

UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA
MECÁNICA ELÉCTRICA



**Central térmica generadora de energía eléctrica basada la biomasa
residual, Chimbote, 2024**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista

Autor:

Chuiz Santos, Ynder Gustavo

Asesor:

Villareal Torres, Henry Oswaldo

ORCID: 0000-0002-5989-4534

CHIMBOTE – PERÚ

2025

Índice general

Índice general.....	i
Índice de tablas	ii
Índice de figuras.....	iii
Palabras clave	iv
Constancia de originalidad.....	v
Título.....	vi
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
Introducción.....	1
Metodología.....	25
Resultados.....	27
Análisis y discusión	44
Conclusiones.....	46
Recomendaciones	47
Referencias bibliográficas.....	48
Anexos	52

Índice de tablas

Tabla 1. PCI de biomasa incinerable	17
Tabla 2. Datos de varios residuos	17
Tabla 3. Composición y clasificación de los residuos en el distrito de Chimbote 2024.	29
Tabla 4. Cantidad de biomasa residual por tipo de residuo diario en ton/día.....	30
Tabla 5. Contenido de humedad y peso seco teórico de la materia inorgánica.	31
Tabla 6. Peso seco teórico en toneladas y kilogramos.....	32
Tabla 7. Potencial energético de la materia inorgánica potencialmente incinerable.	33
Tabla 8. Residuos orgánicos producidos en la ciudad de Chimbote 2024.....	33
Tabla 9. Especificaciones técnicas de la turbina.....	38
Tabla 10. Inversión estimada de la central.....	40
Tabla 11. Ingresos por venta de energía.	41
Tabla 12. Ingresos anuales por bono de carbono.....	42
Tabla 13. Flujo de caja.....	43
Tabla 14. Viabilidad del proyecto.....	43

Índice de figuras

Figura 1. Central térmica de biomasa	2
Figura 2. Proceso de pretratamiento de biomasa	16
Figura 3. Sistema de generación pro biogás	21
Figura 4. Imagen satelital de Pampa La Carbonera. Mapa por coordenadas del lugar en relieve.....	28

Palabras clave

Central Térmica, Biomasa Residual

Keywords:

Thermal Power Plant, Residual Biomass

Líneas de investigación:

Área	Ingeniería y tecnología
Subárea	Ingeniería eléctrica, electrónica e informática
Disciplina	Ingeniería eléctrica y electrónica
Línea de investigación	Sector energía

Constancia de originalidad



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El que suscribe, Vicerrector de Investigación de la Universidad San Pedro:

HACE CONSTAR

Que, de la revisión del trabajo titulado "**Central Térmica Generadora De Energía Eléctrica Basada la Biomasa Residual, Chimbote, 2024**" del (a) estudiante: **CHUIZ SANTOS YNDER GUSTAVO**, identificado(a) con Código N° **1112100893**, se ha verificado un porcentaje de similitud del **30%**, el cual se encuentra dentro del parámetro establecido por la Universidad San Pedro mediante resolución de Consejo Universitario N° 5037-2019-USP/CU para la obtención de grados y títulos académicos de pre y posgrado, así como proyectos de investigación anual Docente.

Se expide la presente constancia para los fines pertinentes.

Chimbote, 12 de agosto de 2025

UNIVERSIDAD SAN PEDRO
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

Dr. JAVIER MARTÍNEZ CARRIÓN
VICERRECTOR



Título

Central térmica generadora de energía eléctrica basada en biomasa residual, Chimbote,
2024

Resumen

El presente proyecto de investigación tuvo como objetivo principal determinar el potencial energético de la biomasa residual para la generación de energía eléctrica de Chimbote 2024. La metodología aplicada en la investigación fue de tipo aplicada y de diseño fue descriptiva correlacional, porque buscó resolver un problema, que es el gran volumen de biomasa residual y diseño descriptivo correlacional ya que se evaluó el comportamiento y relación entre la biomasa residual de Chimbote 2024 y la energía eléctrica generada. La población consideró a la biomasa residual producida en la ciudad de Chimbote 2024 y de muestra igual que la población. Para recopilar datos se usó como técnicas a: la observación directa e indirecta, la revisión documental, la búsqueda bibliográfica y análisis documental. Y de instrumentos fue la ficha de observación y una ficha técnica. Los resultados obtenidos de un total de 278.3 ton/día de residuos aprovechables de los que 163.65 ton/día son residuos orgánicos y 114.65 ton/día residuos inorgánicos, se halló 2 215 562.3 MJ de potencial energético de la materia inorgánica y un caudal de metano de 11.1 m³/hora, se concluye que la energía eléctrica generada es de 167.15 MWh/día y el proyecto es viable económicamente con un VAN de S/ 91,980,836.70 y TIR de 24%.

Abstract

The main objective of this research project was to determine the energy potential of residual biomass for the generation of electrical energy in Chimbote 2024. The methodology applied in the research was applied and its design was descriptive correlational, because it sought to solve a problem, which is the large volume of residual biomass and descriptive correlational design since the behavior and relationship between the residual biomass of Chimbote 2024 and the electrical energy generated were evaluated. The population considered the residual biomass produced in the city of Chimbote 2024 and as a sample the same as the population. To collect data, the following techniques were used: direct and indirect observation, documentary review, bibliographic search and documentary analysis. And the instruments were the observation sheet and a technical sheet. The results obtained from a total of 278.3 tons/day of recyclable waste, of which 163.65 tons/day are organic waste and 114.65 tons/day are inorganic waste, found 2,215,562.3 MJ of energy potential of inorganic matter and a methane flow of 11.1 m³/hour, it is concluded that the electrical energy generated is 167.15 MWh/day and the project is economically viable with a NPV of S/ 91,980,836.70 and IRR of 24%.

Introducción

Después de haber investigado y analizado trabajos e investigaciones anteriores de diversos autores, podemos redactar los siguientes antecedentes, los cuales aportan base teórica para un análisis y discusión de la presente investigación.

García (2009) describe como una instalación diseñada para maximizar los beneficios de la energía química encontrada internamente en la biomasa a una central térmica de biomasa. En estas plantas, la combustión de la biomasa libera su energía en forma de calor en un horno especializado. Durante este proceso, se generan gases como CO₂, H₂O y otros compuestos, que transmiten su calor a diferentes calderas por la que circulará el agua. Esta transferencia de calor convierte el agua en vapor. El vapor resultante se dirige a una turbina donde se expande bajo presiones que varían entre 0.06 y 0.120 bar absolutos. Esta expansión transforma la energía potencial del vapor en primer lugar en energía de tipo cinética y luego en energía mecánica de tipo rotativa. La conexión del eje de la turbina a los generadores eléctricos permite la conversión final de esta energía mecánica en electricidad.

Garrido (s. f.) menciona que una central de este tipo cuenta con varios componentes clave, entre los cuales se encuentran un sistema para llevar la biomasa hasta el lugar de la caldera, una caldera de tipo incineración, turbinas de flujo de vapor, generadores eléctricos, así como cada sistema eléctrico de baja, media y alta tensión. También dispone de diversos sistemas auxiliares que son esenciales para su operación.

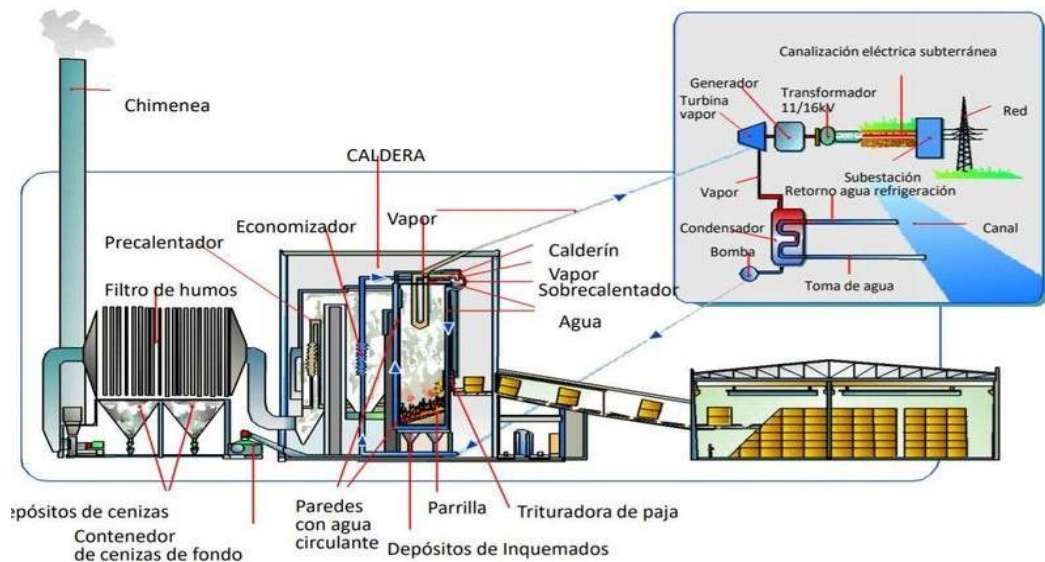


Figura 1. Central térmica de biomasa

Nota. La figura representa las partes de una central de tipo térmica en base a biomasa.

Bgreenproject (2013) explica que la conversión de la biomasa implica exponerla a diversos procesos, los cuales varían en relación del producto final que se requiera tener. Estos procesos son clasificados en tres categorías principales:

- Procesos físicos: Comprenden la reducción o compactación de volumen para emplear la biomasa directamente como combustible, además del secado previo que la prepara para tratamientos térmicos posteriores.
- Procesos termoquímicos: Emplean el calor con el objeto de convertir la biomasa, siendo más eficientes con materiales de baja humedad como madera, cáscaras de frutos secos y paja. Los principales procesos termoquímicos son:
 - o Combustión: Involucra la incineración de cada material en presencia de un 20-40% de aire a temperaturas mayores en un rango de 599 y menor a 1301 grados Celsius, siendo el método menos complejo para generar calor útil.
 - o Pirólisis: Es la descomposición térmica de la biomasa a unos 500°C sin oxígeno, generando oxígeno, hidrocarburos, óxidos de carbono, líquidos

hidrocarbonados y cada residuo sólido carbonoso. Este proceso es comúnmente empleado para la producción de carbón vegetal.

- Gasificación: Un proceso de combustión que produce hidrógeno, CO₂, metano y CO en diversas proporciones. Se optimiza con una concentración de oxígeno entre 10 y 50% y temperaturas de 700- 1500°C, mejorando la calidad del gas producido con mayor cantidad de oxígeno.
- Co-combustión: Combina la biomasa como combustible con el uso de carbón en calderas para la generación de calor, disminuyendo así el consumo de carbón y cada emisión de CO₂.
- Procesos bioquímicos: Estos procesos aprovechan microorganismos para descomponer la biomasa, especialmente en condiciones de alta humedad. Los microorganismos inician la degradación. Los principales procesos bioquímicos son:
 - Digestión anaerobia: Un proceso de tipo biológico natural donde la materia no inorgánica se descompone sin oxígeno, produciendo biogás (una mezcla de metano y dióxido de carbono), así como digestato, que puede ser empleado como fertilizante agrícola (Cerdá, 2012).
 - Fermentación alcohólica: Transforma los carbohidratos presentes en cada planta en etanol, que es empleado como combustible en cada proceso de combustión.
 - Fermentación metánica: Una forma de digestión anaerobia en la que la materia orgánica fermenta para producir biogás.

Cada uno de estos procesos tiene sus propias características y aplicaciones, permitiendo aprovechar diferentes tipos de materia biomasa para la producción de energía de manera eficiente y sostenible.

La biomasa ofrece diversas aplicaciones para su transformación en energía útil:

- Generación de vapor y calor: La combustión de biogás o biomasa produce energía en forma de calor, que logra ser el objetivo principal y/o general en

sistemas de cocción y calefacción, o un sub-producto en plantas de cogeneración.

- Aprovechamiento del biogás: Este combustible, obtenido por digestión anaeróbica o gasificación, tiene múltiples usos. Puede alimentar cada motor de combustión de tipo interna para generar electricidad, proporcionar climatización y calefacción en diversos sectores, e incluso impulsar vehículos adaptados.
- Fabricación de biocombustibles: El biodiesel y etanol, derivados de la biomasa, se perfilan como alternativas a los combustibles fósiles en el transporte. Brasil ha demostrado su viabilidad a gran escala durante más de dos décadas. En Estados Unidos y Europa, su producción va en aumento, comercializándose en mezclas como el E20 (20% etanol, 80% gasolina). Aunque actualmente requieren subsidios, se espera que la expansión de cada cultivo energético y cada economía de escala reduzcan costos y aumenten su competitividad.
- Electricidad verde: La generación eléctrica a partir de biomasa se considera ecológica por su neutralidad en emisiones de CO₂. Esta alternativa energética podría incentivar mayores inversiones en tecnologías eficientes, impulsando el sector bioenergético.
- Cogeneración: Este proceso, que produce simultáneamente vapor y electricidad, es aplicable en diversas industrias. En América Central, es común en el sector azucarero, donde se aprovechan residuos como el bagazo. Recientemente, se ha buscado optimizar este proceso para generar excedentes de electricidad y venderlos a la red.

Fernández et al. (2014) afirman que una planta de tipo incineración controlada de cada residuo sólido debe encargarse de decrecer cada desecho municipal y, al mismo tiempo, generar calor y electricidad. Sin embargo, el proceso no se detiene ahí. La planta también debe gestionar los gases resultantes de la combustión para minimizar la liberación de cada partícula potencialmente dañina para la salud humana y el medio

ambiente. Es así que, el sistema de tratamiento de gas incluye diferentes maquinarias y/o equipos diseñados para reducir al máximo las emisiones de cada partícula nociva antes de que los gases sean liberados a la atmósfera a través de la chimenea.

Fernández et al. (2014) explican que, para eliminar cada gas ácido en el flujo de los diversos gases, es capaz de utilizarse métodos húmedos, semiseco y de lavado seco:

- Proceso seco y semi-seco: En estos métodos, se inyecta un agente neutralizador en el flujo de gases. En el proceso seco, se pulveriza cal sólida directamente sobre los gases, mientras que en el proceso semi-seco, la cal se usa en forma de lechada. Ambos métodos generan residuos sólidos que deben ser gestionados.
- Proceso húmedo: Este método utiliza dos etapas de lavadores húmedos (scrubbers), que son cámaras donde se inyecta agua pulverizada, mezclada con reactivos. En la primera etapa, se enfrían los gases y se absorben compuestos halógenos y mercurio. El HCl y el HF se absorben al contacto con el agua pulverizada. El proceso húmedo consume menos reactivos, pero genera aguas residuales que necesitan tratamiento adicional. El proceso semi-seco reduce el consumo de reactivos en comparación con el proceso seco y no produce aguas residuales.
- Eliminación de óxidos de nitrógeno (NO_x): Fernández et al. (2014) indican que los óxidos de nitrógeno pueden formarse de tres maneras durante la combustión:
 - Térmica: El nitrógeno del aire se oxida a óxidos de nitrógeno a altas temperaturas, siendo esta formación directamente proporcional a la presencia de oxígeno y aumentando con la temperatura.
 - Combustible: Se forma a partir de la oxidación del nitrógeno en los residuos durante la incineración.
 - Reacciones con radicales: El nitrógeno del aire puede reaccionar con radicales CH para formar HCN, aunque esta forma de producción es menos significativa.

