



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

III PROGRAMA DE ELABORACIÓN DE TESIS

TESIS

**Para Optar el Título Profesional de
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**Determinación de las características de una Central
Termoeléctrica de ciclo orgánico Rankine a partir de
la biomasa de residuos sólidos en Chiclayo**

Presentado Por:

Bach. Diego Abad Pérez Lucumi

Asesor:

M.Sc. Ing. Amado Aguinaga Paz

LAMBAYEQUE – PERÚ

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

III PROGRAMA DE ELABORACIÓN DE TESIS

TESIS

**Para Optar el Título Profesional de
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**Determinación de las características de una
Central Termoeléctrica de ciclo orgánico Rankine a
partir de la biomasa de residuos sólidos en
Chiclayo**

Presentado Por:

Bach. Diego Abad Pérez Lucumi

Aprobado por el Jurado Examinador

PRESIDENTE: M. Sc. Ing. Juan Tumialan Hinostroza

SECRETARIO: Ing. Jorge Rolando Tello Rodríguez

VOCAL: Ing. Héctor Antonio Oviden Núñez

ASESOR: M. Sc. Ing. Amado Aguinaga Paz

Lambayeque – Perú

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA y ELÉCTRICA



III PROGRAMA DE ELABORACIÓN DE TESIS

TESIS

TÍTULO

Determinación de las características de una Central Termoeléctrica de ciclo orgánico Rankine a partir de la biomasa de residuos sólidos en Chiclayo

CONTENIDOS

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.

CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

CAPITULO V: ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

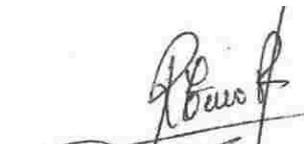
AUTOR: Bach. Diego Abad Pérez Lucumi



M.Sc. Ing. JUAN ANTONIO TUMIALAN HINOSTROZA
PRESIDENTE



ING. HÉCTOR ANTONIO OLIDEN NÚÑEZ
MIEMBRO



ING. JORGE ROLANDO TELLO RODRIGUEZ
SECRETARIO



Dr. Ing. AMADO AGUINAGA PAZ
ASESOR

Lambayeque – Perú

2022

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mis padres: ABAD PEREZ CORONEL y JANINA TATIANA LUCUMI BARRETO, por su apoyo incondicional y sus consejos para poder seguir y ahora obtener mi título profesional.

A mi hermana VALERY RAQUEL PEREZ LUCUMI, por ser la mujer más aguerrida que conozco y darme valor y fuerzas para poder terminar con esto.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecer a DIOS por haberme dado salud y bienestar a lo largo de mi vida universitaria, en segundo lugar, a mis padres por todo el esfuerzo que hicieron en mis tiempos de estudiante y por último a mi hermana por aconsejarme en todo.

RESUMEN

El actual proyecto de investigación se realizó para determinar las características de una termoeléctrica de Ciclo Orgánico Rankine que aproveche el potencial energético de los residuos sólidos disponibles en la ciudad de Chiclayo, departamento de Lambayeque. El tipo de investigación empleado para el desarrollo del mismo fue descriptiva cuantitativa. Del análisis de resultados se determinó que el potencial energético obtenido de la biomasa disponible de los residuos sólidos de la ciudad mencionada fue de 519.42 MWh, es decir, de 21.6425 MW por día, la fuerza la potencia instalada de la central térmica de biomasa fue de 5.6409 MW, con una potencia nominal de la turbina de 5.876 MW y con una eficiencia de turbogenerador de 96% se obtuvieron los 5.6409 MW, el equipamiento de la central térmica de biomasa consta de una caldera ZOZEN SZL35-2.45-M de 2485 bhp, una turbina de vapor KK&K de Howden Mono de hasta 6 MW, un generador eléctrico ABB 9AKK106094 con una potencia aparente regulable desde los 0.9 MVA hasta 7.8 MVA, una bomba Inox 200 CV 5 polos WEG y tres intercambiadores de calor Alfa Laval modelo TL10BFG, para ser usado como regenerador, condensador y evaporador. El presupuesto de implementación de la central descrita fue de S/. 29 230 960.00 y del análisis de rentabilidad se obtuvo un VAN de S/. 17 885 744.14, una TIR de 18.34%, un tiempo de retorno de la inversión de 7.26 años para el despacho en base, demostrando que para dicho panorama es rentable, factible y atractivo la propuesta del proyecto de una central térmica de biomasa para la ciudad de Chiclayo.

Palabras clave: Biomasa, central térmica, rentabilidad, residuos sólidos.

ABSTRACT

The current research project was carried out to determine the characteristics of a Rankine Organic Cycle thermoelectric plant that takes advantage of the energy potential of the solid waste available in the city of Chiclayo, department of Lambayeque. The type of research used for its development was quantitative descriptive. From the analysis of results, it was determined that the energy potential obtained from the biomass available from the solid waste of the aforementioned city was 519.42 MWh, that is, 21.6425 MW per day, the installed power of the biomass power plant was 5.6409 MW , with a nominal power of the turbine of 5,876 MW and with a turbogenerator efficiency of 96%, 5.6409 MW were obtained, the equipment of the biomass power plant consists of a 2485 bhp ZOZEN SZL35-2.45-M boiler, KK&K steam generator from Howden Mono up to 6 MW, an ABB 9AKK106094 electric generator with adjustable apparent power from 0.9 MVA to 7.8 MVA, a WEG 200 CV 5-pole stainless steel pump and three Alfa Laval model TL10BFG heat exchangers, to be used as regenerator, condenser and evaporator. The implementation budget for the plant described was S/. 29,230,960.00 and from the profitability analysis an NPV of S/. 17 885 744.14, an IRR of 18.34%, an investment return time of 7.26 years for the base dispatch, demonstrating that for this scenario the project proposal of a biomass thermal power plant for the city is profitable, feasible and attractive. from Chiclayo.

Keywords: Biomass, thermal power plant, profitability, solid waste.

ÍNDICE

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
ÍNDICE	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
INTRODUCCIÓN	13
Capítulo I : PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	14
1.1. Realidad problemática	14
1.2. Formulación del problema	17
1.3. Delimitación de la investigación	17
1.4. Justificación e importancia	17
1.5. Limitaciones	18
1.6. Objetivos	18
1.6.1. Objetivo General	18
1.6.2. Objetivos Específicos	18
Capítulo II : MARCO TEÓRICO	19
2.1. Antecedentes de estudio	19
2.2. Base Teórica	25
2.2.1. Energía	25
2.2.1.1. Energías renovables	25
2.2.2. Biomasa	31
2.2.2.1. Tipos de biomasa	¡Error! Marcador no definido.
2.2.2.2. Procesos de transformación de la biomasa	32
2.2.2.3. Beneficios de la transformación de la biomasa	34
2.2.3. Centrales térmicas de biomasa	34
2.2.3.1. Gestión de residuos sólidos	35
2.2.3.2. Ciclo Orgánico Rankine	37

2.2.3.3.	Ventajas, desventajas y diferencias entre el Ciclo Orgánico Rankine (ORC) y el Ciclo Rankine Convencional (CRC)	39
2.2.3.4.	Selección del fluido de trabajo.....	¡Error! Marcador no definido.
2.3.	Definición conceptual de la terminología empleada.....	48
Capítulo III :	MARCO METODOLÓGICO	50
3.1.	Tipo y diseño de investigación	50
3.2.	Población y muestra.....	50
3.3.	Hipótesis	50
3.4.	Variables – Operacionalización	50
3.5.	Métodos y técnicas de investigación	52
3.5.1.	Técnicas de investigación.....	52
3.6.	Descripción de los instrumentos utilizados	52
3.7.	Análisis estadístico e interpretación de los datos	52
Capítulo IV :	PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN.....	53
4.1.	Determinación del potencial energético de los residuos solidos	53
4.2.	Evaluación del poder calorífico inferior.....	53
4.3.	Determinación del peso seco de los residuos sólidos urbanos.....	53
4.4.	Humedad en los residuos solidos.....	53
4.5.	Generación de los residuos sólidos de la ciudad de Chiclayo	54
Capítulo V :	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	57
5.1.	Evaluación del potencial energético de los residuos sólidos de la ciudad de Chiclayo.....	57
5.1.1.	Determinación de la humedad	57
5.1.2.	Cálculo del peso seco.....	58
5.1.3.	Determinación del l_{hv} de los residuos sólidos	58
5.1.4.	Cálculo de la energía.....	58
5.1.5.	Potencial energético de biomasa	59
5.1.6.	Energía disponible diaria	59
5.2.	Análisis termodinámico del Ciclo Orgánico Rankine (ORC)	60
5.2.1.	Selección del fluido orgánico para ORC	60
5.2.2.	Análisis termodinámico.....	62
5.3.	Selección de componentes para la central térmica de biomasa	66
5.3.1.	Caldera.....	66

5.3.2.	Turbina de vapor	66
5.3.3.	Generador eléctrico	67
5.3.4.	Bomba	67
5.3.5.	Evaporador	67
5.3.6.	Regenerador.....	67
5.3.7.	Condensador	67
5.4.	Evaluación económica del proyecto:	68
5.4.1.	Inversión.....	68
5.4.2.	Ingresos.....	69
5.5.	Discusión de resultados	77
Capítulo VI : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		78
6.1.	Conclusiones	78
6.2.	Recomendaciones	79
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		80
ANEXOS.....		84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables	51
Tabla 2 Instrumentos empleados	52
Tabla 3 l _{hv} de los residuos sólidos	53
Tabla 4 Datos de la humedad de los residuos sólidos	54
Tabla 5 Generación de residuos sólidos en la ciudad de Chiclayo	55
Tabla 6 Clasificación de los residuos sólidos de Chiclayo	56
Tabla 7 Cálculo de la humedad de los residuos sólidos de la ciudad de Chiclayo	57
Tabla 8 Cálculo del peso seco de los residuos sólidos de la ciudad de Chiclayo	58
Tabla 9 Valor de calentamiento bajo de los residuos sólidos de la ciudad de Chiclayo	58
Tabla 10 Energía de los residuos sólidos de la ciudad de Chiclayo	59
Tabla 11 Inversión estimada de la central térmica	68
Tabla 12 Ingresos por venta de Energía para despacho base	70
Tabla 13 Ingreso por venta de Energía para despacho media punta	71
Tabla 14 Ingreso por venta de Potencia para despacho en base	71
Tabla 15 Ingreso por venta de Potencia para despacho en media punta	72
Tabla 16 Expectativa de inflación período 2022-2023	72
Tabla 17 Horizontes de evaluación para proyectos de inversión	72
Tabla 18 Tasas de descuento para diferentes países	73
Tabla 19 Análisis de rentabilidad para despacho en base	74
Tabla 20 Análisis de rentabilidad para despacho media punta	75
Tabla 21 Indicadores de rentabilidad para despacho en base	76
Tabla 22 Indicadores de rentabilidad para despacho en media punta	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Consumo de energía mundial para el año 2016	14
Figura 2 Consumo de energías renovables para el 2016	15
Figura 3 Crecimiento porcentual anual de la demanda energética histórico y proyectado	22
Figura 4 Energías renovables disponibles en el mundo	26
Figura 5 Efecto fotovoltaico	27
Figura 6 Esquema de un sistema solar fotovoltaico.....	27
Figura 7 Energía solar térmica	28
Figura 8 Aerogenerador y sus partes	28
Figura 9 Energía de la biomasa.....	29
Figura 10 Energía mareomotriz	29
Figura 11 Energía geotérmica	30
Figura 12 Energía hidráulica	30
Figura 13 Ciclo Orgánico Rankine.....	38
Figura 14 Esquema del Ciclo Rankine ideal y su diagrama termodinámico T-s...39	
Figura 15 Diagrama T-s del agua	41
Figura 16 Diagrama T-s del fluido orgánico R245fa	42
Figura 17 Diagrama T-s del fluido orgánico R245fa y agua	42
Figura 18 GWP y OPD de algunos CFCs, HCFCs, HFCs y refrigerantes naturales	43
Figura 19 Esquema de un Ciclo Binario Rankine de potencia	47
Figura 20 Configuración de la central térmica de Biomasa.....	61
Figura 21 Ubicación de la Central térmica de biomasa.....	69

INTRODUCCIÓN

Como resultado de la industrialización y el crecimiento de la población, el mundo enfrenta un aumento en su demanda de energía. La mayor parte de este requerimiento de energía se cubre con combustibles fósiles. Sin embargo, la fuerte dependencia de los combustibles fósiles contribuye a su agotamiento y al calentamiento global a través de la emisión de gases de efecto invernadero. Con el fin de satisfacer las limitaciones ambientales y también para preservar los recursos naturales para las generaciones futuras, el mundo ha recurrido a fuentes de energía alternativas. (Shiun Lim et al., 2012)

Los Países Bajos y múltiples países buscan disminuir el uso de combustibles fósiles que contienen carbono como el carbón, petróleo y gas natural. Se tienen 2 razones de importancia para ello, la primera es el cambio climático y la segunda es que las reservas son limitadas de dichas energías. (Groenestijn et al., 2020)

En el Perú, con relación a las RER, cabe precisar que las centrales de dicho tipo de tecnología representan una potencia de 1,257 MW. Donde las centrales que destacan son las de biomasa – bagazo, representando el 42.2% y 33.2% de la producción RER a finales del primer trimestre del 2018. (Acuña Martínez, 2019)

Como ejemplo, se tiene a las centrales termoeléctricas de biomasa Huaycoloro y Huaycoloro II, con potencias de 4 MW y 2,4 MW, respectivamente. (Pardo Cárdenas, 2019)

Es por ello, lo importante de buscar alternativas que permitan reducir las emisiones de gases de efecto invernadero como una política de mejora en la calidad de vida de las personas y además de mejorar el medio ambiente en el que vivimos.

CAPÍTULO I : PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Realidad problemática

A lo largo de los años se buscan nuevas maneras de producción de energía eléctrica, debido a la gran contaminación en todo el mundo. Las diversas matrices energéticas en todo el mundo cuentan con una alta intervención de fuentes fósiles de energía, dichas materias tienen reservas limitadas. Por lo cual, las fuentes de energía renovable han tomado mayor énfasis en su desarrollo y aplicación a los diversos usos que se requiera (Manrique, 2018).

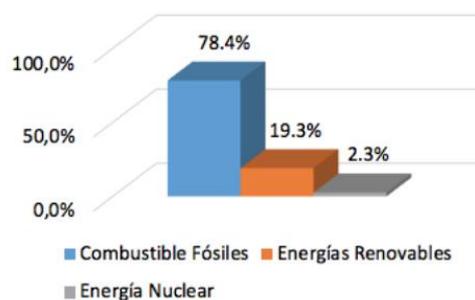
La Agencia Internacional de la Energía (AIE) viene fomentando la construcción de múltiples diseños relacionados con biomasa la cual es monitoreada por su subdivisión IEA Bioenergy. Esta entidad deduce que la energía primaria en todo el mundo, el 10% deriva de los bienes asociados a esa fuente, los biocombustibles líquidos y biogás se encuentran entre ellos (Roca, 2016). Por lo tanto, el uso de la biomasa es una muy buena forma de producción de energía de una manera limpia y segura.

Biomasa a Nivel Mundial

De acuerdo a lo señalado por la International Renewable Energy Agency (IRENA), durante el periodo 2016 las energías renovables (ER) llegaron a una medida de 19.3% con relación a la energía consumida en todo el mundo. Cabe resaltar que la energía creada a partir de la biomasa con usos para calefacción y cocina en las áreas rurales en los países en vía de desarrollo es de un uso importante alcanzando un 9.1%, una participación de 10.2% para las energías renovables usadas en la actualidad como la energía solar fotovoltaica, eólica, hidroeléctrica, solar térmica y biocombustibles (Robles Algarin, 2018).

Figura 1

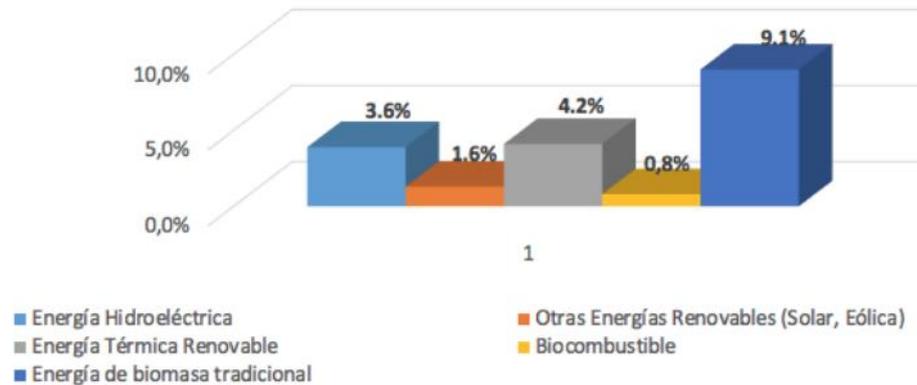
Consumo de energía mundial para el año 2016



Fuente: (REN21, 2017)

Figura 2

Consumo de energías renovables para el 2016



Fuente: (REN21, 2017)

En los países de la Unión Europea, las energías renovables alcanzaron el 86% de toda la energía generada en esta región, pero la energía eólica y la fotovoltaica son las más usadas. Del 2010 al 2014 Alemania incrementó su participación del 10.5% a 24% respectivamente; por otro lado, países como Escocia son mucho más eficientes, logrando suministrar cerca de la mitad de su energía eléctrica en base a energías renovables (Robles Algarin, 2018).

