

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



**Generación de biogás a partir de la cascarilla de arroz para reducir los
costos energéticos del molino El Lirio SAC**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL**

AUTOR

Cristhian Joel Cordova Gamarra

ASESOR

William Enrique Escribano Siesquen

<https://orcid.org/0000-0003-3086-1170>

Chiclayo, 2022

**Generación de biogás a partir de la cascarilla de arroz para
reducir los costos energéticos del molino El Lirio SAC**

PRESENTADA POR
Cristhian Joel Cordova Gamarra

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO INDUSTRIAL

APROBADA POR

Maria Raquel Maxe Malca
PRESIDENTE

Carla Mercy Flores Sanchez
SECRETARIO

William Enrique Escribano Siesquen
VOCAL

Dedicatoria

A Dios por su fidelidad y amor incondicional para conmigo, brindándome en todo tiempo las fuerzas, capacidades y facultades necesarias para seguir adelante.

A mi madre Blanca Lidia Gamarra Velásquez y a mi padre Jose Cordova Cordova por sus esfuerzos y sacrificios realizados para darme la oportunidad de tener un mejor futuro e incentivar me siempre a buscar a Dios.

Agradecimientos

A mis padres, mi hermana y mis abuelos por su constante e incondicional apoyo durante el transcurso de mi carrera universitaria y la motivación brindada durante el desarrollo de esta investigación.

A la Universidad Santo Toribio de Mogrovejo por los conocimientos impartidos durante estos cinco años.

Al ingeniero William Enrique Escribano Siesquen por la paciencia y guía brindada durante el desarrollo de la investigación.

Al Molino El Lirio SAC y al ingeniero Luis Antonio Parraguez Carrasco por el tiempo y la información brindada durante el desarrollo de la investigación.

GENERACIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LA CASCARILLA DE ARROZ PARA REDUCIR LOS COSTOS ENERGÉTICOS DEL MOLINO EL LIRIO SAC

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	11%
2	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	tecnologiaquimica.uo.edu.cu Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad del Atlántico Trabajo del estudiante	<1%
5	www.hindawi.com Fuente de Internet	<1%
6	www.journalijecc.com Fuente de Internet	<1%
7	intellectum.unisabana.edu.co Fuente de Internet	<1%
8	centroazucar.uclv.edu.cu Fuente de Internet	<1%

Índice

Resumen	5
Abstract	6
Introducción	7
Revisión de literatura	9
Materiales y métodos	12
Resultados y discusión	13
Discusión.....	30
Conclusiones	31
Recomendaciones.....	32
Referencias.....	33
Anexos.....	38

Resumen

La presente investigación tiene por objetivo proponer el sistema de generación de biogás a partir de la cascarilla de arroz para reducir los costos energéticos de la empresa Molino El Lirio SAC. Se realizó un diagnóstico en el molino El Lirio SAC, donde indica que durante el año 2019 generaron aproximadamente un total de 1 659 073 kg de cascarilla de arroz, teniendo en cuenta que la cascarilla de arroz constituye el 22% del grano de arroz, así mismo tiene un consumo de energía en su proceso productivo de 167,8 kW. Se propuso un sistema de gasificador downdraft ya que es la tecnología eficiente para el aprovechamiento energético de la cascarilla de arroz que incluye las etapas de gasificación, separación de partículas, intercambiador de partículas, lavado, filtrado y transformación de energía eléctrica, obteniéndose finalmente una potencia eléctrica de 245 kW; con un requerimiento de 324 kg de cascarilla de arroz. El sistema de gasificación estará ubicado al costado del sistema productivo o lo más cercano a la cascarilla de arroz, el análisis de relación de beneficio costo de S/. 1,47 por cada sol invertido y un VAN de S/. 793 365; concluyéndose, así como un proyecto viable. Finalmente se concluye que el sistema de generación de biogás permitirá aprovechar la cascarilla de arroz para transformarla en biogás y alimentarla al sistema productivo en kW-h de potencia que requiere para su funcionamiento y reducir un 85% los costos energéticos.

Palabras clave: Gasificación, cascarilla de arroz, biogás, costos energéticos.

Abstract

The objective of this research is to propose a system for generating biogas from rice husks to reduce energy costs at Molino El Lirio SAC. A diagnosis was made in the mill El Lirio SAC, where it indicates that during 2019 they generated approximately a total of 1 659 073 kg of rice husk, taking into account that rice husk constitutes 22% of the rice grain, likewise it has an energy consumption in its productive process of 167.8 kW. A downdraft gasifier system was proposed since it is the most efficient technology for the energetic use of rice husks that includes the stages of gasification, particle separation, particle exchanger, washing, filtering and transformation of electrical energy, finally obtaining an electrical power of 245 kW; with a requirement of 324 kg of rice husks. The gasification system will be located next to the production system or as close as possible to the rice husk, the benefit-cost ratio analysis of S/. 1.47 for each sun invested and an NPV of S/. 793,365; thus concluding that it is a viable project. Finally, it is concluded that the biogas generation system will allow taking advantage of the rice husk to transform it into biogas and feed it to the productive system in kW-h of power required for its operation and reduce energy costs by 85%.

Keywords: Gasification, electric power, rice husk, biogas, energy costs.

Introducción

En los últimos años los sistemas eléctricos presentan uno de sus mayores problemas, de las cuales no poseen la capacidad para almacenar energía eléctrica que se genera [1]. Sin embargo, el consumo de fuentes energéticas en el año 2018, alcanzó los 99 381 millones de toneladas equivalentes de petróleo, concentrándose entre los países de China, quienes tienen una participación aproximadamente del 60% de la totalidad de su consumo mundial, asimismo el Caribe y América Latina abarca el 4,8% [2].

En [3] explica que la disponibilidad y la eficiencia van en relación con la producción a nivel mundial con el uso de recursos energéticos. Sin embargo, las industrias vienen consumiendo cerca del 50% de la energía, de las cuales el 20% son demandadas por motores eléctricos. Seguidamente en [4] especifica que para el año 2038 el consumo de energía será de 1 287 776 GW-h; es decir, 83% más, en la cual esto se debe principalmente al factor económico, que equivale al crecimiento del desarrollo de cada país.

Teniendo en cuenta este enfoque en el suministro energético seguro, unido a la contaminación ambiental del uso de hidrocarburos, ha llevado a la iniciativa de convertir el sistema actual determinado por el uso de la energía tradicional y la infraestructura de generación eléctrica a gran escala en propuestas basadas en energías renovables, eficientes y de generación distribuida.

Hoy en día, se cuenta con recursos biológicos, algunas empresas aún enfrentan una grave escasez de energía. Esta situación logra crear nuevas alternativas, al producir energía faltante a partir de biomasa para incrementar el valor de esta materia prima, donde se puede economizar costos cada año, gracias a ese residuo es viable ser independiente de las empresas eléctricas [5].

En cuanto al biogás, la mayoría de los países latinoamericanos en su producción industrial no han realizado este tipo de biomasa. Sin embargo en [6] detalla que la elaboración y manejo de este biogás constituye a mejorar las condiciones ambientales y una fabricación de energía sostenible, ya que su utilización del biogás puede reemplazar la energía e hidrocarburos como fuente energética en la fabricación de energía limpia, así mismo presenta una oportunidad de negocio para obtener electricidad y calor a partir de biomasa, por ello se utiliza los residuos orgánicos en la ganadería, granjas avícolas y agrícolas, así como también en los residuos de las empresas agroindustriales como solución al problema ambiental.

El consumo y producción de arroz ha mostrado una tendencia de crecimiento constante desde el año 2019, cuya producción de arroz se incrementó a 494 222 millones de toneladas, obteniendo durante ese periodo un crecimiento y a una tasa promedio anual del 2% y su consumo el 1% [7]. En donde la cáscara del grano de arroz compone el 22% del total de su

peso, que posteriormente se convierte en residuo agroindustrial, centralizando en 172 500 millones de toneladas cada año a nivel mundial [8].

Por otra parte, en [9] explica que en Perú las industrias de arroz cáscara en abril del 2019 registró 408 867 toneladas y aumentó en 55,6% en comparación a la cantidad alcanzado en relación del año remoto; esto informó el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), el arroz cáscara fue la principal cosecha que conservó el aumento del sector en el 2020, al producir durante los diez meses del año. Como consecuencia a la crisis sanitaria se vio afectado a los agricultores aumentando el coste de producción por hectárea a casi un 50% más de lo que estaba [10].

Teniendo en cuenta la información de la Dirección de Información Agraria del MINAG [11] detalla que en la Región de Lambayeque hay un total de 134 molinos establecidos, asimismo esta región detalla que la molienda presenta una capacidad alta en su producción. Dentro del departamento se encuentra el Molino El Lirio SAC, ubicada en la ciudad de Chiclayo, departamento de Lambayeque.

Por consiguiente, la empresa molinera El Lirio SAC especificó que durante el periodo del 2019 la producción total fue 7 541 242 kg/año de arroz cáscara, lo cual se obtuvo un promedio de arroz pilado de 4 558 894 sacos de arroz al año y un desecho de 1 659 073 kg de cascarilla de arroz al año. Cabe indicar que el Molino El Lirio SAC generan gran cantidad de residuo de cascarilla de arroz, lo cual no son aprovechados llevándolos a botaderos e incinerándolos, generando impactos ambientales y dañando la calidad del ecosistema.

La empresa molinera El Lirio SAC es suministrada por el servicio eléctrico de Electronorte SA, teniendo en cuenta que en el año 2018 la empresa generó un consumo eléctrico de 295 075 kWh presentando un costo de energía eléctrica de S/. 230 120,00 soles, mientras que en el año 2019 su consumo de energía fue aproximadamente de 303 015 kWh presentando un costo de energía eléctrica de S/. 233 263,00 soles, lo que conllevó al aumento en un 9% de sus costos energéticos con respecto al año anterior. Actualmente la empresa cuenta con 35 motores, asimismo, el rendimiento de cada motor resulta una potencia en su sistema productivo de 167,8 kW. Asimismo, los costos energéticos en los últimos años se encontraron en un rango de S/. 230 000,00 a 25 000,00 soles aproximadamente.

Por todo lo ya antes mencionado referente al aumento generado de la cascarilla de arroz por la industria molinera y sus costos energético que se generan anualmente, es que en la presente investigación se plantea la siguiente pregunta ¿La generación de biogás a partir de la cascarilla de arroz permitirá reducir los costos energéticos en el Molino El Lirio SAC? con ello se tuvo como objetivo general en proponer el sistema de generación de biogás a partir de la cascarilla

de arroz para reducir los costos energéticos de la empresa Molino El Lirio SAC y como objetivos específicos se tuvieron los siguientes: diagnosticar el proceso productivo de la empresa y los costos energéticos, elaborar la propuesta del sistema de generación de biogás a partir de la cascarilla de arroz y realizar el análisis costo-beneficio de la propuesta.

Con los resultados de la presente investigación, se pretende darle un mejor uso a la cascarilla de arroz generadas en la región utilizándolas para la producción de biogás, con lo cual no solo se estaría teniendo un beneficio en cuanto a la producción de un nuevo producto, sino que también se contribuiría a disminuir el impacto ambiental que este desecho está generando en el medio ambiente. Así mismo, la presente investigación servirá como referencia y antecedente a empresas locales dedicadas al rubro de la industria arrocera, instituciones y otros investigadores que buscan un modelo de negocio similar, empresas que estén interesadas en generar una economía circular con los desechos agroindustriales o personas que se encuentren interesadas en realizar posteriores investigaciones que analicen a mayor profundidad cualquiera de las variables de estudio involucradas en esta investigación.

Revisión de literatura

La presente investigación plantea usar la cascarilla de arroz como materia prima para la generación del biogás. Según los estudios llevados por Vargas [12] señala que la cascarilla de arroz compone el 22% del total de su peso, de la cual su estructura orgánica de la cascarilla de arroz es equivalente a su totalidad de las fibras orgánicas, donde está conformada por: celulosa, hemicelulosa, lignina y compuestos nitrogenados, lo que conlleva hacer aprovechados para la generación de un gas renovable, no obstante a ello sabemos el poder calorífico y la composición química de la cascarilla de arroz, son aspectos importantes para la generación de este biocombustible, teniendo así en Carbono 43%; Hidrógeno 6%; Oxígeno 38%; Nitrógeno 2%; Azufre 18%; Cenizas 25%, presentando así un poder calorífico entre 13,2 – 14,2 MJ / Kg [13].

El biogás es un biocombustible con una densidad de 1,14 kg/m³ y un contenido energético de 22 MJ/m³ de biogás. Sin embargo, se genera una producción próxima de 6,35 kW-h de electricidad por m³. Teniendo en cuenta que este biogás se compone alrededor del 45% dióxido de carbono y del 55% de metano. Por otro lado, la obtención y uso de biogás simboliza un mejor entorno a los ambientales rurales y la generación de energía sostenible, lo cual hace posible el uso de biogás como fuentes energéticas para la generación de electricidad. Así como también, puede utilizarse como carburante para motores de generación de energía y otros. Por último, el uso de este biogás puede ser beneficioso ya que disminuirá el consumo de hidrocarburos lo cual hace que este sea una estrategia competente en países en desarrollo [14]. Por otro lado, existen tecnologías apropiadas para la obtención del biogás, de las cuales las más utilizadas son los

digestores, reactores y los gasificadores. Para esta investigación la tecnología adecuada son los gasificadores ya que son eficientes para el beneficio de esta cascarilla de arroz.

Según Silva *et al.* [15], detalla que la generación de biogás con el residuo agroindustrial de la cascarilla de arroz contribuye a una mayor sostenibilidad en el sector energético. Por lo cual este residuo se reutiliza como carburante para generar energía térmica en lugar de carbón en el Perú. Sin embargo, las emisiones de CO₂ podrían disminuir hasta en un 97% por cada MJ generado, no obstante, el uso de electricidad a partir de la cascarilla de arroz tiene una disminución casi de un 85% de los gases del efecto invernadero que las centrales térmicas en su ciclo de vida útil, la cual se dispone en desempeñar un papel importante dentro del desarrollo de energía limpia y sostenibles. Cabe mencionar que una tonelada de cascarilla de arroz puede suministrar entre 0,45 y 0,65 MWh de electricidad.

Por otro lado, durante los últimos años se vienen desarrollando diversas investigaciones sobre este tema, como por ejemplo Silva *et al.* [15] en su investigación de “Rice husk energy production in Brazil: An economic and energy extensive analysis” desarrollado en Brasil, se realizó el estudio utilizando seis muestras de cáscara de arroz, analizadas tres veces de las cuales el valor adoptado de las primeras muestras es fue superior al LHV medio obtenido por 14,78 MJ/kg, en otra prueba realizada mediante briquetas de cáscara de arroz prensada se alcanzó hasta 18,22 MJ/kg, es decir que su valor calorífico es inferior a la cáscara de arroz (LHV) es 13,39 MJ / kg que el LHV de la briqueta. Cabe indicar que la fabricación de energía de la cáscara de arroz varía entre 1,3 a 1,8 kWh/kg dependiendo del tratamiento y la tecnología de conversión de energía en donde las tecnologías más estudiadas para generar energía a través de la cáscara de arroz son la combustión directa, los pirólisis y la gasificación. Como resultado se obtuvo la posibilidad de prensar briquetas mixtas de cáscara de arroz y paja, de las cuales las briquetas presentan una alta calidad en términos de propiedades físicas ya que están compuestas por un 30% de cáscara de arroz, un 60% de pajilla y un 10% de ceniza de cáscara de arroz para poder generar biogás de manera eficiente y con un alto poder calorífico para la industria.

Goodman [16] cuya investigación es la “Utilization of waste straw and husks from rice production: A review”, se estudió la efectividad que tiene esta cascarilla de arroz en la generación de biogás, donde utilizó la cascarilla y pajilla de arroz como materia prima, las cuales se tuvo una producción de biogás mediante un sistema de gasificador de lecho fluidizado circulante, para ello se formaron en briquetas o gránulos de cascarilla de arroz de un 80%, de igual manera para la paja de arroz en un 20%, como resultado se obtuvo que se genera el 15% de metano (CH₄), también mejora el 55% del rendimiento de combustión y se pueden utilizar como sustituto del combustible fósil o en un sistema de cogeneración para producir electricidad,

así se determinó la viabilidad que tiene la cascarilla de arroz para la generación del biogás. No obstante, su producción no ha sido de un alto rendimiento que el gasificador de lecho fijo, es a ello que sus costos de implementación son más altos.

En la investigación realizada por Fernandes *et al.* [17] en su investigación titulada “Utilisation of rice residues for decentralised electricity generation in Ghana: An economic analysis” desarrollaron el proceso para la obtención de biogás la cual está basada en la determinación de la pajilla y cascara de arroz ya que presentan un poder calorífico del 70% al 85% de su totalidad. ahora bien, se utilizó un sistema de gasificación con corriente ascendente las cuales se realizó utilizando como muestra 10 kilogramos de cascarilla de arroz, 25 kilogramos de pajilla de arroz y 18 litros de agua a presión atmosférica con una temperatura de 25,98°C a 30,45°C en un lapso de tiempo aproximadamente de 70 días, de las cuales se tuvo como resultado 150,48 litros de biogás. No obstante, estos gasificadores, son apropiados en concentraciones a bajas y medianas escala. Sin embargo, los residuos de cáscara de arroz y la pajilla de arroz están disponibles en abundancia para satisfacer las necesidades de un gasificador de 0,10 MWe el cual favorece en la reducción de los impactos ambientales.

En la investigación realizada por Cefarin *et al.* [18] en su trabajo de investigación titulado “Off-grid electricity generation in Nigeria based on rice husk gasification technology” diseñaron un sistema de gasificación con corriente descendiente con aire y vapor como oxidante, para estabilizar una temperatura uniforme en las zonas de oxidación y reducción, las cuales está dada por dos técnicas de gasificación: Biomasa Integrada Gasificación Ciclo Combinado-atmosférica (BIG / CCa) y la Biomasa Integrada Gasificación Ciclo Combinado-presurizada (BIG / CCp), sobre esta base del estudio se obtuvo que el potencial de generación de electricidad mediante la cáscara de arroz, presentó un potencial de electricidad para BIG / CCa de 278 MW mientras que el de BIG / CCp de 2,618 MW, cabe indicar que se generaron 10 kW de electricidad gasificando aproximadamente 28 kg/h de cáscara de arroz con un flujo de aire de 130 kg/h. Como conclusión en base al sistema de gasificación con corriente descendiente de cáscara de arroz se podría generar energía para satisfacer la demanda de electricidad de la manera más económica, más eficiente para las industrias, reduciendo así las emisiones, el desperdicio y el ahorro de costos que se traduce en desarrollo sostenible.