Cada emisión de NO_x puede disminuirse al implementar medidas tanto primarias como secundarias. (Fernández et al., 2014)

Citando a Fong (2019), su investigación tuvo el objetivo de proponer una respuesta efectiva para el tratamiento de cada desecho sólido orgánico y aguas residuales, que además permitiera generar electricidad y reutilizar el agua tratada en fertirriego. Los resultados incluyeron el diseño de dos biodigestores con un volumen de 19,258.02 metros cúbicos y una eficiencia del 70%. Así determinó que 1 tonelada de biomasa residual produce 66.15 metros cúbicos de biogás, y es posible realizar la instalación de un generador eléctrico de 0.25 MW. El análisis de viabilidad económica arrojó un VAN de 669.12 y un TIR del 16.7539%. El autor concluyó que se podría generar 1.1 MW de energía eléctrica y que el sistema biodigestor permitiría realizar un ahorro de hasta un 85% de los consumos de electricidad.

En esa misma línea Huamán (2020), en su tesis tuvo el objetivo de analizar y diseñar una central térmica orientada a crear una matriz energética sostenible. Esta central, superando las diferencias en el poder calorífico, produce valor, calor y electricidad, ya sea de manera independiente o conectada al Sistema Eléctrico Nacional. El estudio fue de tipo descriptivo con un diseño no experimental, donde tuvo como muestra la central térmica de Chiclayo. Logró obtener los siguientes resultados: la central térmica tiene una potencia nominal de 7 MW, potencia firme de 6500 kW, potencia mínima 6000 kW, potencia máxima 7500 kW, potencia estable 6000 kW; en relación a la viabilidad económica proyectó una inversión de USD 3 174 896.50 durante el periodo de construcción. Concluyó que la tecnología más adecuada será la gasificación por pirolisis trabajando con el ciclo Rankine de generación de vapor sobrecalentado con 20 tm/h como capacidad nominal produciendo de 20 a 22 MW/h, un TIR de 29.45 % y un VAN de 4 374.804 indicando que el proyecto fue viable.

Tineo (2020), su estudio tuvo como objetivo realizar un estudio del contenido energético de la biomasa residual de la provincia de Chiclayo para poder generar energía eléctrica con la finalidad de construir una central térmica aprovechando los residuos sólidos de la ciudad. La metodología empleada fue de tipo de investigación exploratoria y descriptiva cuantitativa. La población fue la cantidad total de residuos sólidos

producidos en Lambayeque y su muestra el total de residuos sólidos producidos en la Provincia de Chiclayo. Los resultados encontrados sobre la energía calorífica que genera la biomasa residual mediante el proceso de combustión en Chiclayo es 6 120 780 168,88 kJ, lo cual resulta eficiente para una posible generación eléctrica. De acuerdo a la energía calorífica calculada, se evaluó que la posibilidad de construir una central térmica que utilice la biomasa residual como combustible, es factible, puesto que tendría una potencia instalada de 19,13 MW. Concluyendo que la estimación del valor actual neto es 223 934 588,49 y de la tasa interna de retorno es 32%, estos valores son positivos, además, el período de recuperación del capital sería en 4 años, lo cual demuestra que este proyecto es rentable.

Imán (2021), su estudio tuvo como objetivo determinar la producción de biomasa residual pecuaria en el campus de la UNALM y su potencial energético para abastecer parcialmente la demanda energética de manera eficiente. Se obtuvo una producción promedio de 7397 kg/día de residuos pecuarios de aves, vacunos, ovinos, porcinos, equinos y animales menores en un periodo de 10 años, los cuales al ser convertidos en biogás tienen un potencial energético de 745 Mwh/año. Este potencial energético representa el 17.35 por ciento del consumo energético que tuvo la UNALM en el año 2018, el cual equivale a s/. 311 891.28. Por lo tanto, la biometanización de los residuos biodegradables del campus UNALM podría convertirse en una alternativa eficaz en la gestión tradicional de los residuos, capaz de generar energía renovable como el biogás; reducir el volumen y peso de los residuos que van a los rellenos sanitarios y disminuir la emisión de metano a la atmósfera.

Según Barandiaran (2022), su tesis tuvo el objetivo de desarrollar un diseño de planta de energía eléctrica renovable para brindar valorización energética a los residuos sólidos municipales en el distrito de Ferreñafe. La metodología utilizada para la investigación consta de archivos provenientes de la municipalidad, específicamente, sobre la gestión de los residuos sólidos. Halló los siguientes resultados, donde determinó que el total de cada residuo sólido municipal en el año 2019 asciende a las 29.528 toneladas por día, realizó una proyección donde para el 2039 el distrito generará 46.85 toneladas por día logrando un potencial energético de electricidad de 732 600 kWh/año;

halló también el área total donde se instalará la planta de biogás obteniendo 19 635.7924 metros cuadrados; respecto al análisis económico, determinó un VAN de S/ 12 620 342, TIR de 65% y relación Beneficio/Costo de 4.70996607. Así el autor concluyó que la forma de diseño de la planta a base de biogás para la generación de electricidad es una alternativa viable con el objeto de mejorar múltiples distritos que actualmente no gestionan adecuadamente sus residuos sólidos municipales. Además, el estudio mostró unas valorizaciones energéticas de 732600 kWh cada año, con la planta generadora ocupando un área aproximada de 20000 metros cuadrados. El análisis financiero y/o económico determinó resultados positivos, indicando que la factibilidad económica del proyecto es sólida, con un VAN de S/ 12,620,342 y un TIR del 65.0%.

Duque (2022), su estudio se desarrolló bajo el objetivo de caracterizar una central térmica de cogeneración a partir de la gasificación de biomasa residual producida en la nueva zona norte de la ciudad de Medellín. El modelo presentó una predicción aceptable de los datos evaluados, con un error entre 2.61% y 0.96%. Fueron evaluados parámetros que influyen en el desempeño de la planta tales como, humedad en la biomasa, relación de equivalencia, tipo de agente gasificante, y grado de carga de la planta. Se encontró, que la humedad influye de manera negativa en el PCI del syngas y en la eficiencia de gasificación. En la biomasa la humedad debe ser lo más baja posible, menor al 25%. La relación equivalente, fue un parámetro influyente en el desempeño de la planta, donde los valores más bajos presentaron un mejor desempeño, para un ER de 0.2 el syngas presentó un PCI 6099 kJ/m³ y para un ER de 0.55 un PCI de 1196 kJ/m³. Por otra parte, el desempeño de la planta operando a una potencia de 24 kWe, alcanzó una eficiencia de generación de 19.33%, y una eficiencia de cogeneración de 49.71%, con un ER de 0.358, un PCI del syngas de 3142 kJ/m³ y una CGE de 64.71%. Finalmente, se realizó un análisis económico de la planta APL PP30 (24kWe) y POWER PALLET 50 (48kWe) las cuales presentaron un costo nivelado de energía \$US/kWh 0.117 y \$US/kWh 0.084, respectivamente, operando 24 h/día.

Jimenez (2022), su estudio tuvo el objetivo de realizar un estudio de factibilidad para la creación de una central eléctrica aprovechando los residuos sólidos de la ciudad. La metodología fue de tipo exploratoria y descriptiva cuantitativa. La población se

consideró la cantidad total de residuos sólidos producidos en Mariscal Nieto y muestra total de residuos sólidos producidos en la Provincia de Mariscal Nieto. Los resultados encontraron que la energía calorífica que genera la biomasa residual mediante el proceso de combustión es 6 120 780 168,88 kJ, lo cual resulta eficiente para una posible generación eléctrica. De acuerdo con la energía térmica calculada, con una capacidad instalada de 19.13 MW, se evaluó como factible la posibilidad de construir una central térmica utilizando biomasa residual como combustible. Concluyendo que el VAN estimado es de 223 934 588,49 con una tasa interna de retorno del 32%. Estos valores son positivos y el periodo de recuperación es de 4 años, lo que indica que el proyecto es beneficioso.

Paz (2022), su objetivo de su estudio fue realizar el diseño de una central termoeléctrica para la región Lambayeque, utilizando como fuente de energía el bagazo de caña de azúcar y cascarilla de arroz. La metodología usada fue de tipo de Investigación exploratoria y descriptiva cuantitativa. La población fueron el número total de hectáreas de caña de azúcar cultivadas y cosechadas en la región de Lambayeque, y como muestra el bagazo producto del procesamiento de la caña de azúcar en diversas fábricas de azúcar. Como técnica, se utilizará el análisis de contenido para recoger información de diversas fuentes bibliográficas (tesis, documentos, revistas, sitios web, etc.) sobre centrales térmicas de biomasa. Los resultados indicaron posterior a una breve comparación entre ambos residuos agrícolas, se inclinará por la opción del bagazo de caña de azúcar como materia prima de la central termoeléctrica debido a que, mediante su combustión, se logrará obtener el mismo porcentaje de energía térmica, pero utilizando menos cantidad de dicho residuo. Mediante el cálculo, aprovechando los datos proporcionados por el MIDAGRI, se determinó que la cantidad utilizable de bagazo de caña en el distrito de Pomalca es de 119 toneladas por día, con un potencial energético de 2 108 466 MJ, lo cual resulta eficiente para la generación de electricidad. En base al calor generado, debido al proceso de combustión del bagazo de la caña, y posterior al cálculo, se concluye que la capacidad instalada de la central térmica es de 19,52 MW. Concluyendo en base a la comparativa entre los tres principales productores de caña de azúcar en la región Lambayeque, se escogerá al distrito de Pomalca como lugar para la ubicación de la central. Así mismo, se desarrolló la distribución y selección de componentes de la central.

Con una inversión de 60 447 466,24 soles, los resultados de la evaluación económica son positivos, obteniéndose un valor actual neto (VAN) de 21 570 926,87, una tasa interna de retorno (TIR) del 14% y un periodo de recuperación del capital de 8 años; confirmando así la viabilidad económica del proyecto.

Rendón et al. (2023), su artículo tuvo como enfoque la creación de soluciones sostenibles que brinden servicios de energía a las regiones rurales desconectadas de la red eléctrica nacional, el Grupo de Investigación en Automática de la Universidad del Cauca ha concentrado sus esfuerzos en evaluar la viabilidad de uso de la biomasa residual agrícola generada en el proceso de producción de panela en el trapiche de la vereda López Adentro, ubicada en Caloto, municipio del departamento del Cauca. Para este estudio, se utilizó el software Homer Pro, donde se simuló el sistema propuesto en el cual se contrastaron las variables técnica y económica con respecto a la alternativa de conexión a la red eléctrica nacional. Los resultados indicaron que el sistema con biodigestor alimentado con el bagazo generado por el trapiche, es capaz de abastecer la demanda de la carga, y su implementación es un 37.8% más costosa que el valor de conexión a la red nacional.

Serrato (2024), su investigación tuvo el objetivo de diseñar una central térmica que utilice biocombustible a partir de la biomasa de los residuos sólidos urbanos de la localidad de Chiclayo para la generación de energía eléctrica. La metodología aplicada fue de tipo aplicada, diseño cuasi-experimental. Su población fue la cantidad total de Residuos sólidos urbanos producidos en la Provincia de Chiclayo y su muestra es el total de residuos sólidos urbanos en la Provincia de Chiclayo. Para la recolección de datos se utilizó las técnicas de observación y revisión documentaria, para los instrumentos se empleó la ficha de control de diseño, la ficha de parámetros y la ficha de revisión documentaría. La bibliografía revisada indica que por habitante se tiene 0.45kg/día de residuos sólidos urbanos. Para el cálculo de la capacidad de la biomasa se realizó una proyección estadística de 20 años obteniendo de esta manera un promedio de 0.573 kg/hab/día de residuos sólidos urbanos, sin embargo, mediante los datos obtenidos en investigaciones previas se verificó que solo el 50% de los residuos sólidos corresponde a la biomasa. Mediante el modelo matemático de Landfill Gas Emission Model

(LandGEM) se halló una cantidad de biogás de 61.79m³/h. Mediante el uso del ciclo termodinámico Brayton se pudo calcular los kW de trabajo tanto del compresor como de la turbina. El análisis del ciclo termodinámico y las distintas ecuaciones empleadas arrojaron una potencia de 844.77 kW para el compresor y 2361.04 para la turbina. Otro dato hallado fue la eficiencia del ciclo termodinámico, la cual fue de 38%. El trabajo neto que pasará a ser energía eléctrica es de 1.52 MW. Con la información de potencias y capacidades se procedió a seleccionar cada elemento del sistema. Por último, el análisis económico realizado indicó que el proyecto 9 tiene un TIR de 27% y un periodo de recuperación de la inversión al 4to año.

Con el fin de realizar una investigación adecuada a las bases teóricas, se deberá realizar una adecuada fundamentación teórica, la cual apoya el proyecto.

La biomasa abarca todo material orgánico proveniente de seres vivos, como vegetales y animales, que tiene el potencial de ser convertido en energía. Este concepto engloba una amplia variedad de elementos, desde partes de plantas como madera, hojas y cáscaras, hasta desechos de origen animal como el estiércol, pasando por residuos de la actividad humana como los restos del procesamiento del café o las aguas residuales. En esencia, cualquier sustancia que tenga su origen en organismos vivos puede clasificarse como biomasa. Cuando hablamos de la biomasa en el contexto de las energías renovables, nos referimos específicamente al uso y/o empleo de estos materiales no inorgánicos para la generación de energía. (Obremo, 2023).

Entre los tipos de biomasa se encuentran los siguientes:

La biomasa natural se produce en cada ecosistema de manera espontánea, sin necesidad de las intervenciones humanas, como en el caso de la leña y las ramas. Sin embargo, si este recurso se explota de manera intensiva, se compromete y/o vulnera la conservación y/o preservación del medio ambiente, lo que da a entender que ya no podría considerarse un combustible renovable y ecológico. (Aroca, 2021)

La biomasa residual proviene de actividades realizadas por el ser humano, como la agricultura, la ganadería, y las industrias maderera o agroalimentaria. A menudo,

deshacerse de estos residuos puede ser problemático, por lo que transformarlos en cualquier tipo de recurso con el fin de crear combustibles sostenibles se torna en una excelente alternativa. Este modelo de biomasa ofrece muchos beneficios como combustible, ya que no contamina, no afecta el entorno natural, tiene bajos costos de transporte y producción, así también genera empleo gracias a este tipo de actividad. (Aroca, 2021).

La producción agrícola que supera la demanda para alimentación humana no tiene por qué desperdiciarse. Estos excedentes pueden ser redirigidos y utilizados de manera provechosa como fuente de energía. Específicamente, pueden emplearse como combustible en instalaciones diseñadas para generar electricidad, así como en la fabricación de biocombustibles. (Aroca, 2021)

Existen plantaciones específicamente diseñadas con el propósito exclusivo de producir energía, conocidas como cultivos energéticos. Este grupo incluye tanto especies agrícolas ampliamente reconocidas, como la caña de azúcar y/o los cereales, que son capaces de ser redirigidas hacia la producción energética, como también variedades menos comunes en la agricultura tradicional. Entre estas últimas se encuentran plantas como la petaca, la cynara o el sorgo dulce, todas ellas cultivadas con el objetivo principal de generar energía. (Aroca, 2021)

Desde hace mucho tiempo, el humano ha estado empleando la materia de tipo biomasa como recurso de energía con el fin de realizar satisfactoriamente todas sus actividades diarias.

Sin embargo, con el desarrollo de los combustibles fósiles, la biomasa fue relegada a un segundo plano, convirtiéndose en una contribución no tan significativa a la realización de energía primaria. Hoy en día, debido a diversas variables que se detallan a continuación, la biomasa ha experimentado un renacimiento como fuente energética. (Endesa, s. f.) Según este autor, los factores que han favorecido el empleo de la biomasa como recurso de energía incluyen:

- El incremento de cada diferente precio de petróleo.
- La expansión de la producción agrícola.