Según datos de La Bioenergy Europe, entre los años 2016 y 2017, se logró un crecimiento en la generación de energía eléctrica de un 2.2%, en base a biomasa en la UE, lo cual puede ser comparado a 15.929 kilotoneladas equivalentes de petróleo (ktep). El noveno puesto lo encabeza España, con 523 ktep, ya que ha logrado un crecimiento por encima de la media (6.8%). Entre Alemania, Reino Unido, Italia, Finlandia y Suecia se logra un 68% de la generación de energía (Rico, 2019).

BIOMASA EN PERU

En nuestro país la central térmica Paramonga de la empresa AIPSA, tiene una potencia instalada de 23 MW, la cual es generada a través de la combustión por la quema del bagazo, materia de desecho en la elaboración de azúcar; este proceso genera vapor el cual transmite fuerza motriz para la generación de energía, gracias al movimiento de la turbina de vapor (Tamayo Pereyra, 2011).

Por otro lado, se encuentra la central termoeléctrica de Huaycoloro ubicado en el departamento de Lima en la provincia de Huarochirí, en el distrito de Huaycoloro, la cual cuenta con una potencia instalada de 4.0 MW (OSINERGMIN, 2018).

Biomasa en Chiclayo

En la provincia de Chiclayo se arrojan diariamente 400 toneladas de residuos sólidos hacia la ciudad, residuos sólidos que no tiene ningún fin, de los cuales un aproximado de 180 toneladas la almacenan en los botaderos de basura en las pampas del distrito de Reque (RPP NOTICIAS, 2018).

Hasta el año 2019 ocupaba 307.01 hectáreas de tierra llenos de basura, por otro lado, el departamento de Lambayeque cuenta con 438 hectáreas de acumulación de residuos sólidos (RPP Noticias, 2018).

Esto es una cifra muy alarmante y que debería preocupar a todos los ciudadanos y tomar conciencia de estas acciones. Una posible solución sería la recolección de la basura y la quema de esta, el problema es que también se genera contaminación al aire.

Otra posible solución sería el reciclaje de los residuos sólidos, sin embargo, el problema de esto sería la concientización de la población, para que lo puedan realizar y aun así tendrían problemas.

Entonces ¿cuál podría ser la solución a esto? y sobre todo buscar una manera de que se aproveche. En este caso se va a aprovechar para generar energía eléctrica usando esos residuos sólidos.

Hay varios tipos de ciclos que se usan en ese tipo de centrales como el ciclo Joule Brayton o también el ciclo Rankine.

En este caso se usará el ciclo orgánico Rankine, ese ciclo se caracteriza por ser un ciclo de alta eficiencia, larga vida, requerimientos de mantenimiento mínimos, alta eficiencia de la turbina, baja tensión mecánica de la turbina (Laia Sánchez, 2012).

1.2. Formulación del problema

¿Cuáles son las características de una central termoeléctrica a partir del ciclo orgánico Rankine con el uso de biomasa de los Residuos Sólidos de la ciudad de Chiclayo?

1.3. Delimitación de la investigación

El desarrollo de este diseño se realizará en la provincia de Chiclayo, entonces se tendrán que tomar datos de cada uno de los distritos para realizar la toma de datos necesarios para el estudio.

En seguida describiremos los distritos de la provincia de Chiclayo y sus divisiones, los cuales son: Chiclayo, La Victoria, Cayaltí, Chongoyape, Eten, José Leonardo Ortiz, Lagunas, Monsefú, Nueva Arica, Oyotún, Pátapo, Picsi, Santa Rosa, Pimentel, Pomalca, Pucalá, Puerto Eten, Reque, Tumán, Zaña.

1.4. Justificación e importancia

Este estudio servirá para determinar las características de una central termoeléctrica a partir de ciclo orgánico Rankine.

El ciclo orgánico Rankine, es un parecido a un ciclo Rankine convencional, la diferencia es que este utiliza un fluido orgánico de elevado peso molecular y de una temperatura de ebullición más baja que la del agua, lo que obtiene mejores ventajas como son: temperatura y presión crítica reducidas, presión de condensación a temperatura ambiente superior a la atmosférica. Este ciclo orgánico Rankine sirve para producir energía eléctrica a partir de fuente de energía de bajo nivel de temperatura (normalmente < 250°C) (Laia Sánchez, 2012).

Para este estudio también será relevante el estudio de la humedad contenida en la biomasa extraída de los residuos sólidos durante el Ciclo Orgánico Rankine.

Además, también la utilización de la biomasa extraída de los residuos sólidos de la provincia de Chiclayo, lo cual también beneficiaría para minorar la contaminación y las enfermedades en la provincia de Chiclayo.

1.5. Limitaciones

El presente estudio se limitará a buscar información respecto a la generación de residuos en la ciudad de Chiclayo, departamento de Lambayeque, para lograr determinar la cantidad de energía que representa dichos residuos sólidos.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo General

Determinar las características de una central termoeléctrica de ciclo orgánico Rankine.

1.6.2. Objetivos Específicos

- a) Calcular el potencial energético de la biomasa disponible en los residuos sólidos de la ciudad de Chiclayo.
- b) Calcular la potencia instalada de la central térmica del ciclo orgánico Rankine.
- c) Seleccionar el equipamiento necesario para la central térmica de biomasa.
- d) Determinar la viabilidad técnica económica para la central térmica de biomasa.

CAPÍTULO II : MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

Contexto Internacional

Según Criollo & Pinzón (2018), en su investigación titulada “Evaluación del potencial técnico y económico de plantas de generación eléctrica basadas en calderas a biomasa y ciclo orgánico Rankine (ORC) para el aprovechamiento de la cascarilla de arroz en Ecuador” describe que en tanto la población crece, en consecuencia, sus necesidades básicas aumentarán, incluyendo el consumo de electricidad. En Ecuador en el año 2014 la utilización de medios de combustible fósil llegó a un 79.07% de la totalidad de su consumo total de energía primaria, por ende, en ese año se expulsó 42498 Toneladas de CO₂. Entonces una manera de reducir GEI es buscar nuevas fuentes de energía renovables, la biomasa es una de ellas. En Ecuador los principales residuos de biomasa son de banano, café y cascarilla de arroz. En el año 2014 se generó 0.269941 kt de residuos de cascarilla de arroz. Este trabajo tiene como objetivo poner en evaluación el aspecto técnico económico de las plantas generadoras de energía eléctrica empleando calderas de biomasa y ciclo orgánico Rankine para el mejor aprovechamiento de la cascarilla de arroz en Ecuador. Finalmente, para el análisis técnico económico de estas plantas se necesita conocer el potencial bruto el cual nos brinda datos sobre la cantidad de cascarilla de arroz anualmente, también se necesita conocer el tipo de fluido con el cual trabajara el ciclo orgánico Rankine.

Según Figueroa Luque (2014) en su trabajo de fin de master titulado: “Estudio técnico económico para la implantación de una planta de generación de energía eléctrica a partir de biomasa en Andalucía” nos relata según información anterior al 2003 y el 2007, fue el sexto año más cálido de los cuales se tienen registros. También se conoce que 13 de los 14 años con temperaturas más cálidas tuvieron lugar en el siglo XXI. Las reuniones entre instancias gubernamentales sobre Cambio Climático expresaron en septiembre del 2013 que el calentamiento del planeta es inminente. En marzo del 2014, se presentó un informe en Yokohama, donde se sugiere a los presidentes y líderes, la ejecución de previsiones urgentes y acciones ante

esta problemática mundial, de no tomarse estas medidas, nos espera un futuro no muy prometedor. En España la población está de acuerdo en la utilización de energías renovables en un 81%, cifra mayor a la europea, que es del 70% según datos del Eurobarómetro de la Comisión Europea. Acorde a la información recaudada del Balance Energético 2012, de Ministerio de Industria, Energía y Turismo, un español depende de la energía en un 70.8 por ciento, muy por encima del nivel europeo que es del 53.8 por ciento. La energía utilizada deriva en un 75.3 por ciento, de combustibles fósiles que perjudican al medio ambiente como petróleo, gas y carbón. Las naciones crearon lugares para realizar investigaciones como el Centro Tecnológico Avanzado de Energías Renovables de Andalucía (CTAER), para el desarrollo y la investigación de estos procesos fue necesario edificar plantas cuyo fin fue producir energía eléctrica y térmica. Cuando hablamos de Biomasa tenemos que saber que está catalogada como un material que nos brinda energía limpia y barata, creado para generar calefacción en hogares, fábricas y locales de servicio público. Con el fin de disminuir desastres naturales como incendios en bosques, se está fomentando la utilización de la biomasa.

El fin de este proyecto es conocer las posibilidades para la implementación de centros de generación de electricidad aprovechando la biomasa disponible en la comuna Chiclayana, por un lado, dicho material disponible, tiene el volumen necesario para poner en marcha este modelo de plantas.

El autor concluyó que con este proyecto se busca beneficiar al planeta ya que usará la biomasa disponible de Andalucía, como habíamos dicho era suficiente para poder abastecer una planta de estas, por ende, con el uso de esta energía renovable podrá minimizar los GEI, busca también apoyar los proyectos amigables con el medio ambiente y con potencial para ser aplicados en Chiclayo. Por otro lado, se puede crear toda una cadena que continuamente nos abastezca de biomasa, para crear energía y así dejar de depender del exterior.

Otra cuestión que se puede relacionar con el estudio presentado es el costo de la biomasa, ya que la rentabilidad de la planta depende de este costo. Para

la determinación de la ubicación final se encuentran los siguientes parámetros:

Estudio económico: relación inversión/potencia de la planta.

Disponibilidad de biomasa.

Generación de energía térmica y eléctrica: Cantidad de MWh producidos.

Según Almache Jiménez (2018), en su trabajo: “análisis de la geometría y del rendimiento de una turbina de flujo radial para el estudio de fluidos de trabajo en un ciclo orgánico Rankine usando distintos recursos renovables de baja entalpia (solar – biomasa – geotérmica)”, tiene como finalidad el estudio de las características de los recursos renovables: geotérmica, solar y biomasa, de la provincia de Chiclayo para su aprovechamiento dentro del ciclo orgánico Rankine , explotando así su uso para generar energía mediante una turbina de flujo radial.

Se realizó un análisis del ciclo orgánico Rankine tomando distintos tipos de configuraciones en el ciclo, una de ellas es el empleo de un solo recurso renovable para que el evaporador tenga una fuente de calor, para añadir, se realizó la combinación de los recursos hasta llegar al empleo de uno y dos surtidores de calor cuyo fin es calentar el fluido previamente a su llegada al evaporador, esto se realiza con la finalidad de maximizar el rendimiento del ciclo y a la vez la potencia ofrecida.

En 2015 Ecuador generó 26.462 GWh de este valor, el 49 por ciento son producidos mediante centrales termoeléctricas, el 47 por ciento mediante centrales hidroeléctricas, el 2 por ciento mediante fuentes primarias renovables y el 2 por ciento mediante interconexión con los países vecinos Perú y Colombia. La micro generación es una opción para obtener energía eléctrica, en zonas donde la instalación de una red eléctrica resulta muy costosa, resultando así en un ahorro de recursos y emisión de CO₂ casi nula.

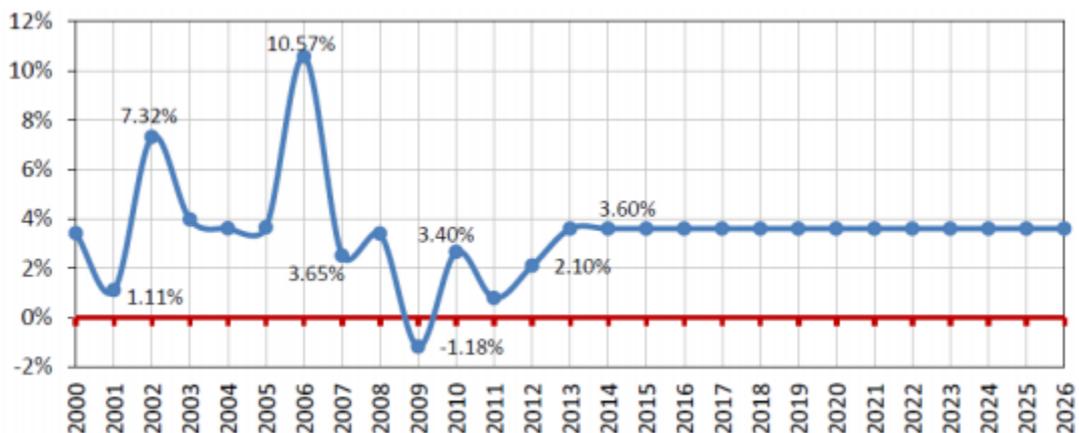
El autor concluyó que para poder dimensionar una turbina de flujo radial se necesita analizar el fluido de trabajo con el cual trabajará el ciclo, en este caso es el ciclo orgánico Rankine. Mediante el estudio de recurso energético renovable se necesita analizar cuál será el recurso renovable a utilizar en este

caso: solar, geotérmica o biomasa. Cuando hizo el estudio de los recursos también llegó a la conclusión que si combinamos muchas fuentes de calor en el ciclo orgánico Rankine, la potencia se incrementa, lo que no pasaría si usáramos un solo recurso renovable.

Según Nájera & Flamenco (2014), en su trabajo: “Propuesta de planta termoeléctrica de ciclo orgánico Rankine con tres fuentes de energía: solar, biomasa y geotermia para la zona del valle de San Vicente” para obtener el título de máster en energías renovables y medio ambiente en la universidad nacional autónoma de Nicaragua, León, nos señala que en el mundo la crisis energética ha llevado a buscar nuevas formas de obtención de energía, que no sean derivados del petróleo, por ello se buscan formas de obtención de energía con recursos renovables como son la eólica, solar, geotérmica, biomasa, etc, de esta manera se logra un balance para una mejor repartición de la demanda energética, en este caso la eléctrica. En el Salvador en el año 2007 se creó el Consejo Nacional de Energía donde el país se compromete al desarrollo de tecnologías energéticas renovables y el aumento del uso de energías amigables con el medio ambiente, siendo de mucha importancia en la lucha contra el cambio climático. En el Salvador se estima que la tasa de crecimiento de la demanda energética nacional asciende a un 3.60% hacia 2026, como aparece en la

Figura 3

Crecimiento porcentual anual de la demanda energética histórico y proyectado



Fuente: (Nájera Calderón & Flamenco Ramos, 2014)

En el año 2010 la producción total de energía en el Salvador fue de 5,650.6 GWh la cual se divide en 4 clases: Energía Hidroeléctrica 2,079.1 GWh que representa un 36.8%, Energía Térmica 1,970.3 GWh que representa un (34.9%), Energía Geotérmica 1,421.1 GWh con (25.5%) y biomasa 180.1 GWh que supone un (3.2%), es decir más del 50% de la generación total fue a partir de energías renovables. A pesar de que más del 50% es producido por energía renovable, la figura a continuación muestra la comparación de la capacidad instalada actual por fuente de energía, donde se observa que casi el 47% de la capacidad total del país es térmica, que es mejor que las fuentes de energía renovables: biomasa, energía geotérmica e hidroeléctrica en particular.

El uso simultáneo de dos o más fuentes de energía es lo que llamamos "hibridación energética", que consiste en combinar dos o más tecnologías de energía renovable para crear un sistema más estable. En la región de España se vienen implementando proyectos de hibridación de dos tipos de energía renovable como: solar – biomasa o solar – geotermia, tal es el Centro Tecnológico de Energías Renovables (CTAER) en Andalucía donde se viene desarrollando un proyecto desde el 2010 cuya finalidad es el desarrollo de centrales termoeléctricas híbridas: solar – biomasa. El objetivo de este proyecto es el desarrollo de una planta termoeléctrica propuesta, con ciclo termodinámico tipo ORC, para el valle de San Vicente utilizando los recursos renovables de geotermia, biomasa y radiación solar, en combinación más adecuada para la producción de energía eléctrica. El autor afirma que para diseñar e instalar una central eléctrica es necesario conocer y cuantificar el recurso existente, cuya disponibilidad se puede considerar en otro punto geográfico. Para que el proyecto sea rentable tenemos que tomar en cuenta (su VAN > 0 y TIR > TMAR).

Contexto Nacional

Según (Jorge,2017) en su trabajo: "Diseño de una central eléctrica de biomasa conectado a la red eléctrica Puno en el cerro Cancharani – departamento de Puno", su objetivo general fue analizar la forma adecuada para aprovechar el recurso de biomasa, en el vertedero Cancharani, el cual carece de un sistema

de control (residuos sólidos urbanos) en forma de biogás, así como la obtención de la misma, propiedades, sus ventajas medioambientales y la utilización de esta para la generación de electricidad, finalmente el autor concluyó que:

“La gestión de los residuos sólidos domiciliarios puede complementar el aprovechamiento social del beneficio económico y ambiental de estas actividades, donde además del biogás se reutilizan diversos envases plásticos y diversos materiales que no se utilizan para la producción de biogás, siendo una opción más aparte de la generación de energía eléctrica a partir de biogás”.

Contexto Local

Según Tineo Huancas (2019), en su trabajo: “Estudio de factibilidad de una central térmica que aproveche la biomasa residual de Chiclayo”, el objetivo es estudiar analíticamente la posibilidad en general de utilizar los residuos como combustible para solucionar la contaminación ambiental. Finalmente, el autor llegó a esta conclusión: “La Energía térmica producida por la quema de biomasa residual de la ciudad de Chiclayo es de 6 120 780 168,88 kJ, lo cual es eficiente para la generación de energía eléctrica. Con esta energía calorífica se pensó en instalar una central térmica lo cual es factible porque entrega una potencia de 19,13 MW. Y por último nos dice que según estudios que se hicieron del VAN y TIR el periodo de recuperación de la inversión sería en 4 años lo cual demuestra que es un proyecto rentable.”

