con el poder calorífico y la eficiencia de la termodinámica del proceso de gasificación, determinamos una buena estimación de la oferta eléctrica posible de producir.

Tabla 21. *Valores de oferta energética, térmica y eléctrica*

Mes	Cascarilla (TON)	Energía T. (CAL)	Energía E. (KVA)
UNO	427.50	1 581 750.000	275.751
DOS	427.50	1 581 750.000	275.751
TRES	427.50	1 581 750.000	275.751
CUATRO	427.50	1 581 750.000	275.751
CINCO	427.50	1 581 750.000	275.751
SEIS	427.50	1 581 750.000	275.751
SIETE	213.75	790 875.000	137.876
OCHO	213.75	790 875.000	137.876
NUEVE	213.75	790 875.000	137.876
DIEZ	213.75	790 875.000	137.876
ONCE	213.75	790 875.000	137.876
DOCE	213.75	790 875.000	137.876

Fuente: Elaboración propia

4.4. Elaborar la estructura de costo, flujos de caja y realizar la respectiva evaluación económica – financiera del sistema de generación

En esta evaluación económica financiera, el objetivo es demostrar a carta cabal, que el sistema de generación eléctrica con el uso de la gasificación de la cascarilla del arroz, es posible, factible desde el punto de vista ambiental y rentable de acuerdo a los flujos de caja, económico, financiero y personal, para lo cual determinaremos el valor del CAPEX (Inversión en activos fijos inicial), por medio de un presupuesto de obra (que contemple el suministro y montaje), incluyendo gastos generales, utilidad e impuesto general a las ventas o IGV, de acuerdo al siguiente detalle:

Tabla 22. *Presupuesto de inversión generadora de electricidad con cascarilla US (\$)*

ÍTEM	Descripción	Cant.	P. Unitario	P. Parcial	P. Total
Suministro					
1		1	45.00	45.000	
2		1	72.00	72.000	
3		1	21.00	21.000	
4		2	42.00	84.000	
5		1	135.00	135.000	
6		1	76.00	76.000	
7		1	54.00	54.000	487.000
Montaje y puesta en operación					
8		1	23.00	23.000	
9		1	15.00	15.000	
10		1	17.00	17.000	
11		1	15.00	15.000	
12		1	27.00	27.000	97.000
Costo directo total					584.000

Gastos generales y utilidad	116.800
Impuesto general a las ventas	126.144
Monto de la inversión inicial total	826.944

Fuente: Elaboración propia

En este presupuesto debemos de remarcar la presencia de las siguientes máquinas:

Hornos quemadores, en cámara turbulenta, es decir inyección de aire, que origina un ciclón de aire con cascarilla en suspensión, y una buena y optima relación aire/combustible, que originan la correcta temperatura de flama, que origina una combustión completa, con muy poca o casi nula formación de ceniza.

Caldero Acuotubular, de mediana presión 40 – 50 Bar, para lograr la maximización del salto entalpico, y la eficiencia de aprovechamiento de la energía térmica y la energía de trabajo aprovechable, con sus añadidos de aparatos térmicos, con el economizador que calienta el agua de entrada al domo del caldero- Sistema denominado pierna caliente, el sobrecalentador a la salida del domo y eleva la temperatura y presión del vapor que ingresa con energía y potencia a la turbina a vapor con alabes de acero de alta resistencia y poca deformación a altas temperaturas y elevados esfuerzos.

Turbina de vapor, multietapa, con difusor y rotor con ángulos del triángulo de Euler, que optimizan la transferencia de cantidad de movimiento, o momento de la cantidad de movimiento, de tipo reacción, con baja recirculación y altas eficiencias, hidráulicas, volumétricas y mecánicas.

Generador accionado con motor de combustión interna, de control electrónico, con ecu, que permite la programación de los parámetros de motor y por lo tanto se debe especificar en un rango de potencias, con la visión moderna que toda la sociedad debe responder y comprender, la electricidad cumple con las normas de calidad del producto y servicio eléctrico, con instalación segura y práctica.

Transformadores secos, para evitar impactos ambientales en espacios cerrados, con sus elementos modernos de protección, control y medida, tales como reconectadores, tranfomix, aisladores poliméricos con recubrimientos aislantes tipo cera y gomas, adaptado para trabajos en caliente, con niveles de riesgo permitido.