En la investigación realizada por Pedraza *et al.* [19] en su investigación titulada “Codigestión anaerobia del residuo del secado del arroz y excreta porcina en sistema discontinuo”, desarrollada en cuba, las cuales realizaron el proceso para la elaboración de biogás, mediante dos procesos: el proceso de digestión anaeróbica de los residuos de secado de arroz (RS) y su codigestión con excrementos de porcinos (RP). El proceso se efectuó en bioreactores de 3L en

régimen discontinuo a 37 ± 3 °C, de los cuales se experimentaron las sustancias en monodigestión y dos mezclas del RS y el RP. Como resultado se obtuvo que el residuo porcino tiene un alto beneficio de metano experimental con un valor de 489 L CH₄/kg SV, pero con un mínimo tiempo de fabricación de CH₄, por ello se tuvo un resultado de 40,98 L CH₄/kg SV. Por otra parte, la codigestión del residuo del RS y el RP se logró tener un resultado sinérgico para la mezcla RS95:RP5, con un aumento del 19% de rendimiento de CH₄ en relación al valor deseado por la contribución propio de la mezcla.

Materiales y métodos

La investigación es de tipo cuantitativa porque se analizarán, y calcularán indicadores que permitirán evaluar los resultados de la propuesta, por consiguiente, el diseño a desarrollar del proyecto será no experimental, debido que no se manipularán las variables de la investigación.

Para el diagnóstico del proceso productivo de la empresa y los costos energéticos, se entrevistó al Ing. Luis Antonio Parraguez Carrasco. Además, se realizó un análisis cuantitativo, donde la empresa brindó información del proceso productivo [20], así como también los costos y consumos energéticos [21]. La empresa no cuenta con un control con el residuo generado de cascarilla de arroz proveniente de la etapa del descascarado, por lo que se describió el porcentaje del peso de la cascarilla de arroz [22], seguidamente se utilizaron los recibos de energía eléctrica para establecer el consumo y costos energético de la empresa, tomando como referencia los años 2015 al 2019. Del mismo modo se proyectó mediante el método de regresión lineal para los siguientes 5 años a partir de los años 2022; todo ello a través del software Excel. Finalmente, se realizó el plano de la distribución de las etapas del Molino El Lirio SAC mediante el software AutoCAD 2016.

Para la elaboración la propuesta de generación de biogás a partir de la cascarilla de arroz, en este objetivo se hará uso de fuente secundarias como artículos científicos, en donde se describió el total de la cascarilla de arroz que se utiliza para la generación de electricidad. Seguidamente se evaluaron 3 modelos de gasificadores más aceptable para la cascarilla de arroz [23] mediante 8 criterios (Tipo de materia prima, mantenimiento, inversión, vida útil, seguridad, volumen de carga, complejidad del método y rendimiento del gasificador) a través del método de factores ponderados y una escala de calificación de excelente (9-10), muy bueno (7-8), bueno (5-6), regular (3-4) y deficiente (1-2); determinándose así la relación Factor-Factor. Todo ello haciendo uso de la información recolectada de [24] y [25]. Finalmente se diseña el gasificador mediante el software AutoCAD 2016 en vista planta en la empresa Molino El Lirio SAC utilizando el método Guerchet, lo cual permitió conocer el dimensionamiento del mismo. Finalmente se precisó y determinó las funciones de los puestos de trabajos necesarios.

En lo que respecta al análisis costo-beneficio de la propuesta, se llevó a cabo realizándose cotizaciones de los costos y gastos del gasificador, equipos, mano de obra, materia prima e insumos a utilizar. Con el uso de distintos recursos bibliográficos se determinó el tamaño de la inversión, calculándose así el punto de equilibrio y los indicadores de VAR y TIR junto con el tiempo de recuperación de la inversión [26].

Resultados y discusión

Diagnosticar el proceso productivo de la empresa y los costos energéticos

Molino El Lirio SAC, se encuentra inscrita con dirección legal, Prolongación Av. Grau S/N - Chacupe Alto (Pasando Vía Evitamiento – Carretera Monsefú) con número de RUC 20479556882, inicia sus actividades en el año 2002 hasta la actualidad, fundada por los hermanos Asunción, Nilo Augusto y Óscar Huamán Mayta, las cuales se dedicaron al acopio y a la mercantilización de arroz y subproductos, por ello implementaron un molino con la capacidad de ejecutar el proceso industrial de arroz. Así mismo, ofrece variedades como el Popular, Extra, el reposado y arroz oro blanco. En donde, su producto principal es el arroz oro blanco, ya que es el que se consume mayormente en la región Lambayeque. Es envasado en presentaciones de 50 kg. Sin embargo, presenta subproductos como el arrocillo de $\frac{1}{2}$ que es procesada para convertirse en alimento para animales y el arrocillo $\frac{3}{4}$ que se utiliza como fondo de alimentos para poblaciones con recursos bajos. De la misma forma presenta desechos y desperdicios lo cual ocasiona un grave problema de contaminación ambiental. Así pues, la cascarilla de arroz constituye alrededor del 22% del peso de arroz en cáscara, por ende, tiene un valor cero en el mercado y es considerado como un desecho, estableciendo un problema ambiental.

Proceso de producción

La empresa Molino El Lirio SAC labora en un tiempo de 11 horas al día, por ello presenta un sistema lineal, por lo que su producción es continuamente y es un producto único, arroz pilado. En cuanto al proceso del pilado de arroz cáscara consiste en remover del grano cosechado; para producir arroz pulido. Posteriormente, se detalla el proceso productivo tomando como referencia a [20]. Ver Anexo 1

a) *Recepción:* La materia prima proviene de distintas zonas, entre ellas, Lambayeque, Monsefú, San Martín, Piura y Chepén ingresan en camiones al molino en sacos con pesos mayores a 70 kg, donde recibe entre 4 a 5 lotes diarios.

b) *Pesado:* el personal encargado de balanza pesa el camión mediante un sistema automatizado el cual obtiene el peso determinado del arroz en cáscara.

c) *Secado*: para disminuir los niveles de humedad del arroz cáscara se realiza el secado de manera artesanal, en donde su humedad debe alcanzar un 15%, el cual su periodo de secado es de 2 días con el propósito de que los almidones se puedan enfriar y posteriormente cristalizar.

d) *Limpieza*: el objetivo en esta operación es remover todo material extraño que se encuentra en el grano, así poder certificar que el grano se integre a la etapa de descascarado libre de impurezas.

e) *Descascarado*: En este proceso el dispositivo de descascarado despide a la cascarilla mediante un tubo por transporte neumático a una etapa afuera de lugar del proceso.

f) *Separación*: Esta etapa consiste en separar el grano en diferentes pesos por unidad de grano mediante movimientos vibratorios.

g) *Pulido*: Consiste en remover la película oscura que envuelve al grano de arroz, es decir el polvillo. El arroz descascarado es transportado hacia 6 pulidoras lo cual se encargan de blanquear el arroz, así se produce harina que es retirada mediante aspiración, después se coloca en sacos de 30kg para luego venderse como polvillo.

h) *Clasificación*: El arroz llega a las mesas rotativas; a través de movimientos vibratorios y circulares lo cual separa el arroz de $\frac{1}{2}$ y se envasan de manera continua en sacos de 50kg, mientras que el arroz de $\frac{3}{4}$ y el ñelén, es trasladado a la siguiente operación.

i) *Selección*: En esta etapa se separan los granos manchados o con defectos del arroz entero y del arroz de $\frac{3}{4}$. Por último, el arroz rechazado o descarte y arroz $\frac{3}{4}$ son llenados en sacos de 50kg para su venta.

j) *Envasado*: En esta operación se envasa el arroz pilado en sacos de polipropileno de 50 kg mediante una ensacadora y posteriormente su cocido del saco.

k) *Almacenamiento*: Se almacena el producto terminado en pallet de 6 x 25 sacos de alto. Así mismo, el arroz tiene un periodo de permanecía considerando que presente un ambiente limpio.

Producción anual de arroz

Acorde con la información brindada por la empresa Molino El Lirio SAC, en el año 2019 ingresaron una cantidad de 7 541 242 kg de arroz cáscara, debido a que la cosecha de arroz cáscara en los últimos ha presentado una cosecha creciente., del mismo modo para el pilado de arroz se generó una cantidad de 4 558 894 kg en el año 2019 presentando una producción creciente debido a que la población cada año va aumentando, lo que conlleva a que exista una demanda positiva con respecto al consumo de arroz lo que conllevó un aumento del 18% con respecto al año 2015. Finalmente, el Molino El Lirio SAC no contabiliza el total de cascarilla de arroz que se genera en el proceso industrial, sin embargo, en el estudio detallado por Vargas

[22], detalla que la cáscara del grano de arroz representa el 22% del peso total. Mediante este dato del porcentaje, se pasó hallar las cantidades de cascarilla de arroz que se generan cada año en el molino. Como se puede observar en el año 2019 se generó una gran cantidad de cascarilla de arroz de 1 659 073 kg de este residuo. En la Tabla 1 muestra una data anual de arroz cáscara del molino de las campañas del 2015 al 2019. Se describe con más detalle en el anexo 2,3 y 4.

Tabla 1. Producción y residuo anual histórico del Molino El Lirio SAC

Año	Arroz Cascara (kg)	Arroz Pilado (kg)	Cascarilla de Arroz (kg)
2015	6 418 958	3 775 847	1 412 171
2016	6 628 145	3 898 898	1 458 192
2017	6 903 785	4 093 687	1 518 833
2018	7 291 053	4 298 929	1 604 032
2019	7 541 242	4 558 894	1 659 073

Fuente: Molino El Lirio SAC

Proyección de la cascarilla de arroz

Para realizar el método de la proyección de la cascarilla de arroz se realizará el método de regresión lineal por ser el pronóstico que más se ajusta al comportamiento de los datos, en lo cual como resultados arrojó un coeficiente de $R^2 = 0,99$, esto indica que existe una dependencia lineal entre las dos variables analizadas, ello significa que el pronóstico es válido y confiable lo cual fue determinado en un periodo del 2022-2026. Tabla 2.

Tabla 2. Proyección de la cascarilla de arroz (2022-2026) del Molino el Lirio SAC

Año	Cascarilla de Arroz (Kg)
2022	1 850 282,40
2023	1 914 246,87
2024	1 978 211,34
2025	2 042 175,81
2026	2 106 140,28

Fuente: Elaboración propia

Consumo energético del Molino El Lirio SAC

Continuamente, la Tabla 3 detalla el análisis energético del sistema productivo del Molino El Lirio SAC, entre ellos están especificados el tipo de sistema utilizado, la cantidad de amperaje, la tensión empleada y el consumo de kilowatts. Luego, se identificaron las maquinarias en cada etapa del sistema productivo. Se estableció que el molino consume alrededor de 167,8 kW-h en su sistema productivo, teniendo una corriente de 265,2 A y trabaja con una tensión de 220 V con un sistema trifásico. (Ver Anexo 5)

Tabla 3. Diagnóstico energético del sistema productivo del Molino El Lirio SAC

Etapa	Subtotal de kW
Limpiado	7,00
Descascarado	46,2
Separado	15,1
Pulido	79,0
Clasificación	8,20
Selección	5,60
Envasado	2,50
Añejadora	4,20
Consumo Total	167,8

Fuente: Elaboración propia

Consumo y costo energético del Molino El Lirio SAC

Conforme a la información proporcionada por la empresa Molino El Lirio, lo cual para poder establecer el consumo y el costo de energía eléctrica real del sistema productivo se registró los kW generados en los recibos de energía eléctrica de los años correspondientes, donde se detalla una data histórica de los años del 2015 al 2019. En la Tabla 4, en el año 2019 se consumió un total de 303 015 kW-h. No obstante, a ello se consideró que la empresa trabaja 11 horas al día y 24 días al mes, de tal forma que en el año 2019 alcanzó un monto de S/. 233 263,76 debido al alto consumo que se generó en el mismo año.

Tabla 4. Consumo y costo energético anual del Molino El Lirio SAC

Año	Consumo de energía eléctrica (kW-h)	Costo de energía eléctrica (soles)
2015	283 743	S/. 213 890,00
2016	286 371	S/. 222 359,00
2017	289 771	S/. 228 423,00
2018	295 075	S/. 230 120,00
2019	303 015	S/. 233 262,76

Fuente: Elaboración propia

Se desarrolló con el método de regresión lineal por ser el pronóstico que más se ajusta al comportamiento de los datos, en un periodo de 5 años a partir del 2022, en el cual, tiene una tendencia lineal positiva. arrojando un coeficiente $R^2 = 0,9508$ para el consumo y $R^2 = 0,9214$ para el costo energético, por lo tanto, esto indica que existe una dependencia lineal entre las dos variables analizadas, ello significa que el pronóstico es válido y confiable. Vea Tabla 5

Tabla 5. Proyección del consumo y costo energético del Molino El Lirio SAC

Año	Consumo Energético (kW-h)	Costo Energético (S/.)
2022	315 219	S/. 248 828,60
2023	319 944	S/. 253 473,30
2024	324 669	S/. 258 118,00
2025	329 394	S/. 262 762,70
2026	334 119	S/. 267 407,40

Fuente: Elaboración propia

Elaborar la propuesta del sistema de generación de biogás a partir de la cascarilla de arroz

En [27] explica las propiedades biogás, especialmente está compuesto por metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂, los cual se presenta es una mezcla gaseosa, asimismo contiene otras impurezas. La composición del biogás va a depender del funcionamiento y al material digerido en el proceso. Sin embargo, si el biogás presenta una cantidad mayor al 45% de CH₄ es inflamable. Por último, en la Figura 1 se presentan las propiedades.

Características	Descripción
Composición	50 - 70% metano (CH ₄) 20 - 40% dióxido de carbono (CO ₂) Trazas de otros gases
Contenido Energético	6,0 – 6,5 kWhm ⁻³
Equivalente de combustible	0,60 – 0,65 L combustible/m ³ biogás
Límite de explosión	6 - 12% de biogás en el aire
Temperatura de ignición	650 - 750°C (con el contenido de CH ₄ mencionado)
Presión crítica	74 - 88 atm
Temperatura crítica	-82,5 °C
Densidad normal	1,2 kg m ⁻³
Olor	Huevo podrido (el olor del biogás desulfurado es imperceptible)
Masa molar	16,043 kg kmol ⁻¹

Figura 1: Propiedades del Biogás

Fuente: Elaboración Propia. En base: Manual de biogás

En las investigaciones elaboradas por Valverde *et al.* [13] en su investigación titulada “Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz”, esta investigación fue elaborada en diversas escuelas tales como, Colombia, California, Canadá y China las cuales se optó como inicio de proyecto para la realización e innovación de la biomasa arrocera en energía eléctrica y térmica, donde se consiguió concretar que si hay equivalencia entre los calidades de las propiedades físico-químicas de la cascarilla de arroz en las distintas zonas. Esto nos da un enfoque más claro que no se tendría ninguna dificultad en la elección de propuestas.

En la investigación realizada por Nguyen y Ha-Duong [28], detalla que para generar 1 kW-h de energía eléctrica, requiere de 1,8 kg de cascarilla de arroz. Entonces, para este cálculo se tuvo que tener los valores proyectados en kW-h aportados con el beneficio de la cascarilla de arroz, como primer paso se detalló la cascarilla proyectada para un periodo de 5 años que se genera en el proceso productivo (Ver Tabla 1). Luego se presenta la proyección de kW-h originados con el beneficio de la cascarilla de arroz para un periodo de 5 años. Vea Tabla 6

Tabla 6. Proyección de kW-h generados con la cascarilla de arroz del Molino

Año	Cascarilla de Arroz (Kg)	Tasa de conversión	Generación de kW-h a partir de la cascarilla de arroz
2022	1 850 282,40		1 027 934,67
2023	1 914 246,87	1 kW-h / 1,8	1 063 470,48
2024	1 978 211,34	kg de	1 099 006,30
2025	2 042 175,81	cascarilla	1 134 542,12
2026	2 106 140,28		1 170 077,93

Fuente: Elaboración Propia

Ubicación del sistema de generación de biogás

De acuerdo con Pérez *et al.* [29] detalla que la ubicación desempeña uno de los papeles significativos tanto para el funcionamiento, así como el manejo del sistema de generación de biogás, así mismo economizar costos de materiales y transporte, y así su construcción pueda ser económico. Uno de los importantes puntos para la ubicación es por optar por una zona que este lo más cerca posible al residuo de la materia prima, siendo así su sistema de producción.

Por otro lado, el sistema de generación de electricidad y los elementos asociados se instalarán al sistema de generación de biogás lo más cercano posible. Lo cual proporcionará el abastecimiento de biocombustible, así como también reduce los costos del transporte. Por consiguiente, las infraestructuras del molino ubican de una extensa área que podría instalar a estos sistemas.

Elección del tipo de gasificador

Detallando que el biogás presenta un potencial alto en posteriores años para el molino, se eligió que la tecnología de generación de biogás sea lo más conveniente para el actual proyecto, y consecutivamente dimensionar el sistema con los resultados obtenidos.

Por lo tanto, para la empresa Molino El Lirio SAC se consideró tres tipos de gasificadores es como principales alternativas tales como: Gasificador de corriente descendiente, Gasificador de corriente ascendente y Gasificador de lecho fluidizado circulante. Tomando como referencia a [30], el cual explica que estas son alternativas para la generación de biogás. En el Anexo 8 se detalla las diferencias de los tres gasificadores elegidos, en donde se resalta sus ventajas y desventajas para su diseño. Por otro lado, se establecieron los criterios principales para la selección del gasificador.