Según Rojas Romero (2019) en su trabajo: “Dimensionamiento de un sistema eólico – biomasa para proporcionar electricidad a la zona el Chaco ubicado en la provincia de Chota departamento de Cajamarca”, el objetivo es llevar a planteamiento un sistema eólico – biomasa para brindar electricidad a dicha localidad, solucionando el déficit de energía y mejorando la calidad de vida de los pobladores, la demanda energética suficiente para el suministro a los hogares y al alumbrado público fue de 52380 Wh, empleando un grupo electrógeno que opera con biogás y un aerogenerador de 3000 W.

2.2. Base Teórica

2.2.1. Energía

La energía es la capacidad que poseen los cuerpos para realizar un trabajo, por lo que se mide en joules: trabajo mecánico, luz, producción de calor, etc. La energía se puede manifestar de muchas formas: gravitacional, cinética, química, eléctrica, magnética, nuclear, radiación, etc., es posible que cambien entre sí, pero siempre siguiendo la ley de conservación de la energía. (Schallenberg Rodríguez et al., 2008)

2.2.1.1. Energías renovables

La agencia internacional de energías renovables menciona que dichas energías son generadas en base a fuentes renovables y de una forma sostenible en el tiempo.

Si hablamos de beneficios, se tiene que mencionar una baja proporción de emisiones contaminantes, resultando en una reducción de la contaminación ambiental, agregado a ello son de rápida implementación y contribuyen al suministro de energía en zonas rurales, apoyando el desarrollo y acortando la brecha de acceso a este beneficio.

Entre las ventajas que se tienen al usar energía renovable, se detalla que: genera conflictividad social, se implementa rápidamente, permite diversificar la concentración en fuentes, descentralización geográfica, la contaminación ambiental es muy reducida y lleva desarrollo a zonas rurales. Dentro de las fuentes de energías renovables, tenemos: energía solar, energía fotovoltaica, energía de la biomasa, energía hidráulica, energía marítima, energía geotérmica. (Schmerler Vainstein et al., 2019)

Figura 4

Energías renovables que tenemos en el planeta



Fuente: (Michea et al., 2019)

Tipos de energías renovables

a. Energía solar

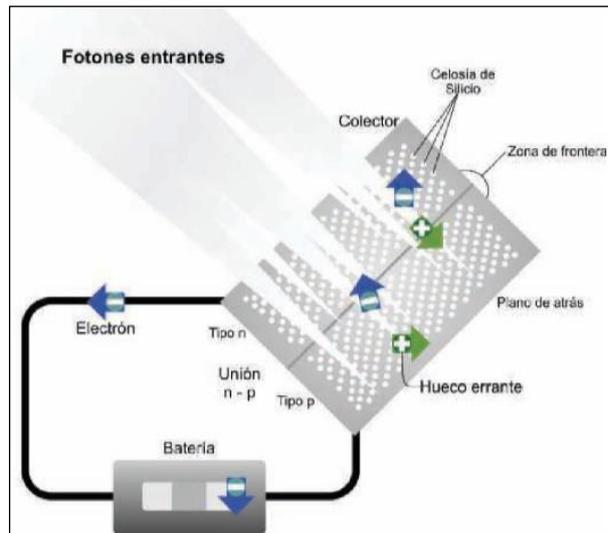
Es una fuente renovable energética que se genera al captar la radiación electromagnética que emite el sol, pudiendo generar reacciones químicas o producir corriente eléctrica. (Schmerler Vainstein et al., 2019)

Energía solar fotovoltaica

Se genera mediante el tratamiento de la radiación solar para convertirla en electricidad, utilizando células fotovoltaicas, las cuales son fabricadas a base de silicio. Los fotones llegan hasta la cara superior de la célula fotovoltaica generando así una corriente eléctrica. (Schmerler Vainstein et al., 2019).

Figura 5

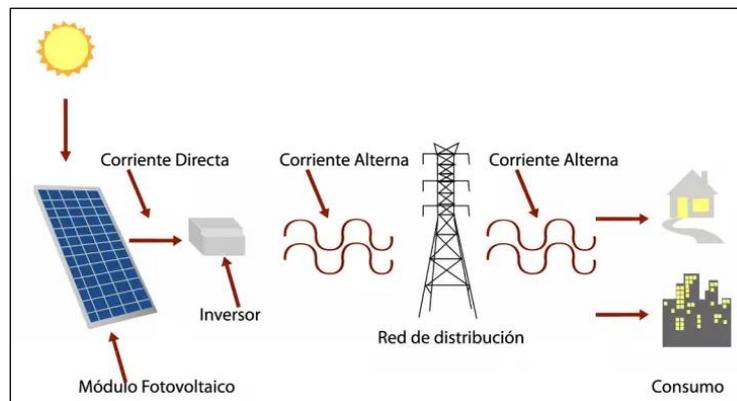
Efecto fotovoltaico



Fuente: (López & Fonthal, 2019)

Figura 6

Esquema de un sistema solar fotovoltaico

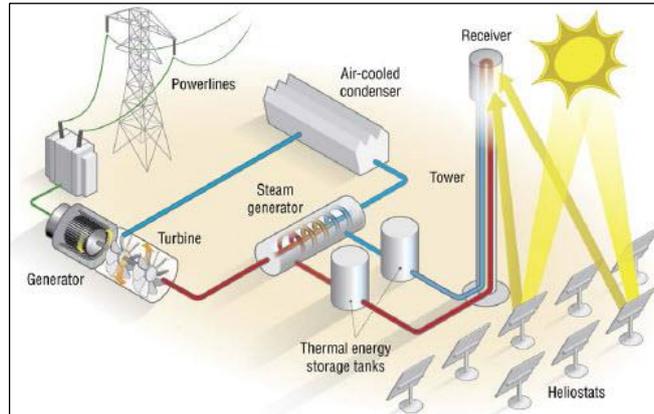


Fuente: (Social Energy, 2021)

Energía solar térmica

Es el aprovechamiento de la energía emitida por el sol, para convertirla en calor, gracias a un colector por donde fluye esta energía. Las centrales de este tipo, son una gama de mecanismos que, usando la radiación solar, y aplicando un ciclo termodinámico convencional producen vapor para hacer girar una turbina, a su vez ésta brinda movimiento a un generador para finalmente obtener electricidad. (Schmerler Vainstein et al., 2019)

Figura 7
Energía solar térmica



Fuente: (Hive Power, 2021)

b. Energía eólica

Es toda fuerza que se genera gracias al viento, el cual nace por el diferencial de temperaturas en las zonas de la tierra. Usa la energía cinética del viento para impulsar máquinas que consisten en palas inclinadas conectadas a un eje giratorio, llamado aerogenerador. A la instalación total de turbinas eólicas conectadas a redes de suministro se llama parque eólico. (Schmerler Vainstein et al., 2019)

Figura 8
Modelo de aerogenerador



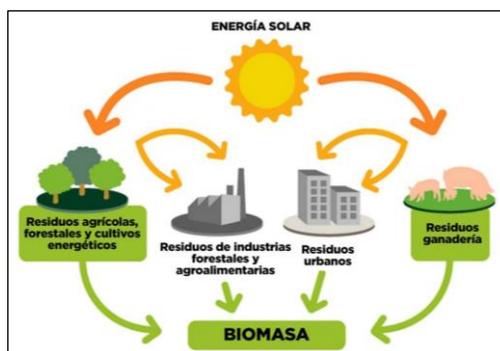
Fuente: (Mitsubishi Chemical Group, 2022)

c. Energía de la biomasa

La energía de biomasa es la obtenida a partir de sustancias orgánicas durante sucesos en la naturaleza. La palabra biomasa se refiere a la energía solar que la vegetación convierte en materia orgánica y puede quemarse directamente o convertirse en otros combustibles como el alcohol, el metanol o el petróleo. El biogás también se puede obtener a partir de residuos orgánicos. (Rojas Romero, 2019)

Figura 9

Energía creada a partir de la biomasa



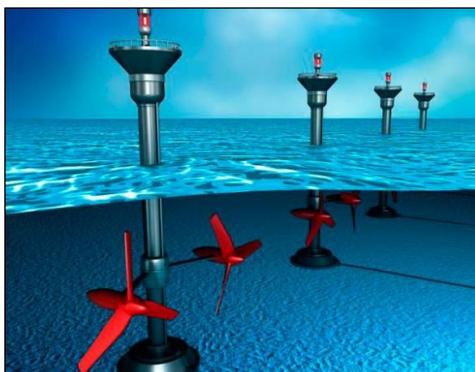
Fuente: (Biomass Energetic, 2018)

d. Energía mareomotriz

Es un tipo de energía renovable que trata sobre el aprovechamiento del movimiento de las olas de los océanos, ya que este recurso constituye el 70% de la composición del planeta. (Schmerler Vainstein et al., 2019)

Figura 10

Turbinas de energía mareomotriz



Fuente: (Sector Electricidad, 2022)

e. Energía geotérmica

Es una forma de energía que utiliza el calor que se aloja en la corteza terrestre, en el calor de los minerales, el suelo y la temperatura del agua a diferentes profundidades. Mientras aumenta la profundidad de la corteza terrestre, la temperatura sube debido a la influencia de la energía geotérmica. (Schmerler Vainstein et al., 2019)

Figura 11

Energía geotérmica



Fuente: (Palacio Villa et al., 2020)

f. Energía hidráulica

Este tipo de energía existe en el agua cuando se desplaza por un canal (energía cinética) o cuando se deposita a cierta altura (energía potencial). Cuando el agua cae, se convierte en energía cinética. (Soria, 2010)

Figura 12

Energía hidráulica



Fuente: (Instituto Nacional de Electrificación, 2020)

2.2.2. Biomasa

Las plantas utilizan la energía solar para sintetizar materia orgánica a través de la fotosíntesis. Los animales y los humanos pueden agregar y cambiar esta materia orgánica. La palabra biomasa engloba una amplia variedad de materia orgánica y se utiliza para denotar a la energía creada debido al uso de materia orgánica usando combustión. (Schallenberg Rodríguez et al., 2008)

2.2.2.1. Biomasa y sus variedades

2.2.2.1.1. Biomasa Natural

Se obtiene principalmente de la madera que encontramos en los bosques o selvas, las cuales fueron utilizadas desde tiempos inmemoriales para cocinar o calentarse. Pero debemos usar estos medios de manera responsable, ya que podríamos destruir el hábitat de muchas especies de flora y fauna. Podemos utilizar restos de madera muerta, y restos orgánicos secos, evitando así posibles incendios (Schallenberg et al., 2008).

2.2.2.1.2. Biomasa Residual

Proceden de labores agrícolas, forestales o ganaderas; La industria y los centros urbanos también generan residuos orgánicos denominados residuos sólidos urbanos (RSU).

Además de la producción de energía eléctrica, a través de la cual los sitios pueden ser autosuficientes con sus propios recursos, traen beneficios adicionales, por ejemplo, evitan la contaminación ambiental por el uso de estos desechos (Schallenberg et al., 2008).

2.2.2.1.3. Cultivos Energéticos

En este caso, los agricultores y sus tierras no se dedican a la producción de alimentos, sino a cultivos que se utilizan como energía. Los cultivos energéticos se dividen en:

Cultivos Tradicionales

Son cultivos que normalmente se utilizan para la alimentación (Schallenberg Rodríguez et al., 2008).

Cultivos no alimentarios

Sembríos que se utilizan para elaboración de combustibles, productos farmacéuticos, etc. Se plantan en lugares donde los cultivos tradicionales no pueden crecer. (Schallenberg et al., 2008).

2.2.2.2. Procesos de transformación de la biomasa

Los sistemas de generación eléctrica utilizando biomasa se dividen en:

2.2.2.2.1. Procesos Bioquímicos:

Esta técnica descompone la biomasa con microorganismos y se dividen en anaeróbicos y aeróbicos (Schmerler et al., 2019).

2.2.2.2.2. Procesos anaeróbicos:

Se basan en la desintegración de materia orgánica como estiércol, lodos de depuradora, residuos sólidos urbanos y residuos agrícolas en biogás por microorganismos sin oxígeno. Este biogás se utiliza fundamentalmente como combustible para autos (Schmerler et al., 2019).

2.2.2.2.3. Procesos aeróbicos

Los materiales orgánicos como: caña de azúcar, el maíz, etc., se convierten en alcohol mediante etapas como la trituración, molienda, fermentación, destilación y rectificación (Schmerler et al., 2019).

2.2.2.2.4. Procesos Termoquímicos

En estos sistemas se logra transformar energía calorífica en forma de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos. Estos procesos se dividen en: combustión directa, pirólisis y la gasificación (Schmerler et al., 2019).

Combustión Directa

Proceso donde el carbono (C) e hidrogeno (H) reaccionan con el oxígeno para formar CO₂, agua y liberar calor. La energía térmica producida se suele utilizar en el hogar, por ejemplo, para cocinar (Schmerler et al., 2019).

Pirólisis

La pirólisis es un proceso también llamado carbonización, destilación destructiva, destilación seca, en este proceso no se necesita aire para que haya descomposición (Afanasjeva, 2014).

En esta técnica la biomasa se degrada para obtener combustibles sólidos como el carbón vegetal, líquidos y gaseosos. El nivel de intervención de estos materiales depende de la temperatura y del tiempo que necesite la biomasa para completar su ciclo de degradación (Schmerler et al., 2019).

Gasificación

Es un proceso donde existe oxidación incompleta a temperaturas de entre 600° C y 1500° C en un ambiente con bajo nivel de oxígeno. Se sabe también que es un proceso que produce gas de síntesis comprimido, entre los que están el hidrogeno y monóxido de carbono. La gasificación transforma hidrocarburos como el carbón, coque de carbón y la biomasa en un gas de síntesis o en una mezcla gaseosa de alto valor económico que mediante otros procesos se pueden convertir en químicos, fertilizantes, combustibles líquidos, hidrogeno y electricidad (Caro González & Rueda Núñez, 2007).

2.2.2.2.5. Procesos Físicos

- Compresión o acortamiento de volumen para transformación directa en combustible
- Secado para tratamiento térmico. (Tineo Huancas, 2019)

2.2.2.3. Rendimiento del tratamiento de la biomasa

Tineo Huancas (2019) detalla el desarrollo de la conversión, nos explica que la biomasa puede generar muchas otras formas de energía.

- Calor y vapor: Al quemar biomasa, se puede producir calor y vapor. El calor se puede usar para calentar y cocinar, o puede ser un sobrante de la generación de energía en las plantas de cogeneración. (Tineo, 2019)
- Combustible gaseoso: El gas se obtiene debido a la digestión anaeróbica o procesos similares y se puede aprovechar en motores de combustión interna para generar electricidad, para calentar el ambiente del hogar, el comercio y la industria (Tineo, 2019).
- Biocombustibles: Los biocombustibles se obtienen por el procesamiento de la biomasa o residuos de materias primas (Vázquez et al., 2016).

Los combustibles fósiles pueden ser parcialmente reemplazados en su uso, por el etanol y el biodiesel, principalmente en el ámbito del transporte. (Tineo Huancas, 2019)

- Electricidad: La biomasa genera electricidad, sin la emisión de gases de efecto invernadero, porque no contiene dióxido de carbono. Esta electricidad puede comercializarse como "energía verde" (Tineo, 2019).
- Cogeneración: Se trata de generar vapor y electricidad para aplicaciones que requieran las dos formas de energía. (Tineo, 2019)

2.2.3. Centrales térmicas de biomasa

Una planta de energía de biomasa produce electricidad utilizando materia orgánica de los reinos animal y vegetal (biomasa). Las centrales eléctricas de biomasa funcionan sobre la base de las centrales eléctricas tradicionales con la excepción de que el combustible utilizado es materia orgánica.

La energía calorífica es usada para crear energía mecánica utilizando una turbina y un generador de electricidad. (Prieto Liguori, 2018)

2.2.3.1. Gestión de residuos sólidos

2.2.3.1.1. Actividades en origen

Estas operaciones incluyen la separación, el procesamiento y el apilamiento de desechos. Los sistemas de manejo y almacenamiento varían de acuerdo lo que se haya hecho. Por tanto, si no existe una selección, se requiere un único depósito para el almacenamiento primario, cuya capacidad es proporcional a la cantidad de producción. Por el contrario, la recogida selectiva requiere distintos contenedores en función de las fracciones separadas en origen. (Bonmatí, 2008)

2.2.3.1.2. Recolección

Existen dos aspectos principales a definir en el recojo de desechos: el modelo y el sistema de recolección.

- **MODELO DE RECOLECCION:**

Recolección en masa

En este caso la basura se recoge de forma mixta, sin ser separada o clasificada. Si no se logra recolectar los desechos de cada hogar, se corre el riesgo de que sean arrojados en lugares inadecuados, como un río, o si no se incineran en espacios abiertos. Por otro lado, los residuos de alimentos se utilizan a menudo para alimentar al ganado o a las mascotas (Bonmatí, 2008).