En cuanto a la operación y mantenimiento, por políticas de Net Billing y Net Metering se considera que se vende al sistema con precios similares a los precios de un sistema interconectado y regulado, de acuerdo también a los contratos de suministro libre realizados, y en concordancia con los diagramas de carga, factores de carga, energía producida y vendida de acuerdo al siguiente criterio:

Venta de energía

Potencia promedio 180 (160 – 200 kW), en días de semana normal, sin considerar las horas punta.

Horas de funcionamiento, en promedio serán 20 horas diarias.

Días del año, de manera inicial y aproximada consideraremos 360 días al año, se descuentan días por imprevistos, y dificultades.

Se considera un precio único equivalente de S/0,50 kWh, con los cual se puede considerar u promedio de US \$ 160,000 de ingresos al año.

En cuanto a los parámetros, necesarios para la evaluación económica, financiera del proyecto, tal como son la tasa de descuento, la vida útil económica del proyecto, el valor residual o valor de rescate, el nivel de riesgo entre otros parámetros, tenemos lo siguiente:

Para su evaluación utilizaremos el tradicional método del flujo anual, actuante sobre todo la vida útil del proyecto y con las siguientes principales características:

Valor de recuperación: Cero, es decir valor chatarra menos precio del desmontaje y traslado.

Vida del proyecto; dado por el periodo del negocio en este caso indefinido, pues será una actividad rentable siempre la conservación de carnes de ave, por las costumbres alimenticias del Perú, altamente intensivas en consumo de aves y todo tipo de carnes, en general y la vida útil del activo principal del sistema de frio, los compresores en el caso que nos involucra, teniendo en cuenta las varianzas y/o desviaciones estándar de los valores obtenidos, nos determina una vida útil económica de 10 años.

En cuanto al costo ponderado de capital, WACC, en la moderna terminología OCDE, determinado por la siguiente Ecuación:

$$\text{WACC} = \text{Patrimonio} / \text{Pasivo Total} * \text{COCP} + \text{Deuda} / \text{Pasivo Total} * \text{CDB}$$

De donde debemos de definir los siguientes términos:

Patrimonio: Deuda de la empresa con su accionista, modificadas año a año por el accionar de los resultados anuales.

Pasivo total: Total de deudas de la empresa, tanto a sus accionistas o propietarios, como al sistema bancario y sistema financiero no bancario.

COCP: Costo de oportunidad de negocios alternativos, que tienen los propietarios de las acciones de la empresa, para invertir los fondos que obtendrían de la venta de sus acciones.

Deuda: De la empresa o emprendimiento al sistema bancario (deuda corto plazo, pagares, sobre giros, descuento de letras, factorización, arrendamiento y otros), como del sistema no bancario (acciones, bonos de renta fija, bonos de renta variable, acciones preferenciales, renta fija, renta variable, etc).

CDB: Costo de deuda en términos reales, constantes, deflactados y variables.

Estos costos de la deuda están afectos a sobre tasas por tres principales criterios; tasa de interés básica, determinada por la ley de la curva de la oferta (Curva LM, o curva de oferta del mercado monetario) y la curva de demanda (Curva IS, o curva de demanda del mercado real de bienes y servicios, del mundo de la producción real).