Criterios para selección del tipo de gasificador

Para la selección del tipo de gasificador, se realizaron 8 criterios. La cual se evaluaron mediante una matriz de enfrentamiento entre factores.

a. *Tipo de materia prima:* la cascarilla de arroz se cargará gasificador proveniente del proceso del pilado.

b. Mantenimiento: El sistema tendrá que tener una calidad con respecto al mantenimiento del gasificador, para no tener que incurrir a repuestos.

c. Inversión: Tratar de buscar el gasificador que genere menor costo para su implementación.

d. Vida útil: Hace referencia a la permanencia considerada para el sistema de generación de biogás, cuyo objetivo de abastecer energía limpia al sistema productivo.

e. Seguridad: Seguridad al medio ambiente, protección de los laboradores y los bienes de la empresa. Con el objetivo que se transforme en una competitiva arma.

f. Volumen de carga: Se refiere a la cantidad almacenada de materia prima al gasificador.

g. Complejidad del método: Relacionado con la función de cada gasificador, esto dependerá al modelo o flujo que siguen.

h. Rendimiento del Gasificador: Referida a la cantidad de biogás al día que se produzca en el gasificador.

Por otro lado, mediante esta técnica se hizo un análisis cuantitativo en el que se relacionaron entre si mediante una comparación entre distintas opciones para determinar uno o varios gasificadores efectivos, puesto que el objetivo de esta investigación no es investigar el mejor gasificador sino el gasificador más competente para el residuo. En el Anexo 11, se detalla las diferentes ponderaciones que se le asignaron a cada gasificador de corriente descendente, de corriente ascendente y lecho fluidizado circulante con respecto a los criterios mencionados anteriormente. Por último, después de haber detallado el análisis, se utilizó el método del factor ponderado, donde se realizaron puntuaciones a cada tipo de gasificador los cuales se obtuvo como resultado que el gasificador de corriente descendente es la principal elección con una puntuación de 7,33 lo cual lo hace factible en la construcción del sistema de generación de biogás en la empresa Molino El Lirio SAC. Vea Tabla 7

Tabla 7. Evaluación de la elección e instalación del Gasificador

Criterios de evaluación	Gasificador de corriente descendente	Gasificador de corriente ascendente	Gasificador de lecho fluidizado circulante
Tipo de Materia Prima	0,86	0,29	0,57
Mantenimiento	1,14	0,71	1,00
Inversión	1,33	0,67	1,33
Vida Útil	1,67	0,50	0,50
Seguridad	0,71	1,00	1,00
Volumen de carga	0,43	0,50	0,50
Complejidad del método	0,19	0,38	0,38
Rendimiento de Gasificador	1,00	1,33	1,00
Total	7,33	5,38	6,29

Fuente: Elaboración Propia

Por otra parte, El molino El Lirio SAC consume alrededor de 167,8 kW-h de uso total en su alta capacidad de la línea de producción. Por cambio de máquinas y equipos en posteriores años, podría variar las potencias del uso total, por ello se consideró 180 kW de la potencia total. Teniendo en cuenta la referencia de [28] donde explica que para generar 1 kW-h de energía eléctrica se requiere de 1,8 kg de cascarilla de arroz en un gasificador de corriente descendente (downdraft). Por último, se procesará 324 kg/h de cascarilla de arroz. Tomando como referencia a [31] y [32] se realizó el balance de masa. Así mismo, en [33] especifica que para transformar biomasa en energía limpia se demandan los quipos principales como: 1 gasificador downdraft, 1 ciclón, 1 intercambiador de calor, 1 filtro y 1 motogenerador. Como consiguiente de [31] indica la incorporación de un equipo más: un lavador venturí, cuyo objetivo es obtener un biogás más limpio y permita el trabajo del moto-generador en condiciones mejores. Así, este moto-generador se encargará en efecto de convertir el biogás a energía limpia. Ver Figura 2.

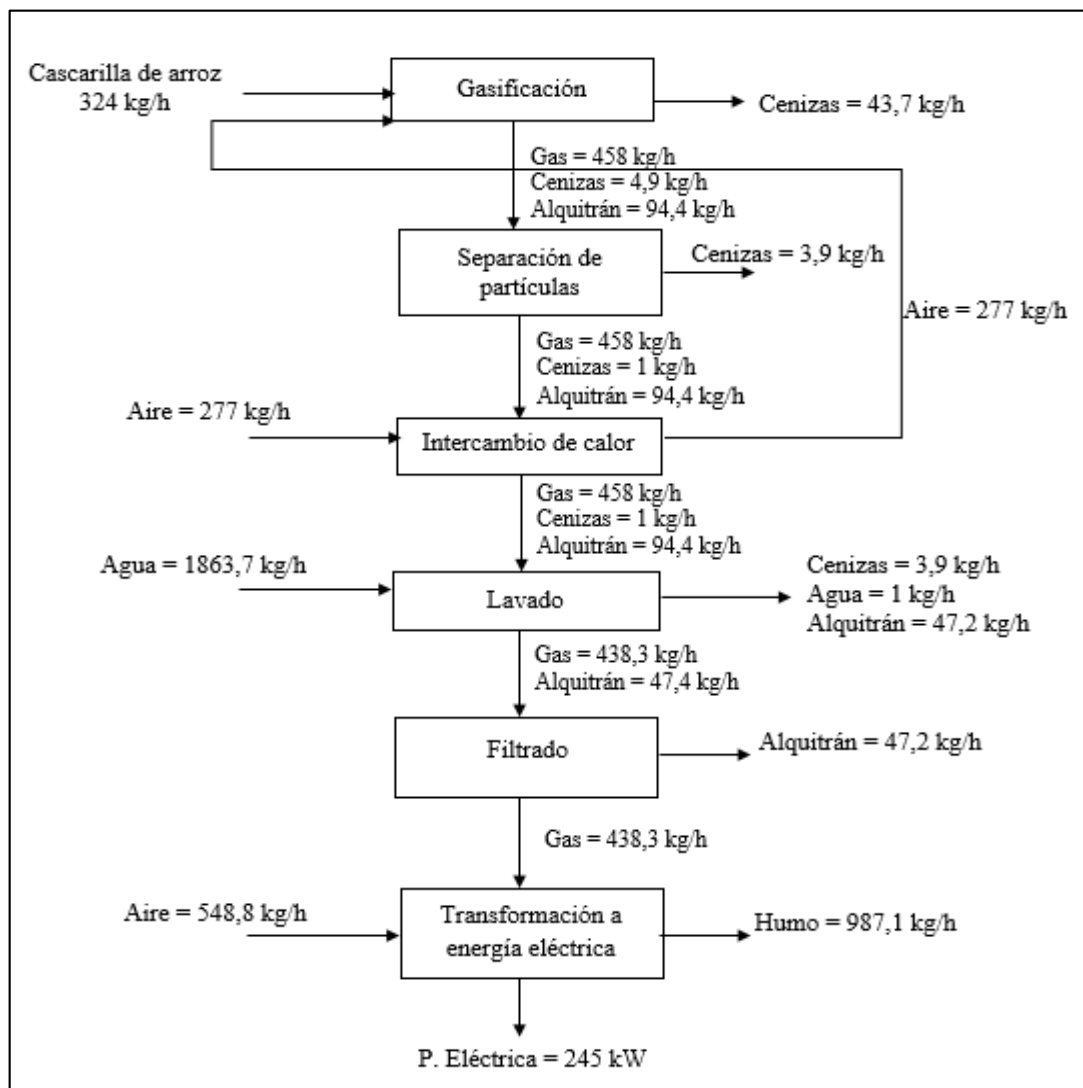


Figura 2. Balance de masa

Fuente: Elaboración Propia

Para determinar el proceso del biogás, el sistema de gasificación y generación de electricidad, se tomó la investigación de Cuba [31], detalla que para convertir la cascarilla de arroz en kW-h se tiene que emplear seis procesos: gasificación de la cascarilla, separación de partículas, intercambio de calor, lavado de gas, filtración de partículas y transformación a energía eléctrica. Vea en el Anexo 14

El proceso comienza con el traslado de la materia prima desde el punto donde se almacena hacia una tolva que alimenta al gasificador mediante unos elevadores de cangilones, esta etapa la cascarilla conservará sus características físicas y químicas, durante el periodo que ingresa al gasificador, ya que esto puede ocasionar que existan variaciones con el aumento de humedad en la cascarilla, lo cual hará que se reduzca la calidad del biogás, el rendimiento del gasificador y aumente la cantidad de alquitrán [34]. Por otro lado, hay que tener en cuenta que el contenido de humedad de la cascarilla de arroz que se permitirá ingresar será no más del 20%, debido a que el gasificador es muy sensible a la calidad de materia prima [35]. Seguidamente el gasificador empieza a calcinar la cascarilla de arroz en donde la convierte en un gas de síntesis (syngas), posteriormente sale de esta etapa con un elevado porcentaje de ceniza y alquitrán; así mismo, las cenizas se eliminan de la superficie del gasificador mediante un soplador de aire hacia una tolva de almacenamiento.

Por otro lado, debido a que presenta gran porcentaje de alquitrán y cenizas que contiene el biogás, es primordial realizar un acondicionamiento con el objetivo de tener un biogás limpio y consiga ser utilizado en un moto-generador para la generación de energía eléctrica, por lo tanto, la siguiente etapa es en separar las partículas con diámetro mayor a 5 micras del biogás, esto se realiza en un ciclón de acero inoxidable, que consiente detener la mayor cantidad de ceniza presentes en el biogás [31], por medio de esto se logra tener un biogás en bajas cantidades de ceniza, pero con la misma cantidad de alquitrán. Posteriormente el flujo de biogás y sus contenidos transitan por el proceso de intercambio de calor ya que presentan una alta temperatura, mediante un flujo de aire el biogás es literalmente enfriado, así mismo esto será usado como agente gasificante dentro del reactor, de tal manera que el biogás disminuya su temperatura y que el aire absorba parte de ella para concretar el proceso de gasificación. Luego pasa por la etapa del lavado en donde el biogás que sale del intercambiador con una temperatura menor, aún con contenido de cenizas y alquitrán, con la finalidad de retirar las cenizas del biogás y parte del alquitrán. Esta operación se realiza en un lavador de tipo venturi, el cual hace uso de agua, y posee alta eficacia en la limpieza del biogás, reteniendo partículas entre 0,5 y 10 micras, logrando así el enfriamiento del biogás simultáneamente [31]. El biogás que resulta en

esta operación aún presenta un menor contenido de alquitrán lo cual será removido mediante el proceso de limpieza.

Después de la etapa de purificación, el biogás con una cantidad menor de alquitrán es trasladado mediante unos filtros de mangas al proceso de filtrado de partículas, cuyo objetivo es separar el alquitrán restante del flujo de biogás. Hay que mencionar que el filtro de mangas tiene la capacidad de conservar la eficiencia de recolección por encima del 99%, conteniendo materiales particulados menores a 2,5 micras [31], así se obtiene el biogás limpio y mediante un soplador de aire el alquitrán retenido en el filtro es enviado a una tolva de almacenamiento.

Por último, el biogás limpio y enfriado, ingresa a un moto-generador para la transformación de este en energía limpia, que energizará el área de producción del molino. Es necesario explicar que si el biogás que entra al moto-generador con una temperatura mayor a los 80°C alterará el rendimiento de este, por eso es recomendable que el biogás entre con una temperatura no mayor a los 80 °C [31].

Ubicación y distribución del área para el sistema de generación de biogás

En lo que respecta a la colocación del sistema de generación de biogás se realizó mediante la metodología Guerchet, fue trabajada en distintas medidas empleadas en las maquinarias y la cantidad de trabajadores que se requerirá para el funcionamiento del sistema. En lo que respecta a los equipos y maquinarias las medidas fueron adquiridos de [36], donde señala superficies aproximadas de referencia. Ver Anexo 11

Hay que tener en cuenta que el sistema se ubicó al costado del proceso productivo del arroz, ya que existe una tolva de almacenamiento de la cascarilla del arroz lo cual alimentara al gasificador mediante unas fajas transportadoras así se evitara gastos adicionales en el transporte. Después de haber determinado las superficies en el Anexo 12 se muestra detalladamente el plano propuesto con el sistema de gasificación, teniendo en cuenta todos los criterios para la implementación.

Realizar el análisis costo-beneficio de la propuesta.

Como último objetivo se estableció el costo y beneficio de la propuesta, donde se halló el costo del sistema de generación de biogás, por medio de una solicitud a la empresa Ankur Technologies se realizó la cotización [37], por lo que se considera uno de los importante proveedores en con la innovación de tecnologías limpias alrededor del mundo.

Para establecer si la propuesta es viable en el cambio de la empresa, se hallaron 2 escenarios diferentes con resultados distintos, primero se calculó los indicadores del molino sin haber adquirido el sistema de gasificación, esto indica, que se seguirá manteniendo la situación actual.

El escenario dos, se estableció con la propuesta de que el molino efectúe la inversión para obtener la tecnología de gasificación y, así mismo, se determinó el financiamiento del proyecto.

Por último, se realizó un balance entre los indicadores de cada escenario, con el objetivo de concretar la viabilidad de la propuesta del sistema de generación de biogás a partir de la cascarilla de arroz.

Costos del sistema de gasificación y generación de electricidad

Las cotizaciones de estos costos son enviadas por la empresa Ankur Energy Technologies [37], dicha organización se encuentra en la India, debido a esto se tomó en cuenta lo costos agregados. En el anexo 14 se detallan las cotizaciones con mayor explicación, hay que tener en cuenta que los costos fueron mandados en la moneda euro, lo cual su tipo de cambio a sol es de S/. 4,05 por € 1 [38], teniéndose un total de todo el sistema de S/. 2 440 919,25, en la Tabla 8 se sintetiza los costos del sistema de gasificación y para la infraestructura adicional se cotizo en dólares teniendo un tipo de cambio de S/. 3,71 por cada \$1.

Tabla 8. Costos de Sistema de Gasificación y generación de electricidad para el Molino El Lirio SAC

MAQUINARIA	PROVEEDOR	UNIDAD	PRECIO/UNIDAD	IMPORTE
Gasificador incluido ciclón y PLC	Ankur Energy Technologies	1	S/.1 155 105,00	S/.1 155 105,00
Intercambiador de calor	Ankur Energy Technologies	1	S/.31 613,40	S/.31 613,40
Lavador de gases Venturi	Ankur Energy Technologies	1	S/.77 412,30	S/.77 412,30
Filtro de mangas	Ankur Energy Technologies	1	S/.43 367,10	S/.43 367,10
Motor a gas	Ankur Energy Technologies	1	S/.800 467,50	S/.800 467,50
Subtotal				S/.2,107,965.30
Supervisión, instalación y enfriamiento al personal por 150 días	Ankur Energy Technologies			S/.151 987,50
Cargos del sistema de gasificación por empaques	Ankur Energy Technologies			S/.67 685,10
Cargos adicionales a la venta (FOB)	Ankur Energy Technologies			S/.60 795,00
Cargos por diseño e ingeniería de detalle	Ankur Energy Technologies			S/.52 486,35
TOTAL				S/.2 440 919,25

Fuente: Ankur Energy Technologies

Por otro lado, el sistema de generación de biogás, solicita de infraestructura adicional que consigue ser prevenido por la industria local. Así mismo, los costos consecutivos para la infraestructura adicional son hallados de la página web Alibaba [39] teniendo un costo total de S/.212 416,05, en lo que respecta a los recursos humanos se tuvo un total de S/.191 247,50 y por último los recursos materiales un total de S/.3 760,00. Finalmente, el costo total de la propuesta es de S/.2 848 342,80. Vea Tabla 9

Tabla 9. Costo Total de la propuesta del sistema de gasificación y generación de electricidad

Ítem	Costo
Maquinaria y documentación de importación	S/.2 440 919,25
Infraestructura adicional	S/.212 416,05
Recursos Humanos	S/.191 247,50
Recursos de materiales	S/.3 760,00
TOTAL	S/.2 848 342,80

Fuente: Elaboración Propia

Determinación de costo y beneficio sin sistema de gasificación

Como primer escenario se realizó el cálculo del costo y beneficio con una proyección de 7 años conservando los datos reales, sin invertir en la propuesta. Estos cálculos se obtuvieron en base al pronóstico de la producción de sacos de arroz pilado de 50kg, se utilizó los mismos costos administrativos del año 2019, debido a que no se alteraron ningún tipo de costo.

En la Tabla 10 se detalla la proyección de los ingresos del pilado de arroz de 50 kg, para establecer los ingresos se determinó el costo del arroz pilado, el costo de este servicio de pilado incrementará 5% cada año por saco, donde se tiene que para el primer año tuvo un ingreso de S/688 601,54 y para el año 7 un total de S/.938 171,19.

Tabla 10. Proyección de los ingresos de la empresa Molino el Lirios SAC

Año	Pilado de Arroz de 50 Kg	Precio de Maquila	Ingresos
2022	102 166,40	S/. 6,74	S/. 688 601,54
2023	106 098,70	S/. 6,86	S/. 727 837,08
2024	110 031,00	S/. 6,98	S/. 768 016,38
2025	113 963,30	S/. 7,10	S/. 809 139,43
2026	117 895,60	S/. 7,22	S/. 851 206,23
2027	121 827,90	S/. 7,34	S/. 894 216,79
2028	125 760,20	S/. 7,46	S/. 938 171,09

Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente los costos totales de la empresa del molino el Lirio SAC, se obtuvo un valor general de mano de obra indirecta de S/. 268 176,00, por otro lado, los sueldos administrativos presentan un total de S/. 123 216,00. Por otro lado, en los gastos generales de fabricación, se añadió el costo de mantenimiento siendo de S/ 12 000 cada año, los rodillos para la etapa de pulido, su cambio se realiza cada 8 días, la energía eléctrica se determinó en el diagnóstico de la situación actual. No se tomó en cuenta los costos de la mano de obra directa, la estiba, es cancelada por los comerciantes y agricultores, los costos del agua tampoco se consideraron, ya que esto se debe a que es adquirida mediante un tanque tubular, hay que recalcar que estos costos son obtenidos sin la propuesta del sistema de gasificación.