Recolección selectiva

La recepción de desechos se realiza por fracciones. Habitualmente se distinguen como papel, vidrio y cartón, envases descartables como latas y plástico. (Bonmatí, 2008)

- **SISTEMAS DE RECOJO DE DESECHOS:**

Contenedores

Se colocan contenedores en las vías de la ciudad, de esta manera las personas llevan sus desechos hasta los puntos donde se han dispuesto dichos depósitos. Existen puntos donde solo hay un contenedor (recolección en masa) sin embargo hay otros donde hay hasta cinco contenedores (vidrio/papel + cartón/envases ligeros (plástico + latas) / fracción orgánica). (Bonmatí, 2008)

Recolección domiciliar

En este caso, cada dirección tiene un contenedor adecuado el cual es colocado en la fachada de la casa inmediatamente antes de su recojo. Aquí se requiere más participación y concientización pública, pero la tasa de recuperación de material es mucho más eficiente. (Bonmatí, 2008)

- **UNIDADES DE RECOLECCION E ITINERARIO:**

Al tomar decisiones sobre las unidades que recogerán los desechos es importante tomar en cuenta las características de la población y del material a recolectar, además de la capacidad del vehículo, tamaño del vehículo, personal necesario. Otras consideraciones son los horarios, frecuencia, tráfico (determina la velocidad del vehículo). (Bonmatí, 2008)

2.2.3.1.3. Transferencia:

Si la cantidad de residuos transportados a las plantas de tratamiento y la distancia recorrida es muy grande, los residuos suelen trasladarse de pequeños camiones recolectores a camiones más grandes para optimizar el transporte. Esta operación consta de tres pasos: descarga, compactación y carga en el montacargas más grande (Bonmatí, 2008).

2.2.3.1.4. Plantas de separación y reciclaje

Este tipo de instalaciones se construyen en lugares donde se pueden reciclar materiales a pesar de que no existe la recogida selectiva, o para completar sistemas donde se utiliza la recogida selectiva. Sin embargo, es necesario evaluar la conveniencia de su instalación, ya que la tasa de reciclaje no es muy alta. Hay una gama de instrumentos que se encuentran habitualmente en las industrias de separación/selección (electroimán, ciclón, trómel, etc). Sin embargo, la mayor parte del trabajo se realiza manualmente. (Bonmatí, 2008)

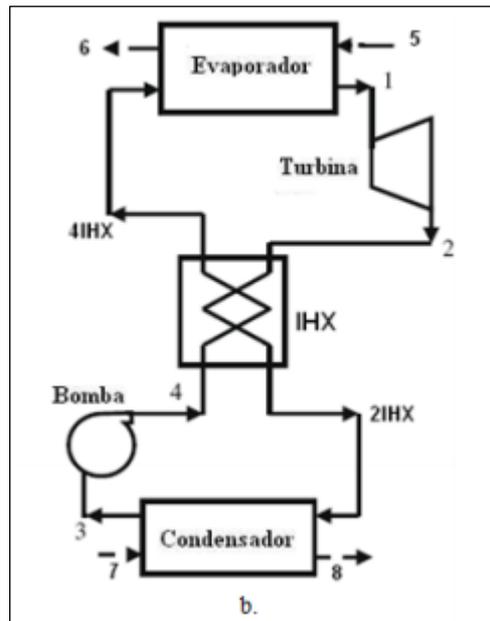
2.2.3.2. Ciclo Orgánico Rankine

El OCR es un tipo de técnica responsable de convertir energía de varias fuentes, como geotérmica, solar, biomasa o calor residual de procesos industriales, o recuperar energía de motores de combustión interna utilizados para generar electricidad. ORC es un derivado de CRC (Criollo Lema & Pinzón Camacho, 2018).

Además, se puede agregar un intercambiador de calor interno (IHX) para aprovechar aún más la energía del vapor expandido, usándolo para precalentar el líquido que sale de la bomba y entra al evaporador (Alean et al., 2015).

Figura 13

Ciclo Orgánico Rankine



Fuente: (Tchanche et al., 2009)

El ciclo orgánico Rankine genera energía de entre 10 kWe hasta 10000 kWe empleando fuentes primarias de energía que combustionan entre 80 °C hasta 300 °C, estas temperaturas y potencias, pueden mejorar a medida que se van creando nuevos materiales, más resistentes (Criollo Lema & Pinzón Camacho, 2018).

ORC es similar a CRC que funciona con vapor y agua, la diferencia es que el fluido de trabajo es un líquido orgánico de alto peso molecular, como: hidrocarburos naturales (pentano, butano, propano), hidrocarburos halogenados (R13 a), R245fa), aceites de silicona, tolueno, isopentano, etc., con un punto de ebullición inferior a 100°C. Debido a las propiedades especiales de estos fluidos de trabajo, los ciclos ORC pueden usar calor de baja y media temperatura de manera muy eficiente. (Criollo Lema & Pinzón Camacho, 2018)

Los fluidos orgánicos tienen como ventajas poder emplear equipos pequeños, dado que poseen un salto entálpico por cada unidad de volumen elevado y no se necesita agregarle calor puesto que el estado del fluido tras la expansión en la turbina no es de vapor húmedo.

2.2.3.2.1. Ciclo termodinámico

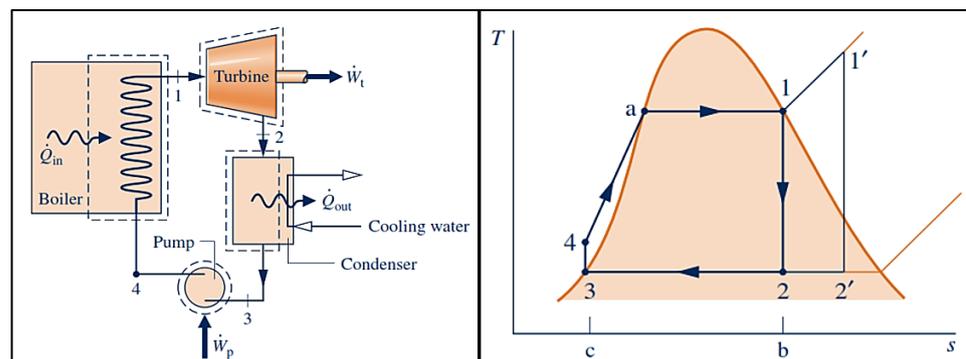
Este ciclo funciona con agua como base para el funcionamiento, pero en su estado gaseoso, esto debido al aprovechamiento de la energía atrapada en su interior al atravesar por una turbina de vapor y producir electricidad. Para analizar este tipo de ciclo, se deben aplicar los conocimientos de conservación de la masa y la energía, la segunda ley de la termodinámica y determinar las propiedades termodinámicas de cada estado. Para analizar este tipo de ciclos, debes aplicar los principios de conservación de ciclos. masa y energía, aplicar la segunda ley de la termodinámica y determinar las propiedades termodinámicas de cada estado (Moran et al., 2018).

En la Figura 14 se puede apreciar el esquema del Ciclo Rankine Ideal y su esquema termodinámico.

Los equipos capaces de realizar este ciclo, son: bomba, caldera o evaporador, turbina – generador y condensador. (Criollo Lema & Pinzón Camacho, 2018)

Figura 14

Esquema del Ciclo Rankine ideal y su diagrama termodinámico T-s



Fuente: (Moran et al., 2018)

2.2.3.3. Ventajas, desventajas y diferencias entre el Ciclo Orgánico Rankine (ORC) y el Ciclo Rankine Convencional (CRC)

2.2.3.3.1. Divergencia entre el Ciclo Rankine Convencional (CRC) y el Ciclo Rankine Orgánico (ORC)

La divergencia entre estos dos sistemas reside en el fluido de operación, ya que en el primer ciclo se hará uso de agua y vapor,

mientras que en el segundo ciclo se utilizará un elemento líquido orgánico con punto de ebullición bajo.

Mientras tanto, el nivel de temperaturas de exposición de un fluido de trabajo es diferente en los siguientes casos, en el primero las temperaturas de operación sobrepasan las temperaturas de ebullición del agua, pero en el segundo caso oscilan entre los 80 (°C) y 300 (°C). (Criollo Lema & Pinzón Camacho, 2018)

2.2.3.3.2. Ventajas y desventajas del Ciclo Rankine Convencional y Ciclo Rankine Orgánico

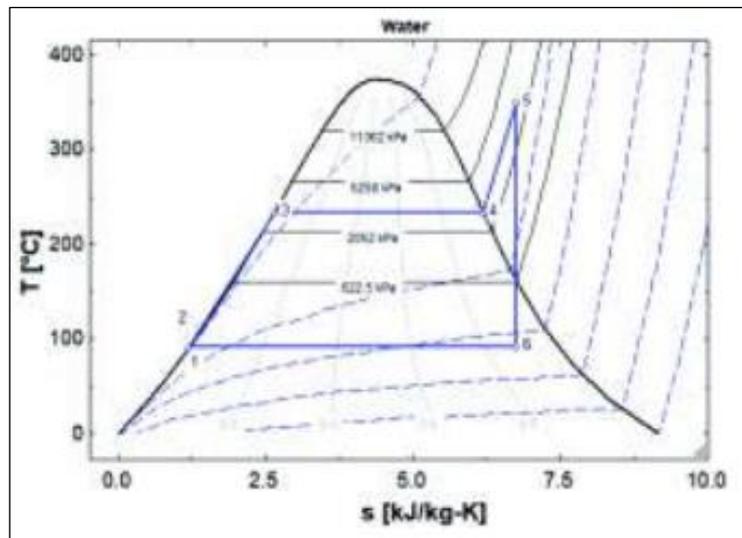
Las ventajas que nos brinda el ORC con respecto al CRC son las siguientes:

- El ORC nos ofrece una ventaja que tiene que ver con que está relacionada con las características termodinámicas de los fluidos de trabajo según su uso, por consiguiente, este método en comparación con los demás sistemas de ciclo cerrado presenta un diseño de planta más simple y de funcionamiento sencillo.
- Es eficiente para la reutilización del calor residual ya que sus costos operativos son más económicos, lo que hace que sea más aceptable usar energía de fuentes de biomasa a bajas temperaturas.
- Entre los limitantes que tiene este ciclo, es su baja eficiencia ya que sus limitaciones termodinámicas causan baja temperatura en el foco caliente.
- En la Figura 15 tenemos el diagrama T – s del agua (CRC) aquí el nivel temperatura presión varía entre 100 (°C) y 374 (°C) y en presión desde 500 (kPa) hasta los 15 (MPa), por ello es necesario el calor que venga del exterior y que tenga alta energía para poder llegar a tener dichas presiones y temperaturas, por ello no se considera un proceso eficiente para un sistema de baja energía.

- La Figura 16 nos ilustra el esquema temperatura entropía, del fluido orgánico R245fa (ORC) en el cual la temperatura oscila entre 25 (°C) hasta los 154 (°C) y su presión de trabajo desde 100 (kPa) hasta 3 (MPa), en conclusión, se requiere una fuente de baja potencia para alcanzar estos niveles. Si se realiza este proceso adecuadamente, evitaremos la corrosión en la turbina, ya que el líquido orgánico ingresa a la turbina como vapor saturado, evitando así la humedad en la etapa de expansión.
- La Figura 17 muestra el diagrama temperatura entropía del R245fa y agua dentro de un único esquema, donde se puede apreciar que cada fluido tiene un nivel de temperatura diferente.

Figura 15

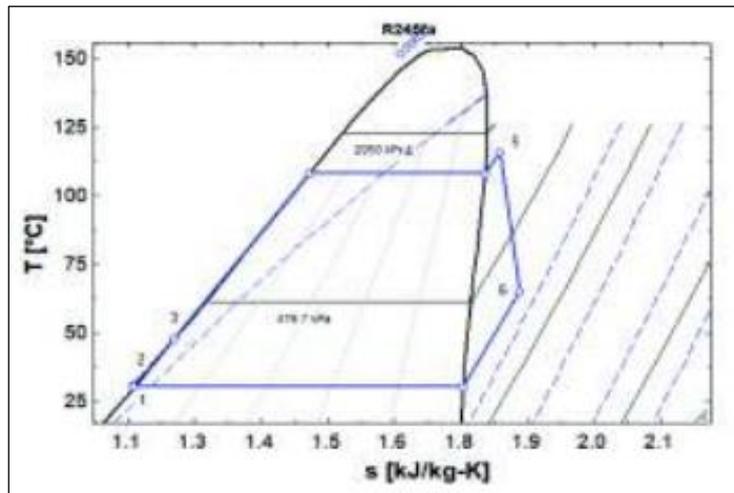
Diagrama T-s del agua



Fuente: (Criollo Lema & Pinzón Camacho, 2018)

Figura 16

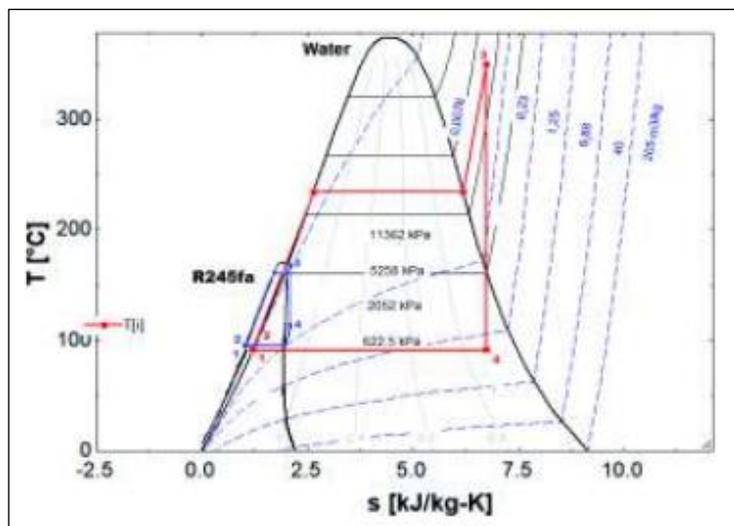
Diagrama Temperatura entropía del R245fa



Fuente: (Criollo Lema & Pinzón Camacho, 2018)

Figura 17

Diagrama temperatura entropía del R245fa y agua



Fuente: (Criollo Lema & Pinzón Camacho, 2018)

2.2.3.4. Elección del fluido de trabajo

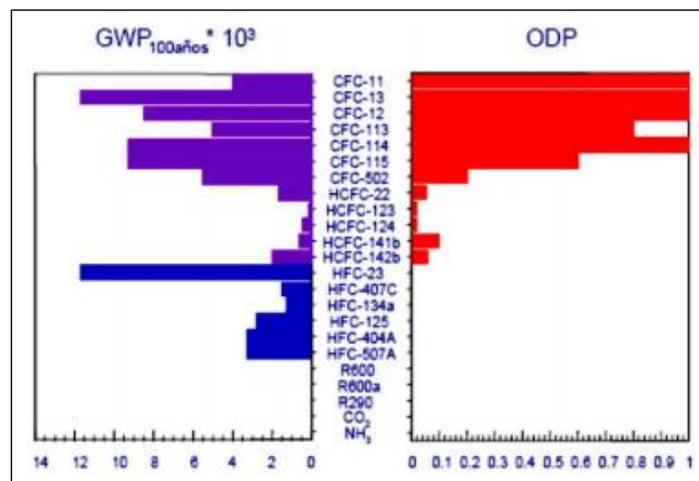
El fluido de trabajo en un ORC se selecciona de acuerdo al uso que se le brindará, al emisor de calor y su nivel de intensidad, el fluido debe tener una propiedad termodinámica optimas a las más bajas temperaturas y presiones posibles y, además, satisfacer múltiples criterios como: ser de bajo costo, no ser tóxico, no inflamable, no contaminante, etc. (Alean et al., 2015).

- Medio ambientales: algunos fluidos no están permitidos debido a tratados internacionales ya que muchos de ellos son nocivos para la capa de Ozono (PDO), definidos por el protocolo de Montreal o el de Kioto, cuyo fin es cuidar la capa de Ozono y evitar la emisión de gases contaminantes. A mediados de los años 70 se descubrió que los causantes de la destrucción a la capa de ozono serían los gases refrigerantes clorofluorocarbonos (CFC), por este motivo se creó el protocolo Montreal, donde se tomaron medidas a nivel internacional: reducir y después eliminar el uso de los gases CFCs e hidroclofluorocarbonos (HCFC), sustituyéndolos por hidroflofluorocarbonos (HFCs).

En febrero del 2005 entra en vigencia el protocolo Kioto sobre el cambio climático, haciendo énfasis en el efecto global de calentamiento debido a la contaminación que genera el ser humano generando gases que degradan la atmosfera. El protocolo de Montreal señala que los HFCs (sustitutos de CFCs y HCFCs) son elementos gaseosos que generan el efecto invernadero, los HFCs suponen un 4% actualmente y un 20% para el año 2050. El sistema definido para conocer el potencial del calentamiento global es el GWP. (Alean et al., 2015)

Figura 18

GWP y OPD de algunos CFCs, HCFCs, HFCs y refrigerantes naturales



Fuente: (Lugo, 2009)

La Figura 18 muestra el GWP y OPD de algunos CFCs, HCFCs, HFCs y refrigerantes naturales.

Este es un parámetro de la contribución relativa de una sustancia al calentamiento global en un tiempo estimado, tomando como punto de comparación al CO₂, cuyo valor asignado es GWP = 1. (Alean et al., 2015)

- Seguridad: el elemento líquido de trabajo debe ser no tóxico, en caso de fuga poder evitar algún desastre mayor, tampoco debe ser corrosivo para evitar daños de las instalaciones e inflamable. Para esto se puede usar la clasificación estándar 34 de la ASHRAE (The American Society of Heating, Refrigerating & Air – Conditioning Engineers) como guía, ya que nos muestra indicadores de grado de peligro del elemento, desde A1 (menor toxicidad, no inflamable), hasta A3 (menor toxicidad no inflamable) hasta B3 (mayor toxicidad y alta inflamabilidad). (Alean et al., 2015).
- Estabilidad: el fluido a utilizar debe ser químicamente estable, limita la temperatura de la fuente que genera calor, expuesto a temperaturas altas puede degradarse y formar nuevas sustancias que ocasionarían que el ciclo funcionara de forma diferente a la prevista originalmente (Alean et al., 2015).
- Presión: Si se elige un fluido que para ser eficiente requiere alta presión, el costo del equipo aumenta, ya que tiene que soportar mayor resistencia. (Alean et al., 2015).
- Calor latente y peso molecular: mientras mayor sea estas características, el sistema podrá absorber más energía de la fuente calorífica del evaporador, gracias a esto la puesta de equipos podría ser más pequeña y el consumo de bombeo mucho menor. (Alean et al., 2015).
- Bajo punto de congelación: el nivel de congelamiento debe ser más bajo que el nivel de temperatura más bajo del ciclo. (Alean et al., 2015).