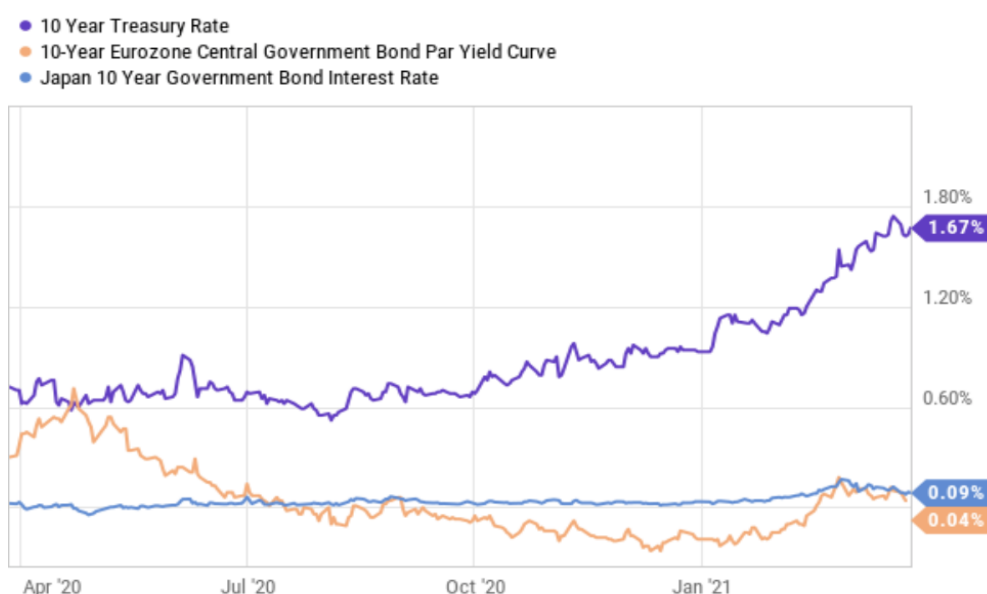


Gráfico 3. Tasas de interés base (Curvas IS – LM)

Fuente: Elaboración propia

A lo cual hay que añadir los correspondientes sobre cargos, por riesgo país (riesgo de repatriación de capitales, riesgo político de variación de políticas macro económicas, riesgo de comercio internacional etc), que los podemos visualizar en los siguientes cuadros y gráficos:

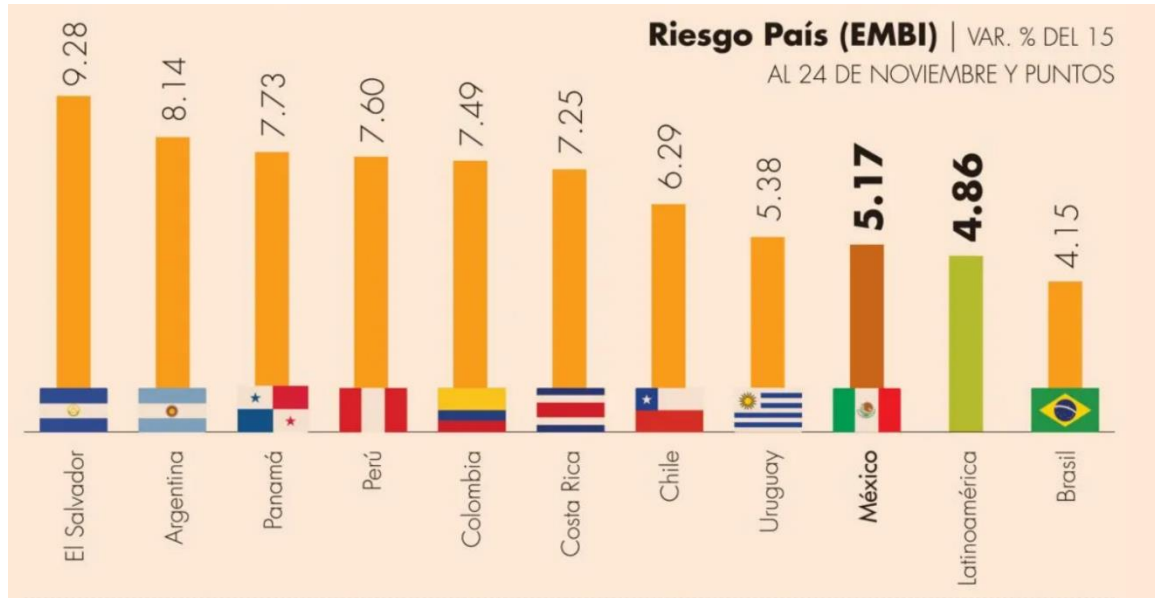


Gráfico 4. Tasa riesgo País en Latino América

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23. Riesgo país en el tiempo en Latinoamérica

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
Ecuador	8.26	8.26	4.59	6.47
Argentina	17.44	8.17	3.51	4.55

Venezuela	147.40	68.45	48.54	21.68
-----------	--------	-------	-------	-------

Fuente: Elaboración propia

Por último, las consideraciones de riesgo por tipo de negocio nos determinan, lo siguiente:

Tabla 24. *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
En.	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
Febr.	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
Mzo.	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
Abr.	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
My.	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
Jun.	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
Jul.	7.31	7.70	8.28	4.92	4.92	4.82	4.78	4.32	3.31	3.31	4.59	7.38	
Agt.	7.30	7.71	8.56	4.89	4.90	4.81	4.79	4.30	3.30	3.33	4.60	7.38	
Sept.	7.31	7.70	8.66	4.91	4.90	4.78	4.81	4.03	3.29	3.33	4.67	7.38	
Oct.	7.31	7.73	8.68	4.91	4.87	4.79	4.83	3.78	3.28	3.30	5.11	7.38	
Nov.	7.30	7.93	8.73	4.93	4.87	4.80	4.85	3.80	3.31	3.32	5.57	7.39	
Dic.	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: Elaboración propia

Elaboramos el flujo de caja correspondiente:

Tabla 25. *Flujo de caja a precios privados periodo 2023 – 2032*

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingreso	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
Egreso	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 %									

Fuente: Elaboración propia

V. DISCUSIÓN

Para evaluar la generación de energía a partir de la gasificación de biomasa es necesario analizar la biomasa como combustible, Meneses (2018); en su investigación logró realizar una caracterización fisicoquímica de los residuos agroindustriales de arroz y café, como materia prima para la obtención de bioetanol, arrojando como resultados para la cascarilla de arroz 6.59% de humedad y 18.52% de cenizas.

Efectivamente para nuestro caso de estudio partimos describiendo las características y el potencial energético de la cascarilla producto del pilado de arroz de todo el departamento de Lambayeque, se determinó que la humedad depende del clima de la región, en la tabla 1 se realizó la caracterización de las propiedades fisicoquímicas de la cascarilla del arroz dependiendo del grado de humedad donde van desde el 8.6 % hasta un 30% de humedad.

Para la obtención de los combustibles producidos por biomasa se realizan una serie de operaciones unitarias de transformación física y química cómo son: La fragmentación, en esta etapa se puede obtener dimensiones uniformes y homogéneas aumentando la superficie de transferencia de calor facilitando la combustión e inicio de la biomasa. El secado, gracias a la ayuda de prensas y briquetas se logra aumentar el valor del calentamiento primario e inicial del combustible. La compactación que trae consigo el incremento de la densidad del combustible.

Osorio, (2019); en su investigación busco realizar un análisis técnico económico para un proceso de gasificación a partir de la cascarilla de arroz como biomasa teniendo una humedad del 10% determinó el potencial energético de los residuos de arroz del molino siendo este 9,404.69 MJ/h; asimismo determinó que el molino produce 858.3 kg/h de biomasa logrando alimentar a una planta gasificadora de 0.7 MW.

Efectivamente para nuestro caso de estudio también se determinó el poder calorífico de la cascarilla de arroz como biomasa, para ello se determinó el flujo másico de cascarilla de arroz en el molino siendo este kg/s multiplicado por el poder calorífico elemental que para un 12% de humedad corresponde 11,94 MJ/kg, siendo la potencia térmica que aporta la cascarilla de arroz en el equipo gasificador de 3,51 MW.

Por otro lado, en la tabla 10 se describió la relación entre compuestos y poderes caloríficos en versiones de base húmeda y seca de los productos de la gasificación cómo son: C, CO₂, CH₄, N₂, H₂O, H₂, SO₂. Los principales productos de la reacción en el gasificador son especies completamente oxidadas cómo son: CO₂, H₂O y el nitrógeno que proviene del aire. La reducción de las relaciones equivalentes apunta a un incremento en la concentración de productos parcialmente oxidados cómo son: H₂, CO, aportando energía química al gas; por otro lado, la concentración de metano e hidrógeno aumenta si se disminuye el aporte de oxígeno para llegar a un alto nivel en los valores de relaciones equivalentes próximas a cero que vendría ser la etapa del pirólisis. Bajo estas condiciones se maximiza el poder calorífico del gas resultante, pero cabe señalar que el flujo másico total es mínimo y las reacciones exotérmicas de combustión no son suficientes como para mantener constantemente una temperatura en el proceso.