En los costos totales fue hallado para una proyección de 7 años, evidenciándose un costo total entre los costos variable y los costos fijos en cada uno de ellos (S/. 663 540,71 para el

primer año y S/. 691 408,91 para el año 2028), lo cual indicaría que los costos cada año aumentaría entre el 3% al 5% de sus costos totales con respecto al año anterior. Mientras que, en el periodo de ganancias y pérdidas en una proyección de 7 años, y se alcanzó que las utilidades netas incrementaran de S/ 25 060.82 en el año 1 hasta S/ 172 733.53 en el año 7.

Por otra parte, el flujo de caja detallado en la Tabla 11 durante una proyección de 7 años, esto indica que sin invertir en el sistema de gasificación se obtuvo un valor actual neto (VAN) de S/ 185 139,68. Esto se debe a que la inversión inicial que se estableció que fue de S/ 30 000 de capital de trabajo se obtuvo una tasa interna de retorno (TIR) muy elevada de 143,53 %, esto se debe a que no se efectuó ninguna compra de equipo. Por lo demás, se puede decir que el beneficio costo aumentó desde S/. 1,04 para el primer año hasta S/. 1,19 para el séptimo año, por otra parte, presenta un saldo final positivo (superávit) de S/. 17 542,58 llegando a ser para el séptimo año un monto de S/. 172 733,53. A fin de analizar el proyecto se determinó el TMAR global, considerándose un porcentaje de inflación de 0% ya que no habrá ningún financiamiento, así como también se tuvo en cuenta la tasa de inflación en Perú lo cual se tiene una tasa de 3,73% [40], teniéndose así un TMAR del 28,73%. Así mismo otros de los indicadores usados para la evaluación fue el valor actual neto (VAN), siendo este de S/. 168 500,33; con esto cabe indicar que el TIR es mayor que el TMAR, observándose así la producción de ganancias en la inversión y la viabilidad del proyecto.

Tabla 11. Flujo anual de caja del Molino El Lirio SAC en S/.

Ítem	0 año	1 año	2 año	3 año	4 año	5 año	6 año	7 año
Ingresos								
Cuenta por cobrar (ventas a crédito)	-	275 440,62	291 134,84	307 206,53	323 655,73	340 482,50	357 686,71	375 268,44
Cobranzas ventas año actual (contado)	-	413 160,92	436 702,25	460 809,83	485 483,66	510 723,74	536 530,07	562 902,66
Total de ingresos	0	688 601,546	727 837,08	768 016,38	809 139,43	851 206,23	894 216,79	938 171,10
Egresos								
Costo de producción (sin depreciación)	-	533 564,72	538 209,41	542 854,11	547 498,81	552 143,51	556 788,21	561 432,91
Gastos administrativos	-	129 976	129 976	129 976	129 976	129 976	129 976	129 976
Inversión	30 000	-	-	-	-	-	-	-
Total de egresos	30 000	663 540,71	668 185,41	672 830,11	677 474,81	682 119,51	686 764,21	691 408,91
Saldo bruto (antes de impuestos)	-30 000	25 060,82	59 651,67	95 186,27	131 664,62	169 086,72	207 452,57	246 762,18
Impuesto a la renta (30%)		7 518,25	17 895,50	28 555,88	39 499,39	50 726,02	62 235,77	74 028,65
Saldo (déficit / superávit)	-30 000	17 542,58	41 756,17	66 630,39	92 165,23	118 360,70	145 216,80	172 733,53
Corriente de liquidez neta	-30 000	17 542,58	41 756,17	66 630,39	92 165,23	118 360,70	145 216,80	172 733,53

Fuente: Elaboración Propia

Determinación de costo y beneficio utilizando el sistema de gasificación

Para determinar el escenario 2 se hallaron los costos y beneficio para una proyección de 7 años, asimismo se estableció la inversión de la propuesta. El costo y beneficio fueron determinados utilizando el pronóstico de la producción de sacos de arroz pilado, el cual se le sumaron 4 horas adicionales de producción durante los 7 años, generando una cantidad extra de 72 942 sacos en cada año, con un total de 1 152 horas más de producción.

Por otra parte, en la tabla 14 del plan de ventas del molino el Lirio SAC se tomó en cuenta el total del pilado de arroz (vea Tabla 12), lo cual se le sumo la producción extra anual (Vea Anexo 13), generando así la proyección de un total de ingresos de la propuesta para el primer año de S/.1 180 232,66 y para el año 7 de S/.1 482 320,68.

Tabla 12. Proyección de ingresos en S/. del Molino el Lisio SAC con la propuesta

Año	Sacos Pilados	Precio de Maquila	Ingresos
2022	175 109	S/.6,74	S/. 1 180 232,66
2023	179 041	S/.6,86	S/. 1 228 221,29
2024	182 973	S/.6,98	S/. 1 277 153,66
2025	186 906	S/.7,10	S/. 1 327 029,79
2026	190 838	S/.7,22	S/. 1 377 849,67
2027	194 770	S/.7,34	S/. 1 429 613,30
2028	198 703	S/.7,46	S/. 1 482 320,68

Fuentes: Elaboración Propia

En lo que respecta a la inversión tangible se tuvo en consideración el valor de la construcción, con un costo de S/. 112 524,30; obteniéndose una inversión de S/.2 107 965,30 para maquinarias, S/.212 416,05 para infraestructura y el costo total de equipos de oficina de (S/.3 760,00), resultando un total de S/.2 628 670,20. Cabe mencionar que el porcentaje que se tomó para los imprevistos de la inversión fue de un 5%, con lo cual la inversión total fue de S/. 2 760 103,71, siendo esta asumida en un 98,6% mediante financiamiento y el 1,4% para el promotor del proyecto.

El capital de trabajo fue hallado para una proyección de 7 años, evidenciándose un superávit en cada uno de ellos (-S/247 46,16. para el primer año y S/. 1 504 631,70 para el año 2028), lo cual indicaría que los ingresos obtenidos serán mayores que los egresos durante el año 6, sin embargo, el capital de trabajo con el que se trabajará será el del primer trimestre, ya que es el tiempo aproximado en el que se percibirá los ingresos por las ventas del producto. Tabla 13

Para el cálculo de este capital se tuvieron en cuenta los costos de producción sin depreciación (S/. 324 894,11 para el año 2022 y S/. 374 894,11 para el año 2028), es decir, los costes de la mano de obra indirecta (se les añadió como beneficio el 51% de su salario), más los gastos generales de fabricación; más los gastos de administración, esto es los sueldos del personal administrativo con la asignación del 51% de beneficios, más los materiales y útiles de oficina

(S/. 3 760 al mes) y gastos de financiamiento, en el que se consideran los intereses y amortizaciones, en este caso es en relación a la tasa efectiva anual del banco (11,20%) [40], con un tiempo de recuperación de 5 años).

Tabla 13. Capital de trabajo en S/. de la propuesta del sistema de gasificación y generación de electricidad del Molino El Lirio SAC

Ítem	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7
Ingresos							
Ingresos por venta	1 131 056,3	1 177 045,4	1 179 084,2	1 181 162,4	1 320 439,3	1 370 046,1	1 420 557,3
Total de ingresos	1 131 056,3	1 177 045,4	1 179 084,2	1 181 162,4	1 320 439,3	1 370 046,1	1 420 557,3
Egresos							
Costos de producción (sin depreciación)	374 894,1	374 894,1	374 894,1	374 894,1	374 894,1	374 894,1	374 894,1
Gastos Administrativos	129 976	129 976	129 976	129 976	129 976	129 976	129 976
Intereses del prestamos	313 611,61	250 889,29	188 166,9	125 444,65	62 722,3	0	0
Amortización de prestamos	560 020,74	560 020,74	560 020,74	560 020,74	560 020,74	0	0
Total de egresos	1 378 502,1	1 315 780,1	1 253 057,8	1 190 335,5	1 127 613,2	504 870,1	504 870,1
Saldo (déficit/superávit)	-247 446,2	-138 734,7	-73 973,6	-9 173,1	192 826,1	865 175,9	915 687,2
Utilidad acumulada	-247 446,1	-386 180,9	-460 154,5	-469 327,6	-276 501,5	588 674,5	1 504 361,7

Fuente: Elaboración propia.

Fueron evaluados también los ingresos mínimos en la cual la empresa debería contar para no presentar pérdidas, determinándose así para el año 1 un punto de equilibrio económico de S/.190 481,66 esto representa un total de 28 261 unidades; y para el séptimo año S/.173 976,42, que vendrían a significar la venta de 23 321 unidades.

En base al flujo de caja obtenido se observó que desde el primer año de funcionamiento el proyecto presentará un saldo inicial y final positivo (superávit) de S/.3 989,96, llegando a ser para el séptimo año un monto de S/. 817 656,92; sin embargo, es en el segundo año que se podrá recuperar la inversión realizada. A fin de analizar la evaluación económica financiera del proyecto se determinó el TMAR global, considerándose un porcentaje de inflación del 11,20% según el reporte de inflación presentado por el Banco Central de Reserva del Perú, el porcentaje de ganancia de la entidad financiera (98,6%) y la del promotor (1,4%), teniéndose así un TMAR del 11,46%. Así mismo otros de los indicadores usados para la evaluación fue el valor actual neto (VAN), siendo este de S/. 793 365 con un TIR de 21,47%, el cual el mayor que el TMAR, observándose así la producción de ganancias en la inversión y la viabilidad del proyecto. Finalmente se analizó el costo-beneficio del proyecto teniéndose que por cada S/. 1 invertido se obtendrá una ganancia de S/. 1,47. Vea Tabla 14

Tabla 14. Proyección de 7 años del flujo de Caja en S/. de la propuesta del sistema de gasificación y electricidad para el molino El Lirio SAC

Ítem	0 año	1 año	2 año	3 año	4 año	5 año	6 año	7 año
Ingresos								
Cuenta por cobrar (ventas a crédito)	-	540 939,97	562 934,76	585 362,10	608 221,99	631 514,43	1 370 046,1	679 396,98
Cobranzas ventas año actual (contado)	-	590 116,33	614 110,64	638 576,83	663 514,89	688 924,83	714 806,65	741 160,34
Depreciación		253 146,11	253 146,11	253 146,11	253 146,11	253 146,11	252 394,11	252 394,11
Total de ingresos	0.00	1 384 202,41	1 430 191,51	1 477 085,04	1 524 882,9	1 573 585,4	2 337 246,9	1 672 951,4
Egresos								
Costo de producción (sin depreciación)		374 894,11	374 894,11	374 894,11	374 894,11	374 894,11	374 894,11	374 894,11
Gastos administrativos		129 976,00	129 976	129 976,00	129 976	129 976	129 976	129 976
Gastos financieros		873 632,36	810 910,03	748 187,71	685 465,39	622 743,1	0.00	0.00
Inversión	469 327,6							
Total de egresos	469 327,6	137 8502,47	1 315 780,15	1 253 057,82	1 190 335,50	1 127 613,2	504 870,11	504 870,11
Saldo bruto (antes de impuestos)	-469 327,6	5 699,9	114 411,36	224 027,21	334 547,49	445 972,20	1 832 376,7	1 168 081,3
Impuesto a la renta (30%)		1 709,98	34 323,41	67 208,16	100 364,25	133 791,66	549 713,1	350 424,40
Saldo (déficit / superávit)	-469 327,6	3 989,96	80 087,96	156 819,05	234 183,24	312 180,54	1 282 663,7	817 656,9
Utilidad acumulada	-469 327,6	-465 337,60	-385 249,64	-228 430,60	5 752,65	317 933,19	1 600 596,9	2 418 253,8

Fuente: Elaboración propia.

Análisis ambiental

En lo que respecta al análisis ambiental y al tratamiento que se le dará a cada residuo que se genera en el proceso, se utilizó la investigación de Tao *et al.* [41] y Werle *et al.* [42]:

El alquitrán es un contaminante producido dentro del proceso de gasificación, sin embargo, existen diferentes estudios para su tratamiento lo cual uno de ellos es el tratamiento por pirolisis solar, si bien es cierto el alquitrán está compuesto por carbono orgánico total y el índice de fenol, el cual al realizar dicho tratamiento tiene la eficacia de reducir entre el 10% al 98% de TOC y IP, esto hace que reduzca su nivel de contaminación del alquitrán al medio ambiente.

En lo que respecta al tratamiento de las cenizas, estas se pueden someter a un tratamiento previo que consiste en una trituración, tamizado y separación de metales, tanto férricos como no férricos, mediante una cinta magnética; consecutivamente el material se mezcla con arcilla, se sinteriza y se somete a una cocción en un horno rotativo, obteniéndose así los áridos que estos pueden ser utilizados en el ambiente de la construcción.

Por último, para el tratamiento del humo consiste en colocar unos filtros en el ciclón del almacenaje de dicho gas, lo cual va a consistir en retener gran parte de macropartículas entre 0,10 hasta 5 micro partículas de este gas, lo cual va a disminuir en su estancia cerca del 92% de su totalidad, lo que hace que disminuya dicha contaminación ambiental.

A fin de conocer el impacto ambiental que tendrá el proyecto se realizó una matriz de valorización de impactos ambientales, considerándose para su desarrollo los componentes de aire (Calidad del aire y ruido), agua superficial (caudal y calidad), suelo (calidad) y social (económico y salud); cada uno con sus respectivos factores ambientales, ya que estos pueden ser afectados de manera positiva o negativa en el desarrollo de las actividades. Vea anexo 15.

Tabla 15: Resumen de la matriz de análisis ambiental del proceso de gasificación

Actividad	Aspectos ambientales	Impactos	Clasificación de impactos
Gasificación	Generación de ruido	Contaminación acústica	Negativo Compatible
	Emisión de polvo	Alteración de la calidad del aire	Negativo Compatible
	Generación de olores	Alteración de la calidad del aire	Negativo Compatible
Separación de partículas	Emisión de polvo	Alteración de la calidad del aire	Negativo Compatible
	Generación de olores	Alteración de la calidad del aire	Negativo Compatible
Lavado	Emisión de polvo	Alteración de la calidad del aire	Negativo Compatible
	Generación de olores	Alteración de la calidad del aire	Negativo Moderado
	Consumo de agua	Agotamiento de recurso agua	Negativo Moderado
Filtrado	Generación de olores	Alteración de la calidad del aire	Negativo Moderado
Moto-generador	Generación de ruido	Contaminación acústica	Negativo Moderado
Economía	Generación de material particulado	Alteración de la calidad del aire	Negativo Moderado
	Desarrollo industrial	Alteración de la economía circular	Impacto Positivo
	Contratación de personal	Generación de empleo	Impacto Positivo

Fuente: Elaboración Propia

Discusión

En cuanto a los resultados encontrados sobre la situación actual de la cascarilla de arroz y el consumo energético de la empresa y el evidente aumento en cuanto a la cascarilla de arroz, por ende, también el consumo energético, según información recolectada de MINAGRI [7]; la cascarilla de arroz irá en concordancia con el aumento de la demanda de arroz pilado, mostrando un consumo per cápita de 54 kg anual por cada habitante [43], así mismo se presenta un incremento del 2,3% de la cascarilla de arroz en los molinos para el año 2020 [44]. Por otro lado, en Osinergmin menciona que el consumo energético generado en las industrias molineras en marzo del 2020 hasta octubre del 2021, tiene un incremento del 19,1% en los precios de la energía entre 30 a más de 100 kilovatios por hora (kW/h), este aumento se presenta a partir de la pandemia [45]. De la misma forma entre la cascarilla de arroz y el consumo energético hallado en esta investigación, tiene relación con los mencionados por Vargas [22], en cuanto al arroz pilado presenta un incremento del 18,7%, registrándose que la cáscara del grano de arroz establece el 22% del total de su peso.

Ahora bien, para el caso del consumo energético desarrollado en este artículo, la determinación del consumo y los costos que se generan en el sistema productivo fue determinado en base a la investigación de Siddiqui y Dincer [46], donde su alto consumo de energía en los motores del sistema productivo presentan un promedio del 44,14% de la electricidad para la fuerza motriz; esto se debe a la cantidad de motores que mueven máquinas y equipos durante el proceso productivo lo que genera que sus costos aumenten en 1,3%; para ello se presenta distintos métodos para el aprovechamiento de la misma, una de ellas es el aprovechamiento energético donde presenta una eficiencia global y un rendimiento energético del 46,8% y una eficiencia energética de conversión del 57,8%. Así mismo, cuenta con una tasa neta de producción de energía por el ciclo combinado de 12,9 MW.

Con respecto a la propuesta, para el caso de estudio desarrollado en este artículo, la determinación del proceso, insumos y porcentajes a utilizar para la producción de biogás a partir del gasificador de corriente descendente fue determinado en base a la investigación Cuba [31] siendo los porcentajes a usar de 324 kg/h de cascarilla de arroz y un flujo de aire de 277 kg/h. Si bien es cierto los resultados propuestos en esta investigación difieren un poco con lo utilizado por Cefarin *et al.* [18] siendo las proporciones de (25 kg/h de cascarilla de arroz y un flujo de aire de 130 kg/h), así como también el del artículo de Fernandes *et al.* [17] (10 kilogramos de cascarilla de arroz, 25 kilogramos de pajilla de arroz y 18 litros de agua), el descarte de estas alternativas se debió principalmente a la pureza del biogás que presenta las mezclas y a la cantidad que se genera, así mismo se evaluó que el biogás llegara con un 0% de alquitranes, no

obstante a ello la segunda y la tercera alternativa presentan un porcentaje alto de alquitranes, esto haría que se lleve a un reproceso, es por ello que la primera alternativa es apropiada para la investigación ya que se genera grandes porcentajes de volúmenes de biogás, con un 99% de pureza y un 0% de alquitrán, indicador que permite conocer si la cantidad de biogás disponen de la cantidad necesaria para cubrir el sistema productivo.