- Curva de saturación: las propiedades termodinámicas del líquido indican que la pendiente de su curva de saturación en el diagrama temperatura-entropía es negativa, vertical o positiva, lo que afecta en gran medida el diseño y el rendimiento del ORC. (Alean et al., 2015).

La curva de saturación es fundamental para poder manejar eficientemente el calor que es desechado, ésta tiene injerencia en el intercambio de energía calorífica entre la fuente de calor y el fluido de trabajo. (Uris Mas, 2017).

La clasificación de los fluidos depende de la curva de saturación de vapor en diagramas T – s.

- FLUIDOS ISENTRÓPICOS: Se menciona el diclorodifluorometano (R12), triclorofluorometano (R11), entre otros. Con pendiente infinita, su curva de saturación de vapor casi vertical en el diagrama temperatura- entropía.
- FLUIDOS HÚMEDOS: su pendiente es negativa, entre ellos tenemos el agua, amonio, etc.
- FLUIDOS SECOS: tienen una pendiente positiva, entre ellos tenemos: el n-pentano, benceno, tolueno, aceite silicónicos, etc. (Uris Mas, 2017).

Un sistema de Ciclo Rankine orgánico es un sistema que emplea calor resultante de un proceso anterior, algunos procesos usan este sistema tal es el caso para gases de combustión de calderas, gases de escape de motores de centrales térmicas, etc. Este sistema tiene diferentes partes: turbina, condensador, bomba, evaporador economizador; y su elección tiene que realizarse en conjunto, salvo una caldera que funciona con biomasa. (Criollo Lema & Pinzón Camacho, 2018).

- **Bomba**

La bomba se encarga de que la presión de un elemento líquido aumente, luego de que éste salga del condensador, igualando su presión a la del evaporador. Una gran ventaja del ciclo Rankine orgánico es que el elemento de trabajo está en estado líquido, cuando este se encuentra sometido a presiones elevadas. Como el bombeo es inversamente proporcional a la densidad del fluido, la fuerza que se necesita para mantener la presión constante en un líquido es menor que la que se necesita para presurizar un gas o vapor.

La bomba no presenta características especiales y su eficiencia está comprendida entre 65% y 85%. (Uris Mas, 2017)

- **Evaporador**

Un evaporador o un intercambiador de calor externo sirve para brindar calor a una presión constante. Calienta el fluido a partir de la salida de la bomba o del regenerador hasta su llegada al expansor. (Uris Mas, 2017)

- **Economizador**

El economizador o regenerador es donde se genera calor a una presión que es constante. El regenerador eleva la temperatura previamente al fluido cuando sale de la bomba a las condiciones de entrada del evaporador y baja su temperatura a la salida del expansor a condición de entrada del condensador (Uris Mas, 2017).

- **Condensador**

El fluido que sale de la turbina (ciclos no regenerativos) o del regenerador (ciclos regenerativos) sufre un proceso de cambio de fase en el condensador a presión cte. hasta llegar al punto de líquido saturado y allí cede energía calorífica para lograr este paso.

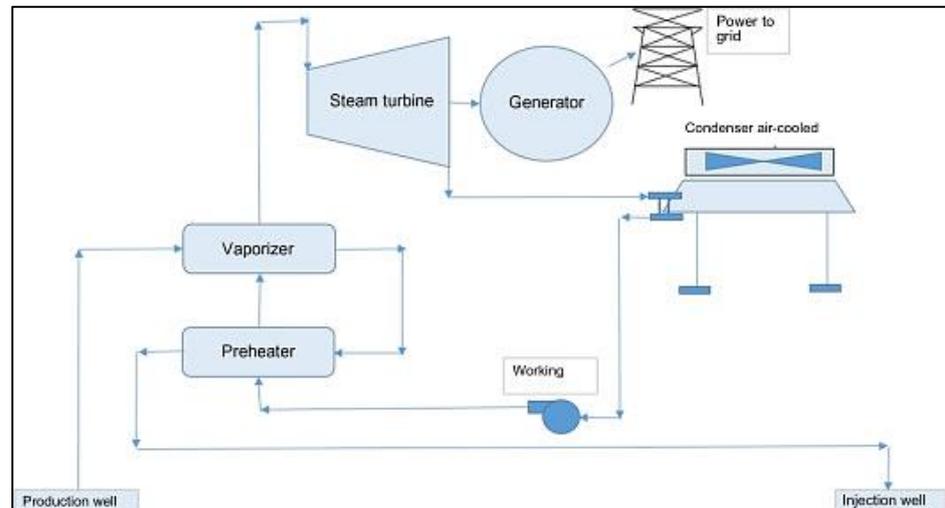
Se desea evitar que el aire ingrese al condensador, el ciclo debería operar a una temperatura de condensación que alcance una presión mayor a la atmosférica. (Uris Mas, 2017).

- **Turbina**

El fluido orgánico es expulsado del evaporador como vapor sobrecalentado y se expande dentro de la turbina, produciendo movimiento mecánico de rotación, el que causa movimiento a un eje. Este eje está conectado a un generador eléctrico dentro del campo magnético. (Criollo Lema & Pinzón Camacho, 2018).

Figura 19

Diagrama del Ciclo Binario Rankine de potencia



Fuente: (Hernández Ochoa et al., 2021)

2.3. Definición conceptual de la terminología empleada

Análisis de rentabilidad

Este análisis permite determinar qué tan rentable puede ser un determinado proyecto o inversión, donde se usan los parámetros característicos del VAN, TIR, R b/c y el tiempo de recuperación de la inversión (Tr).

Biomasa

En términos de energía se define como la materia orgánica producida de los procesos biológicos, puede ser instantáneo o inducido, que puede emplearse para producir energía eléctrica.

Central Termoeléctrica

Es una instalación donde la energía mecánica que es empleada para mover el rotor de un generador se logra obtener electricidad, para lograr dicho fin se emplea vapor o algún otro tipo de sustancia con la capacidad de mover las aspas de una turbina.

Ciclo Orgánico Rankine

Es un ciclo termodinámico donde se emplean dos fluidos cuya finalidad es generar energía, uno que se usará como fuente de calor y el otro fluido que permitirá generar electricidad en el Ciclo Rankine de potencia.

Intercambiador de calor

Usado para la transmisión de calor de dos fluidos de diferentes temperaturas separados por una pared, ocurre habitualmente en muchas aplicaciones técnicas.

Relación beneficio costo (R b/c)

Índice definido como la relación entre los beneficios obtenidos y los gastos o egresos de la inversión o proyecto.

Residuos sólidos

Son productos, subproductos o sustancias que se encuentran en estado semisólido o sólido, que pueden ser perjudiciales para la salud y el medio ambiente si es que no son administrados adecuadamente. Proviene

generalmente de la producción de bienes y servicios debido a las actividades de consumo humano.

Tasa interna de retorno (TIR)

En definición, es la tasa de interés o rentabilidad que lograría ofrecer un determinado proyecto o inversión.

Tiempo de retorno de la inversión

Es el tiempo estimado que permite determinar en cuanto tiempo se podrá recuperar la inversión inicial realizada en un determinado proyecto.

Valor Actual Neto (VAN)

Criterio empleado en las inversiones, donde se actualizan los egresos e ingresos de un proyecto o inversión para determinar cual sería la utilidad o pérdida con dicha inversión.

CAPÍTULO III : MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación utilizada en este trabajo es:

Investigación descriptiva cuantitativa

El presente proyecto se centra en la descripción de los parámetros para la determinación de las características de una central de una central térmica de ciclo orgánico Rankine.

3.2. Población y muestra

Población

Cantidad de residuos sólidos del departamento de Lambayeque

Muestra

Cantidad de residuos de la ciudad de Chiclayo.

3.3. Hipótesis

Proyecto de una central termoeléctrica de ciclo orgánico Rankine que aproveche los residuos sólidos de la ciudad de Chiclayo.

3.4. Variables – Operacionalización

En la Tabla 1 se aprecia la operacionalización de variables.

Tabla 1

Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN DE LA VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES
Ciclo Orgánico Rankine (OCR)	Es un principio basado en una turbina de vapor que transforma la energía térmica del fluido en energía mecánica, que posteriormente es transformada en electricidad mediante un generador eléctrico. En lugar de usar agua, utiliza un fluido de elevado peso molecular (Castro Suárez, 2018).	<ul style="list-style-type: none"> - Características de la biomasa de los residuos sólidos de la ciudad de Chiclayo. 	Kilogramos (kg)
		<ul style="list-style-type: none"> - Determinar el potencial energético de los residuos sólidos) - Evaluar el valor de calentamiento bajo 	<p>Energía (kJ)</p> <p>Lhv (kJ/kg)</p>

Fuente: Elaboración propia.

3.5. Métodos y técnicas de investigación

3.5.1. Técnicas de investigación

Hoja de observación

Con este tipo de tecnología, podemos examinar visualmente la situación actual en relación con el diseño de centrales térmicas de biomasa, identificar y marcar las manifestaciones, y tener una idea de la distribución de los equipos de la instalación térmica. Esta información es muy importante de acuerdo a la investigación realizada para la propuesta.

Ficha de Investigación

Para desarrollar esta técnica, se buscó información actual, relacionada con el tema de investigación, y también se hizo un análisis de diversos trabajos realizados en revistas, manuales, revistas técnicas, publicaciones de varios sitios web que sean confiables.

3.6. Descripción de los instrumentos utilizados

En la Tabla 2 se puede observar la descripción de los instrumentos utilizados.

Tabla 2

Instrumentos empleados

TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
Observación	Cuaderno de apuntes, fichas de campo.
Análisis de documentos	Revistas, páginas web de internet, Libros, tesis

Fuente: Elaboración propia.

3.7. Análisis estadístico e interpretación de los datos

Para el análisis de los datos, se empleó las tablas termodinámicas respectivas de acuerdo con el fluido de trabajo seleccionado, para lograr realizar un análisis detallado de todo el análisis termodinámico se empleó el software Microsoft Word 2019, para procesar los datos de rentabilidad se hizo uso del Microsoft Excel 2019 y para el resto de datos se realizó una búsqueda de información de diferentes bibliografías, fuentes confiables, revistas científicas, tesis y trabajos de investigación para lograr dar solución a los objetivos planteados.

CAPÍTULO IV : PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

4.1. Cálculo del poder energético de la biomasa

Según Serrato & Lesmes (2016), se obtuvieron las propiedades energéticas de la biomasa, por medio de la relación entre la masa del residuo seco (M_{rs}) y la energía (E) del residuo por unidad de masa, llamada también como valor de calentamiento bajo l_{hv} .

$$PE = (M_{rs}) * (E) \dots \text{Ecuación 1}$$

Donde:

PE : potencial energético

M_{rs} : masa del residuo seco (kg)

E/l_{hv} : valor de calentamiento bajo (kJ/kg)

4.2. Evaluación del valor de calentamiento bajo

Según Pelegrina (2016), indica que el valor de calentamiento bajo se define como la cantidad de calor desprendida mediante un proceso de combustión por unidad de volumen o masa de combustible.

Tabla 3

l_{hv} de los residuos sólidos

COMPONENTES	l _{hv} (kJ/kg) TÍPICO
Papel	16736
Cartón	16271.58
Materia orgánica	4648.42
Textiles	17434.73

Adaptado de (Gestión de RSU, 2020).

4.3. Determinación del peso seco de la biomasa

Para poder determinar el peso seco de los residuos sólidos urbanos, necesitamos primero hallar el porcentaje de humedad contenido en los residuos sólidos.

4.4. Humedad en los residuos solidos

Según Gestión de RSU (2020), señala que el nivel de contenido de humedad se puede expresar de dos formas. En el método de medición peso – húmedo,

la humedad de una muestra se expresa como porcentaje del peso del material húmedo; en el método peso – seco, se expresa como porcentaje del peso seco del material. El primer método se usa más frecuentemente en el campo de la gestión de residuos sólidos, y en forma de ecuación, se expresa de la forma siguiente:

$$M = \left(\frac{w-d}{w} \right) * 100 \dots \text{Ecuación 2}$$

Donde:

M: Porcentaje de humedad

w: Masa inicial al entregarse (kg)

d: Masa de la muestra al secarse (kg)

Tabla 4

Datos de la humedad de los residuos sólidos

Tipos de residuos	Contenido de humedad porcentaje en peso	
	Rango	Típico
Materia orgánica	50 – 80	70
Papel	4 – 10	6
Cartón	4 – 8	5
Plásticos	1 – 4	2
Textiles	6 – 15	10
Vidrios	1 – 4	2
Aluminio	2 – 4	2
Suciedad, cenizas, otros	6 – 12	8

Adaptado de, (Gestión de RSU, 2020).

4.5. Generación de desechos sólidos de la ciudad de Chiclayo

Estos datos han sido extraídos del Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos de la ciudad de Chiclayo otorgada por la municipalidad provincial de Chiclayo.

Tabla 5

Generación de residuos sólidos en la ciudad de Chiclayo

	Generación domiciliaria Ton/día										
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
CHICLAYO	126.17	129.05	132.00	135.01	138.10	141.25	144.48	147.78	151.15	154.61	158.14
CAYALTI	7.86	8.01	8.18	8.34	8.51	8.68	8.85	9.03	9.21	9.40	9.59
CHONGOYAPE	7.66	7.80	7.94	8.09	8.24	8.39	8.55	8.71	8.87	9.03	9.20
ETEN	6.62	6.77	6.92	7.09	7.26	7.44	7.63	7.82	8.03	8.24	8.46
JOSE LEONARDO ORTIZ	97.88	100.47	103.09	105.73	108.40	111.10	113.83	116.58	119.37	122.18	125.01
LA VICTORIA	51.33	52.50	53.70	54.93	56.18	57.46	58.78	60.12	61.49	62.89	64.33
LAGUNAS	3.14	3.21	3.29	3.36	3.44	3.51	3.59	3.67	3.75	3.84	3.92
MONSEFU	12.41	12.67	12.94	13.21	13.49	13.77	14.06	14.35	14.64	14.94	15.24
NUEVA ARICA	0.97	0.98	0.99	1.01	1.02	1.04	1.05	1.07	1.08	1.10	1.11
OYOTUN	3.21	3.28	3.36	3.43	3.51	3.59	3.68	3.76	3.85	3.94	4.03
PATAPO	10.38	10.50	10.63	10.74	10.87	10.99	11.12	11.25	11.38	11.51	11.64
PICSI	3.31	3.38	3.45	3.52	3.59	3.66	3.73	3.81	3.89	3.96	4.04
PIMENTEL	17.27	18.09	18.94	19.83	20.77	21.75	22.77	23.85	24.97	26.15	27.38
POMALCA	8.48	8.64	8.76	8.88	9.01	9.13	9.26	9.39	9.52	9.65	9.79
PUCALÁ	4.02	4.10	4.18	4.27	4.35	4.44	4.53	4.62	4.71	4.81	4.90
PUERTO ETEN	1.04	1.06	1.07	1.09	1.11	1.13	1.15	1.17	1.19	1.21	1.23
REQUE	5.28	5.42	5.56	5.71	5.86	6.01	6.17	6.34	6.50	6.67	6.85
SANTA ROSA	5.44	5.61	5.79	5.97	6.15	6.34	6.53	6.73	6.93	7.14	7.35
TUMAN	11.23	11.35	11.48	11.61	11.74	11.87	12.01	12.14	12.28	12.41	12.55
ZAÑA	4.81	4.90	5.00	5.10	5.21	5.31	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87
PROVINCIA	388.49	397.80	407.27	416.93	426.80	436.88	447.18	457.69	468.44	479.41	490.63

Fuente: Elaborado con información de la Municipalidad Provincial de Chiclayo.