De la información lograda de acuerdo a las tablas presentadas se determina el LHV del gas de síntesis = 2698,67 kJ/Nm³ = 2,69 MJ/Nm³, así asumiendo la potencia calorífica inferior del gas de síntesis para el proceso empleado en la presente investigación, dónde se determinaron la densidad, flujo másico y volumétrico del gas: Densidad del gas húmedo (1,125 kg/Nm³), densidad del gas seco (1,13 kg/Nm³), flujo volumétrico del gas húmedo (0,487 Nm³/s), flujo volumétrico del gas seco 0,4801 Nm³/s), flujo másico del gas húmedo (0,548 kg/s), flujo másico del gas seco (0,548 kg/s), flujo másico del vapor presente en el gas 0,00576 kg/s.

En la investigación de Osorio, (2019), analizó la necesidad de su caso de estudio eligiendo un gasificador de lecho fluidizado burbujeante, dónde la biomasa ya se introduce por la parte inferior del gasificador en condiciones normales de

temperatura y presión (25 C y 101,3 kPa). siendo este un equipo de pequeña escala económico con costos bajos de fabricación y se aplica a pequeñas cantidades de consumo de biomasa. Este tipo de gasificador utiliza aire caliente como agente gasificante este aire precalentado proviene del intercambiador de calor aire gas.

Para la elección del tipo de gasificador a utilizar en este caso de estudio se presentaron alternativas de diseño de fabricantes como: Downdraft, Updraft y Crossdraft; para evaluar qué alternativa elegir en la tabla 15 se muestran las diferentes características: Potencia, aplicación, fabricación y montaje, retiro de ceniza, mantenimiento, operatividad, forma de alimentación, transporte, combustible, seguridad, eficiencia y costo, y estado de la tecnología, de los tres tipos de gasificadores, donde se pondero con una puntuación del 1 al 4, siendo el gasificador tipo Downdraft el que más se acomoda a la necesidad de nuestro caso de estudio.

Por otro lado, los parámetros de diseño del gasificador en estudio son: Flujo másico de combustible, altura del reactor, cantidad de aire necesario para la gasificación, y la velocidad superficial. Otro parámetro fundamental en el equipo gasificador teniendo como agente gasificante el aire, es la cantidad de oxígeno que se aporta al sistema. Un proceso utilizado de gasificación teniendo como combustible biomasa suele operar con relaciones de equivalencia próximas a 0,30; gracias a ello se optimiza el poder calorífico del gas y se maximiza su rendimiento energético de equipo gasificador que oscila desde el 75% hasta un 80%.

Para que el gasificador opere eficientemente la caída de presión (Δp) no debe superar los 100 mm de c.a, equivalente a una presión de 0.90 kPa, que es la presión atmosférica.

La propuesta de implementación del gasificador cubrirá la demanda energética del molino de arroz en estudio, es por ello que se logró determinar la demanda eléctrica del molino. Para ello se clasificaron las máquinas en función a su potencia nominal potencia real y las horas promedio de funcionamiento, obteniendo una potencia nominal de 239 kW y una potencia real de 181 kW, de los diferentes equipos que

opera en la piladora de arroz, cómo también la iluminación y el aire acondicionado de toda la planta.

De la tabla 19 se determinó que la demanda de energía diaria es de 3 325 kWh, por día de trabajo normal, que es de lunes a viernes, sobre todo en época de cosecha de arroz. En cuanto a la oferta energética, se estimó con la producción de cascarilla, lo cual, con el poder calorífico y la eficiencia de la termodinámica del proceso de gasificación, determinamos una buena estimación de la oferta eléctrica posible de producir, siendo esta 275.751 KVA para el primer semestre y 137.876 KVA para el segundo semestre.

La demanda de mercado energético indica actualmente que las plantas de gasificación presentan costos de generación eléctrica altos y competitivos en comparación con otras fuentes de energías limpias, por otro lado, aunque la inversión inicial sea elevada, se considera que su instalación es rentable ya que el período de amortización es razonable.

VI. CONCLUSIONES

Se determinó que la producción disponible en el valle de chancay Lambayeque es de más de 600,000 destinadas a la producción del pilado de arroz con más de molino de arroz existente en toda la región de Lambayeque.

Se describieron las características y el potencial energético de la cascarilla de arroz producto del pilado en departamento de Lambayeque. En cuanto a sus características físicas la cascarilla de arroz tiene una longitud de 7 a 11 MM y hasta 2 mm de ancho, compactado tiene una densidad de 110 kg/m³ hasta 300 kg/m³. Se describió las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz dependiendo del grado de humedad, con un Rango de 15% en climas secos y 30% de humedad en climas húmedos. Se cálculo la potencia térmica que aportan la cascarilla de arroz, siendo el resultado del flujo másico de cascarilla por el poder calorífico inferior de la misma con un 12% de humedad, obteniendo 3.51 MW de potencia.