- Las necesidades de encontrar alternativas energéticas.
- El cambio climático.
- La posibilidad de aplicar cada conocimiento científico y técnico para mejorar la adquisición de energía.
- Un entorno financiero positivo para el crecimiento de cada planta que utiliza materia de tipo biomasa como combustible y/o fuente de energía, gracias a cada subvención a la producción otorgada a estas plantas.
- Las restricciones normativas que dificultan otros proyectos, haciendo de la biomasa la opción más viable para asegurar una inversión rentable.

Torre (2012) señala que la gestión y/o administración de cada residuo sólido es una herramienta cuyo objetivo es optimizar y planificar cada acción necesaria con el objeto de mejorar la conducción y gestión de cada residuo sólido en una determinada área. Según el autor, las actividades clave para una gestión adecuada son las siguientes:

- La recolección: Consiste en todas las operaciones relacionadas con el acaparo de cada residuo de diversos tipos, que incluyen la sectorización y el almacenaje inicial para su traslado a una estación de tratamientos. Este proceso no solamente tiene como enfoque la recolección de cada residuo sólido y material reciclable, sino también su traslado hasta el lugar donde se vacían los vehículos de recolección. La recolección es un paso crucial en la administración de cada residuo sólido, ya que implica la interacción directa con los generadores de residuos. Una recolección eficiente puede mejorar significativamente la eficacia de todo el sistema de administración de residuos. Esto implica la implementación de horarios regulares de recolección, la utilización de contenedores adecuados y la educación de la comunidad sobre la correcta separación de residuos en origen.
- El transporte: Cada residuo sólido puede ser llevado directamente a una planta de tratamiento, a un área de procesamiento de materias, o a una instalación de

transferencia. Una instalación de transferencia es un conjunto de instalaciones donde se descargan los residuos recolectados por los equipos de recolección. Aquí, cada residuo se compacta mediante cada prensa estacionaria, se cargan en contenedores cerrados y se trasladan a vertederos o centros de eliminación para su vaciado. El transporte eficiente de residuos es importante para decrecer cada costo operativo y reducir el impacto ambiental. Esto puede implicar la optimización de rutas, el uso de vehículos de transporte adecuados y la implementación de tecnologías de seguimiento para mejorar la logística. Además, el transporte debe cumplir con las regulaciones locales y nacionales para garantizar la seguridad y prevenir la contaminación durante el traslado de los residuos.

- El tratamiento: Es la fase final a la que es sometido cada residuo sólido. La eliminación se refiere a la eliminación parcial y/o total de los residuos sin comprometer la salud y bienestar humano, así como el medio ambiente, mientras que la valorización permite recuperar energía y/o material. El tratamiento de residuos puede incluir distintas variedades de métodos, como el compostaje, la incineración, el reciclaje, con recuperación de energía, y el vertido controlado. La selección de la forma de tratamiento se basa en relación de cada factor como el tipo de residuos, la tecnología disponible, los costos, y las regulaciones ambientales. Es importante que el tratamiento se realice de manera que se maximice la recuperación de recursos y se minimice el impacto ambiental. Esto puede implicar la implementación de tecnologías avanzadas de separación y procesamiento de residuos, así como la búsqueda constante de nuevas formas de valorizar los materiales desechados.

Carrasco (2007) indica que, en primer lugar, un central tipo térmica de biomasa debe disponer de uno o más sistemas de pretratamiento, ya que la biomasa, tal como se obtiene en sus lugares de origen, generalmente no presenta las características adecuadas para las tecnologías de conversión energética. Por este motivo, es necesario realizar procesos previos, generalmente físicos, para acondicionar la biomasa. Estos procesos tienen como principales objetivos reducir y/o decrecer la humedad, ajustar el tamaño y

asegurar la uniformidad de la biomasa, con el fin de generalizar, o también estandarizar las condiciones de entrada en la caldera y maximizar la eficiencia del sistema de combustión. Según el autor, los procesos físicos más relevantes en la conversión energética de la biomasa están relacionados con la preparación de biocombustibles sólidos. Los principales y/o fundamentales procesos de con el objeto de pretratamiento de la biomasa incluyen:

- Corte o troceado: Este proceso se aplica a troncos y ramas gruesas obtenidas de labores forestales, conocidos como leña, ampliamente utilizados en zonas rurales como combustible doméstico. Para su uso en equipos de combustión, especialmente los más pequeños, es necesario cortarlos o trocearlos.
- Astillado: Consiste en reducir el tamaño de la biomasa a fragmentos de entre 3 y 10 cm de longitud, conocidos como astillas.
- Molienda: Algunos procesos de conversión energética requieren partículas de biomasa más pequeñas que las astillas, por lo que se realiza una reducción adicional de tamaño a menos de 2-3 cm, obteniendo así el producto final.
- Secado: Este proceso tiene como finalidad eliminar la humedad de la biomasa para obtener un producto con el contenido de agua adecuado para los procesos de conversión energética. La reducción de la humedad en biomasa lignocelulósicas húmedas puede lograrse mediante secado natural, aprovechando los fenómenos termogénicos causados principalmente por la acción microbiana cuando la biomasa se acumula en montones. Sin embargo, en climas muy húmedos o cuando se requiere un bajo contenido de humedad, se recurre a secado forzado utilizando aire caliente o vapor. Los secadores rotatorios son los equipos más comunes para este propósito, empleando aire caliente o vapor seco como agentes secantes. Estos equipos están equipados con aspas internas que facilitan el avance del material y su mezcla con el agente secante. La eficiencia de estos secadores, en condiciones normales de operación, suele ser del 60- 65%, lo que refleja la cantidad de energía necesaria para extraer el agua de la biomasa en comparación con la energía contenida en el combustible utilizado en la operación. El objetivo es eliminar

materiales que no aportan poder calorífico y obtener un combustible más homogéneo para alimentar la caldera. Además, en el proceso se pueden recuperar metales con valor comercial, lo que genera ingresos adicionales para la planta.

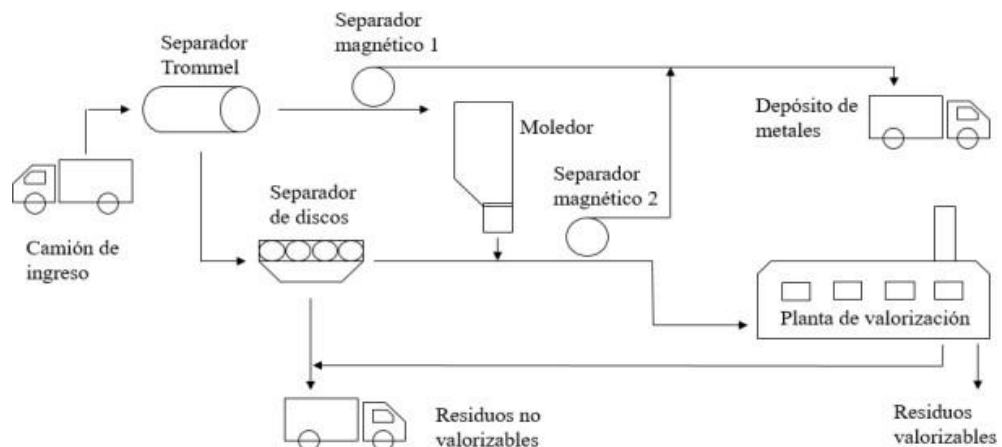


Figura 2. Proceso de pretratamiento de biomasa

Nota. La figura representa el proceso para tratar la biomasa. Fuente: (Cid, 2016)

Para estimar el potencial energético, primero es necesario evaluar el poder calorífico inferior (PCI) de la biomasa residual generada y su peso seco. A continuación, se calcula la cantidad de energía en forma de calor (KJ) que se puede obtener.

$$\text{Energía de la biomasa} = \text{PCI} \times \text{Peso seco de biomasa}$$

Donde:

- Energía de la biomasa: kcal
- PCI: Poder calorífico inferior (kcal/kg)
- Peso seco de la biomasa (kg)

El poder calorífico inferior representa la cantidad de calor que un material es capaz de liberar. Se puede medir mediante una bomba de calor o calorimétrica. Sin embargo, el poder calorífico de cada residuo sólido ya ha sido determinado en diversos estudios anteriores. Según Inge mecánica (s. f.), el PCI de cada residuo sólido es presentado en la

tabla siguiente:

Tabla 1.

PCI de biomasa incinerable

Tipo de residuo	PCI (Gj/t)	PCI (kcal/kg)	PCI (tep/t)
Papel y cartón	19,00	4550	0,46
Plásticos	32,71	7834	0,78
Materia orgánica	5,50	1317	0,13
Textil	18,47	4422	0,44

Fuente: (Inge mecánica, s. f.)

El peso seco y el contenido de humedad de la biomasa se determinan aplicando los porcentajes de humedad a cada tipo de residuo en función de su peso inicial.

Tabla 2.

Datos de varios residuos

Tipos de residuos	Peso específico kg./m3		Contenido de Humedad (% en peso)	
	Rango	Típico	Rango	Típico
Domésticos (no compactados)				
Residuos de comida (mezclados)	131-481	291	50-80	70
Papel	42-131	89	4-10	6
Cartón	42-80	50	4-8	5
Plásticos	42-131	65	1-4	2
Textiles	42-101	65	6-15	10
Goma	101-202	131	1-4	2
Cuero	101-261	160	8-12	10
Residuos de jardín	59-225	101	30-80	60
Madera	131-320	237	15-40	20
Vidrio	160-481	196	1-4	2

Latas de hojalata	50-160	89	2-4	3
Aluminio	65-240	160	2-4	2
Otros metales	131-320	1.151	2-4	3
Suciedad, cenizas, etc.	320-1.000	481	6-12	8
Cenizas	650-831	745	6-12	6
Basuras	89-181	131	5-20	15
Urbanos				
En camión compactador	178-451	297	15-40	20
En vertedero				
Medianamente compactados	362-498	451	15-40	25
Bien compactados	590-742	600	15-40	25
Comerciales				
Residuos de comida (húmedos)	475-950	540	50-80	70
Aparatos	148-202	181	0-2	1
Cajas de madera	110-160	110	10-30	20
Podas de árboles	101-181	148	20-80	5
Basura (combustible)	50-181	119	10-30	15
Basura (no combustible)	181-362	300	5-15	10
Basura (mezclada)	139-181	160	10-25	15
Industriales				
Fangos químicos (húmedos)	801-1.101	1	75-99	80
Cenizas volantes	700-900	800	2-10	4
Restos de cuero	100-250	160	6-15	10
Chatarra metálica (pesada)	1.501-2.000	1.78	0-5	-
Chatarra metálica (ligera)	498-900	740	0-5	-
Chatarra metálica (mezclada)	700-1.500	900	0-5	-
Aceites, alquitranes, asfaltos	801-1.000	950	0-5	2
Agrícolas				
Agrícolas (mezclados)	400-751	561	40-80	50
Animales muertos	202-498	359	-	-
Residuos de frutas (mezclados)	249-751	359	60-90	75
Estiércol (húmedo)	899-1.050		75-96	94
Residuos de vegetales (mezclados)	202-700	359	60-90	75

Fuente: (Aulas Asociación, 2015)

La biodegradación de materia orgánica, en ausencia de oxígeno y mediante la

acción de microorganismos y otros factores, da lugar a un gas combustible conocido como biogás. Este proceso puede ocurrir de manera natural o ser realizado en equipos especializados, como indica OSINERGMIN (2017).

El biogás se compone principalmente de una mezcla de gases, donde el metano (CH₄) representa entre el 50% y el 70% del volumen total, acompañado de dióxido de carbono (CO₂). Adicionalmente, contiene pequeñas cantidades de otros gases como hidrógeno (H₂), nitrógeno (N₂), oxígeno (O₂) y sulfuro de hidrógeno (H₂S). OSINERGMIN (2017) señala que su poder calorífico promedio oscila entre 18.8 y 23.4 megajulios por metro cúbico (MJ/m³).

La descomposición anaeróbica para la producción de biogás ofrece una solución eficiente para el manejo de residuos biodegradables. Este método no solo genera un valioso combustible, sino que también produce un efluente aprovechable como acondicionador de suelo o fertilizante general. Según OSINERGMIN (2017), esta característica hace de la producción de biogás una forma efectiva de tratar dichos residuos.

OSINERGMIN (2017) destaca la versatilidad del biogás como fuente de energía. Este combustible puede ser utilizado en diversos sistemas adaptados para su uso, incluyendo turbinas, plantas generadoras de gas, hornos, estufas, secadores y calderas, permitiendo la generación de energía eléctrica y térmica.

La digestión anaerobia, proceso mediante el cual se produce el biogás, ofrece múltiples ventajas ambientales. Según OSINERGMIN (2017), el biogás no solo permite generar energía de manera eficiente, sino que también contribuye a la protección del medio ambiente al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, disminuir las emisiones de metano y eliminar compuestos causantes de malos olores. Estos beneficios posicionan al biogás como una valiosa fuente renovable para la generación de energía.

En cuanto a las tecnologías de aprovechamiento, OSINERGMIN (2017) señala que los motores de combustión interna son los más utilizados actualmente. Sin embargo, las turbinas de gas, que van desde micro turbinas de 25 a 100 kW hasta unidades grandes

de más de 100 kW, ofrecen una eficiencia comparable a la de los motores de encendido por chispa y requieren menos mantenimiento. Para su uso en estos sistemas, es necesario eliminar el H₂S (a concentraciones menores de 100 ppm) y el vapor de agua del biogás. Mirando hacia el futuro, las celdas de combustible podrían convertirse en una opción atractiva para plantas de energía a pequeña escala, prometiendo una eficiencia superior al 60% y bajas emisiones.

Según la Comisión Federal de Electricidad (2012), la producción y/o generación de energía a partir de biogás incluye varios sistemas y equipos:

- Sistema de bombeo de gas: Utiliza un soplador para crear presión negativa en la red colectora, facilitando el transporte del biogás desde el relleno sanitario hasta la estación de filtración y acondicionamiento.
- Eliminador de humedad: Consiste en un condensador que extrae la humedad del biogás, con el agua devuelta al relleno sanitario.
- Medición de gas: Incluye analizadores para determinar la composición del gas, medidores de flujo para calcular con precisión el volumen de biogás, y un sistema automático para generar informes de datos.
- Módulo de acondicionamiento del biogás: Se encarga de eliminar impurezas del biogás. Después de eliminar las impurezas y la humedad, se usa un sistema de filtros o absorbentes para purificar el gas.
- Compresor de gas: Proporciona la presión necesaria para que el motor a gas funcione adecuadamente.
- Paquete moto generador: Incluye un motor de combustión interna a gas con bujía, similar a un motor de automóvil, pero diseñado para funcionar con biogás. Está conectado a un generador eléctrico que produce electricidad de bajo voltaje y también cuenta con un sistema de enfriamiento para el motor.