En lo concerniente a los resultados obtenidos del análisis económico financiero, la propuesta de instalación realizada por Salazar [32] obtuvo resultados similares al hallado en este estudio, con un TMAR global de 12,43%, un TIR de 32% y un costo beneficio de S/. 1,53 por cada sol invertido, resultados que permitieron la aprobación del proyecto. Caso similar a este resultado obtenido por Rojas [5] en su investigación con un TMAR del 13%, un TIR de 20% y un costo beneficio de S/. 1,39 por cada sol invertido indicadores que hace que el proyecto sea viable. Los resultados obtenidos permiten a la investigación que sea viable financieramente, cabe recalcar que en la investigación de Salazar [32] su costo beneficio es más alto a la de Rojas [5], esto se debe a que el molino presenta gran cantidad de materia prima a procesar, esto nos indica que si la empresa Molino El Lirio SAC decide aumentar su producción, entonces generaría un costo beneficio más alto, ya que al aumentar la producción mayor será el porcentaje de cascarilla de arroz que se generaría en el molino.

Conclusiones

El sistema de generación de biogás satisface los 180 kW que requiere el sistema productivo; así mismo sus costos energéticos disminuyeron en un 85%, ya que este producirá una cantidad de 245 kW-h, por lo tanto, la energía sobrante será aprovechada por otras áreas.

La situación actual del Molino El Lirio SAC cuenta con sistema productivo lineal que abarca desde la recepción, pesado, secado, limpieza, descascarado, separación, pulido, clasificación, selección, envasado y almacenaje. En la etapa del descascarado presenta la separación de la cascarilla de arroz lo que constituye alrededor del 22% del peso. Así mismo cada año se presentó un incremento del 4,5% del residuo de cascarilla de arroz. Por otro lado, se diagnosticó que el molino consume en su sistema productivo un total de 168,7 kW por hora y trabaja con una tensión de 220V, lo que genera que cada año presente un aumento en su consumo energético del 5% generándole así mayores costos energéticos con una variación de S/. 27 868,20 para el 2026.

El molino El Lirio SAC implementaría un sistema de generación de biogás a partir de cascarilla de arroz, basado en un gasificador downdraft con corriente descendente, que es una tecnología eficiente para el beneficio energético. Así mismo, el gasificador demanda de una

alimentación de 324 kg/h de cascarilla para generar 245 kW-h de potencia, la cual satisface completamente los 168,7 kW-h de potencia que el molino consume en su más alto rendimiento. De igual forma, el sistema de gasificación y generación de electricidad requiere alrededor de 690,63 m², tiene un costo de operación y mantenimiento de S/ 90 148 anual y trabaja a una tensión de 220V trifásica.

El valor actualizado neto, durante una proyección de 7 años, se puede concretar que es beneficioso invertir en el sistema de gasificación, porque genera S/. 624 864 más con la implementación de la propuesta, lo cual hace que presente un VAN del 22%; así como también se tiene un TMAR 11,46% lo que significa que es el porcentaje que deberá ganar la empresa para pagar el 11,20% de interés de la deuda bancaria y por último un TIR 21,47%, lo que significa que el proyecto sea aceptable financieramente; además de ello se cuenta con una relación de beneficio costo de S/. 1,47 por cada sol invertido.

Recomendaciones

Diseñar un sistema de tratamiento de los residuos generados en el proceso de la obtención de biogás.

Se recomienda la búsqueda de nuevos métodos de valorización para este residuo, y así analizar nuevas formas de darle valor agregado a la cascarilla de arroz

Referencias

- [1] D. Valerin Caro, «Análisis del índice de consumo eléctrico para incrementar la eficiencia en Molino don Julio, Lambayeque 2018,» Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Lambayeque, 2018.
- [2] OLADE, «Situación del consumo energético a nivel mundial y para América Latina y el Caribe y sus perspectivas,» Energy, Bogotá, 2018.
- [3] O. Neme Castillo, A. L. Valderrama Santibáñez y M. A. García Meza, «Consumo de energía, empleo y producción manufacturera en México,» *Análisis Económico*, n° 74, 2015.
- [4] Electricidad, *Revista Energética de Chile*, 25 02 2019. [En línea]. Available: <http://www.revistaei.cl/2019/02/25/consumo-electrico-crecera-83-20-anos-las-energias-renovables-tendran-rol-clave/>. [Último acceso: 21 10 30].
- [5] C. A. Rojas Sanchez, «Generación De Biogás A Partir De La Cascarilla De Arroz Para Reducir Costos Energéticos En La Piladora La Merced S.R.L.,» Universidad Católica Santo Toribio De Mogrovejo, Chiclayo, 2018.
- [6] L. M. Contreras Velásquez, L. Pareda Reyes y O. Romero Romero, «Aprovechamiento Energético De Residuos Arroceros Por Bio-Conversion. Caso De Estudio Cuba,» *Energía y Sostenibilidad*, vol. I, p. 11, 2012.
- [7] Agraria, «Producción mundial de arroz caerá 1% en la campaña 2019/2020,» 17 Septiembre 2019. [En línea]. Available: [https://agraria.pe/noticias/produccion-mundial-de-arroz-caera-1-en-la-campana-2019-2020-19841#:~:text=campa%C3%B1a%202019%2F2020-\(Agraria.pe\)%20La%20cosecha%20mundial%20de%20arroz%20en%20la,la%20obtenida%20en%20la%20anterior..](https://agraria.pe/noticias/produccion-mundial-de-arroz-caera-1-en-la-campana-2019-2020-19841#:~:text=campa%C3%B1a%202019%2F2020-(Agraria.pe)%20La%20cosecha%20mundial%20de%20arroz%20en%20la,la%20obtenida%20en%20la%20anterior..) [Último acceso: 30 Mayo 2021].
- [8] MINAGRI, «Producción Mundial,» FAO, Lima, 2019.
- [9] A. P. d. Noticias, «Producción de arroz cáscara de arroz,» Editora Perú, Lima, 2019.
- [10] I. N. d. E. e. Informática, «Producción de arroz cáscara creció 47,0% en mayo del presente año,» INEI, LIMA, 2020.
- [11] Promperú, «La inversión privada en Lambayeque y sus tendencias,» 2010. [En línea]. Available: <https://www.monografias.com/trabajos83/inversion-privada-lambayeque->

- tendencias/inversion-privada-lambayeque-tendencias2.shtml. [Último acceso: 30 10 2021].
- [12] Vargas, Alvarado, V. Baudrit y Porras, «Caracterización del subproducto cascarillas de arroz en búsqueda de posibles aplicaciones como materia prima en procesos,» *REVISTA CIENTÍFICA*, 2019.
- [13] A. Valverde, B. Sarria y J. Monteagudo, «Análisis Comparativo De Las Características Fisicoquímicas De La Cascarilla De Arroz,» *Scientia et Technica Año XIII*, nº 37, pp. 255-260, 2007.
- [14] «Diseño e implementación de una planta piloto de producción de Biogás, Biol y Biosol,» *SciELO Analytics*, vol. 26, nº 3, 2019.
- [15] L. Araújo Silva, I. F. Silva Dos Santos, G. Oliveira Machado, R. Mambeli Barros y G. L. Tiago Filho, «Rice husk energy production in Brazil: An economic and energy extensive analysis,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 290, 2021.
- [16] B. Goodman, «Utilization of waste straw and husks from rice production: A review,» *Journal of Bioresources and Bioproducts*, vol. 5, pp. 143-162, 2020.
- [17] P. Vijay Ramamuthi, M. C. Fernandes, P. Sieverts Nielsen y P. N. Clemente, «Utilisation of rice residues for decentralised electricity generation in Ghana: An economic analysis,» *Energy*, vol. 111, pp. 620-629, 2018.
- [18] M. Spennato, A. Todea, L. Corici, F. Asaro, N. Cefarin, G. Savonitto, C. Deganutti y L. Gardossi, «Off-grid electricity generation in Nigeria based on rice husk gasification technology,» *Cleaner Engineering and Technology*, vol. 1, 2020.
- [19] L. M. López González, J. M. Ruiz Manso, L. M. Contreras Velásquez, J. Pedraza Garcia y O. Hermida García, «Codigestión anaerobia del residuo del secado del arroz y excreta porcina en sistema discontinuo,» *Tecnología Química*, vol. 39, nº 2, 2019.
- [20] C. Najjar y J. Alvarez Merino, «Mejoras en el proceso productivo y modernización mediante sustitución y tecnologías limpias en un molino de arroz,» *Diseño y Tecnología*, vol. 1, nº 10, pp. 23 - 27, 2007.
- [21] F. A. Guerrero Fernandez, «Evaluación, Diagnóstico Y Optimizacion Del Consumo Energético Para Mejorar Los Servicios De La Empresa Molinera,» Facultad De Ingeniería Mecánica Y Eléctrica, Lambayeque, 2019.

- [22] E. Vargas González, «El valor nutritivo de los subproductos del arroz en Costa Rica. Composición Química, Disponibilidad y Uso,» *Portal de revistas académicas de la Universidad de Costa Rica*, vol. 2, pp. 36-40, 1995.
- [23] Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, «El gas de madera como combustible para motores,» FAO, Roma, 1993.
- [24] C. E. Oliveros Tascón, J. R. Sanz Uribe y N. Rodríguez Valencia, «Evaluación De Un Gasificador De Flujo Descendente Utilizando Astillas De Madera De Café,» *Cenicafé* 68, pp. 62 - 65, 2017.
- [25] COMANA, «Análisis comparativo de las tecnologías de valorización de residuos basadas en la gasificación,» Universidad Jaume I de Castelló, Madrid, 2014.
- [26] A. Ortega, «Análisi Costo - Beneficio,» *Extoikos*, nº 5, 2012.
- [27] . M. T. Varnero Moreno, «Manual de Biogás,» *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)*, pp. 54-60, 2011.
- [28] M. Ha-Duong y H. N. Nguyen, «Rice husk gasification for electricity generation in Cambodia in December 2014,» *Archives - Ouvertes*, pp. 2 - 5, 2014.
- [29] J. Hernández López, «Diseño De Un Sistema Para El Aprovechamiento Energético De Biogás A Partir De Los Residuos Generados Por El Ganado Vacuno En La Vaquería 101 Perteneiente A La Empresa Pecuaria "Camilo Cienfuegos" (Pinar Del Río, Cuba),» Escuela Técnica Superior De Ingenieros Industriales Y De Telecomunicación, Pinar Del Río, 2014.
- [30] N. Blanco Orozco, «Selección de gasificador para la generación de energía eléctrica a pequeña escala empleando biomasa agrícola,» *NEXO*, vol. 34, nº 02, pp. 616 - 624, 2021.
- [31] C. G. Cuba Arroyo, «Piloto de gasificador downdraft operado con biomasa,» Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, 2011.
- [32] E. Salazar Sanchez , «Propuesta De Aprovechamiento Energético De La Cascarilla De Arroz Para Incrementar La Rentabilidad Del Molino Y Cía. Semper S. A. C. Utilizando El Sistema De Gasificación,» Universidad Católica Santo Toribio De Mogrovejo, Chiclayo, 2019.
- [33] S. Solar Energy Research Institute, «Handbook of biomass downdraft gasifier engine systems,» 1988.

- [34] Solar Technical Information Program, «Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine Systems,» SERI, California, 1988.
- [35] . J. Speight, Gasification of Unconventional Feedstocks, Oxford: revista Energy, 2014, pp. 54 - 90.
- [36] «ALIBABA,» [En línea]. Available: https://www.alibaba.com/trade/search?fsb=y&IndexArea=product_en&CatId=&SearchText=biomass+gasifier. [Último acceso: 04 03 2022].
- [37] «Ankur Technologies,» [En línea]. Available: <https://www.ankurscientific.com/contact.html>. [Último acceso: 21 02 2022].
- [38] «Tipo de Cambio,» 2022. [En línea]. Available: <https://cuantoestaeldolar.pe/>. [Último acceso: 20 Marzo 2022].
- [39] «ALIBABA,» 2022. [En línea]. Available: https://www.alibaba.com/trade/search?fsb=y&IndexArea=product_en&CatId=&SearchText=biomass+gasifier. [Último acceso: 14 02 2022].
- [40] B. C. d. R. D. p. «Programa Monetario,» Lima, 2022.
- [41] J. Li, J. Tao, B. Yan, L. Jiao, G. Chen y J. Hue, «Review of microwave-based treatments of biomass gasification tar,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 150, 2021.
- [42] M. Dudziak, S. Werle, S. Sobek y A. Marszałek, «Solar pyrolysis tars treatment using oxidation processes – Efficiency and toxicity analysis,» *Fuel*, vol. 318, 2022.
- [43] Agraria, «Agencia Agraria de Noticias,» [En línea]. Available: <https://agraria.pe/noticias/peruanos-superan-en-consumo-per-capita-10847>. [Último acceso: 02 Mayo 2022].
- [44] M. N. d. A. y. Riesgo, «Informe del arroz,» Boletín, Lima, 2020.
- [45] Osinergmin, «Diario Gestión,» 2021. [En línea]. Available: <https://gestion.pe/economia/tarifas-electricas-vuelven-a-subir-esta-vez-en-56-a-industrias-y-comercios-noticia/?ref=gesr>. [Último acceso: 01 Marzo 2022].
- [46] O. Siddiqui y I. Dincer, «Diseño y evaluación de un nuevo sistema de gasificación de biomasa basado en energía solar para la producción de hidrógeno, refrigeración, energía y agua dulce utilizando biomasa de cáscara de arroz,» *Conversión y gestión de energía*, vol. 236, 2020.

- [47] U. Bishir y M. Ekwenchi, «Kinetics studies of fungal biogas production from certain agricultural waste,» *Revista Bayero de Ciencias Puras y Aplicada*, vol. 2, nº 5, pp. 79-83, 2012.
- [48] C. G. Cuba Arroyo, «Piloto de gasificador downdraft operado con biomasa,» Tesis de fin de máster Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España, 2011.
- [49] Ministerio de agricultura y riego, «Perspectiva del mercado nacional e internacional de lo Commodites,» El Peruano Primero, Lambayeque, 2019.
- [50] INEI, «Producción nacional,» El peruano primero, Lambayeque, 2019.

Anexos

Anexo 1: Diagrama de bloques del proceso productivo del pilado de arroz

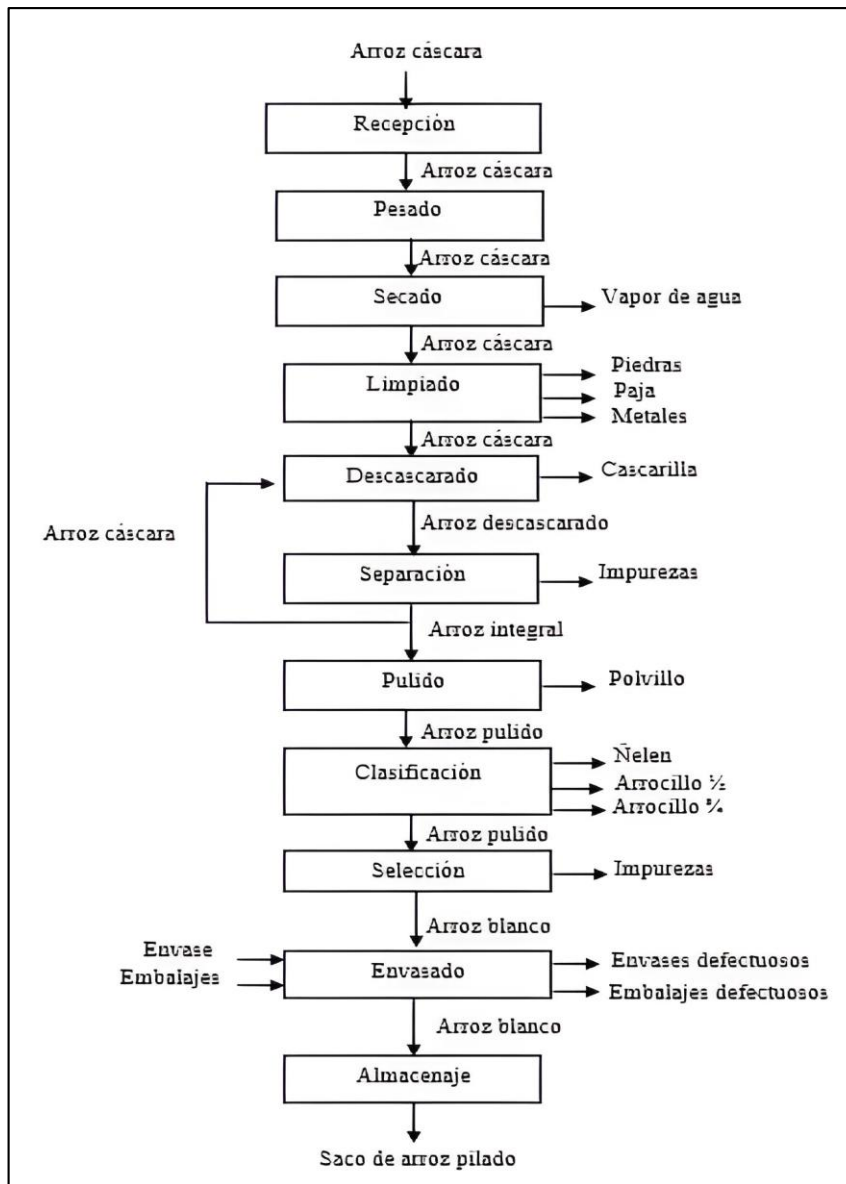


Figura A. 1: Diagrama de bloques del arroz

Fuente: Elaboración Propia. En base a [20]

Anexo 2: Producción y cascarilla de arroz del Molino El Lirio SAC en el periodo 2015 - 2019 y diagnóstico energético del sistema productivo

Tabla A. 1: Arroz cascara (kg) a procesar en el periodo 2015 – 2019

Campaña	2015	2016	2017	2018	2019
Enero	507 856	578 192	574 896	610 144	626 485
Febrero	498 546	541 254	559 874	614 879	628 749
Marzo	512 697	524 879	557 413	591 478	632 154
Abril	501 556	526 987	568 746	599 874	635 421
Mayo	526 984	539 845	584 451	602 584	637 158
Junio	536 489	536 548	591 874	605 458	635 874
Julio	538 951	548 796	555 479	616 547	637 845
Agosto	548 712	569 874	560 231	612 158	618 891
Setiembre	556 874	558 796	547 844	598 745	595 842
Octubre	558 941	565 562	615 478	600 587	626 745
Noviembre	561 478	569 398	588 754	618 745	631 489
Diciembre	569 874	568 014	598 745	619 854	634 589
Total	6 418 958	6 628 145	6 903 785	7 291 053	7 541 242