Se determinaron las principales características del gasificador y se evaluó la potencialidad de procesos en gasificadores alternativos más modernos. El equipo desgasificador de lecho fluidizado burbujeante es un equipo como un bajo costo de fabricación es de pequeña escala, por lo que se puede aplicar a la necesidad del estudio. Su característica principal es que la biomasa se introduce por la parte inferior del gasificador a una temperatura y presión en condiciones normales.

Las principales características y parámetros del gasificador son: Flujo másico de combustible, altura del reactor, cantidad de aire necesario para la gasificación, y la velocidad superficial. Otro parámetro fundamental en el equipo gasificador teniendo como agente gasificante el aire, es la cantidad de oxígeno que se aporta al sistema. Caracterizó la oferta y la demanda eléctrica en el molino, también se caracterizó la demanda energética y las posibilidades de compra y venta de energía al proyecto. Se determinó la potencia instalada en el molino de arroz dónde se escribió todos los equipos que operan en el proceso del pilado como también la iluminación y aire acondicionado dónde se obtuvo una potencia nominal de 239 kW y una potencia real de 181 kW.

Se realizó la evaluación económica financiera para el sistema de generación. Siendo esta propuesta de mejora un proyecto en ingeniería energética se planteó un esquema de negocio con inversión inicial, estando interconectado sistema, donde la tasa de descuento fue calculada teniendo en cuenta la tasa de interés base sobre la oferta y la demanda en el mercado eléctrico.

VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda capacitar e informar a los administradores de cada molino sobre esta forma de generación de energía limpia y renovable, puesto que puede solucionar la demanda energética que tienen en el proceso de pilado de arroz.

Se recomienda realizar un análisis en laboratorio para analizar la cascarilla de arroz en base seca y en base húmeda.

Se recomienda analizar cuál sería el manejo y disposición final de las cenizas Y alquitrán es que quedan producto de la gasificación de la cascarilla de arroz con la finalidad de evitar fuentes contaminantes al medio ambiente, por otro lado, puede servir de materia prima para otras industrias como la cementera.

Se recomienda a esta casa de estudios incentivar el estudio de nuevas fuentes de energías limpias, esta investigación puede servir como modelo para futuras investigaciones relacionadas al tema.

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). Valorización de la cascarilla de Arroz en diferentes Procesos Industriales . MEDELLIN: ANTIOQUIA.
- Diaz, D. (2018). Clasificación del Diseño de Gasificadores . VALLALODID: BRAGANZA.
- Franco, C. (2016). The study of reactions influencing the biomass stema gasification. 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). Evaluación Sinérgica de la Gasificación de Biomasa Residual en Mezclas de Maíz y Algodón . JAEN: UNIPE.
- Gonzalez, A. (2018). Generación de Energías Renovables. BOGOTA: WILLEY.
- Hernandez, B. (2017). Métodos de inferencia Estadística aplicada a la Investigación Energética . QUITO: SALESIANA.
- Holladay, J. (2019). An overview of hydrogen production Technologies. Catalysis Today, 244 - 260.
- Hu, G. (2016). Steaalysism Gasification of apocot stones with olovine and dolomite as downstream ca. Fuel Processing Technology, 375- 382.
- Hurtado, C. (2018). Potencial Energético del Bagazo de la Caña de Azúcar. 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 Energéticas de la Cascarilla de Arroz en Lambayeque . Chiclayo: USAT.
- Meneses, J. (2018). Caracterización Térmica 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 fluidisedbed . 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 GASIFICATION OF THREE BIOMASS FUELS. Fuel Processing Technology, 87 - 97.
- Smith, J. (2017). Equilibrio en las reacciones Químicas. Ingeniería Química, 639 - 691.
- Tarrillo, A. (2019). Diseño de Gasificadores y Pirolisis . BOGOTÁ: PEREYRA.
- Torres, P. (2017). Eficiencia Renovable. SANTIAGO: REVERTE.
- Torres, W. (2018). Procesos de Gasificación de la Cascara del Arroz. TRUJILLO: MANUELITA.
- Verastegui, J. (2021). Estimación del Potencial Energético del Gas de Cascara de Cacao y Racimos de Frutos vacíos . LIMA: ROT.
- Werther, J. (2019). Combustion of agricultural residues. Progress in Energy and Combustion Science, 1-27.
- Zhang, L. (2017). Comparative research about wheat straw lignin from the black liquor after soda oxygen . Energia & Fuels, 916 - 923.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de operacionalización de la variable independiente

VARIABLE DE ESTUDIO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
VARIABLE INDEPENDIENTE: Evaluación y selección de la 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.	