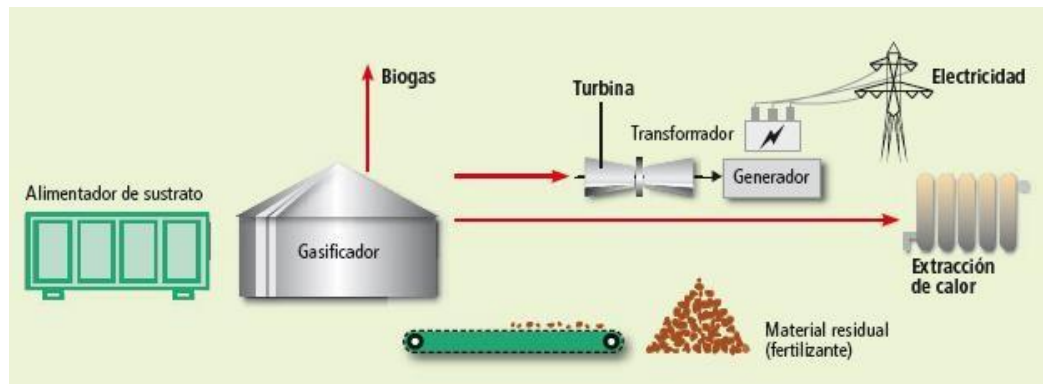


Figura 3. Sistema de generación pro biogás

Nota. Proceso de generación de biogás. Fuente: (Incomimex, 2014)

Ortiz (2017) señala que, para calcular las emisiones, es esencial primero evaluar la cantidad de biogás producido en un vertedero.

La siguiente ecuación se utiliza para determinar la cantidad de metano generado en un año:

$$QCH_4 = Lo(R)(e^{-kC} - e^{-kT})$$

Donde:

- Lo : Potencia de generación de metano (m^3/T de biomasa)
- R : Cantidad media anual de biomasa (T/año)
- K : Ratio de generación de metano (1/año) [los valores para:
 - Área de tiempo lluvioso = 0.04
 - Área de tiempo seco = 0.02]
- C : Tiempo de clausura del vertedero en años
- T : Tiempo desde el primer depósito de basura en años

Lo se define por la siguiente ecuación:

$$Lo = DOC (DOCf) (16/12) (F)(MCF)$$

Donde:

- DOC: Fracción de carbono orgánico de basura que se puede degradar Definida por la siguiente ecuación:

$$DOC = 0.4(\%papel \text{ y } textiles) + 0.17(\%orgánicos \text{ procedentes de jardines}) + 0.15(\%orgánicos \text{ de comida general}) + 0.38(\%madera)$$

- DOCf: Es la fracción de DOC que se transforma a gas Definida por la siguiente ecuación:

$$DOCf = 0.014(T) + 0.28$$

Donde T es la temperatura en la zona anaeróbica (normalmente es $35^{\circ}C$)

- F: Es la fracción de CH₄ en el gas gestionado (normalmente es 0.5)
- MCF: Es la cantidad de CH₄ en el biogás, donde los valores son:
 - Vertederos gestionados = 1
 - Vertederos no gestionados con una profundidad menor a 5 m = 0.4
 - Vertederos no gestionados con mayor profundidad = 0.8

Se determina una estimación de la potencia generada por el biogás disponible mediante la siguiente ecuación:

$$Potencia \text{ disponible [kW]} = \eta_t(PCI_{biogás})(Q_{biogás})$$

Donde:

- η_t : Rendimiento térmico de generación eléctrica (%)
- $PCI_{biogás}$: Poder calorífico inferior del biogás (donde el valor es normalmente 5,9748 kWh/m³)
- $Q_{biogás}$: Caudal del biogás capturado Q_{CH_4} (m³/hora)

Se determina una estimación de la energía eléctrica mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Electricidad [kWh/año]} = \text{Potencia disponible (factor de disponibilidad)} \\ (\text{horas funcionamiento al año})$$

La biomasa, si se obtiene de manera renovable y sostenible, puede lograr un balance positivo de CO₂. Para que esto ocurra, el consumo de biomasa debe ser menor que la capacidad de la Tierra para regenerarla, lo que permite que la materia orgánica absorba más CO₂ durante su crecimiento del que se libera al quemarse, sin incrementar la concentración de CO₂ en la atmósfera. Aunque el potencial energético de la biomasa podría satisfacer todas las necesidades energéticas globales, su uso completo implicaría una explotación masiva de los recursos forestales. Esto haría difícil mantener el consumo dentro de los límites de regeneración, disminuiría significativamente la energía neta disponible, y resultaría en el agotamiento de recursos, junto con efectos ambientales negativos como la deforestación y un notable incremento en las emisiones de CO₂ (Endesa, s. f.).

Consecuentemente se menciona el motivo por el cual se realiza este proyecto de investigación, denominada la justificación.

Justificación ambiental, el constante aumento de la cantidad de cada residuo sólido que el distrito de Chimbote 2024 genera diariamente, tiene consecuencias negativas en el medio ambiente y la salud de los ciudadanos, es por esto que con el tratamiento y aprovechamiento de la biomasa residual se puede decrecer cada efecto de la contaminación generando energía eléctrica.

Justificación social, el proyecto de investigación se justifica en cada beneficio que se logrará para la sociedad produciendo energía eléctrica para el uso de los ciudadanos y contribuyendo a disminuir los focos de contaminación generados debido a la biomasa residual de Chimbote 2024.

El problema planteado en el proyecto de investigación es plasmado mediante la siguiente interrogante ¿Es factible aprovechar la biomasa residual de Chimbote 2024 para la generación de energía eléctrica?

Se conceptualizan y operacionalizan de las variables que conforman el problema planteado anteriormente.

Sobre la variable Biomasa residual, tenemos:

Su definición conceptual, se refiere a cada residuo orgánico generado por las actividades humanas, como cada residuo sólido urbano (RSU) o los que provienen de la agricultura, ganadería o industria. Estos residuos se pueden clasificar en húmedos o secos. (REPSOL, 2023)

Sobre su definición operacional, se determina el potencial energético de la biomasa residual mediante los parámetros de la generación del biogás.

Para la variable Energía eléctrica, tenemos:

Su definición conceptual, la energía eléctrica es una forma de energía que proviene de cada carga eléctrica positiva y negativa en la materia que se equilibran. Esta energía es capaz de convertirse en diferentes modelos de energía, como energía mecánica, energía térmica y energía lumínica (luz). (ESSA, s. f.)

Sobre su definición operacional, se determina la potencia y energía eléctrica generada anualmente.

Obtendremos una hipótesis como respuesta a nuestro problema planteado, la cual es que si es factible aprovechar la biomasa residual de Chimbote 2024 para la generación de energía eléctrica mediante una central térmica.

El objetivo general para resolver el problema planteado es el de: Determinar el potencial energético de la biomasa residual para la generación de energía eléctrica de Chimbote 2024.

Con el fin de Con el fin de lograr nuestro objetivo general plantearemos objetivos específicos, las cuales son; identificar los criterios principales para la selección del terreno donde se ubicará la central térmica;

determinar la cantidad y caracterización de la biomasa residual de Chimbote 2024; Evaluar el potencial energético y la estimación de generación de biogás aprovechando la materia orgánica e inorgánica; determinar la potencia y energía eléctrica generada, y determinar la viabilidad económica de la central térmica para la generación de energía eléctrica de Chimbote 2024.

Metodología

Tipo de investigación

El actual trabajo de investigación fue de tipo aplicada ya que pretendió resolver un problema importante, el cual fue el constante aumento de la biomasa residual en el distrito de Chimbote 2024, dando solución mediante la generación de energía eléctrica a partir de esta.

Diseño de investigación

El diseño del presente trabajo de investigación fue descriptiva correlacional porque buscó visualizar el comportamiento y relación que hay entre la biomasa residual en la ciudad de Chimbote 2024 y la energía eléctrica generada.

Población

En el actual trabajo de investigación se consideró como población a la biomasa residual producida en la ciudad de Chimbote 2024.

Muestra

En el presente proyecto de investigación se consideró a la muestra igual que la población que es la biomasa residual producida en la ciudad de Chimbote 2024.

Técnicas

Observación directa e indirecta: Se utilizó esta técnica ya que la información fue obtenida directamente de los objetos de estudio e indirectamente a través de fotografías, gráficos y reportes del número total de biomasa de tipo residual en la ciudad de Chimbote 2024.

Revisión documental: Se utilizó con el fin de revisar en detalle cada tesis, trabajos de investigación, artículos y proyectos de grados que nos permitió recolectar la información y puntos importantes sobre las variables en común con el presente proyecto de investigación.

Búsqueda bibliográfica: Se empleó esta técnica porque se buscó y recolectó información detallada e importante sobre los temas que se desarrollaron en el presente trabajo de investigación.

Análisis documental: Técnica que nos permitió realizar un análisis y revisión de las tesis, trabajos de investigación, artículos y proyectos de grados, seleccionando las ideas relevantes y concisas con el objetivo de expresarlas sin ambigüedades.

Instrumentos

Ficha de observación: Documento donde se registró el lugar, ubicación, descripción, así como fotos con sus respectivas leyendas de cada una de ellas donde se encuentra la biomasa residual.

Ficha técnica: Documento en el cual se nos brindó la información a detalle de la cantidad y volumen de la biomasa residual en distintos plazos de tiempo (días, semanas, meses, años).

Resultados

- **Seleccionar el terreno donde se ubicará la central térmica.**

La central térmica o planta de generación se ubicará en el sector conocido como Pampa La Carbonera, distrito de Nuevo Chimbote 2024, con las siguientes coordenadas:

- Distrito : Nuevo Chimbote 2024
- Provincia : Santa
- Región : Áncash Ubigeo: 21904
- Latitud sur : 9°09'55.0"S (-9.165280)
- Longitud oeste : 78°27'49.0"W (-78.463600)
- Altitud : 25 msnm

Los criterios principales para la selección del terreno donde se ubicará la central térmica son los siguientes:

- Cercanía a la biomasa residual:

La central térmica se localizará a un radio no mayor de 1000 metros de la Pampa La Carbonera (donde actualmente se depositan los residuos sólidos), Distrito de Nuevo Chimbote, Provincia del Santa 2024.

- Proximidad con centros poblados:

Para tener facilidad a disponer de mano de obra calificada con el fin de realizar la obra de la central térmica, así como su generación y el consumo de esta misma energía.

- Configuración del lugar seleccionado y características del lugar:

La configuración o morfología y características no accidentadas del sitio y el terreno permiten reducir cada movimiento de tierra destinado al allanamiento del terreno, decreciendo así cada precio asociado a las obras civiles del proyecto.

- Lugar accesible para transporte terrestre de equipos, servicios e insumos

El terreno se encuentra a una distancia mínima de la ciudad, existiendo accesos que están bien definidos, pavimentados y pistas que permiten el transporte de equipos y uso de maquinarias.

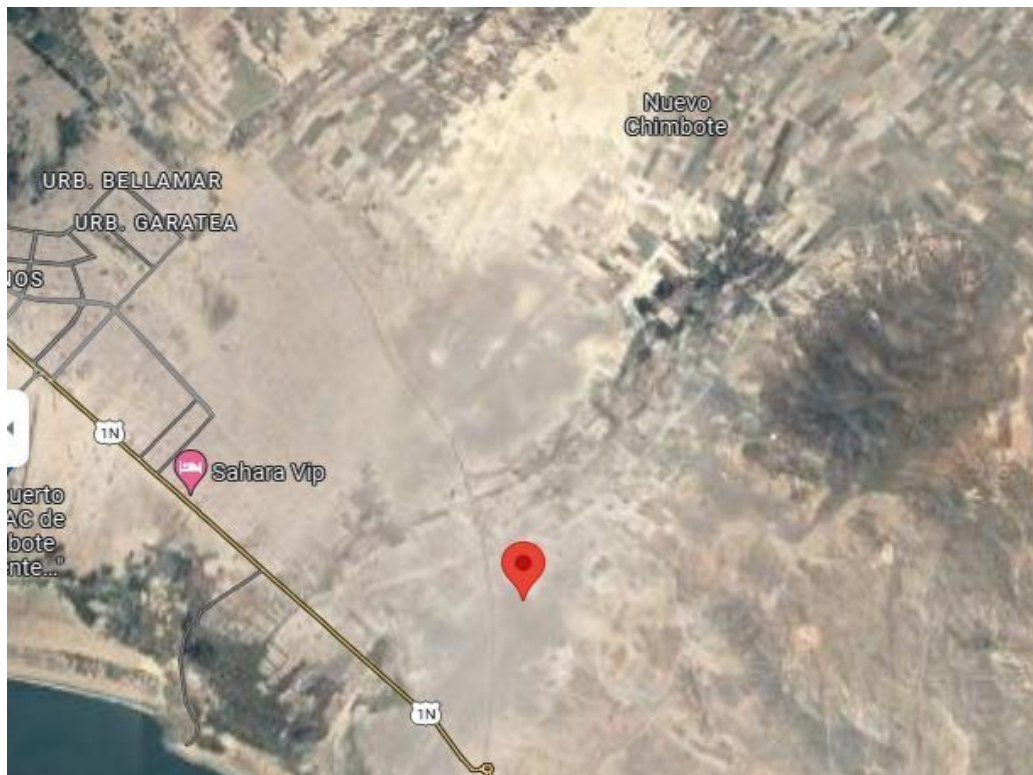


Figura 4. Imagen satelital de Pampa La Carbonera. Mapa por coordenadas del lugar en relieve

- **Determinar la cantidad y caracterización de la biomasa residual de Chimbo 2024.**

En el año 2022, la Gerencia de Gestión Ambiental de la Municipalidad Provincial del Santa reportó la cantidad de 320 toneladas al día en promedio de residuos que ingresaron a Pampa La Carbonera.

Tabla 3.*Composición y clasificación de los residuos en el distrito de Chimbote 2024.*

Tipo de RSU	Composición %
1. Residuos Aprovechables	86.97%
1.1. Residuos Orgánicos	51.14%
Residuos de alimentos (restos de comida, cáscaras, restos de verduras, frutas)	40.89%
Residuos de maleza y poda (restos de flores, hojas, tallos)	3.50%
Otros orgánicos (estiércol de animales, huesos)	6.75%
1.2. Residuos Inorgánicos	35.83%
Papel	5.50%
Blanco	2.50%
Periódico	0.90%
Mixto (páginas de cuadernos, revistas, otros similares)	2.10%
Cartón	3.69%
Blanco (liso y cartulina)	1.00%
Marrón (corrugado)	1.50%
Mixto (tapas de cuadernos, revistas, otros similares)	1.19%
Vidrio	4.10%
Plástico	7.68%
PET-Tereftalato de polietileno	1.80%
PEAD-Polietileno de alta densidad	2.29%
PEBD-Polietileno de baja densidad	1.89%
PP-Polipropileno	0.90%
PS-Poliestireno	0.70%
PVC-Policloruro de vinilo	0.10%
Tetra Brik (envases multicapa)	1.50%
Metales	1.95%
Textiles(telas)	1.10%
Caucho, cuero, jebe	1.00%
1.3. Residuos sanitarios	9.31%
Papel higiénico	4.50%
Pañales	3.74%
Toallas higiénicas	1.07%
2. Residuos no Reaprovechables	13.03%
Bolsas plásticas de un solo uso	4.50%
Pilas	0.10%
Tecnopor (poliestireno expandido)	1.44%
Residuos Inertes (tierra, piedras, cerámicos, ladrillos, otros)	4.80%
Restos de medicamentos	1.30%
Envolturas de snacks, galletas, caramelos	0.89%
Total	100.00%

Fuente: Plan Integral de la Gerencia de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos de la Municipalidad Provincial Del Santa, 2022

Con el fin de hallar la cantidad de biomasa residual por día, se realiza la siguiente operación: $Ton/día_{material} = Composición \% (Total\ ton/día)$

Tabla 4.

Cantidad de biomasa residual por tipo de residuo diario en ton/día.