Fuente: Molino El Lirio SAC

Tabla A. 2: Producción de arroz pilado (kg) en el periodo 2015 – 2019

Campaña	2015	2016	2017	2018	2019
Enero	298 738	340 112	338 173	356 964	355 049
Febrero	293 261	318 384	329 337	367 575	358 498
Marzo	301 586	308 751	327 889	353 810	361 501
Abril	295 032	309 991	334 556	357 748	363 188
Mayo	309 990	317 555	344 088	360 343	367 739
Junio	315 581	315 616	338 160	363 210	370 925
Julio	317 029	322 820	332 046	368 556	374 025
Agosto	322 771	335 219	343 076	357 739	384 641
Setiembre	327 572	328 703	353 437	344 054	393 435
Octubre	328 788	332 683	343 810	357 403	411 025
Noviembre	330 280	334 939	351 619	357 496	402 640
Diciembre	335 219	334 125	357 496	354 031	416 228
Total	3 775 847	3 898 898	4 093 687	4 298 929	4 558 894

Fuente: Molino El Lirio SAC

Tabla A. 3: Producción de cascarilla de arroz (kg) en el periodo 2015 - 2019

Campaña	2015	2016	2017	2018	2019
Enero	111 728	127 202	126 477	134 232	137 827
Febrero	109 680	119 076	123 172	135 273	138 325
Marzo	112 793	115 473	122 631	130 125	139 074
Abril	110 342	115 937	125 124	131 972	139 793
Mayo	115 936	118 766	128 579	132 568	140 175
Junio	118 028	118 041	130 212	133 201	139 892
Julio	118 569	120 735	122 205	135 640	140 326
Agosto	120 717	125 372	123 251	134 675	136 156
Setiembre	122 512	122 935	120 526	131 724	131 085
Octubre	122 967	124 424	135 405	132 129	137 884
Noviembre	123 525	125 268	129 526	136 124	138 928
Diciembre	125 372	124 963	131 724	136 368	139 610
Total	1 412 171	1 458 192	1 518 833	1 604 032	1 659 073

Tabla A. 4: Diagnostico energético del sistema productivo del Molino El Lirio SAC

Etapa	Máquinas	Consumo de kilowatts kW	Cantidad	Consumo Total de kW	Subtotal de kW	Consumo de Amperio (A)	Cantidad	Consumo Total de A	Subtotal de A	Tensión utilizada en Voltios	Tipo de Sistema
Limpiado	Despedradora	0,75	2	1,5	7,0	1,5	2	3	10,5	220	Trifásica
	Pre-limpia	3,5	1	3,5		3,5	1	3,5		220	Trifásica
	Elevador	1	2	2,0		2	2	4		220	Trifásica
Descascarado	Descascaradora	8	2	16	46	12	2	24	76	220	Trifásica
	Circuito	4	2	8		6,9	2	13,8		220	Trifásica
	Elevador	2	1	2		2	1	2		220	Trifásica
	Comprensora	2	1	2		3,5	1	3,5		220	Trifásica
	Sinfin de pajilla	3,2	1	3,2		3,5	1	3,5		220	Trifásica
	Llenador de pajilla	15	1	15		29	1	29		220	Trifásica
	Separado	Mesa Paddy	2,1	1		2,2	15,1	4		1	4
Succionador de polvo		11	1	11	16,6	1		16,6	220	Trifásica	
Elevador		1	2	2	2	2		4	220	Trifásica	
Pulido	Pulidor vertical	12	2	24	79	16	2	32	119	220	Trifásica
	Succionador de polvillo	13	1	13		17	1	17		220	Trifásica
	Ventilador de pajilla	7,1	1	7,1		15,5	1	15,5		220	Trifásica
	Sinfin para transportar polvillo	51	1	5,1		3	1	3		220	Trifásica
	Elevador	1	2	2		2	2	4		220	Trifásica
	Bomba de agua	5,9	2	11,8		7,9	2	15,8		220	Trifásica
	Pulidora de agua	8	2	16		15,7	2	31,4		220	Trifásica
Clasificación	Mesa rotatoria	2,7	1	2,7	8,2	4,1	1	4,1	12,4	220	Trifásica
	Clasificador	3,5	1	3,5		4,3	1	4,3		220	Trifásica
	Elevador	1	2	2		2	2	4		220	Trifásica
Selección	Selectora	3,6	1	3,6	5,6	1,9	1	1,9	6	220	Trifásica
	Elevador	1	2	2		2	2	4		220	Trifásica
Envasado	Sinfin para transportar arroz	1	1	1	3	2	1	2	5	220	Trifásica
	Faja transportadora	1	1	1		2	1	2		220	Trifásica
	Cosedora	0,5	1	0,5		1,1	1	1,1		220	Trifásica
Añejadora	Sinfin para transportar arroz	2	2	4	8,4	2	2	4	12,2	220	Trifásica
	Faja transportadora	1,2	2	2,4		2,1	2	4,2		220	Trifásica
	Elevador	1	2	2		2	2	4		220	Trifásica
Consumo total de Kilowatts (kW)				167,8							
				Consumo total en Amperios (A)				265,2			
				Tensión utilizada en voltios (V)						220	Trifásica

Fuente: Elaboración Propia. En base: Molino El Lirio SAC

Anexo 3: Consumo y Costo energético del Molino El Lirio SAC en el periodo 2015 - 2019

Tabla A. 5: Consumo energético en kWh del Molino El Lirio SAC

Campaña	2015	2016	2017	2018	2019
Enero	22 457	22 864	22 981	23 459	23 689
Febrero	22 445	22 753	22 949	23 546	23 767
Marzo	22 756	22 812	22 944	23 693	23 465
Abril	23 054	23 504	23 658	22 648	23 367
Mayo	23 678	23 854	23 754	24 159	24 762
Junio	24 265	24 598	24 748	25 012	25 474
Julio	25 198	25 654	25 977	26 894	26 979
Agosto	23 246	23 487	23 544	24 159	26 357
Setiembre	24 359	24 558	23 658	24 781	24 981
Octubre	24 548	24 698	24 763	24 858	25 487
Noviembre	22 459	22 571	23 941	24 879	26 789
Diciembre	25 278	25 018	26 854	26 987	27 898
Total	283 743	286 371	289 771	295 075	303 015

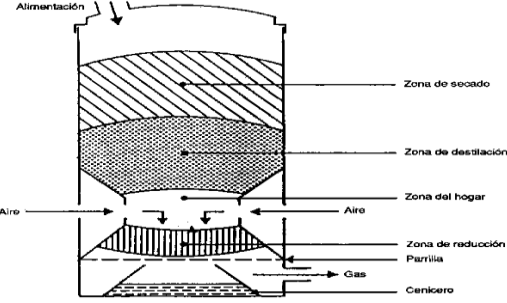
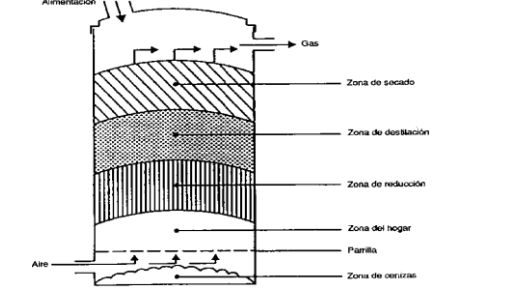
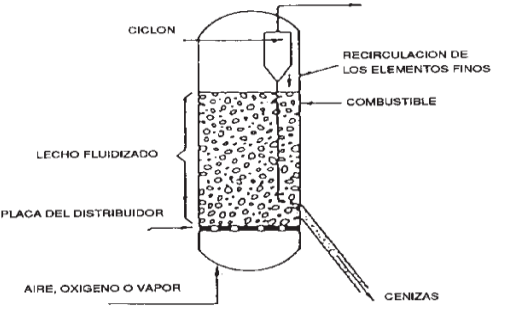
Fuente: Molino El Lirio SAC

Tabla A. 6: Costo del consumo en S/. de energía eléctrica del Molino El Lirio SAC

Campaña	2015	2016	2017	2018	2019
Enero	15 984	16 104	16 289	16 358	16 458
Febrero	14 058	14 358	14 643	14 095	14 879
Marzo	14 895	15 007	15 369	15 612	15 794
Abril	15 852	16 107	16 214	16 422	16 587
Mayo	15 971	16 214	16 485	16 642	16 874
Junio	16 258	16 753	17 852	17 951	18 103
Julio	20 147	20 346	20 487	20 894	21 465
Agosto	19 154	20 156	21 450	21 698	20 788
Setiembre	19 258	21 589	21 987	21 582	22 640
Octubre	19 456	21 698	22 043	22 489	22 846
Noviembre	21 014	21 842	22 149	22 628	22 844
Diciembre	21 843	22 185	23 455	23 749	23 984
Total	213 890	222 359	228 423	230 120	233 263

Fuente: Molino El Lirio SAC

Anexo 4: Tipos de gasificadores para el Molino El Lirio SAC

Tipo de Gasificadores	Ventajas	Desventajas
<p data-bbox="331 288 728 316">Gasificador de corriente descendente</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Costes iniciales bajos - Alta eficiencia térmica - Apropiado para motores - Consume el 99% p/p de alquitrán formado - Generación de empleo en su construcción 	<ul style="list-style-type: none"> - Altura de equipos
<p data-bbox="331 643 728 670">Gasificador de corriente ascendente</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - No tiene restricciones para materia prima - Baja caída de presión - El tamaño depende al uso - Baja producción de escoria 	<ul style="list-style-type: none"> - Presenta alto contenido de alquitranes en la biogás - Se necesita de constante mantenimiento
<p data-bbox="331 994 772 1021">Gasificador de lecho fluidizado circulante</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Costos altos - Adaptación a cambios de materia prima - Temperaturas altas - Estabilidad de control a temperaturas 	<ul style="list-style-type: none"> - La conversión del combustible no es superior como en los gasificadores de lecho fijo

Fuente: Elaboración Propia. En Base: Rodríguez [24] y Ramírez [25]

Anexo 5: Grado de importancia de los factores para la elección del gasificador

Factores	Tipo de Materia Prima	Mantenimiento	Inversión	Vida Útil	Seguridad	Capacidad de carga	Complejidad del método	Rendimiento de Gasificador	Conteo	Ponderación
Tipo de Materia Prima		0	0	0	1	1	1	1	4	10%
Mantenimiento	1		1	1	1	1	1	0	6	14%
Inversión	1	1		1	1	1	1	1	7	17%
Vida Útil	1	1	1		1	1	1	1	7	17%
Seguridad	1	1	0	1		1	1	1	6	14%
Capacidad de carga	1	0	0	1	0		1	0	3	7%
Complejidad del método	1	0	0	0	0	1		0	2	5%
Rendimiento de Gasificador	1	1	1	1	1	1	1		7	17%
TOTAL									42	100%

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 6: Escala de calificación

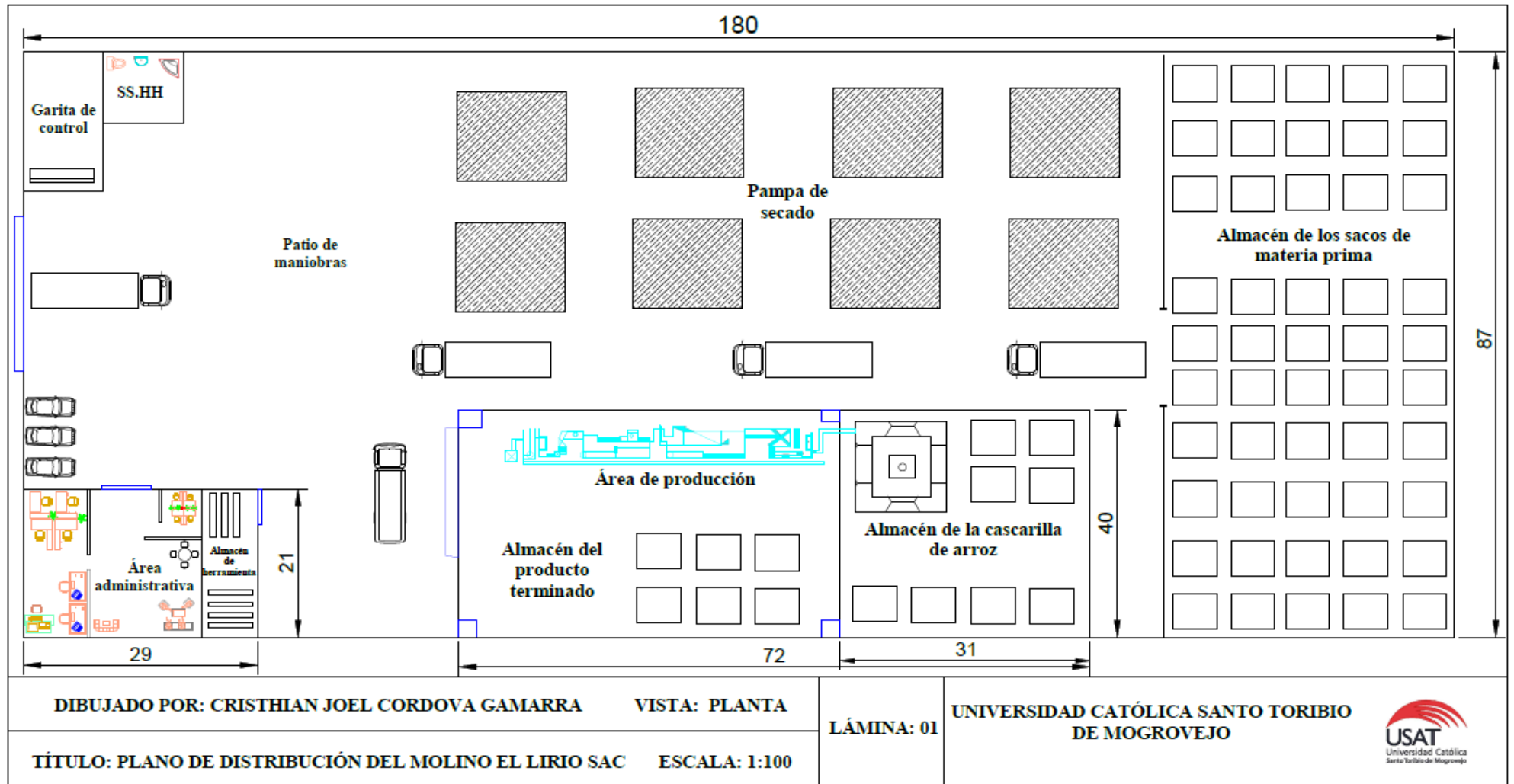
Valoración	Escala
Excelente	9 - 10
Muy bueno	7 - 8
Bueno	5 - 6
Regular	3 - 4
Deficiente	1 - 2

Anexo 7: Grado de ponderación para la elección del gasificador

Criterios de evaluación	Ponderación (%)	Gasificador de corriente descendente	Gasificador de corriente ascendente	Gasificador de lecho fluidizado circulante
Tipo de Materia Prima	10%	9	3	6
Mantenimiento	14%	8	5	7
Inversión	17%	8	4	8
Vida Útil	17%	10	3	3
Seguridad	14%	5	7	7
Capacidad de carga	7%	6	7	7
Complejidad del método	5%	4	8	8
Rendimiento de Gasificador	17%	6	8	6

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 8. Plano actual de la empresa Molino El Lirio SAC



Anexo 9. Proceso del sistema de gasificación y generación de electricidad

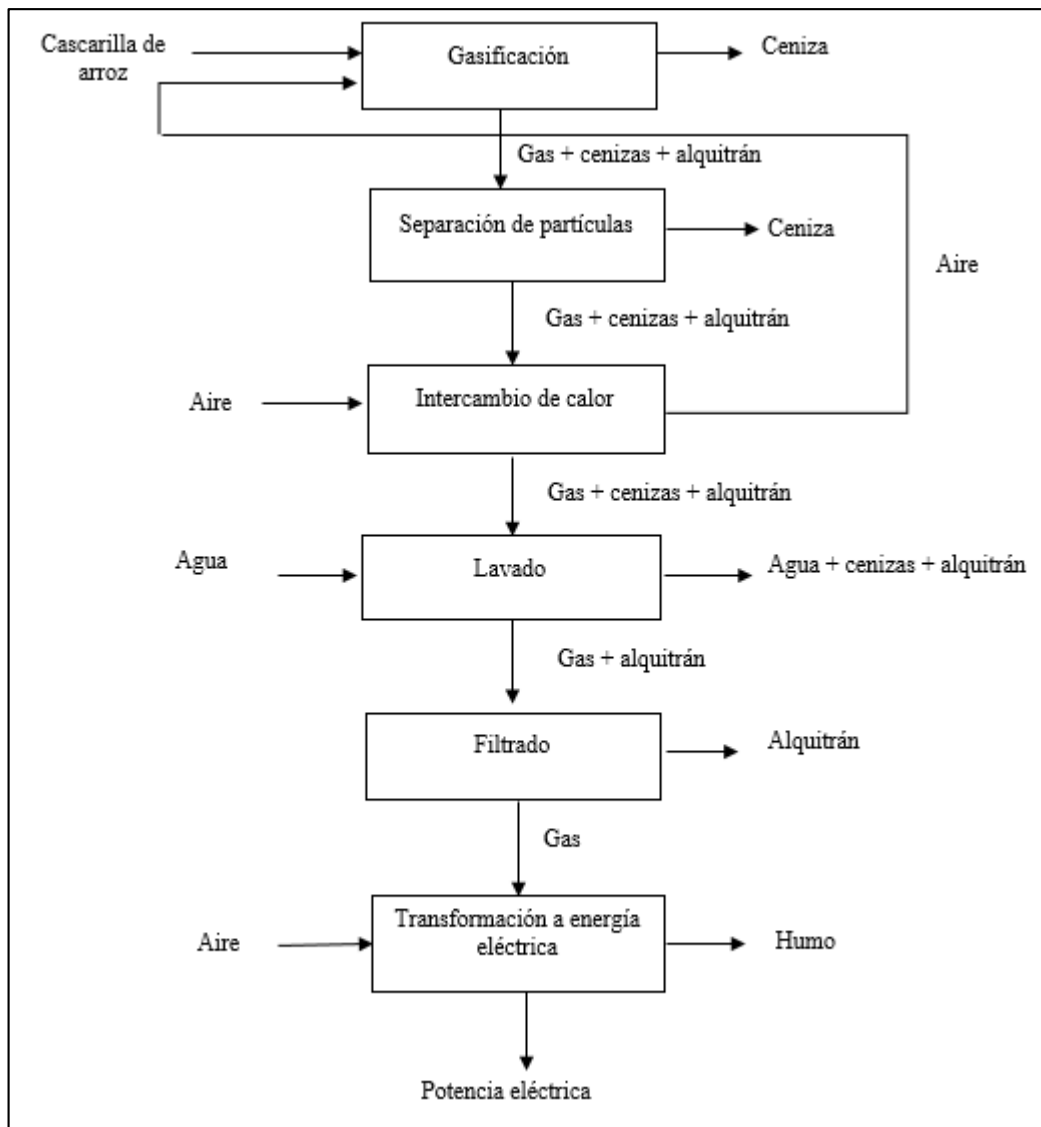


Figura A. 2: Diagrama de bloques del sistema de gasificación y generación de electricidad

Fuente: Elaboración Propia. Adaptado de a Cuba [31].