Tabla 6*Clasificación de los residuos sólidos de Chiclayo*

Tipo de Residuos	Chiclayo	Eten	José Leonardo Ortiz	La Victoria	Monsefú	Pátapo	Pimentel	Puerto Eten	Reque	Tumán	Promedio
Papel	4.635	4.970	1.661	2.074	3.919	10.140	4.333	4.134	4.760	6.500	4.71
Cartón	1.797	10.410	1.548	1.664	1.931	4.340	2.445	2.140	2.715	2.400	3.14
Vidrio	2.095	3.440	0.424	3.684	2.064	10.430	2.450	2.805	1.177	1.700	3.03
Hojalata (metal ferroso)	1.294	1.780	0.647	0.339	0.150	3.380	1.500	1.883	0.906	2.900	1.48
Aluminio	0.108	1.040	0.028	0.354	0.772	0.560	0.317	0.012	0.039		0.36
PET (1)	1.441	2.870	0.447	0.123	1.054	7.050	2.865	1.140	0.931	1.500	1.94
PEAD (2)	0.510	0.610	1.738	2.260	1.917	0.950	0.582	0.640	1.806	2.400	1.34
PVC (3)	0.299		0.076	0.622	0.184		0.650	0.624	0.114		0.37
PEBD (4)	1.335		0.263	0.380	0.495		0.487	1.497	2.367		0.97
PP (5)	1.063		0.367	0.566	0.459	2.550	0.570	0.765	1.164		0.94
PS (6)	0.210		0.323	0.579	0.170		0.097	0.480	0.841		0.39
Otros (7)	0.544	2.380	0.941	0.436	0.664	5.480	0.375	0.103	0.454	6.300	1.77
Materia Orgánica	63.237	59.790	77.279	38.204	62.401	24.080	40.718	43.439	65.280	32.100	50.65
Tierra, arena, otros	2.358		4.205	21.011	5.302	18.160	5.981	8.073	0.266	23.800	9.91
Telas	1.981		1.650	1.169	3.641	2.140	2.105	2.081	2.325	3.400	2.28
Pañales	5.076		3.494	2.897	5.708		7.714	9.575	4.811		5.61
Papel higiénico	4.081		1.020	2.094	2.312	6.450	4.690	4.273	2.095	7.700	3.86
Toallas Higiénicas	0.680		0.084	0.328	0.087		0.034	0.446	0.151		0.26
Productos Farmacéuticos	0.096		0.063	0.291	0.072		0.980	0.415	0.131		0.29
Pilas y baterías	0.031	0.130		0.003	0.015		0.020	0.015	0.033	0.400	0.08
Fluorescente y focos	0.059			0.026	0.034		0.522	0.060	0.107		0.13
Otros (cuero, ceniza, porcelana)	7.071	12.580	3.742	20.896	6.649	4.290	20.565	15.400	7.527	8.900	6.50

Adaptado de (Organización para el Desarrollo sostenible, 2012)

CAPÍTULO V : ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1. Evaluación del potencial energético de los residuos sólidos de la ciudad de Chiclayo

5.1.1. Determinación de la humedad

Los datos obtenidos se pueden observar en la tabla siguiente, que han sido desarrollados mediante la fórmula del cálculo de la humedad.

Tabla 7

Cálculo de la humedad de los residuos sólidos de la ciudad de Chiclayo

Cálculo de humedad			
Tipo de Residuo	Peso Inicial (%)	Humedad Teórica (%)	Peso Seco (%)
Papel	4.71	6	4.43
Cartón	3.14	5	2.98
Vidrio	3.03	2	2.97
Hojalata	1.48	3	1.44
Aluminio	0.36	2	0.35
PET	1.94	2	1.90
PEAD	1.34	2	1.31
PVC	0.37	2	0.36
PEBD	0.97	2	0.95
PP	0.94	2	0.92
PS	0.39	2	0.38
Otros	1.77	2	1.73
Materia Orgánica	50.65	70	15.20
Tierra, arena, otros	9.91	8	9.12
Telas	2.28	10	2.05
Pañales	5.61	6	5.27
Papel higiénico	3.86	6	3.63
Toallas higiénicas	0.26	6	0.24
Productos farmacéuticos	0.29	2	0.28
Pilas y baterías	0.08	3	0.08
Fluorescente y focos	0.13	2	0.13
Otros (cuero, ceniza, porcelana)	6.50	6	6.11
TOTAL	100.01		61.84

Adaptado de (Tineo Huancas, 2019)

La masa que se tiene inicialmente, se procesa en porcentaje extrayendo los datos del Plan Integral de Gestión de Residuos Sólidos de Chiclayo del año 2020.

Empleando la ecuación del contenido de la humedad empleando el 100% de desechos urbanos que genera la ciudad de Chiclayo, se obtiene un porcentaje de 61.84 de peso seco. Mientras que la humedad fue de un 38.16%

5.1.2. Cálculo del peso seco

Residuos potencialmente incinerables, que se han calculado empleando el peso seco y su potencial energético, donde se emplearon los datos del 2020, que corresponden al Plan Integral de Gestión de Residuos Sólidos perteneciente a la localidad de Chiclayo, que serían 645.23 t/día.

Tabla 8

Cálculo del peso seco de los residuos sólidos de la ciudad de Chiclayo

CALCULO DEL PESO SECO				
Tipo de Residuo	Peso Inicial (t)	Peso seco teórico (%)	Peso Seco (t)	Peso Seco (kg)
Papel	55.30	94%	51.98	51980
Cartón	20.26	95%	19.25	19250
Materia Orgánica	326.83	30%	98.05	98050
Telas	14.71	90%	13.24	13240
TOTAL	417.1		182.52	182520

Adaptado de (Tineo Huancas, 2019)

De las 645,23 toneladas por día de residuos sólidos que genera la ciudad de Chiclayo en el año 2020, 417.1 toneladas corresponden a desechos con potencial para ser quemados, y 182.52 Tn corresponden al peso deshidratado de los residuos.

5.1.3. Delimitación del l_hv de los desechos sólidos

Tabla 9

Valor de calentamiento bajo de los desechos sólidos de la ciudad de Chiclayo

Tipo de Residuo	l_hv (kJ/kg)
Papel	16736
Cartón	16271.58
Materia orgánica	4648.42
Textil	17434.73

Adaptado de, (Gestión de RSU, 2020).

5.1.4. Cálculo de la energía

Para este fin utilizamos la ecuación 1.

Tabla 10

Energía de los residuos sólidos de la ciudad de Chiclayo

Tipo de residuo	lhv (kJ/kg)	Peso seco (kg)	Energía (kJ)
Papel	16736	51980	869937280
Cartón	16271.58	19250	313227838
Materia orgánica	4648.42	98050	455777973.2
Textil	17434.73	13240	230835798.72
Energía producida por la biomasa			1869778889.92

Fuente: Elaboración propia

La energía total de biomasa sería 1 869 778 889.92 kJ

5.1.5. Potencial energético de biomasa

Entonces la energía calorífica generada por la combustión de la biomasa es aproximadamente: 1 869 778 889,92 kJ

Energía de la biomasa = 1 869 778 889,92 kJ x (1MJ/ 1000 kJ)

Energía de la biomasa = 1 869 778,89 MJ x (0,2778 kWh/ 1MJ)

Energía de la biomasa = 519 424,58 kWh x (1MWh/ 1000 kWh)

Energía de la biomasa = 519,42 MWh

Entonces la energía calorífica suministrada por la biomasa es de 519.42 MWh al día.

5.1.6. Energía disponible diaria

Energía biomasa diaria = Energía calorífica / tiempo

Energía biomasa diaria = 519.42 MWh / 24h

Energía biomasa diaria = 21.6425 MW

Entonces, la energía que aporta la biomasa al evaporador es de 21.6425 MW, dicho dato permitió determinar el flujo de masa del fluido orgánico de trabajo en el Ciclo Rankine Orgánico.

5.2. Análisis termodinámico del Ciclo Orgánico Rankine (ORC)

Para poder iniciar con el análisis se tuvo que elaborar un bosquejo de la configuración para la central térmica de biomasa, considerando los componentes más importantes que formarán parte de la misma, lo cual se puede apreciar en la Figura 20.

Los principales componentes son:

- Caldera para biomasa.
- Evaporador.
- Turbina de vapor.
- Regenerador.
- Condensador.
- Bomba.
- Generador eléctrico.

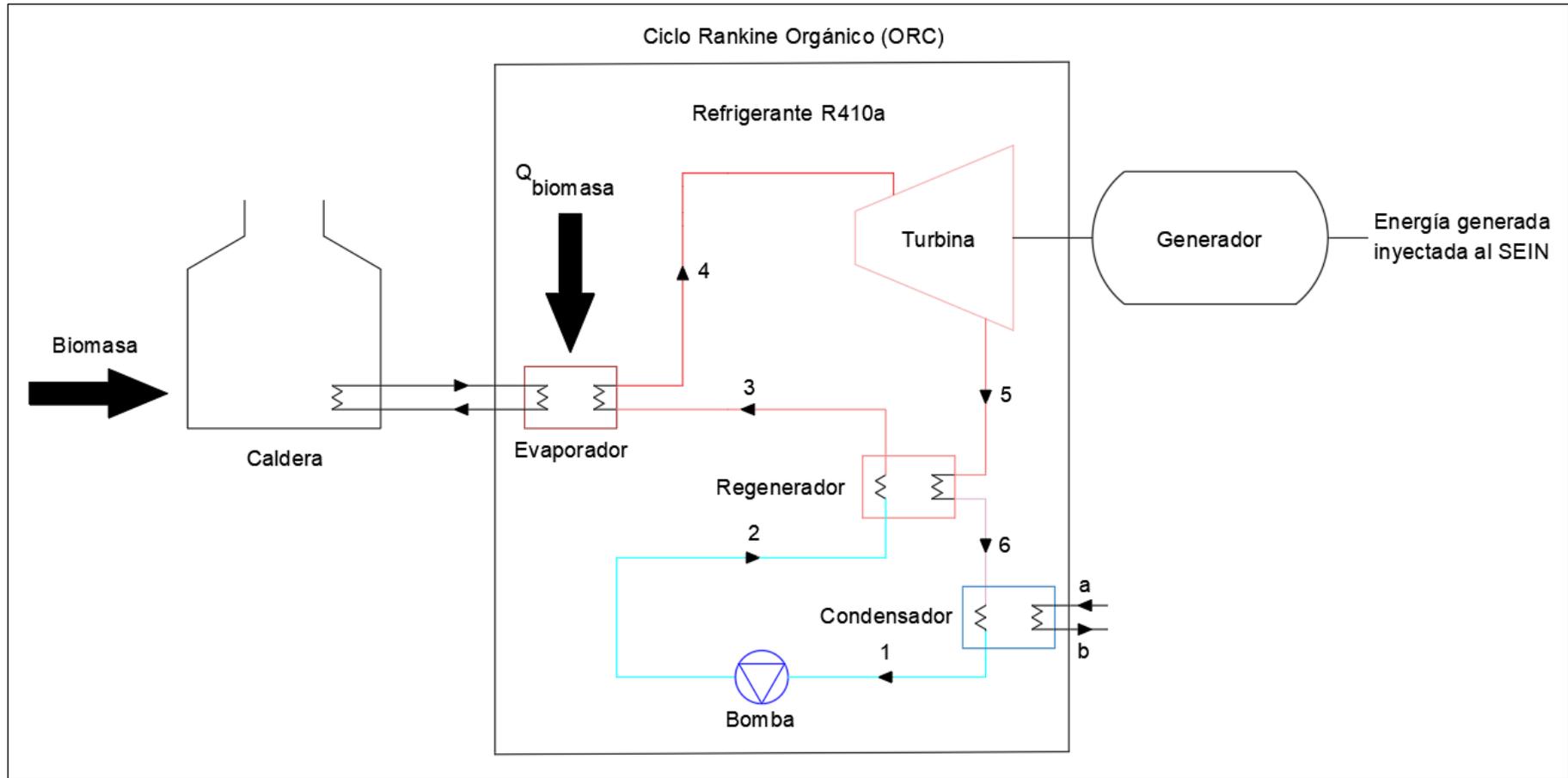
5.2.1. Selección del fluido orgánico para ORC

En los Ciclos Rankine Orgánicos se emplean múltiples fluidos orgánicos de trabajo, pero de acuerdo con Trujillo & Pérez (2022), el refrigerante R410a es uno de los más adecuados para dichos ciclos, debido a sus propiedades termodinámicas.

Por lo tanto, el fluido orgánico de trabajo empleado para el análisis termodinámico será el R410a. En el Anexo 1 se aprecia las tablas termodinámicas obtenidas del libro *Fundamentals of Thermodynamics* del autor Borgnakke & Sonntag (2019).

Figura 20

Configuración de la central térmica de Biomasa



Fuente: Elaborado con AutoCAD 2022.

5.2.2. Análisis termodinámico

Estado 1:

$$P_1 = 100 \text{ kPa}$$

$$T_1 = -51.67 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_1 = h_{f@100 \text{ kPa}} = -16.071 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$v_1 = v_{f@100 \text{ kPa}} = 0.00074055 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

Estado 2:

$$P_2 = 4000 \text{ kPa}$$

$$w_{bomba} = v_1(P_2 - P_1)$$

$$w_{bomba \text{ ideal}} = 0.00074055 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} (4000 - 100) \text{ kPa} = 2.888 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_2 = h_1 + w_{bomba}$$

$$h_2 = -16.071 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 2.888 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = -13.183 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Estado 3:

$$P_3 = 4000 \text{ kPa}$$

$$T_3 = -10 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_3 = 42.80 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Estado 4:

$$P_4 = 4000 \text{ kPa}$$

$$T_4 = 240 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_4 = 509.85 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$s_4 = 1.4696 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{ }^\circ\text{C}}$$

Estado 5:

$$P_5 = 100 \text{ kPa}$$

$$s_5 = s_4 = 1.4696 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$T_5 = 51.925 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$h_5 = 340.327 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Estado 6:

Intercambiador de calor (Regenerador)

$$\dot{Q}_{\text{entrada}} = \dot{Q}_{\text{salida}}$$

$$\dot{m}_{\text{fluido orgánico}} (h_6 - h_5) = \dot{m}_{\text{fluido orgánico}} (h_3 - h_2)$$

$$h_6 - h_5 = h_3 - h_2$$

$$h_6 = h_2 - h_3 + h_5$$

$$h_6 = (-13.183 - 42.80 + 340.327) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 284.344 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$T_6 = -16.672 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Ahora, considerando una eficiencia isentrópica de 85% para la turbina y de 80% para la bomba, se tuvo lo siguiente:

$$\eta_{\text{turbina}} = 85\% = 0.85 \quad \eta_{\text{bomba}} = 80\% = 0.80$$

$$w_{\text{bomba.real}} = \frac{w_{\text{bomba}}}{\eta_{\text{bomba}}}$$

$$w_{\text{bomba.real}} = \frac{2.888 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{0.80} = 3.61 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_{2r} = (-16.071 + 3.61) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = -12.461 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$w_{\text{turbina.ideal}} = h_4 - h_5$$

$$w_{\text{turbina.ideal}} = (509.85 - 340.327) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 169.523 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_{5r} = h_4 - \eta_{turbina} \cdot W_{turbina.ideal}$$

$$h_{5r} = (509.85 - 0.85 \times 169.523) \frac{kJ}{kg} = 365.755 \frac{kJ}{kg}$$

Calculando los trabajos reales de la bomba y turbina:

$$W_{turbina.real} = h_4 - h_{5r}$$

$$W_{turbina.real} = (509.85 - 365.755) \frac{kJ}{kg} = 144.095 \frac{kJ}{kg}$$

$$W_{bomba.real} = h_{2r} - h_1$$

$$W_{bomba.real} = (-12.461 - -16.071) \frac{kJ}{kg} = 3.61 \frac{kJ}{kg}$$

Luego, el trabajo neto ideal es de:

$$W_{neto.ideal} = W_{turbina.ideal} - W_{bomba.ideal}$$

$$W_{neto.ideal} = (169.523 - 2.888) \frac{kJ}{kg} = 166.635 \frac{kJ}{kg}$$

El trabajo real fue de:

$$W_{neto real} = W_{turbina real} - W_{bomba real}$$

$$W_{neto real} = (144.095 - 3.61) \frac{kJ}{kg} = 140.485 \frac{kJ}{kg}$$

En el evaporador, la cantidad de calor suministrado por la caldera debido a la biomasa es de 21.6425 MW, pero considerando una eficiencia de la caldera de un 88%, se tuvo que:

$$\dot{Q}_{caldera real} = \eta_{caldera} \times \dot{Q}_{caldera ideal}$$

$$\dot{Q}_{caldera real} = 0.88 \times 21.6425 MW = 19.0454 MW$$

Calculando el flujo másico del fluido orgánico de trabajo del Ciclo Rankine Orgánico (ORC), el cual fue de:

$$\dot{m}_{fluido orgánico} = \frac{\dot{Q}_{caldera real}}{h_4 - h_3}$$

$$\dot{m}_{fluido orgánico} = \frac{19.0454 \times 10^3 \frac{kJ}{s}}{(509.85 - 42.80) \frac{kJ}{kg}} = 40.778 \frac{kg}{s}$$

Conociendo el flujo másico del Ciclo Rankine Orgánico, se calculó la potencia de generación de la turbina y el trabajo absorbido por la bomba:

$$W_{turbina} = \dot{m}_{fluido\ orgánico} \times w_{turbina.real}$$

$$W_{turbina} = 40.778 \frac{kg}{s} \times 144.095 \frac{kJ}{kg} = 5875.91 \frac{kJ}{s}$$

$$W_{turbina} = 5.876\ MW$$

$$W_{bomba} = \dot{m}_{fluido\ orgánico} \times w_{bomba.real}$$

$$W_{bomba} = 40.778 \frac{kg}{s} \times 3.61 \frac{kJ}{kg} = 147.21 \frac{kJ}{s}$$

$$W_{bomba} = 147.21\ kW \times \frac{1\ hp}{0.746\ kW} \approx 197.33\ hp$$

El trabajo neto real:

$$W_{neto\ real} = W_{turbina} - W_{bomba}$$

$$W_{neto\ real} = 5875.91\ kW - 147.21\ kW = 5728.70\ kW$$

$$W_{neto\ real} = 5.729\ MW$$

El calor recuperado en el regenerador es de:

$$\dot{Q}_{recuperado} = \dot{m}_{fluido\ orgánico} (h_{5r} - h_6)$$

$$\dot{Q}_{recuperado} = 40.778 \frac{kg}{s} (365.755 - 284.344) \frac{kJ}{kg} = 3319.78 \frac{kJ}{s}$$

$$\dot{Q}_{recuperado} = 3.320\ MW$$

En el condensador:

$$\dot{Q}_{condensador} = \dot{m}_{fluido\ orgánico} (h_6 - h_1)$$

$$\dot{Q}_{condensador} = 40.778 \frac{kg}{s} (284.344 - -16.071) \frac{kJ}{kg} = 12250.32 \frac{kJ}{s}$$

$$\dot{Q}_{condensador} = 12.250\ MW$$

El flujo volumétrico para el evaporador y el regenerador vienen a ser los mismos, ya que el flujo másico del fluido orgánico es el mismo en todo el Ciclo Rankine Orgánico, por lo tanto, el flujo volumétrico será de:

$$\rho_{R410a} = 1062 \frac{kg}{m^3}$$

$$\dot{V}_{R410a} = \frac{\dot{m}_{fluido\ orgánico}}{\rho_{R410a}}$$

$$\dot{V}_{R410a} = \frac{40.778 \frac{kg}{s}}{1062 \frac{kg}{m^3}} = 0.0384 \frac{m^3}{s}$$

$$\dot{V}_{R410a} = 0.0384 \frac{m^3}{s} \times \frac{3600\ s}{1\ h} = 138.24 \frac{m^3}{h}$$

La eficiencia térmica de la central de biomasa fue de:

$$\eta_{térmica\ real} = \frac{W_{neto\ real} + \dot{Q}_{recuperado}}{Q_{entrada}}$$

$$\eta_{térmica\ real} = \frac{5.729\ MW + 3.320\ MW}{21.6425\ MW} = 0.4181 \approx 41.81\%$$

5.3. Selección de componentes para la central térmica de biomasa

5.3.1. Caldera

Para poder seleccionar la caldera, es necesario conocer el poder calorífico que deberá administrar, por lo que, al conocer que la energía calorífica ofrecida por la biomasa, se puede convertir de MW a bhp (potencia de caldera). Entonces se tuvo lo siguiente:

$$P_{caldera} = 21.6425\ MW \times \frac{101.94\ bhp}{1\ MW}$$

$$P_{caldera} = 2206.28\ bhp$$

Entonces, debe tener una capacidad de 2206.25 bhp. En el mercado existe una caldera con una capacidad de 2485 bhp marca ZOZEN modelo SZL35-2.45-M, con una eficiencia de 88%. En el Anexo 2 se puede visualizar la ficha técnica.