Tipo de RSU	Cantidad ton/día
1. Residuos Aprovechables	278.30
1.1. Residuos Orgánicos	163.65
Residuos de alimentos (restos de comida, cáscaras, restos de verduras, frutas)	130.85
Residuos de maleza y poda (restos de flores, hojas, tallos)	11.20
Otros orgánicos (estiércol de animales, huesos)	21.60
1.2. Residuos Inorgánicos	114.65
Papel	17.60
Blanco	8.00
Periódico	2.88
Mixto (páginas de cuadernos, revistas, otros similares)	6.72
Cartón	11.81
Blanco (liso y cartulina)	3.20
Marrón (corrugado)	4.80
Mixto (tapas de cuadernos, revistas, otros similares)	3.81
Vidrio	13.12
Plástico	24.58
PET-Tereftalato de polietileno	5.76
PEAD-Polietileno de alta densidad	7.33
PEBD-Polietileno de baja densidad	6.05
PP-Polipropileno	2.88
PS-Poliestireno	2.24
PVC-Policloruro de vinilo	0.32
Tetra Brik (envases multicapa)	4.80
Metales	6.24
Textiles(telas)	3.52
Caucho, cuero, jebe	3.20
1.3. Residuos sanitarios	29.79
Papel higiénico	14.40
Pañales	11.97
Toallas higiénicas	3.42
2. Residuos no Reaprovechables	41.70
Bolsas plásticas de un solo uso	14.40
Pilas	0.32
Tecnopor (poliestireno expandido)	4.61
Residuos Inertes (tierra, piedras, cerámicos, ladrillos, otros)	15.36
Restos de medicamentos	4.16
Envolturas de snacks, galletas, caramelos	2.85
Total	320

Fuente: Elaboración propia

- **Evaluar el potencial energético aprovechando la materia inorgánica.**

En primer lugar, se determinó el contenido de humedad en cada residuo, donde se filtraron los residuos inorgánicos (comprende también el residuo sanitario) de la tabla 4. El porcentaje de humedad se obtuvo de la tabla 2, después se obtuvo el contenido de peso seco teórico de la siguiente forma:

$$\text{Contenido peso teórico (\%)} = 100\% - \text{Contenido humedad teórica (\%)}$$

Tabla 5.

Contenido de humedad y peso seco teórico de la materia inorgánica.

Residuos Inorgánicos	Contenido humedad	Contenido peso
Papel	6%	94%
Cartón	5%	95%
Vidrio	2%	98%
Plástico	2%	98%
Tetra Brik (envases multicapa)	5%	95%
Metales	2%	98%
Textiles (telas)	10%	90%
Caucho, cuero, jebe	6%	94%
Papel higiénico	6%	94%
Pañales	2%	98%
Toallas higiénicas	2%	98%

Fuente: Elaboración propia

En segundo lugar, para calcular el peso seco, se determinaron que residuos son potencialmente incinerables siendo:

- Papel
- Cartón
- Plástico
- Tetra Brik (envases multicapa)
- Textiles (telas)
- Residuos sanitarios:

- Papel higiénico
- Pañales
- Toallas higiénicas

Después se halló el peso seco teórico mediante:

$$\text{Peso seco (ton)} = \text{Peso inicial(ton)} (\text{Contenido peso teórico (\%)})$$

Tabla 6.

Peso seco teórico en toneladas y kilogramos.

Inorgánicos	Peso inicial (ton)	Contenido peso teórico (%)	Peso seco (ton)	Peso seco (kg)
Papel	17.60	94%	16.5440	16544.0
Cartón	11.81	95%	11.2195	11219.5
Plástico	24.58	98%	24.0884	24088.4
Tetra Brik (envases multicapa)	4.80	95%	4.5600	4560.0
Textiles(telas)	3.52	90%	3.1680	3168.0
Papel higiénico	14.40	94%	13.5360	13536.0
Pañales	11.97	98%	11.7306	11730.6
Toallas higiénicas	3.42	98%	3.3516	3351.6
TOTAL	92.10		88.1981	88198.1

Fuente: Elaboración propia

Nota. De las 92.1 toneladas de la materia inorgánica seleccionada como incinerable, 88.1987 toneladas corresponden al peso seco de estos residuos.

En última instancia se calculó el potencial energético de la biomasa utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Energía de la biomasa (kJ)} = \text{PCI (kcal/kg)} (\text{Peso seco(kg)})$$

Donde cada PCI de cada residuo clasificado se obtuvo de la tabla 1

Tabla 7.*Potencial energético de la materia inorgánica potencialmente incinerable.*

Residuos Inorgánicos	PCI (kcal/kg)	Peso seco (kg)	Energía (kcal)	Energía (kJ)
Papel	4550	16544	75275200	314951436.8000
Cartón	4550	11219.5	51048725	213587865.4000
Plástico	7834	24088.4	188708525.6	789556471.1104
Tetra Brik (envases multicapa)	4550	4560	20748000	86809632.0000
Textiles(telas)	4422	3168	14008896	58613220.8640
Papel higiénico	4550	13536	61588800	257687539.2000
Pañales	7834	11730.6	91897520.4	384499225.3536
Toallas higiénicas	7834	3351.6	26256434.4	109856921.5296
Energía de materia inorgánica (kJ)				2215562312.2576

Fuente: Elaboración propia

Nota. Sabiendo que 1 kcal equivale a 4.184 kJ, la energía de la materia inorgánica en forma de calor es de 2 215 562 312.2576 kJ.

- **Calcular la estimación de generación de biogás aprovechando la materia orgánica.**

Con el fin de calcular la generación de biogás, se extrajeron los datos de la materia orgánica que produce la ciudad de Chimbote 2024 por día, extraído de la tabla 5:

Tabla 8.*Residuos orgánicos producidos en la ciudad de Chimbote 2024.*

Residuos (ton/día)	Cantidad	%
<i>Residuos de alimentos (restos de comida, cáscaras, restos de verduras, frutas)</i>	130.85	40.89
<i>Residuos de maleza y poda (restos de flores, hojas, tallos)</i>	11.20	3.50
<i>Otros orgánicos (estiércol de animales, huesos)</i>	21.60	6.75

Fuente: Elaboración propia

Nota. Para la producción de metano solo se tomó en cuenta la materia orgánica ya que produce gases al descomponerse.

Se determinó el caudal del biogás a partir de la materia orgánica mediante la siguiente ecuación:

$$QCH_4 = Lo(R)(e^{-kC} - e^{-kT})$$

Primero se determinó el parámetro Lo:

$$Lo = DOC (DOCf) (16/12) (F)(MCF)$$

Donde se halló el subparámetro DOC mediante:

$$DOC = 0.4(\% \text{ papel y textiles}) + 0.17(\% \text{ orgánicos procedentes de jardines}) + 0.15(\% \text{ orgánicos de comida general}) + 0.38(\% \text{ madera})$$

Como solo se tomaron en cuenta los restos orgánicos productos de comida, jardines y estiércol, así como huesos, etc. Se obtiene lo siguiente:

$$DOC = 0.78(\% \text{ otros orgánicos}) + 0.17(\% \text{ orgánicos procedentes de jardines}) + 0.15(\% \text{ orgánicos de comida general})$$

Donde 0.78 se obtiene de la suma de los factores del % de papel y textiles con madera.

Hallando DOC:

$$DOC = 0.78(6.75) + 0.17(3.50) + 0.15(40.89)$$

$$DOC = 11.9935$$

Hallando DOCf mediante:

$$DOCf = 0.014(T) + 0.28$$

$$DOCf = 0.014(35) + 0.28$$

$$DOCf = 0.77$$

Con los subparámetros hallados, se determinó el parámetro Lo:

$$Lo = DOC (DOCf) (16/12) (F)(MCF)$$

Donde F se considera normalmente la constante 0.5 que representa la fracción de metano en el gas gestionado y MCF se consideró con un valor de 0.8 por ser la Pampa La Carbonera un vertedero no gestionado con una profundidad variable.

$$Lo = 11.9935 (0.77) (16/12) (0.5) (0.8)$$

$$Lo = 4.925330667 \text{ m}^3/\text{ton}$$

Se determinó la generación de CH₄:

$$QCH4 = Lo(R)(e^{-kC} - e^{-kT})$$

Donde R es la media por año de cantidad de residuos orgánicos:

$$R = \text{Residuos por día}(365 \text{ días})$$

$$R = (130.85 + 11.2 + 21.6)365$$

$$R = 59732.25 \text{ ton/año}$$

K se consideró 0.02 por ser un área de tiempo seco

C se consideró 0 por no haber sido aún clausurado el vertedero

T se consideró 20 años, al ser la proyección que se quiere realizar

$$QCH4 = 4.925330667 (59732.25)(e^{-0.02(0)} - e^{-0.02(20)})$$

$$QCH4 = 96992.1994119808 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$QCH_4 = \mathbf{11.0721688826462 \text{ m}^3/\text{hora}}$$

- **Determinar la potencia y energía eléctrica generada.**
 - **Potencia y energía generada por la materia inorgánica**

$$\text{Energía de la biomasa} = 2\,215\,562\,312.2576 \text{ kJ} \left(\frac{1 \text{ MJ}}{1000 \text{ kJ}} \right)$$

$$\text{Energía de la biomasa} = 2\,215\,562.3122576 \text{ MJ} \left(\frac{0.2778 \text{ kWh}}{1 \text{ MJ}} \right)$$

$$\text{Energía de la biomasa} = 615\,483.210345161 \text{ kWh} \left(\frac{1 \text{ MWh}}{1000 \text{ kWh}} \right)$$

Energía de la biomasa = 615.484 MWH

Se calculó la energía eléctrica mediante la siguiente ecuación:

$$E = \text{Energía de la biomasa}(\text{eficiencia central})(\text{factor de disponibilidad})$$

Eficiencia se consideró 0.30 ya que en el caso de las centrales térmicas esto varía de 0.30 a 0.40

Factor de disponibilidad se consideró 0.90

$$E = 615.848 \text{ MWH} (0.30)(0.90)$$

Energía eléctrica = 166 MWh/día

Potencia instalada se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$P_i = \text{Energía eléctrica}/\text{tiempo}$$

$$P_i = 166 \text{ MWh}/24 \text{ h}$$

$$P_i = 6.92 \text{ MW}$$

○ **Potencia y energía generada por la materia orgánica**

Potencia disponible se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Potencia disponible [kW]} = \eta t(PCI_{\text{biogás}})(Q_{\text{biogás}})$$

ηt se consideró 0.8

$PCI_{\text{biogás}}$ se consideró 5.9748 kW h/m^3 por ser el poder calorífico inferior del biogás

$$P_{\text{disponible}} = 0.8(5.9748 \text{ kW h/m}^3) (11.0721688826462 \text{ m}^3/\text{h})$$

$$P_{\text{disponible}} = 52.9232 \text{ kW}$$

Se calculó la energía mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Electricidad [kWh/año]} = \text{Potencia disponible} (\text{factor de disponibilidad}) \\ (\text{horas funcionamiento al año})$$

Factor de disponibilidad de la central térmica se consideró 0.90 al igual que el de la energía generada por materia inorgánica

$$\text{Energía} = 52.9232 \text{ kW (0.90) (8760)}$$

$$\text{Energía} = 417.246475 \text{ MWh/año}$$

$$\text{Energía} = 1.15 \text{ MWh/día}$$

Energía total se determinó hallando el total de las energías generadas por la materia orgánica e inorgánica:

$$\text{Energía} = 166 \frac{\text{MWh}}{\text{día}} + 1.15 \frac{\text{MWh}}{\text{día}}$$

$$\text{Energía total} = 167.15 \frac{\text{MWh}}{\text{día}} = 61009.75 \frac{\text{MWh}}{\text{año}}$$

- **Seleccionar los equipos y máquinas de la central térmica.**

Los equipos y máquinas necesarios que se consideraron para el aprovechamiento de la materia inorgánica son los siguientes:

- **Caldera**

Para la central térmica, se seleccionó una caldera del modelo HYBEX fabricada por METSO Power. Esta caldera, que tiene una configuración de lecho fluidizado, consume cerca de 1000 toneladas de biomasa al día. Está diseñada para generar entre 210 y 250 toneladas de vapor por hora, dependiendo del poder calorífico. El vapor producido se utiliza únicamente para la generación de electricidad a través de una turbina de vapor.

- **Turbina de vapor**

Se seleccionaron dos turbinas de vapor, cada una con una capacidad de 20 MW. En este caso, se utiliza el modelo SST-150 de Siemens. Esta turbina está diseñada para accionar un generador sincrónico a 1500 rpm o 1800 rpm y ofrece la ventaja de ser fácilmente transportable. A continuación, se detallan sus especificaciones:

Tabla 9.

Especificaciones técnicas de la turbina.

Características	Magnitudes
Potencia	Hasta 20 000 kW
Velocidad de giro	Hasta 13.300 rpm
Presión de entrada	Hasta 10.3 MPa
Temperatura de entrada	Hasta 778.15K
Extracción controlada	Hasta 1.6 MPa
Dimensiones	12m x 4m x 5m

○ **Compresor**

El compresor facilita la inyección de aire a la cámara de combustión a la velocidad requerida. Se consideró el compresor NASH por ser muy robusto y fiable ya que será empleado también para comprimir gases que puede ser nocivos, explosivos o corrosivos. Esto a su vez tiene una capacidad de 100 a 3400 m³/h con presiones de hasta 15 bar.

Los equipos y máquinas necesarios que se consideraron para el aprovechamiento de la materia orgánica mediante biogás son los siguientes:

○ **Filtro de biogás**

Para convertir el biogás en energía eléctrica, es necesario tratar el gas previamente para prevenir problemas en el motor y asegurar que la calidad del gas sea superior al 99% de CH₄. Se emplearán filtros de carbón activado móvil DESOTEC para desechar los componentes principales, como los siloxanos y el sulfuro de hidrógeno, así como los malos olores.

○ **Motor generador**

El motor-generador que se utilizará para generar electricidad fue seleccionado en función de la potencia calculada en el objetivo 3.5 (apartado 3.5.2), que indica una potencia aproximada de 53 kW. En consecuencia, se buscó en el mercado el motor-generador más adecuado, que presenta las siguientes características:

- Lugar de origen: Shandong, China
 - Marca: NPT
 - Número de Modelo: 100GFT
 - Factor de Potencia: 0,8
 - Potencia nominal: 100 kW
 - Tipo de salida: Corriente alterna trifásica
 - Voltaje nominal: 230/400 V
 - Corriente nominal: 180 Amp.
 - Velocidad: 1500/1800 rpm
 - Frecuencia: 50/60Hz
 - Diámetro x carrera: 126x155 (mm)
 - Desplazamiento: 11,6
 - Cilindro: 6 en línea
 - Método de enfriamiento: Refrigerado por agua
 - Alternador marca: Stamford
 - Eficiencia del alternador: 92,5%
- **Determinar la viabilidad económica de la central térmica.**

En el siguiente apartado se evaluó la viabilidad económica de la central térmica, considerando la inversión, ingresos por venta de energía y bonos de carbono, los cuales conformarán el flujo de caja del proyecto, se evaluó en un horizonte de 20 años para la ciudad de Chimbote 2024.