Anexo 10. Diseño del sistema de generación de biogás en CAD

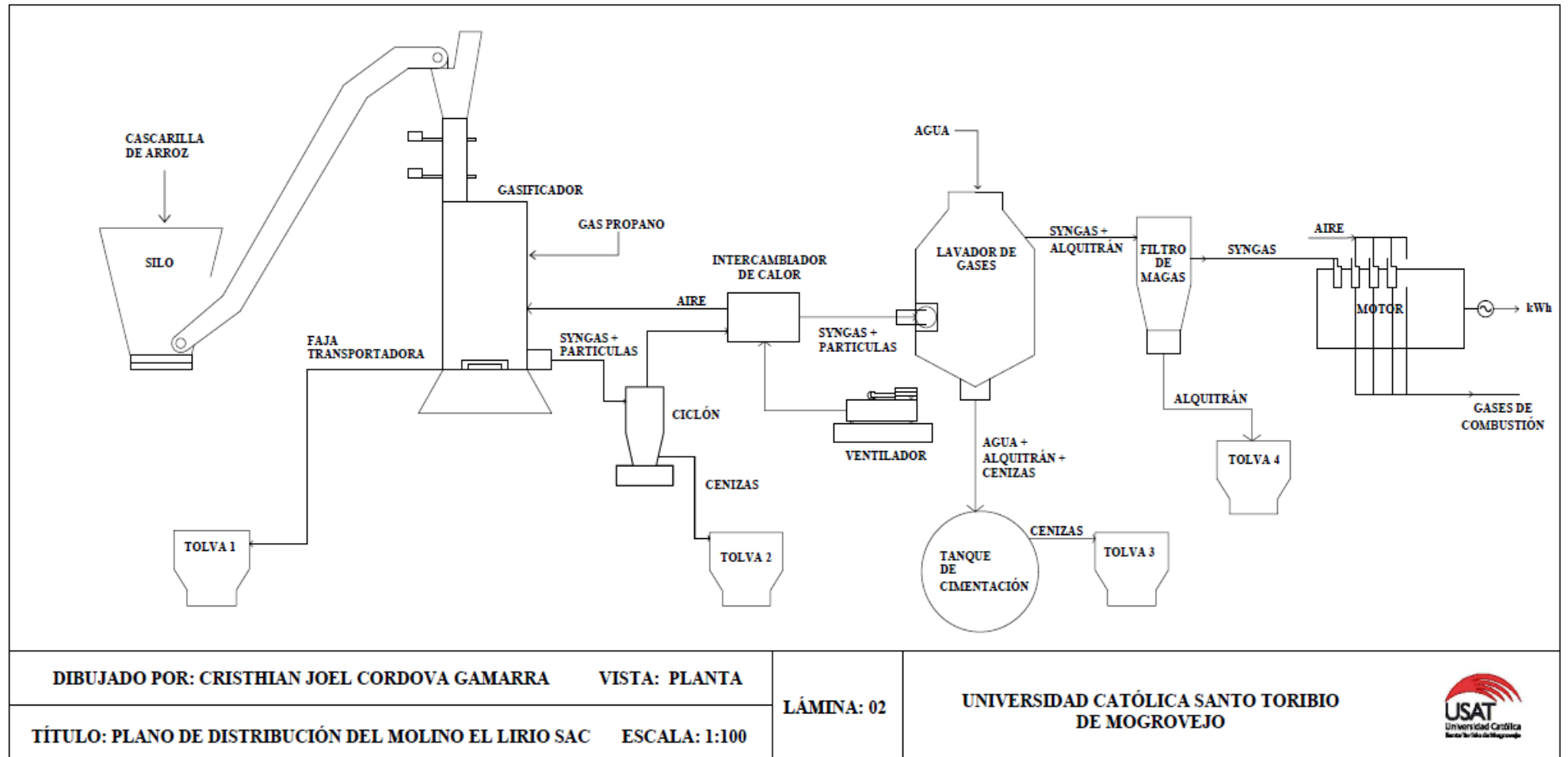


Figura A. 3: Diseño del sistema de gasificación y generación de electricidad

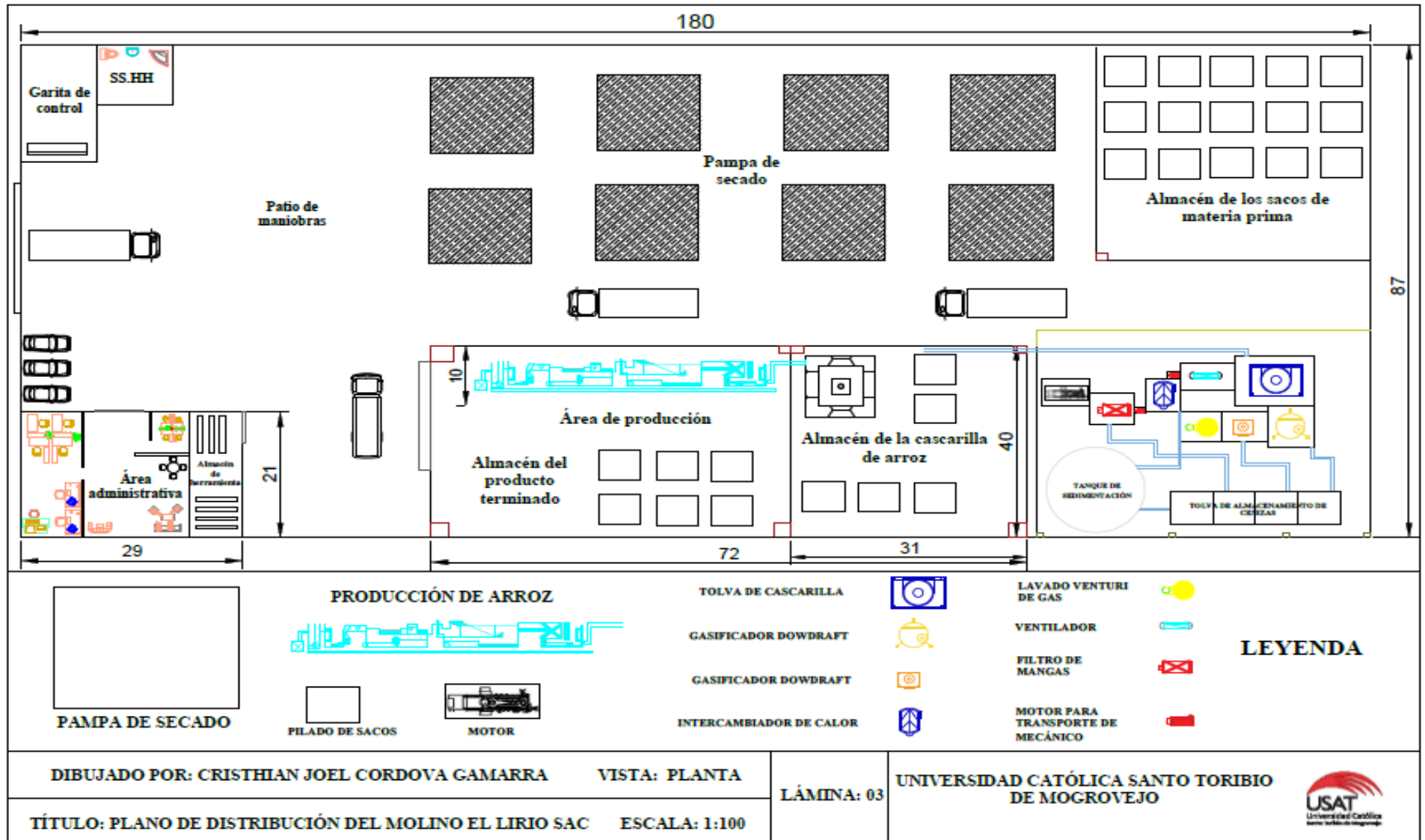
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 11: dimensiones para la instalación de gasificador y generación de electricidad

Proceso	Elementos	n	N	Largo(L)	Ancho(A)	SS	SG	Altura(h)	k	SE	ST
	Elementos móviles										
Todo	Operarios	1	1	0,5	1,0	0,5	0,5	1,65	0,35	0,35	1,35
	Elementos fijos										
GASIFICACION	Tolva de cascarilla de arroz	1	1	4,5	4,5	20,25	20,25	4,00	0,35	14,18	54,68
	Gasificador downdraft	1	1	4,2	3,5	14,70	14,70	6,00	0,35	10,29	39,69
	Motor para transporte neumático	1	1	0,5	0,5	0,25	0,25	0,50	0,35	0,18	0,68
	Tubería de transporte neumático	1	1	24	0,35	8,40	8,40	0,30	0,35	5,88	22,68
	Tolva de almacenamiento de cenizas	1	1	5	5	25,00	25,00	4,00	0,35	17,50	67,50
SEPARACION DE PARTICULAS	Ciclón	1	1	3,5	2,5	8,75	8,75	3,50	0,35	6,13	23,63
	Tolva de almacenamiento de cenizas	1	1	4,3	4	17,20	17,20	4,00	0,35	12,04	46,44
	Tubería de transporte neumático	1	1	25	0,5	12,50	12,50	0,30	0,35	8,75	33,75
INTERCAMBIO DE CALOR	Intercambio de calor	1	1	2,5	2,5	6,25	6,25	4,00	0,35	4,38	16,88
	Ventilador	1	1	2	2	4,00	4,00	1,50	0,35	2,80	10,80
	Tubería hasta gasificación	1	1	24	0,25	6,00	6,00	0,30	0,35	4,20	16,20
LAVADO DE GASES	Lavador venturi de gas	1	1	2,5	2,5	6,25	6,25	3,50	0,35	4,38	16,88
	Tubería hasta tanque de sedimentación	1	1	24,5	0,3	7,35	7,35	0,30	0,35	5,15	19,85
	Tanque de sedimentación	1	1	13	4	52,00	52,00	4,00	0,35	36,40	140,40
	Tolva de almacenamiento	1	1	5	5	25,00	25,00	4,00	0,35	17,50	67,50
	Motor para transporte	1	1	0,5	0,5	0,25	0,25	0,50	0,35	0,18	0,68
	Tubería hasta alcantarillado	1	1	24	0,3	7,20	7,20	0,30	0,35	5,04	19,44
FILTRACION DE PARTICULAS	Filtro de mangas	1	1	2,6	2,4	6,24	6,24	4,00	0,35	4,37	16,85
	Tolva de almacenamiento	1	1	4	4	16,00	16,00	4,00	0,35	11,20	43,20
	Motor para transporte neumático	1	1	0,6	0,6	0,36	0,36	0,50	0,35	0,25	0,97
	Tubería hasta tolva de almacenamiento	1	1	25	0,3	7,50	7,50	0,30	0,35	5,25	20,25
TRANSFORMACION A ENERGIA ELECTRICA	Moto generador de gas	1	1	2,4	1,6	3,84	3,84	2,00	0,35	2,69	10,37
Superficie total en m ²											690,63

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 12: Plano propuesto con el sistema de gasificación en el Molino El Lirio SAC



Anexo 13: Determinación de la demanda los costos que se abarcaran en el sistema de gasificación y generación de electricidad

Tabla A. 7: Sacos adicionales con el sistema de gasificación y generación de electricidad

Sacos adicionales que será pilados		
Producción Hora	63	Sacos/hora
Horas extras de producción por día	4	horas
1 mes	24	días
1 año	12	meses
Producción extra anual	72 942	sacos/año

Fuente: Elaboración propia

Tabla A. 8: Mano de obra indirecta

Ítem	Cantidad
Jefe de Planta	1
Supervisor	1
Asistente Logístico	1
Personal de almacén	1
Personal de seguridad	1
TOTAL	5

Fuente: Elaboración propia

Tabla A. 9: Infraestructura adicional

INFRAESTRUCTURA ADICIONAL	UNIDAD	PRECIO/UNIDAD	IMPORTE
Tolva de almacenamiento	5	151 987,50	151 987,50
Soplador de aire	5	7 550,00	7 550,00
Tanque de sedimentación	1	6 040,00	6 040,00
Tubería para transporte	5	4 530,00	9 060,00
Techo metálico	1	3 322,00	16 610,00
TOTAL			S/, 212 416,05

Fuente: Elaboración propia

Anexo 14: Cotización del sistema de gasificación y generación de electricidad



OFF/21-22/36/252

February 18, 2022

Budgetary Offer – By Email

Kind Attn.:- Mr. Cristhian Cordova Gamarra

Molino El Lirio SAC, Peru

Email: cristianusat2018@gmail.com

Subject:- Budgetary Offer for Design, Engineering, Manufacture, Supply and Supervision of Installation & Commissioning of Biomass Gasification Plant consisting of Ankur Biomass Gasifier Model 1 x FBG-500 with Dry Gas Cleaning System in Ultra Clean Gas Mode suitable for 250 kWe/hr gross power generation.

Reference:- Your email to undersigned dated February 17, 2022.

Dear Sir,

This has reference to your email to undersigned dated February 17, 2022 and accordingly we are pleased to submit herewith our Budgetary Offer for Design, Engineering, Manufacture, Supply and Supervision of Installation & Commissioning of Biomass Gasification Plant consisting of Ankur Biomass Gasifier Model 1 x FBG-500 with Dry Gas Cleaning System in Ultra Clean Gas Mode suitable for 250 kWe/hr gross power generation.

With the offered Gasifier Model, client can use rice husk as our specifications and the desired specification / characteristics / properties of rice husk intended to be used will need to be as defined below:-

Biomass to be used	: Rice husk
HHV (kcal/kg) on dry basis	: $\geq 3,800$
Bulk Density (kg/m ³)	: > 100
Moisture Content % on wet basis	: $\leq 10\%$
Ash Content % on dry basis	: $< 20\%$
Ash Deformation Temperature (°C)	: $\geq 1200^{\circ}\text{C}$
Volatile Mater % on dry basis	: $\geq 60\%$
Fixed Carbon % on dry basis	: $\geq 18\%$
Feed Size (mm)	: Dia. – 2 to 3 mm; Length – upto 20mm

Notes:

- Fines below our recommended size should be sieved and removed from feed.
- There should be no foreign matter like inert, dust, dirt, fines, fibres, stones, debris, soil, oil, metal, plastic, glass etc. in the feedstock to be fed into the Gasifiers.
- The quality of feedstock used is absolutely essential for the success of the project. Bad feedstock will not only lead to process issues but may also lead to damage to equipment.
- Samples of all feedstock intended to be used would be sent to us before the finalization so as to be sure of its usability and our recommendations. Post the analysis, there might be some changes in our recommendation.

Annexure 1 – Price Schedule

Sr. No.	Item Description	Qty.	Basic Price In Euro (€)
Biomass Pre-processing System			
1.	<u>Rice husk sieving, drying and conveying up to the bucket elevator</u>	<u>Best done locally by client</u>	
Gasifier & It's Related Accessories			
2.	<u>Bucket Elevator</u> – for conveying ready to use biomass from ground level into the Gasifier	1 No.	<u>11,500</u>
3.	<p><u>'Ankur' Biomass Gasifier Model FBG-500 along with basic accessories and auxiliaries with Dry Gas Cleaning System in Ultra Clean Gas Mode</u> <u>The Gasifier system will consist of the following:-</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Reactor and Hopper with various proprietary and patented devices and interventions. • Dry ash char removal system with water cooled screw conveyor • Necessary alarm/annunciation system along with provision for emergency shutdown. • Biomass Level Sensor • PLC based control panel • Platform and ladder for the Gasifier <p><u>State-of-the-Art Dry Gas Cleaning System consisting of the following:-</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Start-up sub system • Cyclone Separator • High Temperature Filtering Equipment • Condensate Removal Sub System • Mist Eliminator • Fine Filter • Pleated Filter • Parallel line of fine filter • Gas Blower • Header Box • All necessary fittings and connections between the listed equipment items • All producer gas piping up to header box <p><u>State-of-Art Flare system consisting of:-</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Flare Head with flame arrestor and spark ignition system with auto ignition. • Flare Valves assembly with swing valve, pneumatic isolation valve, manual valve and a motorized valve. • The middle portion connecting the above two will be in client scope as per site requirement or as per local laws (in terms of routing and final height etc.). The client will also need to provide HT wire for the spark ignition system supplied as part of flare head 	1 Set.	<u>285,000</u>
4.	<u>Cooling Tower</u> – for Clean Water	Lump sum	<u>7,800</u>



5.	<u>Suitable Rated TR Chiller Unit</u>	Lump sum	<u>19,100</u>
6.	<u>Condensate Evaporation System</u> <i>Note: We will supply producer gas based Evaporator system for which the feedstock consumption would be marginally higher</i>	Lump sum	<u>10,700</u>
<u>Engine Generator Set & Its Related Accessories</u>			
7.	<u>100% Producer Gas Engine Generator Set from China</u> for 250 kWe gross peak output. The engine gensets are CE Certified. (on FOB basis up to respective port in China)	1 No.	<u>197,500</u>
<u>Service & Other Charges</u>			
8.	<u>Detail Design & Engineering Charges</u>	Lump sum	<u>12,950</u>
9.	<u>Supervision charges for installation, commissioning and training of customer's personnel</u> <i>Note: SELLER's charges are only for supervision of installation and commissioning of the Gasifier and other respective items and train the operating personal at site. However other engineers, skilled and unskilled manpower including labour, material handling equipment, to and fro air fare including visa charges, insurance charges including travel, medical and accidental insurance for our people, local conveyance, communication facilities, boarding and lodging for all our people etc. to be provided by the BUYER</i>	150 man days	<u>37,500</u>
<u>Packing, Forwarding & Transportation</u>			
10.	<u>Packing Charges</u> for Gasifier Portion from India	Lump sum	<u>16,700</u>
11.	<u>FOB Charges</u> for Gasifier Portion up to the respective port in India (Note: Booking for the empty containers will need to be provided at ICD Dashrath, Vadodara by the client and any cost related for providing booking of empty containers at ICD Dashrath, Vadodara will need to be borne by client)	Lump sum	<u>15,000</u>
<u>TOTAL FOB PRICE UPTO RESPECTIVE PORT, INDIA</u>		<u>Euro (€) 613,750</u>	

Notes:-

- Approx. Container Requirement: 7 x 40 Feet HQ for Gasifier plant from India and 1 x 40 Feet HQ for Engine Genset from China. (Note: This is indicative and exact container requirement can be provided during detail engineering stage after finalization of contract).
- The annual plant availability is considered to be 80% (~7000 hr/annum) of the time in a year given that the feedstock is used as per the defined specs, the plant is operated and maintained regularly as per manuals / training and that there will be initial stabilization period of about 6 months minimum.