5.3.2. Turbina de vapor

La turbina debe de generar una potencia nominal de 5.876 MW. Para cubrir dicha potencia se seleccionó la turbina de vapor KK&K de HOWDEN Mono de hasta 6 MW. La ficha técnica se aprecia en el Anexo 3.

5.3.3. Generador eléctrico

El generador eléctrico se selecciona empleando la potencia aparente en MVA. Considerando un factor de potencia de 0.8 y una eficiencia de 0.96, se tuvo lo siguiente:

$$P_{generador} = \frac{0.96 \times W_{turbina}}{f.p.}$$
$$P_{generador} = \frac{0.96 \times 5.876 \text{ MW}}{0.80} = 7.051 \text{ MVA}$$

El generador eléctrico seleccionado es de la marca ABB 9AKK106094, con una potencia aparente regulable desde los 0.9 MVA hasta 7.8 MVA. La ficha técnica se aprecia en el Anexo 4.

5.3.4. Bomba

La bomba debe tener una capacidad de 147.21 kW o 197.33 hp (197.41 CV). Se seleccionó la bomba Inox 200 CV 5 polos WEG. La ficha técnica se aprecia en el Anexo 5.

5.3.5. Evaporador

El evaporador no es más que un intercambiador de calor, por lo que es necesario conocer el flujo volumétrico que debe ser transferido. 138.24 m³/h. Para cubrir dicha necesidad, se seleccionó el intercambiador de calor Alfa Laval modelo TL10BFG. La ficha técnica se aprecia en el Anexo 6.

5.3.6. Regenerador

El regenerador no es más que un intercambiador de calor, por lo que es necesario conocer el flujo volumétrico que debe ser transferido. 138.24 m³/h. Para cubrir dicha necesidad, se seleccionó el intercambiador de calor Alfa Laval modelo TL10BFG. La ficha técnica se aprecia en el Anexo 6.

5.3.7. Condensador

El condensador no es más que un intercambiador de calor, por lo que es necesario conocer el flujo volumétrico que debe ser transferido. 138.24 m³/h. Para cubrir dicha necesidad, se seleccionó el intercambiador de calor Alfa Laval modelo TL10BFG. La ficha técnica se aprecia en el Anexo 6.

5.4. Evaluación económica del proyecto:

5.4.1. Inversión

Para poder calcular inversión del proyecto de la central termoeléctrica propuesta, se ha considerado el equipamiento y sistemas auxiliares de las plantas térmicas para la producción de electricidad.

En la Tabla 11 se puede observar el costo de inversión estimada para la central térmica.

Tabla 11
Inversión estimada de la central térmica

Ítem	Valor total (S/.)
Caldera ZOZEN SZL35-2.45-M	3 100 000.00
Turbina de vapor Howden KK&K Mono 6MW	2 050 000.00
Generador eléctrico ABB 9AKK106094 / 0.9-7.8 MVA	1 400 000.00
Bomba Inox 200 CV 4 polos WEG	800 000.00
Evaporador Alfa Laval TL10BFG	300 000.00
Regenerador Alfa Laval TL10BFG	300 000.00
Condensador Alfa Laval TL10BFG	300 000.00
Obras de construcción	2 000 000.00
Adquisición del terreno	3 600 000.00
Montaje y pruebas	2 500 000.00
Sistema de pretratamiento de los residuos	1 800 000.00
Ingeniería	1 500 000.00
Subestación	2 400 000.00
Sistemas contra incendios	320 000.00
Iluminación y ventilación	150 000.00
Suma preliminar	22 520 000.00
IGV	4 053 600.00
Suma preliminar + IGV	26 573 600.00
Imprevistos (10%)	2 657 360.00
Inversión total	29 230 960.00

Adaptada de (Cid Coffré, 2016)

Ubicación de la Central térmica

La Central térmica de biomasa debe ubicarse cerca de una subestación, y por ejemplo, en Reque se tienen las centrales térmicas Recka y Reserva Fría Eten, además de 2 subestaciones. La subestación Reque será la

escogida ya que está separada de la CT Recka y pues, se puede realizar un proyecto donde se amplie su potencia a 7.3 MVA. La distancia de la línea de transmisión será de 0.70 km lineales, pero considerando que se dibuja una catenaria, debe ser de aproximadamente de 1 km de longitud.

Figura 21

Ubicación tentativa de la propuesta de central térmica



Fuente: Elaborado con Google Earth.

5.4.2. Ingresos

a. Por concepto de venta de energía

La central térmica de biomasa se conectará a la subestación Reque, para inyectar la energía eléctrica generada directamente al SEIN, por lo que es necesario conocer los precios en barra para dicha subestación. De acuerdo con la Gerencia Adjunta de Regulación Tarifaria (GART), los precios en horas de mayor demanda (PEMP) es de S/. 0.2043 y fuera de punta (PEMF) de S/. 0.1998. Dichos precios se han considerado estables durante todo el tiempo de vida útil de la central térmica de biomasa.

Despacho en Base

La central térmica tiene una potencia de 5.641 MW para producir electricidad, donde se consideró un factor de planta de 0.95, y que opera 5 horas en punta y 19 horas fuera de punta. Se tuvo una electricidad generada de 46944402.00 kWh en total, donde 9780083.75 kWh viene a ser la energía generada en horas punta y 37164318.25 kWh a la energía generada en horas fuera de punta.

Entonces, las ventas por concepto de energía se detallan en la tabla siguiente:

Tabla 12

Ventas de la energía generada - despacho base

INGRESO POR VENTA DE ENERGÍA – DESPACHO EN BASE			
Horas Punta		Horas Fuera de Punta	
Costo HP (S/. / kWh)	0.2043	Costo FHP (S/. / kWh)	0.1998
Consumo anual HP (kWh)	9780083.75	Consumo anual FHP (kWh)	37164318.25
Venta Total de Energía anual HP (S/.)	1998071.11	Venta Total de Energía anual FHP (S/.)	7425430.79

Fuente: Elaboración propia.

Los ingresos totales debido a la venta de electricidad en horas punta es de S/. 1998071.11 y en horas fuera de punta de S/. 7425430.79, sumando un total de S/. 9423501.90 anuales.

Despacho en Media Punta

La central térmica tiene una potencia de 5.641 MW para producir electricidad, donde se consideró un factor de planta de 0.95, y que opera 5 horas en punta y 9 horas fuera de punta. Se tuvo una electricidad generada de 27384234.50 kWh en total, donde 9780083.75 kWh es el valor equivalente a la energía producida en horas de mayor demanda y 17604150.75 kWh a la energía generada en horas donde hay poca demanda. En el siguiente cuadro se muestra el ingreso por venta energética:

Tabla 13*Ventas de energía generada - despacho media punta*

INGRESO POR VENTA DE ENERGÍA – DESPACHO MEDIA PUNTA			
Horas Punta		Horas Fuera de Punta	
Costo HP (S/. / kWh)	0.2043	Costo FHP (S/. / kWh)	0.1998
Consumo anual HP (kWh)	9780083.75	Consumo anual FHP (kWh)	17604150.75
Venta Total de Energía anual HP (S/.)	1998071.11	Venta Total de Energía anual FHP (S/.)	3517309.32

Fuente: Elaboración propia.

Los ingresos totales debido a la venta de electricidad en horas punta es de S/. 1998071.11 y en horas fuera de punta de S/. 3517309.32, sumando un total de S/. 5515380.43 anuales.

b. Por concepto de venta de Potencia

De acuerdo con la subestación seleccionada, el precio por venta de potencia (PPM) es de S/. 21.35 por kW-mes generado. Con dicho dato se procedió a estimar el ingreso por venta de potencia, considerando constante para todo el período de análisis.

Despacho en Base

La energía que entrega la planta térmica de biomasa tiene un valor de 5 528 kW, teniendo en cuenta las pérdidas debido a la transmisión, se ha considerado una eficiencia del 98 por ciento, esto es, que, de los 5.641 MW, se inyectan 5.528 MW al SEIN. La información se resume en la tabla:

Tabla 14*Ventas por concepto de potencia - despacho base*

Ingreso por venta de potencia	
Costo (S/. / kW-mes)	21.35
Potencia firme anual (MW)	5.528
Venta total anual de potencia (S/.)	1416273.60

Fuente: Elaboración propia.

Despacho en Media Punta

En la siguiente tabla se muestra el ingreso por venta de potencia:

Tabla 15*Ventas por concepto de potencia - despacho media punta*

Ingreso por venta de potencia	
Costo (S/. / kW-mes)	21.35
Potencia firme anual (MW)	3.225
Venta total anual de potencia (S/.)	826245.00

*Fuente: Elaboración propia.****Criterios para análisis de rentabilidad***

Para el análisis de rentabilidad se consideró los siguientes criterios:

Tabla 16*Expectativa de inflación período 2022-2023*

ENCUESTA DE EXPECTATIVA DE INFLACIÓN (En porcentajes)				
	RI Jun.21	RI Set.21	RI Dic.21	RI Mar.22*
Sistema Financiero				
2022	2,20	3,00	3,50	3,80
2023			3,00	3,00
Analistas Económicos				
2022	2,45	2,55	3,55	4,00
2023			2,80	3,00
Empresas No Financieras				
2022	2,30	3,00	3,21	4,00
2023			3,00	3,20

* Encuesta realizada al 28 de febrero.
Fuente: BCRP.

Fuente: (BCRP, 2022)

Se consideró una inflación del 4% para la evaluación financiera de la central térmica, de acuerdo con sociedades no financieras y que se mantuvo constante durante el período de análisis.

Tabla 17*Rangos de tiempo en años para análisis de proyectos para invertir*

Intervalo (años)	Horizonte de evaluación
0-5	Futuro inmediato
6-20	Futuro mediano
21-50	Futuro lejano
51-100	Futuro muy lejano

Fuente: (Zhangallimbay & Castillo, 2021)

En concordancia con la Tabla 17, se eligió un horizonte de evaluación del proyecto de 20 años, o futuro medio. Esto, porque considerando que los

equipos de las centrales térmicas tienen una vida útil superior a los 20 años, se escogió dicho tiempo para el análisis de la central térmica.

De la misma manera, para la tasa de descuento, se ha considerado que es de 9%, en contraste con la Tabla 18, donde indica que, para el Perú, es de 9%.

Tabla 18

Tasas de descuento para diferentes países

Institución o país	Tasa	Base conceptual o teórica
Organismos multilaterales		
Banco Mundial	10%-12%	Tasa administrativa convencional
Banco Interamericano de Desarrollo	10%-12%	Tasa administrativa convencional/ costo de oportunidad del capital
Banco Asiático de Desarrollo	10%-12%	Tasa administrativa convencional
<i>Países desarrollados</i>		
Alemania	3%	Basada en la tasa federal de refinanciamiento
Canadá	10%	Costo de oportunidad social del capital
España	6% para transporte 4% para agua	Tasa social de preferencia intertemporal
Estados Unidos, Oficina de Administración y Presupuesto	7%	Costo de oportunidad social del capital
Estados Unidos, Oficina de Presupuesto del Congreso y Oficina General de Contabilidad	Tasa de mercado de deuda del Tesoro	Tasa social de preferencia intertemporal
Estados Unidos, Agencia de Protección Ambiental	Tasa intergeneracional de descuento: 2%-3%, sujeta a análisis de sensibilidad	Tasa social de preferencia intertemporal
Francia	4%	Tasa social de preferencia intertemporal
Noruega	3,5%	Tasa de crédito gubernamental en términos reales
Reino Unido	3,5% Para proyectos superiores a 30 años tasas diferenciadas menores	Tasa social de preferencia intertemporal
Países en desarrollo		
China	8% para proyectos de corto y mediano plazo; menor que 8% para proyectos de largo plazo	Promedio ponderado de la tasa social de preferencia intertemporal y la tasa basada en el costo de oportunidad social del capital (método de Harberger)
India	12%	Costo de oportunidad social del capital
Pakistán	12%	Costo de oportunidad social del capital
<i>Países de América Latina</i>		
Chile	6%	Promedio ponderado de la tasa social de preferencia intertemporal y la tasa basada en el costo de oportunidad social del capital (método de Harberger)
Colombia	12%	Equivale a la rentabilidad mínima esperada por el inversionista
México	10% antes de 2014: 12%	Promedio ponderado de la tasa social de preferencia intertemporal y la tasa basada en el costo de oportunidad social del capital (método de Harberger)
Perú	9% antes de 2012: 10%	Promedio ponderado de la tasa social de preferencia intertemporal y la tasa basada en el costo de oportunidad social del capital (método de Harberger)

Fuente: J. Campos, T. Serebrisky y A. Suárez-Alemán, *Tasa de descuento social y evaluación de proyectos: algunas reflexiones prácticas para América Latina y el Caribe*, Banco Interamericano de Desarrollo (BID), 2016; J. Zhuang y otros, "Theory and practice in the choice of social discount rate for cost-benefit analysis: a survey", *ERD Working Paper*, N° 94, Banco Asiático de Desarrollo, 2007; E. Aldunate y R. Martner, "Política fiscal y protección social", *Revista de la CEPAL*, N° 90 (L.C/G.2323-P), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2006; Chile: Sistema Nacional de Inversiones (SNI) del Ministerio de Desarrollo Social; Colombia: Sistema Nacional de Inversión Pública del Departamento Nacional de Planeación; México: Sistema de Inversión Pública (SIP) de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público; Perú: Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP) de la Dirección General de Inversión Pública del Ministerio de Economía y Finanzas.