Tabla 10.*Inversión estimada de la central.*

Descripción	Precio	Unidad	Costo
Inversión en base a la generación con materia orgánica			
Biodigestor	1500	US\$/kW	S/ 285,405.00
Generador	300	US\$/kW	S/ 57,081.00
Terreno	1200	US\$/kW	S/ 228,324.00
Obras civiles	350	US\$/kW	S/ 66,594.50
Instalación	335	US\$/kW	S/ 63,740.45
Contingencia	288	US\$/kW	S/ 54,797.76
Ingeniería	541	US\$/kW	S/ 102,936.07
Puesta en marcha	250	US\$/kW	S/ 47,567.50
Costos operacionales	101	US\$/kW-año	S/ 384,345.40
Costos de mantenimiento	54	US\$/kW-año	S/ 205,491.60
Inversión en base a la generación con materia inorgánica			
Caldera HYBEX 210 ton/h	S/ 17,510,000.00	1	S/ 17,510,000.00
Turbogenerador de 20 MVA	S/ 15,920,000.00	1	S/ 15,920,000.00
Obras de construcción	S/ 12,593,000.00	1	S/ 12,593,000.00
Personal (50 personas)	S/ 50,155.00	50	S/ 2,507,750.00
Adquisición del terreno	S/ 4,177,498.60	1	S/ 4,177,498.60
Montaje y pruebas	S/ 3,358,000.00	1	S/ 3,358,000.00
Sistema de pretratamiento de los residuos	S/ 5,880,000.00	1	S/ 5,880,000.00
Ingeniería	S/ 2,071,190.00	1	S/ 2,071,190.00
Subestación	S/ 14,203,094.00	1	S/ 14,203,094.00
Sistema contra incendios	S/ 325,000.00	1	S/ 325,000.00
Iluminación y ventilación	S/ 208,650.00	1	S/ 208,650.00
	Suma preliminar		S/ 80,250,465.88
	Imprevistos (10%)		S/ 8,025,046.59
	TOTAL		S/ 88,275,512.47

Fuente: Elaboración propia.

Para determinar los ingresos por venta de energía se tuvo como referencia a las fichas técnicas (Anexo 3 hasta Anexo 6) de las centrales térmicas de biomasa según OSINERGMIN, donde la venta se encuentra entre 77 US\$/MWh a los 110 US\$/MWh, para continuar con el cálculo de ingresos por venta de energía, se tomó

el valor promedio entre ellos siendo 93.5 US\$/MWh (S/ 341.59 actualmente) con una inflación de 0.03 por año, también la generación de energía se tomó como constante.

Tabla 11.

Ingresos por venta de energía.

Año	Precio de venta	Producción de energía anual (MWh)	Precio total de venta anual
1	S/ 341.59	61009.75	S/ 20,840,320.50
2	S/ 351.84	61009.75	S/ 21,465,530.12
3	S/ 362.39	61009.75	S/ 22,109,496.02
4	S/ 373.26	61009.75	S/ 22,772,780.90
5	S/ 384.46	61009.75	S/ 23,455,964.33
6	S/ 396.00	61009.75	S/ 24,159,643.26
7	S/ 407.88	61009.75	S/ 24,884,432.56
8	S/ 420.11	61009.75	S/ 25,630,965.53
9	S/ 432.72	61009.75	S/ 26,399,894.50
10	S/ 445.70	61009.75	S/ 27,191,891.33
11	S/ 459.07	61009.75	S/ 28,007,648.07
12	S/ 472.84	61009.75	S/ 28,847,877.52
13	S/ 487.03	61009.75	S/ 29,713,313.84
14	S/ 501.64	61009.75	S/ 30,604,713.26
15	S/ 516.69	61009.75	S/ 31,522,854.65
16	S/ 532.19	61009.75	S/ 32,468,540.29
17	S/ 548.15	61009.75	S/ 33,442,596.50
18	S/ 564.60	61009.75	S/ 34,445,874.40
19	S/ 581.53	61009.75	S/ 35,479,250.63
20	S/ 598.98	61009.75	S/ 36,543,628.15

Fuente: Elaboración propia

Al producir biogás para generación de energía eléctrica se genera metano cada año el cual no es expulsado al ambiente y es por esto que existe un ingreso extra por venta de bonos de carbono, actualmente en el mercado de bono de carbono varia de 12 a 14 dólares por tonelada de metano producido, se tomó el promedio de 13 dólares (S/ 47.79 actualmente, con una inflación de 0.03 por año). Con el fin de realizar el cálculo de ingresos por venta de bonos de carbono, se estiman las toneladas de metano por año utilizando su densidad de 0.656 kg/m³, manteniendo el metano generado constante.

Tabla 12.*Ingresos anuales por bono de carbono.*

Año	Metano m³/año	Metano (ton/año)	Precio de venta	Ingresos
1	96992.2	63.6268832	S/ 47.49	3,021.64
2	96992.2	63.6268832	S/ 48.91	3,112.29
3	96992.2	63.6268832	S/ 50.38	3,205.66
4	96992.2	63.6268832	S/ 51.89	3,301.83
5	96992.2	63.6268832	S/ 53.45	3,400.88
6	96992.2	63.6268832	S/ 55.05	3,502.91
7	96992.2	63.6268832	S/ 56.71	3,608.00
8	96992.2	63.6268832	S/ 58.41	3,716.24
9	96992.2	63.6268832	S/ 60.16	3,827.72
10	96992.2	63.6268832	S/ 61.96	3,942.56
11	96992.2	63.6268832	S/ 63.82	4,060.83
12	96992.2	63.6268832	S/ 65.74	4,182.66
13	96992.2	63.6268832	S/ 67.71	4,308.14
14	96992.2	63.6268832	S/ 69.74	4,437.38
15	96992.2	63.6268832	S/ 71.83	4,570.50
16	96992.2	63.6268832	S/ 73.99	4,707.62
17	96992.2	63.6268832	S/ 76.21	4,848.85
18	96992.2	63.6268832	S/ 78.49	4,994.31
19	96992.2	63.6268832	S/ 80.85	5,144.14
20	96992.2	63.6268832	S/ 83.27	5,298.47

Fuente: Elaboración propia

Para determinar el flujo de caja y flujo de caja acumulado se tomó en cuenta una tasa de interés anual del 11.5% al tener el proyecto un nivel medio de riesgo, con ello se determina el Valor Actual Neto, el cual debe ser 0 (punto de equilibrio) o mayor que 0 (existiendo ganancia) lo que significa que el proyecto es viable o rentable. La Tasa Interna de Retorno debe ser mayor que la tasa de interés anual para que el proyecto sea viable de igual manera, cumpliendo estas dos condiciones (VAR y TIR) el proyecto se determina viable económicamente en ambos sentidos.

Tabla 13.*Flujo de caja.*

Año	Egresos		Ingresos		Flujo de caja	Flujo de caja acumulado
	Inversión	Mantenimiento	Venta de energía eléctrica	Venta de bonos de carbono		
0		S/ 88,275,512.47			-S/ 88,275,512.47	-S/ 88,275,512.47
1		S/ 1,576,444.00	S/ 20,840,320.50	S/ 3,021.64	S/ 19,266,898.14	-S/ 69,008,614.33
2		S/ 1,623,737.32	S/ 21,465,530.12	S/ 3,112.29	S/ 19,844,905.09	-S/ 49,163,709.24
3		S/ 1,672,449.44	S/ 22,109,496.02	S/ 3,205.66	S/ 20,440,252.24	-S/ 28,723,457.00
4		S/ 1,722,622.92	S/ 22,772,780.90	S/ 3,301.83	S/ 21,053,459.81	-S/ 7,669,997.19
5		S/ 1,774,301.61	S/ 23,455,964.33	S/ 3,400.88	S/ 21,685,063.60	S/ 14,015,066.41
6		S/ 1,827,530.66	S/ 24,159,643.26	S/ 3,502.91	S/ 22,335,615.51	S/ 36,350,681.92
7		S/ 1,882,356.58	S/ 24,884,432.56	S/ 3,608.00	S/ 23,005,683.97	S/ 59,356,365.89
8		S/ 1,938,827.28	S/ 25,630,965.53	S/ 3,716.24	S/ 23,695,854.49	S/ 83,052,220.39
9		S/ 1,996,992.09	S/ 26,399,894.50	S/ 3,827.72	S/ 24,406,730.13	S/ 107,458,950.52
10		S/ 2,056,901.86	S/ 27,191,891.33	S/ 3,942.56	S/ 25,138,932.03	S/ 132,597,882.55
11		S/ 2,118,608.91	S/ 28,007,648.07	S/ 4,060.83	S/ 25,893,099.99	S/ 158,490,982.54
12		S/ 2,182,167.18	S/ 28,847,877.52	S/ 4,182.66	S/ 26,669,892.99	S/ 185,160,875.54
13		S/ 2,247,632.20	S/ 29,713,313.84	S/ 4,308.14	S/ 27,469,989.78	S/ 212,630,865.32
14	S/ 2,315,061.16		S/ 30,604,713.26	S/ 4,437.38	S/ 28,294,089.48	S/ 240,924,954.80
15	S/ 2,384,513.00		S/ 31,522,854.65	S/ 4,570.50	S/ 29,142,912.16	S/ 270,067,866.96
16	S/ 2,456,048.39		S/ 32,468,540.29	S/ 4,707.62	S/ 30,017,199.53	S/ 300,085,066.48
17	S/ 2,529,729.84		S/ 33,442,596.50	S/ 4,848.85	S/ 30,917,715.51	S/ 331,002,782.00
18	S/ 2,605,621.73		S/ 34,445,874.40	S/ 4,994.31	S/ 31,845,246.98	S/ 362,848,028.97
19	S/ 2,683,790.38		S/ 35,479,250.63	S/ 5,144.14	S/ 32,800,604.39	S/ 395,648,633.36
20	S/ 2,764,304.10		S/ 36,543,628.15	S/ 5,298.47	S/ 33,784,622.52	S/ 429,433,255.88

*Fuente: Elaboración propia***Tabla 14.***Viabilidad del proyecto.*

VAN	S/ 91,980,836.70
TIR	24%
PAYBACK	5 años

Fuente: Elaboración propia

Nota. El VAN calculado tiene un valor mayor a 0 y la TIR es mayor que la tasa de interés anual, por lo tanto, el proyecto es viable económicamente, así también el tiempo de retorno de la inversión es de 5 años.

Análisis y discusión

Respecto a la valorización de los residuos orgánicos e inorgánicos, se determinaron un total de 320 toneladas por día en la ciudad de Chimbote 2024, mientras que según Barandiaran (2022) en su tesis titulada: *Valorización energética de residuos sólidos municipales en el distrito de Ferreñafe*, determinó un aproximado de 30 toneladas por día, se denota una gran diferencia de casi 11 veces menos que en Chimbote, esto se puede explicar desde distintos parámetros, como la densidad poblacional y la cantidad de residuos desechados por persona. Barandiaran (2022) también halló la energía eléctrica producida posible gracias a los residuos siendo este un valor de 732.6 MWh/año, siendo muchas veces menor que el valor hallado en el presente trabajo de investigación siendo este 61 009.75 MWh/año, esto también demostrando la relación muy estrecha entre la cantidad de residuos y la energía eléctrica producida. Barandiaran (2022) concluye que el proyecto es viable económicamente, al igual que en el presente trabajo de investigación se concluye de la misma manera, esto demostrado por los valores del VAN y TIR.

Fong (2019) en su proyecto titulado: *Estudio de un sistema de tratamiento de la basura orgánica y las aguas residuales de la cabecera departamental de Jutiapa mediante su conversión en energía eléctrica y fertiriego por medio de biodigestores*, determinó que con una tonelada de biomasa residual generó 66.15 metros cúbicos de biogás, mientras que en la tesis actual se calculó un caudal 11.1 metros cúbicos de biogás por hora con 163.65 toneladas por día de residuos orgánicos. Se evaluó la viabilidad económica y se obtuvieron valores del VAR y TIR en el margen aceptable, así como Fong (2019) concluyendo que su proyecto es rentable.

En relación con la viabilidad económica de la presente tesis, se obtuvieron parámetros que resultan interesantes para la inversión ya que el retorno de este mismo se dará en un plazo no mayor a 6 años, esto se evaluó en un solo escenario donde la generación fue constante en la proyección de 20 años.

Huamán (2020) en su tesis titulada: *Diseño de una central térmica de biomasa residual para una matriz energética sostenible - Chiclayo Metropolitano*, determinó una potencia nominal de 7 MW, mientras que en la presente tesis se calculó una potencia

instalada de 6.92 MW generada por la materia inorgánica y una potencia disponible de aproximadamente 53 kW generada por la materia orgánica, siendo esta muchas veces mejor que la anterior, esto puede deberse a que la materia no es aprovechada en su totalidad mediante el proceso de gasificación, la incineración con la materia orgánica después de haber producido el biogás es una alternativa para aumentar la potencia, así también Huamán (2020) obtuvo una generación de energía eléctrica de 20 a 22 MW/h, mientras que en la presente tesis se obtuvo 167.15 MWh/día, donde evaluándolo proporcionalmente respecto a la tesis de Huamán (2020) es aproximadamente 4 veces menos energía producida por hora.

Conclusiones

El terreno seleccionado para la instalación de la central térmica es La Pampa La Carbonera ubicada en el distrito de Nuevo Chimbote 2024, provincia del Santa, se seleccionó este lugar por su cercanía a la biomasa residual, cercanía a varios centros poblados, morfología y características del terreno no accidentados, así como siendo accesible el terreno para transporte terrestre de insumos, equipos y servicios.

De las 320 toneladas reportadas por la Gerencia de Gestión Ambiental de la Municipalidad Provincial del Santa en el año 2022, el 51.14% son residuos orgánicos, 35.83% residuos inorgánicos y el 13.03% residuos que no se pueden aprovechar, la cantidad de residuos aprovechables es de 278.3 ton/día, siendo residuos orgánicos 163.65 ton/día y residuos inorgánicos 114.65 ton/día.

El potencial energético en forma de energía calorífica de las materias inorgánicas es de 2 215 562.3 MJ.

Aprovechando la materia orgánica, se obtuvo un caudal de metano producido de 96992.2 m³/año y 11.1 m³/hora.

Se obtuvo un total de 167.15 MWh/día y 61009.75 MWh/año de energía eléctrica producida por la materia orgánica e inorgánica, y una potencia instalada de 6.92 MW respecto a la generación mediante materia inorgánica, así como una potencia disponible de 52.9232 kW respecto a la generación mediante materia orgánica.

Respecto a la viabilidad del proyecto, se obtuvo un Valor Actual Neto de S/ 91,980,836.70 siendo mayor que 0, la Tasa Interna de Retorno 24% siendo mayor que la tasa de interés anual (11.5%) denotando que el proyecto es viable y rentable económicamente, así también un Payback de 5 años, el cual es el tiempo de retorno de la inversión inicial.

Recomendaciones

Respecto a los resultados obtenidos en el apartado de la energía generada aprovechando la materia orgánica en comparación con la materia inorgánica, la energía eléctrica es mucho menor, por tanto, después de haber obtenido el biogás, es recomendable aprovechar la materia orgánica sobrante incinerándola como en el caso de la materia inorgánica, así obteniendo una generación de energía eléctrica extra y no desperdiciando el potencial energético de estos tipos de residuos.

Si bien la selección de terreno es la adecuada ya que en ese mismo lugar se encuentra el vertedero donde es el lugar de llegada de todos los residuos tanto orgánicos como inorgánicos, es recomendable determinar el área total de la central tomando en cuenta la distribución de cada tipo de residuo, así optimizando el área a utilizar en cada uno de ellos.

Si bien la evaluación y estimaciones de la viabilidad económica del proyecto fueron las adecuadas y se obtuvieron valores que permiten concluir que el proyecto es viable, se recomienda realizar un análisis con muchos más detalles, incluyendo la cantidad y volumen exacto de los materiales orgánicos e inorgánicos, esto porque en fechas festivas, aumenta considerablemente la cantidad de residuos, a su vez lo que favorece la cantidad de energía eléctrica generada.