Fuente: Elaboración propia, 2022

Anexo 2. Matriz de operacionalización de la variable dependiente`

VARIABLE DE ESTUDIO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
VARIABLE DEPENDIENTE: Generación de energía eléctrica.	La generación de energía eléctrica es la transformación de alguna clase de energía; cinética, nuclear, térmica, química, etc. en 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.	

Fuente: Elaboración propia 2022

Anexo 3. Guía de observación

Información general						
Fecha						
Horario de observación						
Nombre de la empresa						
Nombre del encargado						
Puesto o cargo						
Materia prima a observar						
Responsables						
OBJETIVO: observar, evaluar la calidad y cantidad de producción diaria de la cascarilla de arroz.						
N°	ASPECTOS A EVALUAR	TURNO		HRS	UNIDAD DE MEDIDA	OBSERVACIONES
		DÍA	NOCHE			
1	Producción/turno					
2	Humedad relativa					
3	Volumen					
4	Costo de venta de cascarilla					

Fuente: Elaboración propia, 2022

Anexo 4. Descarga de arroz paddy.



Fuente: Elaboración propia

Anexo 5. Cascarilla del proceso de apilado de arroz paddy



Fuente: Elaboración propia

Anexo 6. Documento de validez y confiabilidad

AUTORIZACIÓN DE USO DE INFORMACIÓN DE EMPRESA

Yo Guillermo Torres Ruiz, identificado con DNI N° 27685501, en mi calidad de jefe de producción del área de producción de la empresa Molinera Tropical del Norte S.A.C con R.U.C N° 20411356206, ubicada en el departamento de Lambayeque.

OTORGO LA AUTORIZACIÓN,

A los señores Eswuar Guayanay Rosillo, identificado con DNI N° 47384181 y Jorge Luis Cruz Matos, identificado con DNI N° 75169502, de la carrera profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, para que utilice la siguiente información de la empresa:

- Producción de la cascarilla de arroz diario: Toneladas por hora.
- Registro de utilización de la producción de la cascarilla de arroz y sus procesos alternativos.


Con la finalidad de que pueda desarrollar su () Trabajo de Investigación, (X) Tesis, para optar al grado de (X) Bachiller, o () Título Profesional.


() Mantener en reserva el nombre o cualquier distintivo de la empresa; o

(X) Mencionar el nombre de la empresa.


Guillermo Torres Ruiz
Supervisor de Producción
Molinera Tropical del Norte S.A.C.
DNI: 27685501

El estudiante declara que los datos emitidos en esta carta y en el trabajo de investigación, en la tesis son auténticos. En caso de comprobarse la falsedad de datos, el estudiante será sometido al inicio del procedimiento disciplinario correspondiente; asimismo, asumirá toda la responsabilidad ante posibles acciones legales de la empresa, otorgarle información, pueda ejecutar.


Eswuar Guayanay Rosillo
DNI: 47384181


Jorge L. Cruz Matos
DNI: 75169502

Fuente: Elaboración propia



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, SALAZAR MENDOZA ANIBAL JESUS, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - CHICLAYO, asesor de Tesis Completa titulada: "Evaluación y selección de generación de energía eléctrica mediante la gasificación de la cascarilla de arroz – Lambayeque", cuyos autores son GUAYANAY ROSILLO ESWUAR, CRUZ MATOS JORGE LUIS, constato que la investigación cumple con el índice de similitud establecido, y verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis Completa cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

CHICLAYO, 22 de Julio del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
SALAZAR MENDOZA ANIBAL JESUS DNI: 16720249 ORCID 0000-0003-4412-8789	Firmado digitalmente por: AJSALAZARM el 22-07- 2022 20:17:32

Código documento Trilce: TRI - 0361789