Annexure 2 – Customer's Scope of Work (Balance of Plant)

SR. NO.	WHAT	SCOPE BY	
		ANKUR	CUSTOMER
1.	FOB for Gasifier Portion up to the respective port in India and for Engine Generator Set up to respective port in China. (Note: Booking for the empty containers will need to be provided at ICD Dashrath, Vadodara by the client and any cost related for providing booking of empty containers at ICD Dashrath, Vadodara will need to be borne by client)	√	
2.	All Cost including Transportation, Insurance and Sea Freight etc. for machinery and equipments from the respective port in India and from respective port in China for Engine Genset from China to the respective port in Peru, local custom clearance / import clearance & safe transportation of machinery and equipments from the respective port in Peru to the final project site / destination including freight, transit insurance, taxes, duties, loading / unloading at site etc. are in client scope. (Note: local custom / import clearance will need to be done by client at their cost once the equipment reaches at respective Port in Peru).		√
3.	Site preparation – including sufficient land duly levelled with boundary fencing, gates, access roads within the facility from the entrance to exit, pavements etc. to be done by client.		√
4.	Power required during civil works, site works, the execution of the project, during installation and commissioning of the equipments, Start-up power during the plant operations at all times.		√
5.	Consumables like Biomass as defined in our offer, Charcoal, Lubricating/Engine Oil, Grease, Saw Dust, Filter Media, etc. needed initially for commissioning of the systems, trials and thereafter for regular operations. (Note: Specifications can be provided by ANKUR)		√
6.	Civil and construction works including RCC foundations, PCC floorings, grouting of all equipment, plant shed, lighting arrangements, plant ventilation, plant overhead crane/ chain pulley, weigh bridge, earthing, earthing pit and other plant facility like PLC control panel room with office space, prefab cabin for office, toilets, septic tank, water tank etc. as per the seller's layout plans/ drawings as supplied.		√
7.	Indicative drawings and technical specifications to be provided during detail engineering stage after finalization of contract / order: <ul style="list-style-type: none"> • Civil (mainly Foundation & Plan Layout drawings) • Schematic / Elevation Drawings • Mass & Energy Balance • Producer Gas Piping • Electrical load list and cable schedules • Compressed Air Lines • Piping and Instrumentation Diagram (P&ID); • Process Flow Diagram (PFD) • Details of Consumables and utilities etc. • Operation and Maintenance manual along with the supplies of the system • Any other details as that may be required in consultation with the clients 	√	
8.	BUYER will need to provide proposed plot plan with earmarking the area		√

	available for the Gasifier System or the project		
9.	Rice husk sieving, drying and conveying up to the bucket elevator		√
10.	Bucket Elevator – for conveying ready to use biomass from ground level into the Gasifier. <i>(Alternatively, this can be done by the client locally)</i>	√	
11.	As quoted in the Price Schedule, the Design, Engineering, Manufacture, Supply, Supervision of Installation and Commissioning of Gasifier system along with its gas cooling and cleaning systems including 100% Producer Gas Engine Genset & Producer Gas Piping within Gasifier up to Header Box	√	
12.	Platform and ladder for the Gasifier	√	
13.	Other Producer Gas piping including from the Gasifier header box to Engine inlet, Start-up sub system, evaporator, engine exhaust piping for heat recovery, flare and vent piping etc. <i>(Note: Specifications can be provided by ANKUR)</i>		√
14.	Heat recovery system from engine exhaust and jacket water.		√
15.	Condensate Evaporator including evaporation chamber, combustion air blower, producer gas blower, sludge tank and condensate recirculating pump	√	
16.	Evaporator stack, condensate tank and piping including pump for conveying condensate from sludge tank to condensate tank and from condensate tank to the evaporator etc. <i>(Note: Specifications can be provided by ANKUR)</i>		√
17.	All electrical wiring and cabling including cable trays along with necessary Lug, Cable gland, Connector, Cable Tie etc. for the entire plant. <i>(Note: Specifications can be provided by ANKUR)</i>		√
18.	Air Compressor and All compressed air lines as required for the plant. <i>(Note: Specifications can be provided by ANKUR)</i>		√
19.	All hot and cold insulation as needed for the system <i>(Note: Specifications can be provided by ANKUR)</i>		√
20.	Suitable rated Cooling tower – for clean water <i>(Alternatively, this can be done by the client locally)</i>	√	
21.	Suitable Rated TR Chiller unit <i>(Alternatively, this can be done by the client locally)</i>	√	
22.	All site specific water piping, plumbing with required valves, fittings, pumps etc. as needed for the system <i>(Note: Specifications can be provided by ANKUR)</i>		√
23.	Firefighting and safety equipment as per local norms and rules.		√
24.	Grid interconnection / distribution of power from Generator terminal to desired place; this includes supply & installation of all electrical switchgear and equipment, power transformer and terminations of applicable KV link to local grid, SCADA integration equipment including field wiring, cabling, synchronizing, distribution panel, all accessories, equipment, hardware etc. whichever is required to connect plant to nearest substation <i>(Note: Ankur can provide General SLD once we have received the feeding lines specifications, however, this is best checked locally as local norms are different)</i>		√
25.	Batteries, battery chargers, UPS, inverter, plant communication systems, work stations, computers, network, etc. <i>(Note: Specifications can be provided by ANKUR)</i>		√
26.	Work shop facilities like welding, gas cutting, grinding, machining facilities including consumables like welding electrodes etc. along with skilled and unskilled operator and labors for modification of the parts required, other site-specific works/facilities etc. for installation and commissioning and regular operation and maintenance of the plant.		√
27.	All material handling equipment's required for unloading & loading of		√



	equipments. This includes hydra, overhead crane for lifting and shifting and also truck driven trolleys, fork lift etc. for movement of the material, installation & commissioning and also for regular operation and maintenance of the plant.		
28.	Utilities like free potable water & power connection at one point / main Gasifier control panel (within the proposed plant area) defined as per final agreed to plot plan. (Note: The Buyer shall keep the installation site fully prepared with connections of utilities such as water, power supply and distribution system etc.)		√
29.	Start-up & Auxiliary power for the system at all times		√
30.	LPG / PNG / diesel for startup sub system.		√
31.	All other equipment's as necessary which is out of battery limit.		√
32.	Providing spares as that would be needed from time to time.		√
33.	All statutory approvals, permits, authorization, regulatory requirements, Work permits/visas for contractors personnel's, clearances for all etc. as that may be required in connection with import of all equipments, setting up of the project, bringing man power from other countries, for the set up and execution of this project / contract. (Note: necessary details, specifications can be provided by ANKUR)		√
34.	Handling / disposal of all charcoal/char/ash, sludge, any wastes and emissions from the power plant as per the local laws / norms. Any emission control equipment for meeting local norms if at all needed to be in client scope.		√
35.	Insurance Policy for the project, plant and its operations including Breakdown policy of the plant, medical insurance of our / our sub-contractors manpower deputed at any stage of the project whether during feasibility study or installation/commissioning of the plant or during supervision for regular operation of the plant etc.		√
36.	To and fro air fare for our people including visa charges, insurance charges including travel, medical and accidental insurance for our people / sub-contractor people, local conveyance, communication facilities, boarding and lodging for all our people etc. to be provided by the BUEYR.		√
37.	Any other specific scope for supply or service not mentioned above or defined.		√

Note: Local scope of work is subject to scheme and plot plan layout and will be clearly indicated / informed to client during detail engineering stage.

Annexure 3 – Terms & Conditions of Sale

1. Patents and Copyright

Ankur Scientific has patented its technology and replication of its technology without its written permission is punishable under law. Ankur Scientific being a technology company treats any infringement of its rights very seriously and reserves the right to take all action as necessary.

2. Confidentiality and Non-Replication

Client or any of its subsidiary or group companies shall neither, during the tenure of this contract with Ankur Scientific nor thereafter till a period of ten years, manufacture or obtain manufactured GASIFIERS similar to the ones being procured by the Client from Ankur Scientific. This would be seen as a violation of Ankur Scientific's IPR and would result in Ankur Scientific taking all legal action as necessary against the Client.

3. Prices

The above prices quoted are in Euro (€) and are on FOB respective Port, India basis for Gasifier system from India and on FOB respective port, China for Engine Genset from China. Please note that the prices are valid for 30 calendar days only and thereafter if the exchange rate of INR Vs Euro (€) is below 1 Euro (€) to 84 INR, then there will be revision in the above prices and will be mutually discussed and agreed upon. For FOB, Booking for the empty containers will need to be provided at ICD Dashrath, Vadodara by the client and any cost related for providing booking of empty containers at ICD Dashrath, Vadodara will need to be borne by client.

4. Transport, Insurance, Taxes and Duties

All Cost including Transportation, Insurance and Sea Freight etc. for machinery and equipments from the respective port in India and from respective port in China for Engine Genset from China to the respective port in Peru, local custom clearance / import clearance & safe transportation of machinery and equipments from the respective port in Peru to the final project site / destination including freight, transit insurance, taxes, duties, loading / unloading at site etc. are in client scope. (Note: local custom / import clearance will need to be done by client at their cost once the equipment reaches at respective Port in Peru).

5. Payment Terms

100% payment before dispatch value including total order value + taxes

- o 50% interest free & Non-refundable advance along with purchase order. Delivery period will be counted only from the date of receiving advance.
- o 30% within 1 Month of order placement.
- o 20% against Proforma invoice before dispatch at SELLER's works.
- o In case of any delayed payment or short payment against the payment terms defined above, we will charge interest at the rate of 18% per annum, for the respective amount.

6. Supervision for Erection, Commissioning and Training of Operating Personnel:

Our scope for this activity will be limited to the following:

- o Ankur Scientific technical personnel to oversee erection and commissioning of all items in our scope.

The following will be to Customer's scope:

- o Biomass as defined in our offer, Charcoal, Lubricating Oil etc. needed initially for commissioning of the systems, trials and thereafter for regular operations.
- o Filter Media like wood chips, sawdust etc. as required for the system commissioning.
- o Requisite material handling system including crane as well as manual labor for lifting and shifting of the equipment into position.
- o Manual labor for all activities during installation and commissioning.

- To and fro air fare for our people including visa charges and insurance charges including travel, medical and accidental insurance for our people.
- Local Conveyance, Communication Facilities, Boarding and Lodging for all our people.

Installation, Commissioning and Training of Operating Personnel:

For erection, commissioning and training of operating personnel, we have two options:

OPTION-I

- We can depute our engineer to supervise the erection and commissioning of the Gasifier and train the operating personnel at site. We will charge a per day charge of Euro (€) 250 per man-day for our engineers from the date of their departure from Vadodara (India) till the date of their return and these charges shall be applicable if our supervisors need to stay beyond the 150 man-days given in price schedule in total. Note: Charges as stated above are subject to change depending upon site condition and scope of work.
- Our Charges are only for supervision of installation and commissioning of the Gasifier and other respective items and train the operating personnel at site. However, other engineers, skilled and unskilled manpower apart from material handling equipments etc. to be provided by the client.
- The to-and-fro air fare between Vadodara (India) to the country of installation including visa charges, insurance charges including travel, medical and accidental insurance for our people, inland traveling expenditure, road transport charges, boarding, and lodging will be to the client's account.

OPTION-II

The erection and commissioning can be undertaken by the client. We, on our part, will provide the necessary training at our works near Vadodara (India) to our client's personnel. Our charges for such training are Euro (€) 75 per day of training. Necessary to-and-fro travel expenditure including visa charges, insurance charges including travel, medical and accidental insurance for our people, boarding and lodging in Vadodara and local travel expenditure will have to be borne by the client.

7. Inspection

Our equipment shall be available for inspection at our works before dispatch. We would require one-week advance intimation of possible date of arrival of customer's representative for inspection at our works.

8. Warranty

'Ankur' Gasifiers will have Warranty for a period of 12 months from the date of commissioning or for a period of 15 months from the date of dispatch whichever is earlier. During this Warranty period, we undertake to rectify or replace, at our option, as soon as possible, all parts that are proved to be defective or unusable due to faulty material, design or workmanship, all the to and fro charges of sending the parts to India and back to site are born by the customer. Any damage due to bad maintenance, non-observance of operating instructions, incorrect application etc., is excluded from the purview of this Warranty.

This Warranty does not cover all electrical, instrumentation and control items including motors, panel components, PLCs, VFDs etc. once their operation is demonstrated to be satisfactory during monitoring of the system. The Warranty also does not cover glass components. Our responsibility for replacement of parts does not extend to the parts that are subject to natural wear and tear. This Warranty will become void if the purchaser or a third party, on behalf of the purchaser, carries out any repairs/alterations without our prior written approval or fails to put up the relevant plant at our disposal for sufficient time, should repairs or alterations be required at site. Warranty for major bought out items will be as per the OEM's (suppliers) terms and conditions.



'Ankur' Gasifiers generally have an annual availability factor of 80% (or more), if operated and maintained as per the manual / instructions. The above Warranty will be valid if and only if all payments due to us (as per the payment terms) are promptly received.

9. Delivery Period of Ordered Equipment

Gasifier equipments with associated accessories and Engine Genset from China shall be ready for dispatch at SELLER's works and at respective works in China for engine genset within 22-26 weeks from the date of receipt of confirmed order and advance payment whichever is later.

Transportation for FOB respective port in India shall further take around 2 to 3 weeks per lot of shipment from the date of dispatch at SELLER's Works and will subject to receiving the booking of container at ICD Dashrath, Vadodara by the Seller from Buyer.

If there are any delays by the BUYER in providing empty containers booking to the SELLER, then the FOB respective port in India delivery period will get extended by that many days/weeks respectively.

If there are any delays by the BUYER in making the payments, in providing approval to the drawings submitted after the detailed engineering or any hold up by the BUYER any stage then the dispatch time will get extended by that many days / weeks respectively.

10. Validity

Our offer shall be valid before for a period for 30 days from the above date. It is subject to our written confirmation thereafter.

11. Force Majeure

'Ankur' or its affiliates shall not be liable for failure of its performance Warranty or penalty, if and to the extent that, it's delay performance or other failure to perform its obligations under the contract in the event of Force Majeure condition. 'Force Majeure' means an unforeseeable event beyond the control of company like fire, drought, flood, epidemics, quarantine restrictions, earthquake, strikes, riots, state emergency etc. and not involving 'ANKUR's' or its affiliates fault or negligence.

12. Jurisdiction

In respect of any matter, dispute or difference, only the Courts in Baroda (Vadodara), Gujarat, India shall have jurisdiction to the exclusion of all courts.

-----*****-----

Anexo 15: Matriz de valorización de aspectos e impactos ambientales del proceso de gasificación

Actividad	Aspectos ambientales	Impactos	Criterios											Importancia	Clasificación del impacto	
			CI	I	EX	MO	PE	RV	SI	AC	EF	PR	RB			
Gasificación	Generación de ruido	Contaminación acustica	-	1	1	1	1	1	1	1	1	4	2	1	-17	Negativo Compatible
	Emisión de polvo	Alteración de la calidad del aire	-	2	1	1	1	1	1	1	1	4	2	2	-17	Negativo Compatible
	Generación de olores	Alteración de la calidad del aire	-	2	1	1	1	1	1	1	1	4	2	2	-20	Negativo Compatible
Separación de partículas	Emisión de polvo	Alteración de la calidad del aire	-	2	1	1	1	1	1	1	1	4	2	2	-17	Negativo Compatible
	Generación de olores	Alteración de la calidad del aire	-	2	1	1	1	1	1	1	1	4	2	2	-18	Negativo Compatible
Lavado	Emisión de polvo	Alteración de la calidad del aire	-	2	1	1	1	1	1	1	1	4	2	2	-17	Negativo Compatible
	Generación de olores	Alteración de la calidad del aire	-	2	1	1	1	1	1	1	1	4	2	2	-23	Negativo Moderado
	Consumo de agua	Agotamiento de recurso agua	-	1	1	1	2	2	1	1	1	4	2	8	-26	Negativo Moderado
Filtrado	Generación de olores	Alteración de la calidad del aire	-	1	1	1	1	1	1	1	1	4	2	2	-24	Negativo Moderado
Motogenerador	Generación de ruido	Contaminación acustica	-	2	1	1	1	1	1	1	1	4	2	1	-22	Negativo Moderado
Economía	Generación de material particulado	Alteración de la calidad del aire	-	1	1	1	1	1	1	1	1	4	2	1	-18	Negativo Compatible
	Desarrollo industrial	Alteración de la economía circular	+													Impacto Positivo
	Contratación de personal	Generación de empleo	+													Impacto Positivo

Fuente: Elaboración Propia