Referencias bibliográficas

- Aroca, D. (2021). Qué es la biomasa. Tipos de biomasa y ventajas de su aprovechamiento. *energiotech.com*. https://energiotech.com/que-es-la-biomasa-tipos-de-biomasa-y-ventajas-de-su-aprovechamiento/#Tipos_de_biomasa
- Aulas Asociación. (2015). Propiedades Físicas, Químicas y Biológicas de los RSU. *Aulas Asociación*.
https://aulagaasociacion.files.wordpress.com/2015/03/4_propiedades_rsu.pdf
- Barandiaran, A. J. (2022). *Valorización energética de residuos sólidos municipales en el distrito de Ferreñafe*. (Tesis de pregrado, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo). <https://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/4726>
- Bgreenproject. (2013, 12 mayo). *Biomasa: Conversión en energía y sistemas de aprovechamiento*. Bgreenproject.
<https://bgreenproject.wordpress.com/2013/05/07/biomasa-conversion-en-energia-y-sistemas-de-aprovechamiento/>
- Carrasco, J. (2007, 1 enero). Combustión directa de la biomasa. *EOI*.
<https://www.eoi.es/es/savia/publicaciones/77694/combustion-directa-de-la-biomasa>
- Cerdá, E. (2012). Energía obtenida a partir de biomasa. *Cuadernos económicos de ICE*, 83. <https://doi.org/10.32796/cice.2012.83.6036>
- Cid, C. (2016). *Análisis técnico económico de planta térmica de generación de energía eléctrica a partir de residuos sólidos municipales para Santiago de Chile*.
<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/142055>
- Comisión Federal de Electricidad (CFE). (2012). *Generación de electricidad mediante residuos sólidos urbanos*. Olade.
<https://realc.olade.org/documento.php?doc=106229>
- Duque, D. (2022). Análisis técnico-económico de una central térmica de cogeneración a partir de la gasificación de biomasa residual producida en la nueva zona norte de

- la ciudad de Medellín. (Tesis de pregrado, Universidad de Antioquia).
<https://bibliotecadigital.udea.edu.co/entities/publication/ca8cfc27-56be-4c15-b83b-295c137c5d11>
- Endesa. (s. f.). *Central de biomasa*. Recuperado 19 de junio de 2023, de <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/centrales-renovables/central-de-biomasa>
- ESSA. (s. f.). *¿Qué es la energía eléctrica?* Recuperado 19 de junio de 2023, de <https://www.essa.com.co/site/comunidad/portal-kids/aprende-sobre-la-energia/-que-es-la-energia-electrica>
- Fernández, P. T., Klimczyk, E. I., Nasralla, M. D., & Roveri, F. J. (2014). *Estudio de factibilidad: generación de energía eléctrica a partir de la incineración controlada de RSU*. Instituto Tecnológico de Buenos Aires.
- Fong, G. (2019). *Estudio de un sistema de tratamiento de la basura orgánica y las aguas residuales de la cabecera departamental de Jutiapa mediante su conversión en energía eléctrica y fertiriego por medio de biodigestores*. (Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala).
<http://www.repositorio.usac.edu.gt/13959/>
- Garrido, S. G. (s. f.). *Descripción de una planta de biomasa*. Renovetec. Recuperado 19 de junio de 2023, de <http://energia.renovetec.com/energias-renovables/296-descripci%C3%B3n-de-una-planta-de-biomasa>
- Huamán, D. A. (2020). *Diseño de una central térmica de biomasa residual para una matriz energética sostenible – Chiclayo Metropolitano*. (Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo).
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/57415>
- Imán, I. A. M. (2021). *Potencial energético de la biomasa residual pecuaria en el Campus de la UNALM*. (Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina).
<https://repositorio.lamolina.edu.pe/items/52b33b91-f16d-436f-b5b6-b5279aa0cc9d>
- Incomimex. (2014, 10 septiembre). *Sistema de transporte para biomasa mediante cadena*.

- WordPress. <https://incomimex.wordpress.com/2014/01/27/alimentador-biomasa/>
- Ingemecanica. (s. f.). *Poder Calorífico*. Recuperado 19 de junio de 2023, de <https://ingemecanica.com/utilidades/poder-calorifico.html>
- Jimenez, L. F. (2022). Estudio de factibilidad de una central eléctrica que aprovecha la biomasa residual de la provincia Mariscal Nieto – Moquegua. (Tesis de maestría, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa). <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/cb308977-70ab-4594-85f5-eae3a5c35d3f>
- Obremo. (2023, 26 enero). *Qué es la biomasa y cuáles son sus ventajas*. Obremo. <https://www.obremo.es/biomasa/>
- Ortiz, O. N. J. (2017). *Diseño de una central eléctrica de biomasa conectado a la red eléctrica Puno, en el cerro de Cancharani - departamento de Puno*. <https://tesis.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/5777>
- OSINERGMIN. (2017). La industria de la energía renovable en el Perú: 10 años de contribuciones a la mitigación del cambio climático. *OSINERGMIN*. https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Energia-Renovable-Peru-10anios.pdf
- Paz, C. E. (2022). Diseño de una central termoeléctrica de biomasa para Lambayeque, utilizando residuos agrícolas como el bagazo de caña de azúcar y cascarilla de arroz. (Tesis de pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo). <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/10364>
- REPSOL. (2023, 7 marzo). *Qué es la biomasa y por qué es importante Convertir nuestros residuos en energía sostenible*. <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/transicion-energetica/biomasa/index.cshtml#:~:text=Biomasa%20residual,clasificarse%20en%20h%C3%BAmeda%20o%20seca>
- Rendón, M., Muñoz, E. & Obando, F, F, (2023). Uso de la biomasa como alternativa de generación eléctrica en zona no interconectada del departamento del Cauca. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9263089>

- Serrato, I. Y. (2024). Diseño de una central térmica que utiliza la biomasa residual de la localidad de Chiclayo. (Tesis de pregrado, Universidad Señor de Sipán). <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/13144>
- Tineo, J. D. (2020). Estudio de factibilidad de una central térmica que aproveche la biomasa residual de Chiclayo. (Tesis de pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo). <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/8198>
- Torre, N. (2012). *Evaluación de impacto de ciclo de vida (EICV) de una planta de incineración de residuos sólidos urbanos (RSU)*. Universidad de Cantabria.

Anexos

Anexo 1: Matriz de consistencia

Problema	VARIABLES	Objetivos	Hipótesis	Metodología
¿Es factible aprovechar la biomasa residual de Chimbote 2024 para la generación de energía eléctrica?	Independiente: Biomasa residual Dependiente: Energía eléctrica	Objetivo general: Determinar el potencial energético de la biomasa residual para la generación de energía eléctrica de Chimbote 2024.	Si es factible aprovechar la biomasa residual de Chimbote 2024 para la generación de energía eléctrica mediante una central térmica.	Tipo de investigación: Aplicada
		Objetivos específicos: Identificar los criterios principales para la selección del terreno donde se ubicará la central térmica.		Diseño de investigación: Descriptiva correlacional
		Determinar la cantidad y caracterización de la biomasa residual de Chimbote 2024.		Población y muestra: Biomasa residual producida en la ciudad de Chimbote 2024.
		Evaluar el potencial energético y la estimación de generación de biogás aprovechando la materia orgánica e inorgánica.		Técnicas e instrumentos de investigación: Observación directa e indirecta, Revisión documental, Búsqueda bibliográfica, Análisis documental, Ficha de observación y Ficha técnica.
		Determinar la potencia y energía eléctrica generada.		
		Determinar la viabilidad económica de la central térmica para la generación de energía eléctrica de Chimbote 2024.		

Anexo 2: Matriz de operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
Independiente: Biomasa residual	Se trata de los residuos orgánicos producidos a partir de la actividad del hombre. Por ejemplo, los residuos sólidos urbanos (RSU) o los que proceden de las actividades agrícolas, ganaderas o industriales. Esta, a su vez, puede clasificarse en húmeda o seca. (REPSOL, 2023)	Se determina el potencial energético de la biomasa residual mediante los parámetros de la generación del biogás.	Cantidad de biomasa residual	Peso de la biomasa (ton)
			Potencial energético	Rendimiento térmico (%) Poder calorífico inferior del biogás (kWh/m ³) Caudal de biogás (m ³ CH ₄ /hora)
Dependiente: Energía eléctrica	La energía eléctrica es una forma de energía que se deriva de la existencia en la materia de cargas eléctricas positivas y negativas que se neutralizan, puede transformarse en muchas otras formas de energía, tales como la energía luminosa o luz, la energía mecánica y la energía térmica. (ESSA, s. f.)	Se determina la potencia y energía eléctrica generada anualmente.	Electricidad	Energía eléctrica (kWh, MWh) Potencia eléctrica (kW, MW)

Anexo 3: Central termoeléctrica de biomasa Callao



CENTRAL TERMOELÉCTRICA DE BIOMASA CALLAO (2,4 MW)

EMPRESA CONCESIONARIA	EMPRESA CONCESIONARIA ENERGÍA LIMPIA S.A.C.		
DESCRIPCIÓN	La C.T. de Biomasa Callao utilizará los recursos provenientes de los residuos sólidos urbanos, tendrá una potencia de 2 MW y producirá 14 500 MWh de energía media anual.		
UBICACIÓN	Departamento: Lima Provincia: Callao Distrito: Ventanilla Altitud: 27 msnm		
DATOS DE LA CENTRAL	Potencia Instalada: 2,4 MW Tipo de Central: Termoeléctrica de Biomasa N° de Unidades de Generación: 2 Fuente de Energía: Biogás		
DATOS DEL MOTOR	Motor 1	Motor 2	
Potencia Nominal	1,2 MW	1,2 MW	
Velocidad Angular	1500 rpm	1500 rpm	
Marca	Caterpillar (Modelo CG170-12)	Caterpillar (Modelo CG170-12)	
Año de Fabricación	2016	2016	
DATOS DEL GENERADOR	G1	G2	
Potencia Nominal	1,2 MW	1,2 MW	
Tensión de Generación	0,48 kV	0,48 kV	
Factor de Potencia	0,8	0,8	
Marca	Caterpillar (MG/MIB 450L B4)	Caterpillar (MG/MIB 450L B4)	
Año de Fabricación	2016	2016	
DATOS DEL TRANSFORMADOR	T1	T2	
Potencia Nominal	1,5 MVA	1,5 MVA	
Relación de Transformación	0,48/10 kV	0,48/10 kV	
Marca	Delcrosa	Delcrosa	
Año de Fabricación	2016	2016	
DATOS DE CONTRATO	HITOS		
Tipo de Contrato	Suministro RER (4ta Subasta)	Cierre Financiero	22.12.2016 (si)
Firma de Contrato	17.05.2016	Llegada de Equipos	31.08.2017 (no)
Energía Ofertada	14,50 GWh/año	Inicio de Obras	01.11.2017 (si)
Precio de la Energía Ofertada	77,00 US\$/MWh	Inicio de Montaje	01.09.2017 (no)
Puesta en Operación Comercial	31.12.2017	POC	31.12.2017 (no)



Ubicación



Bases para Grupos de Generación



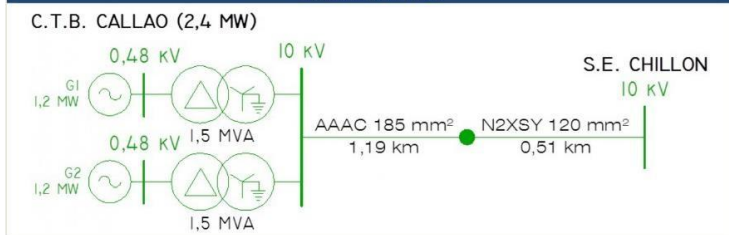
Losa para equipos de la Estación de Compresión



Terreno para Bases de Transformadores

- INFORMACIÓN RELEVANTE**
- El 16.02.2016 se adjudicó a EMPRESA CONCESIONARIA ENERGÍA LIMPIA S.A.C. con el proyecto C.T. de Biomasa Callao, como parte de la Cuarta Subasta de Suministro de Electricidad con Recursos Energéticos Renovables.
 - Mediante R.G.R.N. N° 023-2017-GRC-GRRNG del 04.09.2017, el Gobierno Regional del Callao aprobó el DIA del proyecto.
 - El 24.05.2017, el COES aprobó el Estudio de Pre Operatividad del proyecto.
 - Las obras se iniciaron el 01.11.2017, por demoras en la aprobación del DIA por el Gobierno Regional del Callao.
 - Se concluyó con la construcción de las bases de los Grupos Electrógenos. Se ha adecuado el terreno para el tendido de la malla de tierra, luego se rellenará y compactará hasta 0,30 m por debajo del nivel de las bases.
 - Se concluyó con la construcción de la losa para la instalación de los equipos de la Estación de Compresión de la Planta de tratamiento de biogás.
 - La Concesionaria informó que la instalación de los Grupos sobre sus bases se realizará cuando se concluya la construcción de las bases de los transformadores principales y la losa para la sala eléctrica, a fin de evitar la contaminación de los Grupos.
 - La POC estuvo prevista para el 31.12.2017. La concesionaria solicitó al MINEM ampliación de plazo para la POC hasta el 31.12.2018
 - El avance físico es de 20 %.
 - El monto de inversión aproximado será de 2,5 MM US\$, según lo indicado por la Concesionaria.

DIAGRAMA UNIFILAR



Anexo 4: Central de biomasa La Gringa



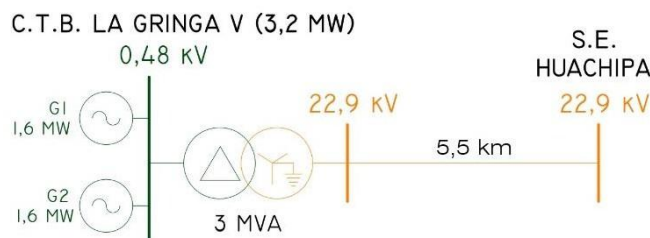
CENTRAL DE BIOMASA LA GRINGA V (3,2 MW)

DENOMINACIÓN	CENTRAL DE BIOMASA LA GRINGA V
EMPRESA CONCESIONARIA	PETRAMAS S.A.C.
TECNOLOGÍA	Generación con Biogás
UBICACIÓN	Lima Departamento Provincia Distrito Altitud
DATOS TÉCNICOS DE CENTRAL	3,2 MW Número de Unidades de Generación Fuente de Energía
DATOS DEL GRUPO	2x1,6 MW (Caterpillar G3520C) Velocidad Tensión de Generación
DATOS DEL TRANSFORMADOR	3 MVA Relación de Transformación
DATOS DE CONTRATO	Contrato RER (Segunda Subasta) Firma de Contrato Puesta en Operación Comercial (POC) Energía Anual Ofertada Precio de energía Ofertado Barra de Conexión

INFORMACIÓN RELEVANTE

- La C.T.B. La Gringa V se encuentra ubicada en las proximidades de Cajamarquilla, provincia de Huarochiri, departamento de Lima. Contempla la instalación de dos grupos electrógenos de 1,6 MW (c/u) que utilizarán el excedente de biogás de la C.T.B. Huaycoloro.
- La Empresa "Petramás S.A.C." está asumiendo las acciones del Concesionario "Energía Limpia" propietaria del Proyecto Central Biomasa "La Gringa", asumiendo las obligaciones de la inversión del costo total del proyecto.
- El proyecto sufrió retrasos por el cambio de motores Jenbacher 420 (1,4 MW) por Caterpillar G3520C (1,6 MW); por lo cual solicitó la modificación de la fecha de POC.
- Con carta COES/D/DP-412-2015 del 10.03.2015 el COES aprobó el Estudio de Operatividad de la C.T. La Gringa V.
- Con R.D. N° 063-2015-GRL-GRDE-DREM del 25.06.2015, el Gobierno Regional de Lima otorgó la concesión definitiva de generación con Recursos Energéticos Renovables.
- Las obras han sido concluidas.
- La concesionaria presentó las pruebas en blanco de sus equipos.
- Con carta COES/D/DP-1411-2015 del 31.08.2015, el COES aprobó la Operación Comercial de la C.T.B. La Gringa V, con una potencia efectiva de 3,2 MW, a partir de las 24:00 horas del 31.08.2015.
- El monto de Inversión aproximado es de 5,1 MM US\$.

DIAGRAMA UNIFILAR DE LA CENTRAL



Ubicación



Pozos de extracción de gas



Planta de tratamiento de biogás



Grupo de Generación N° 2

Anexo 5: Central termoeléctrica Huaycoloro



CENTRAL TERMOELÉCTRICA HUAYCOLORO (OPERANDO)

DENOMINACIÓN	CENTRAL TÉRMOELÉCTRICA HUAYCOLORO		
EMPRESA CONCESIONARIA	PETRAMAS S.A.C.		
TECNOLOGÍA	Generación Termoeléctrica - Biomasa		
UBICACIÓN	Departamento: Lima Provincia: Huarochiri Distrito: Huaycoloro Altitud: 60 msnm		
DATOS TÉCNICOS DE CENTRAL	Potencia Instalada: 4,0 MW Número de Unidades de Generación: 3 Grupos Diesel Fuente de Energía: Gas		
DATOS MOTOR COMB. INTERNA	Motor 1	Motor 2	Motor 3
Potencia Nominal	1,6 MW	1,6 MW	1,6 MW
Marca	Caterpillar	Caterpillar	Caterpillar
Nivel de Tensión	0,48 kV	0,48 kV	0,48 kV
DATOS DE TRANSFORMADOR	Potencia: 2 x 3MVA Nivel de Tensión: 0,48/22,9 kV		
DATOS DE CONTRATO	Tipo de contrato: Contrato RER (Primera Subasta) Firma de Contrato: 31.03.2010 Puesta en Operación Comercial (POC): 12.11.2011 Energía Anual Ofertada: 28 295 MWh Precio de energía Ofertado: 11 Cts.USS / kWh		

INFORMACIÓN RELEVANTE

- El 20.02.2010, Petramás obtuvo la buena pro para suministrar energía eléctrica por 20 años al Estado Peruano por un total de 28 295 MWh por año, dentro del marco de la "Primera Subasta para el Suministro de Energía Eléctrica, con Recursos Energéticos Renovables (RER) al Sistema Eléctrico (SEIN)".
- El proyecto está compuesto por 250 pozos de captación de biogás; un gasoducto de más de 15 km y una moderna estación de succión y quemado automatizada.
- La central genera energía eléctrica a partir de la basura, emplea el biogás generado en las plataformas del relleno sanitario Huaycoloro para la generación eléctrica, para lo cual se ha instalado una moderna estación automatizada de limpieza de biogás, una moderna central de Generación de 4,8 MW, una sala de control, una subestación de elevación de voltaje de 480V a 22 kV, una red de sub transmisión de 5,5 Km y una S.E. de recepción (Luz del Sur) para la interconexión con las redes del SEIN.
- La Central Termoeléctrica Huaycoloro ingresó en operación comercial el 12.11.2011 (Carta COES/DP-644-2011), con una potencia efectiva de 2,4 MW; posteriormente, el 29.12.2011, mediante Carta COES/DP-847-2011 se actualizó la potencia efectiva de la C.T a 3,41 MW a partir del 06.01.2012.
- Monto aproximado de la inversión es de 10,5 MM US\$.

UBICACIÓN FÍSICA DE LOS GRUPOS



Planta de tratamiento de Biogás



Quemador de Biogás



Grupos de Generación 3 x 1,6 MW



Central Termoeléctrica Huaycoloro



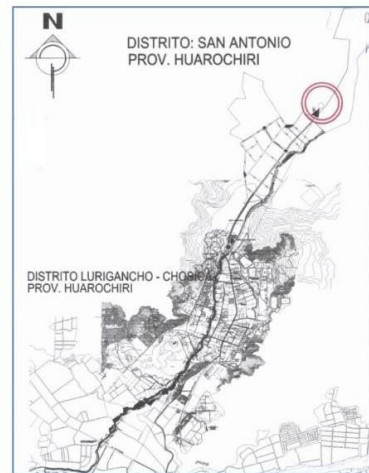
Línea de subtransmisión 22,9 kV

Anexo 6: Central termoeléctrica de biomasa Huaycoloro II



CENTRAL TERMOELÉCTRICA DE BIOMASA HUAYCOLORO II (2,4 MW)

EMPRESA CONCESIONARIA	EMPRESA CONCESIONARIA ENERGÍA LIMPIA S.A.C.		
DESCRIPCIÓN	El proyecto comprende la implementación de la nueva Central Térmica Biomasa Huaycoloro II, la cual usará el biogás generado en el relleno sanitario de Huaycoloro.		
UBICACIÓN	Departamento: Callao Provincia: Huarochirí Distrito: San Antonio Altitud: 60 msnm		
DATOS DE LA CENTRAL	Potencia Instalada: 2,4 MW Tipo de Central: Termoeléctrica de Biomasa N° de Unidades de Generación: 2 Fuente de Energía: Biogás		
DATOS DEL MOTOR	Motor 1	Motor 2	
Potencia Nominal	1,2 MW	1,2 MW	
Velocidad Angular	1500 rpm	1500 rpm	
Marca	Caterpillar (Modelo CG170-12)	Caterpillar (Modelo CG170-12)	
Año de Fabricación	2016	2016	
DATOS DEL GENERADOR	G1	G2	
Potencia Nominal	1,2 MW	1,2 MW	
Tensión de Generación	0,48 kV	0,48 kV	
Factor de Potencia	0,8	0,8	
Marca	Caterpillar (MG/MIB 450L B4)	Caterpillar (MG/MIB 450L B4)	
Año de Fabricación	2016	2016	
DATOS DEL TRANSFORMADOR	T1	T2	
Potencia Nominal	1,5 MVA	1,5 MVA	
Relación de Transformación	0,48/22,9 kV	0,48/22,9 kV	
Marca	Delcrosa	Delcrosa	
Año de Fabricación	2016	2016	
DATOS DE CONTRATO			HITOS
Tipo de Contrato	Suministro RER (4ta Subasta)	Cierre Financiero	22.12.2016 (si)
Firma de Contrato	17.05.2016	Llegada de Equipos	15.12.2017 (si)
Energía Ofertada	14,50 GWh/año	Inicio de Obras	01.05.2017 (si)
Precio de la Energía Ofertada	77,00 US\$/MWh	Inicio de Montaje	01.07.2017 (si)
Puesta en Operación Comercial	31.12.2017	POC	29.08.2018 (si)



Ubicación



Unidades de Generación C.T.B. Huaycoloro II



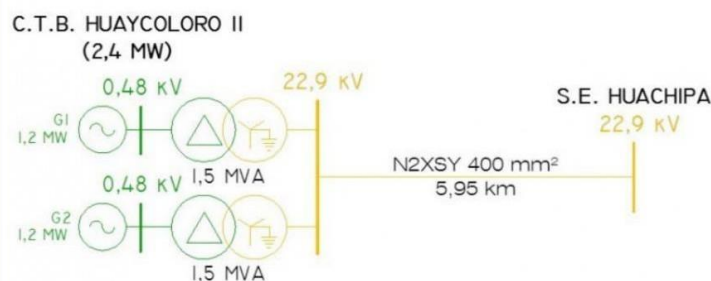
Unidades de Generación y Transformadores



Ampliación de la Estación de Compresión

- La Concesión Definitiva para desarrollar la actividad de generación eléctrica en la futura Central de Biomasa Huaycoloro II de 2,4 MW, fue otorgada mediante R.D. N° 025-2018-GRL-GRDE-DREM del 28.02.2018.
- El proyecto cuenta con el CIRA y el instrumento ambiental.
- El 19.01.2018, el COES aprobó el Estudio de Operatividad del proyecto.
- El 05.06.2018, el COES autorizó la conexión para las pruebas de puesta en servicio de la central.
- La Concesionaria culminó con las pruebas de puesta en servicio. Se verificó mediante supervisión, que la central generó 2,4 MW (100% de su potencia).
- Mediante carta COES/D/DP-707-2018 del 27.08.2018, el COES aprobó la Puesta en Operación Comercial (POC) de la C.T.B. Huaycoloro II, con una potencia efectiva de 2,4 MW, a partir de las 00:00 horas del 29.08.2018.
- El avance físico es de 100 %.
- El monto de inversión aproximado será de 2,5 MM US\$, según lo indicado por la Concesionaria.

DIAGRAMA UNIFILAR



Anexo 7: Reporte de barrido y limpieza de la Gerencia de Gestión Ambiental del Municipio Provincial del Santa

ITEM	INDICADOR	OBSERVACIÓN	
01	Cantidad de rutas de barrido	Mañana: 38	
		Tarde: 10	
		Noche: 10	
02	Cantidad de turnos	03 por día/ mañana, tarde y noche	
03	Cantidad de rutas del servicio	58	
04	Promedio de kilómetros de barrido por semana	1.361.7 km/semana	
05	Promedio de kilómetros de barrido por mes	5.409.7 km/mes	
06	Porcentaje de cobertura	70 %	
07	Cantidad en km/día	km	
08	Zonas de intervención	Casco urbano Periferia Avenidas principales	
10	Campañas itinerantes de apoyo	Se realiza la atención de expedientes de solicitud a las diferentes entidades, según lo atendido se detalla	
		Centros Educativos	30
		Centros de abastos	17
		Instituciones públicas y privadas	10
		Urbanizaciones	20
		Áreas intangibles (Humedales)	01
		Zona marítima costera del distrito	30
11	Campañas LIMPIAMOS TU BARRIO	10	

Anexo 8: Reporte de recolección de residuos sólidos de la Gerencia de Gestión Ambiental del Municipio Provincial del Santa

Nº	UNIDADES	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
01	Unidades operativas para el servicio:	Compactadores:1 Volquetes: Cargador frontal: Moto furgones:	12 04 02 02
02	Porcentaje de cobertura	Año 2022: 60% Año 2023: 70%	Respecto a al total de la ciudad
03	Porcentaje de la población atendida	Año 2022: 60% Año 2023: 70%	Respecto a al total de la ciudad
04	Cantidad de residuos recolectados por día	320 toneladas/día	En las 31 rutas
05	Horarios de recolección	Mañana: de 05:00 am a 01:00 pm	12
		Tarde: de 01:00 pm a 08:00 pm	12
		Noche: de 08:00 pm a 03:00 am	07
06	Cantidad de sectores intervenidos	Urbanizaciones, Asentamientos humanos Pueblos jóvenes y Sector Industrial pesquero. Además se brinda el servicio al distrito de Cambio Puente.	
07	Cantidad de contenedores adquiridos	30	De 1100 litros de capacidad
08	Cantidad de moto furgones adquiridos	02	De 2 toneladas
09	Referente a los puntos críticos	Se han identificado un aproximado de 70 puntos críticos en el distrito	Se brinda una atención inter diaria con la maquinaria

REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL

FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN DE DOCUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

1. Información del Autor			
CHUIZ SANTOS YNDER GUSTAVO		46977710	Indersan17@hotmail.com
Apellidos y Nombres		DNI	Correo Electrónico
2. Tipo de Documento de Investigación			
<input checked="" type="checkbox"/>	Tesis	<input type="checkbox"/>	Trabajo de Suficiencia Profesional
<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	Trabajo Académico
<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	Trabajo de Investigación
3. Grado Académico o Título Profesional			
<input type="checkbox"/>	Bachiller	<input checked="" type="checkbox"/>	Título Profesional
<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	Título Segunda Especialidad
<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	Maestría
<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	Doctorado
4. Título del Documento de Investigación			
"Central Térmica generadora de Energía eléctrica basada la biomasa residual; Ciumbote, 2024"			
5. Programa Académico			
6. Tipo de Acceso al Documento			
<input checked="" type="checkbox"/>	Abierto o Público ³ (info:eu-repo/semantics/openAccess)	<input type="checkbox"/>	Acceso restringido ⁴ (info:eu-repo/semantics/restrictedAccess) (*)
<input type="checkbox"/>	Embargo (Máximo 24 meses) (info:eu-repo/semantics/embargoedAccess)	Fecha de Liberación de embargo: ____ / ____ / ____ (Formato: día / mes / año)	
(*) En caso de restringido y embargo sustentar motivo			

A. Originalidad del Archivo Digital

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado Evaluador y forma parte del proceso que conduce a obtener el grado académico o título profesional.

B. Otorgamiento de una licencia CREATIVE COMMONS ⁵

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional Digital, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento. ⁶

Huella Digital




Firma

Ciudad	Día	Mes	Año
	26	09	25

Importante

- Según Resolución de Consejo Directivo N° 033-2016-SUNEDU-CD, Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar Grados Académicos y Títulos Profesionales, Art 8, inciso 8.2.
- Ley N° 30035, Ley que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto y D.S. 005-2015-PCM.
- Si el autor eligió el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad San Pedro una licencia no exclusiva, para que se pueda hacer arreglos de forma en la obra y difundir en el Repositorio Institucional Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.
- En caso de que el autor elija la segunda opción, únicamente se publicará los datos del autor y resumen de la obra, de acuerdo a la directiva N° 004-2016-CONCYTEC-DEGC (Números 5.2 y 6.7) que norma el funcionamiento del Repositorio Nacional Digital.
- Las licencias Creative Commons (CC) es una organización internacional sin fines de lucro que pone a disposición de los autores un conjunto de licencias flexibles y de herramientas tecnológicas que facilitan la difusión de información, recursos educativos, obras artísticas y científicas, entre otros. Estas licencias también garantizan que el autor obtenga el crédito por su obra.
- Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales-RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".

Nota. - En caso de falsedad en los datos, se procederá de acuerdo a ley (Ley 27444, art. 32, núm. 32.3).

Reporte de similitud

Central Térmica Generadora De Energía Eléctrica Basada la Biomasa Residual, Chimbote, 2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

30%	29%	%	9%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	9%
2	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	4%
3	bibliotecadigital.udea.edu.co Fuente de Internet	2%
4	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	2%
5	repositorio.unj.edu.pe Fuente de Internet	2%
6	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%

10	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
11	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
12	pdfcookie.com Fuente de Internet	<1 %
13	Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo Trabajo del estudiante	<1 %
14	repositorio.usanpedro.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
15	buscador.una.edu.ni Fuente de Internet	<1 %
16	repositorio.uchile.cl Fuente de Internet	<1 %
17	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1 %
18	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
19	repository.uamerica.edu.co Fuente de Internet	<1 %

20	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
21	dspace.esPOCH.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
22	fdocuments.ec Fuente de Internet	<1 %
23	www.flacsoandes.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
24	biblioteca.usac.edu.gt Fuente de Internet	<1 %
25	www.propiedadpublica.com.co Fuente de Internet	<1 %
26	repositorio.upct.es Fuente de Internet	<1 %
27	repositorio.upsc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
28	alumera.es Fuente de Internet	<1 %
29	www.minvivienda.gov.co Fuente de Internet	<1 %

57	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
58	repository.udistrital.edu.co Fuente de Internet	<1 %
59	revistasdigitales.uniboyaca.edu.co Fuente de Internet	<1 %
60	www.authorstream.com Fuente de Internet	<1 %
61	www.chime.ucla.edu Fuente de Internet	<1 %
62	www.planetseed.com Fuente de Internet	<1 %
63	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
64	eprints.ucm.es Fuente de Internet	<1 %
65	www.edutecne.utn.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
66	purl.org Fuente de Internet	<1 %