Fuente: (Zhangallimbay & Castillo, 2021)

Tabla 19

Análisis de rentabilidad para despacho en base

Año	Inversión	O&M	Permisos	Venta de energía	Venta de Potencia	Ingreso Bruto	Impuesto a la Renta	Ingreso Neto	Ingreso Neto Actualizado
0	-S/. 29,230,960.00							-S/. 29,230,960.00	-S/. 29,230,960.00
1		S/. 800,000.00	S/. 250,000.00	S/. 9,423,501.90	S/. 1,416,273.60	S/. 9,789,775.50	S/. 2,936,932.65	S/. 6,589,271.97	S/. 6,045,203.64
2		S/. 800,000.00	S/. 250,000.00	S/. 9,423,501.90	S/. 1,416,273.60	S/. 9,789,775.50	S/. 2,936,932.65	S/. 6,335,838.43	S/. 5,332,748.45
3		S/. 800,000.00	S/. 250,000.00	S/. 9,423,501.90	S/. 1,416,273.60	S/. 9,789,775.50	S/. 2,936,932.65	S/. 6,092,152.34	S/. 4,704,259.40
4		S/. 800,000.00	S/. 250,000.00	S/. 9,423,501.90	S/. 1,416,273.60	S/. 9,789,775.50	S/. 2,936,932.65	S/. 5,857,838.79	S/. 4,149,840.68
5		S/. 800,000.00	S/. 250,000.00	S/. 9,423,501.90	S/. 1,416,273.60	S/. 9,789,775.50	S/. 2,936,932.65	S/. 5,632,537.30	S/. 3,660,762.77
6		S/. 800,000.00	S/. 250,000.00	S/. 9,423,501.90	S/. 1,416,273.60	S/. 9,789,775.50	S/. 2,936,932.65	S/. 5,415,901.25	S/. 3,229,324.96
7		S/. 800,000.00	S/. 250,000.00	S/. 9,423,501.90	S/. 1,416,273.60	S/. 9,789,775.50	S/. 2,936,932.65	S/. 5,207,597.35	S/. 2,848,734.09
8		S/. 800,000.00	S/. 250,000.00	S/. 9,423,501.90	S/. 1,416,273.60	S/. 9,789,775.50	S/. 2,936,932.65	S/. 5,007,305.15	S/. 2,512,997.61
9		S/. 800,000.00	S/. 250,000.00	S/. 9,423,501.90	S/. 1,416,273.60	S/. 9,789,775.50	S/. 2,936,932.65	S/. 4,814,716.49	S/. 2,216,829.22
10		S/. 800,000.00	S/. 250,000.00	S/. 9,423,501.90	S/. 1,416,273.60	S/. 9,789,775.50	S/. 2,936,932.65	S/. 4,629,535.08	S/. 1,955,565.65
11		S/. 800,000.00	S/. 250,000.00	S/. 9,423,501.90	S/. 1,416,273.60	S/. 9,789,775.50	S/. 2,936,932.65	S/. 4,451,476.04	S/. 1,725,093.20
12		S/. 800,000.00	S/. 250,000.00	S/. 9,423,501.90	S/. 1,416,273.60	S/. 9,789,775.50	S/. 2,936,932.65	S/. 4,280,265.43	S/. 1,521,782.99
13		S/. 800,000.00	S/. 250,000.00	S/. 9,423,501.90	S/. 1,416,273.60	S/. 9,789,775.50	S/. 2,936,932.65	S/. 4,115,639.83	S/. 1,342,433.83
14		S/. 800,000.00	S/. 250,000.00	S/. 9,423,501.90	S/. 1,416,273.60	S/. 9,789,775.50	S/. 2,936,932.65	S/. 3,957,345.99	S/. 1,184,221.80
15		S/. 800,000.00	S/. 250,000.00	S/. 9,423,501.90	S/. 1,416,273.60	S/. 9,789,775.50	S/. 2,936,932.65	S/. 3,805,140.38	S/. 1,044,655.79
16		S/. 800,000.00	S/. 250,000.00	S/. 9,423,501.90	S/. 1,416,273.60	S/. 9,789,775.50	S/. 2,936,932.65	S/. 3,658,788.82	S/. 921,538.27
17		S/. 800,000.00	S/. 250,000.00	S/. 9,423,501.90	S/. 1,416,273.60	S/. 9,789,775.50	S/. 2,936,932.65	S/. 3,518,066.18	S/. 812,930.73
18		S/. 800,000.00	S/. 250,000.00	S/. 9,423,501.90	S/. 1,416,273.60	S/. 9,789,775.50	S/. 2,936,932.65	S/. 3,382,755.94	S/. 717,123.08
19		S/. 800,000.00	S/. 250,000.00	S/. 9,423,501.90	S/. 1,416,273.60	S/. 9,789,775.50	S/. 2,936,932.65	S/. 3,252,649.94	S/. 632,606.81
20		S/. 800,000.00	S/. 250,000.00	S/. 9,423,501.90	S/. 1,416,273.60	S/. 9,789,775.50	S/. 2,936,932.65	S/. 3,127,548.02	S/. 558,051.18

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20

Análisis de rentabilidad para despacho media punta

Año	Inversión	O&M	Permisos	Venta de energía	Venta de Potencia	Ingreso Bruto	Impuesto a la Renta	Ingreso Neto	Ingreso Neto Actualizado
0	-S/. 29,230,960.00							-S/. 29,230,960.00	-S/. 29,230,960.00
1		S/. 450,000.00	S/.250,000.00	S/. 5,515,380.43	S/. 826,245.00	S/. 5,641,625.43	S/. 1,692,487.63	S/. 3,797,247.89	S/. 3,483,713.66
2		S/. 450,000.00	S/.250,000.00	S/. 5,515,380.43	S/. 826,245.00	S/. 5,641,625.43	S/. 1,692,487.63	S/. 3,651,199.89	S/. 3,073,141.90
3		S/. 450,000.00	S/.250,000.00	S/. 5,515,380.43	S/. 826,245.00	S/. 5,641,625.43	S/. 1,692,487.63	S/. 3,510,769.12	S/. 2,710,957.92
4		S/. 450,000.00	S/.250,000.00	S/. 5,515,380.43	S/. 826,245.00	S/. 5,641,625.43	S/. 1,692,487.63	S/. 3,375,739.54	S/. 2,391,459.00
5		S/. 450,000.00	S/.250,000.00	S/. 5,515,380.43	S/. 826,245.00	S/. 5,641,625.43	S/. 1,692,487.63	S/. 3,245,903.41	S/. 2,109,614.50
6		S/. 450,000.00	S/.250,000.00	S/. 5,515,380.43	S/. 826,245.00	S/. 5,641,625.43	S/. 1,692,487.63	S/. 3,121,060.97	S/. 1,860,986.68
7		S/. 450,000.00	S/.250,000.00	S/. 5,515,380.43	S/. 826,245.00	S/. 5,641,625.43	S/. 1,692,487.63	S/. 3,001,020.16	S/. 1,641,660.80
8		S/. 450,000.00	S/.250,000.00	S/. 5,515,380.43	S/. 826,245.00	S/. 5,641,625.43	S/. 1,692,487.63	S/. 2,885,596.31	S/. 1,448,183.48
9		S/. 450,000.00	S/.250,000.00	S/. 5,515,380.43	S/. 826,245.00	S/. 5,641,625.43	S/. 1,692,487.63	S/. 2,774,611.84	S/. 1,277,508.37
10		S/. 450,000.00	S/.250,000.00	S/. 5,515,380.43	S/. 826,245.00	S/. 5,641,625.43	S/. 1,692,487.63	S/. 2,667,896.00	S/. 1,126,948.10
11		S/. 450,000.00	S/.250,000.00	S/. 5,515,380.43	S/. 826,245.00	S/. 5,641,625.43	S/. 1,692,487.63	S/. 2,565,284.61	S/. 994,132.06
12		S/. 450,000.00	S/.250,000.00	S/. 5,515,380.43	S/. 826,245.00	S/. 5,641,625.43	S/. 1,692,487.63	S/. 2,466,619.82	S/. 876,969.00
13		S/. 450,000.00	S/.250,000.00	S/. 5,515,380.43	S/. 826,245.00	S/. 5,641,625.43	S/. 1,692,487.63	S/. 2,371,749.83	S/. 773,614.15
14		S/. 450,000.00	S/.250,000.00	S/. 5,515,380.43	S/. 826,245.00	S/. 5,641,625.43	S/. 1,692,487.63	S/. 2,280,528.68	S/. 682,440.15
15		S/. 450,000.00	S/.250,000.00	S/. 5,515,380.43	S/. 826,245.00	S/. 5,641,625.43	S/. 1,692,487.63	S/. 2,192,816.04	S/. 602,011.42
16		S/. 450,000.00	S/.250,000.00	S/. 5,515,380.43	S/. 826,245.00	S/. 5,641,625.43	S/. 1,692,487.63	S/. 2,108,476.96	S/. 531,061.59
17		S/. 450,000.00	S/.250,000.00	S/. 5,515,380.43	S/. 826,245.00	S/. 5,641,625.43	S/. 1,692,487.63	S/. 2,027,381.69	S/. 468,473.53
18		S/. 450,000.00	S/.250,000.00	S/. 5,515,380.43	S/. 826,245.00	S/. 5,641,625.43	S/. 1,692,487.63	S/. 1,949,405.47	S/. 413,261.76
19		S/. 450,000.00	S/.250,000.00	S/. 5,515,380.43	S/. 826,245.00	S/. 5,641,625.43	S/. 1,692,487.63	S/. 1,874,428.34	S/. 364,556.95
20		S/. 450,000.00	S/.250,000.00	S/. 5,515,380.43	S/. 826,245.00	S/. 5,641,625.43	S/. 1,692,487.63	S/. 1,802,334.94	S/. 321,592.23

Fuente: Elaboración propia.

Luego del análisis de rentabilidad, se elaboró la Tabla 21, donde se pueden apreciar los indicadores de rentabilidad para despacho base, y posteriormente, la Tabla 22 para despacho media punta, además de los criterios empleados para el análisis de rentabilidad.

Tabla 21

Indicadores de rentabilidad - despacho base

Evaluación de los indicadores de rentabilidad	
Inversión	- S/. 29 230 960.00
Ingreso total neto actualizado	S/. 47 116 704.14
VAN (20 años)	S/. 17 885 744.14
TIR	18.34%
Tasa de descuento	9%
Inflación	4%
t_r (años)	7.26

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22

Indicadores de rentabilidad - despacho media punta

Evaluación de los indicadores de rentabilidad	
Inversión	- S/. 29 230 960.00
Ingreso total neto actualizado	S/. 27 152 287.23
VAN (20 años)	- S/. 2 078 672.77
TIR	7.83%
Tasa de descuento	9%
Inflación	4%
t_r (años)	Mayor a 20

Fuente: Elaboración propia.

Considerando el despacho base, se obtuvo un Valor Actual Neto (VAN) de S/. 17 885 744.14, Tasa Interna de Retorno de 18.34%, además de recuperar la inversión luego de iniciado el proyecto, de 7.26 años.

Finalmente, para el despacho media punta, se obtuvo un Valor Actual Neto (VAN) de - S/. 2.078.672,77; Tasa Interna de Retorno de 7,83% y un periodo de recuperación de la inversión inicial superior a 20 años.

Al realizar el análisis, se puede concluir que el despacho base es sumamente atractivo, brindando rentabilidad alta para la propuesta de la central térmica de biomasa.

5.5. Discusión de resultados

En referencia al trabajo realizado por Criollo Lema (2018), donde obtuvo una potencia del Ciclo Rankine Orgánico de 125 kWe, debido al potencial de la biomasa empleada, siendo la cascarilla de arroz, lo que restringió el valor de dicha potencia; en tanto, que en la actual investigación se obtuvo una potencia para la central térmica de biomasa de 5.6409 MW, ya que la disponibilidad de los residuos sólidos de la ciudad de Chiclayo permitió obtener dicha potencia para ser inyectada al SEIN. En referencia al presupuesto, el autor obtuvo un monto de USD 334 232, que su equivalente en moneda nacional es de S/. 1 333 984.68, mientras que en la presente investigación se obtuvo un presupuesto de S/. 29 230 960.00, esto difiere ya que las potencias instaladas son muy distintas, ya que Criollo Lema (2018) logró obtener una potencia de 125 kWe frente a los 5.6409 MW. En relación al análisis de rentabilidad, determinó que no era rentable, quizás por la baja potencia de la central, lo que generó ingresos bajos.

Los resultados de la investigación de Figueroa Luque (2014) arrojaron que para la central de biomasa Arjona de 13.91 MWe, su inversión fue de € 26 499 123.00 equivalente a S/. 104 671 535.90, con un VAN de € 69 513 248.00 equivalente a S/. 274 577 329.60, una TIR de 30%, un tiempo para recuperar la inversión de 5.5 años, datos realmente positivos, demostrando la alta factibilidad para dicha central. En el caso de la presente investigación, el presupuesto calculado fue de S/. 29 230 960.00, similar en número, considerando que la calidad de vida es alta en Europa donde prácticamente, un euro es como decir un sol, se podría decir, que dichos resultados son razonables, para el caso del VAN calculado de S/. 17 885 744.14, con un período de retorno de la inversión de 7.26 años y una TIR de 18.34%; donde el VAN es menor a la inversión, contrario a lo que pasa con el trabajo del autor mencionado anteriormente, esto, puede ser causado por los precios de la energía eléctrica en el continente europeo. Luego, los valores son razonables.

CAPÍTULO VI : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- El potencial energético de la biomasa disponible en los residuos sólidos de la ciudad de Chiclayo es de 519.42 MWh, o equivalente a 21.6425 MW diarios.
- La potencia instalada de la central térmica de biomasa es de 5.6409 MW, es decir, la turbina genera 5.876 MW y al acoplarse a turbogenerador que posee una eficiencia del 96%, se generan 5.6409 MW para inyectarse al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional por medio de la Subestación Reque.
- El equipamiento de la central térmica de biomasa consta de una caldera ZOZEN SZL35-2.45-M de 2485 bhp, una turbina de vapor KK&K de Howden Mono de hasta 6 MW, un generador eléctrico ABB 9AKK106094 con una potencia aparente regulable desde los 0.9 MVA hasta 7.8 MVA, una bomba Inox 200 CV 5 polos WEG y tres intercambiadores de calor Alfa Laval modelo TL10BFG, para ser usado como regenerador, condensador y evaporador.
- El presupuesto de la central térmica de biomasa calculado fue de S/. 29 230 960 y del análisis de rentabilidad se obtuvo un VAN de S/. 17 885 744.14, una TIR de 18.34%, un tiempo de retorno de la inversión de 7.26 años para el despacho en base, demostrando que para dicho panorama es rentable, factible y atractivo para invertir.

6.2. Recomendaciones

- En relación a la cantidad de residuos sólidos generados en la ciudad de Chiclayo, para futuras investigaciones se debe tener en consideración la generación de residuos sólidos para el año que se realiza la investigación, lo cual va a diferir de la presente investigación, porque cada año se tiene un aumento de la población y por ende también un aumento de dichos residuos sólidos.
- En referencia a la recomendación anterior, también habrá un cambio en la potencia de generación de la turbina y por ende de la central térmica, por lo que se recomienda tener cuidado al momento de los análisis y la selección del equipamiento.
- Se recomienda seleccionar adecuadamente los equipos para la central térmica, con el objetivo de optimizar y poder obtener el mejor rendimiento y producción de energía eléctrica.
- El análisis de rentabilidad debe realizarse considerando la inflación, ya que debido a la pandemia originada por la Covid-19, hubo un aumento de la inflación a nivel mundial y esta se ha considerado para la presente investigación, la cual puede diferir en el año que se realicen las futuras investigaciones concerniente al tema investigado,

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Roca, J. A. (11 de enero de 2016). Las 10 mayores bioplantas del mundo. *El Periódico de la Energía*. <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-de-biomasa-del-mundo/>
- REN21. (2017). *Renewables 2017 Global Status Report*. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century.
- Rico, J. (29 de julio de 2019). *Bioenergía eléctrica en 2017: 110.000 megavatios mundiales, 40.000 en Europa*. Bioenergía: <https://www.energias-renovables.com/biomasa/bioenergia-electrica-en-2017-110-000-megavatios-20190729>
- RPP Noticias. (06 de diciembre de 2018). Lambayeque es la región con mayor área de basurales del país. *RPP NOTICIAS*. <https://rpp.pe/peru/lambayeque/lambayeque-es-la-region-con-mas-areas-degradadas-por-residuos-solidos-noticia-1167903?ref=rpp>
- RPP NOTICIAS. (05 de diciembre de 2018). En Chiclayo mas de 400 toneladas de basura se acumulan en las calles. *RPP NOTICIAS*. <https://rpp.pe/peru/lambayeque/en-chiclayo-mas-de-400-toneladas-de-basura-se-acumulan-en-las-calles-noticia-1167731?ref=rpp>
- OSINERGMIN. (2018). *Central Termoeléctrica de Huaycoloro*. https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/electricidad/Documentos/PROYECTOS%20GFE/Acorde%C3%B3n/Generaci%C3%B3n/1.5.1.pdf
- Almache Jiménez, A. A. (2018). *Análisis de la Geometría y del rendimiento de una Turbina de flujo radial para el estudio de fluidos de trabajo en un Ciclo Orgánico Rankine usando distintos recursos renovables de baja entalpía (Solar - Biomasa - Geotérmica)*. Repositorio de la Universidad Técnica de Ámbato.
- Criollo Lema, A. E., & Pinzón Camacho, E. J. (2018). *Evaluación del Potencial Técnico y Económico de Plantas de Generación Eléctrica basadas en calderas a Biomasa y Ciclo Orgánico Rankine (ORC) para el aprovechamiento de la Cascarilla de Arroz en Ecuador*. Repositorio de la Escuela Politécnica Nacional.
- Figuerola Luque, E. (2014). *Estudio Técnico - Económico para la Implantación de una Planta de Generación de Energía Eléctrica a partir de Biomasa en Andalucía*. Repositorio de la Universidad de Sevilla.
- Laia Sánchez, J. F. (2012). *Aplicación del Ciclo Orgánico de Rankine para el aprovechamiento de calor residual en una refinería*. Repositorio de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas.
- Manrique, S. M. (2018). *Biomasa y bioenergía: Aportes para el manejo de ecosistemas y territorios frente al cambio climático*. Repositorio de la Universidad Nacional de Salta (UNSa) y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).
- Robles Algarin, C. (2018). Un panorama de las energías renovables en el Mundo, Latinoamérica y Colombia. *Revista Espacios*, 39(34), 1-16.

- Tamayo Pereyra, R. (2011). *Potencial de las energías renovables en el Perú*. Ministerio de Energía y Minas.
- Nájera Calderón, C. A., & Flamenco Ramos, A. R. (2014). *Propuesta de planta termoeléctrica de ciclo orgánico Rankine con tres fuentes de energía: solar, biomasa y geotermia para la zona de valle de San Vicente*. Repositorio de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.
- Tineo Huancas, J. D. (2019). *Estudio de la factibilidad de una Central Térmica que aproveche la biomasa residual de Chiclayo*. Repositorio de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Ortiz Nuñez, J. P. (2017). *Diseño de una Central Eléctrica de biomasa conectado a la Red Eléctrica de Puno, en el cerro de Cancharani - departamento de Puno*. Repositorio de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno.
- Rojas Romero, M. A. (2019). *Dimensionamiento de un sistema eólico - biomasa para suministrar energía eléctrica al caserío El Chaco ubicado en Chota, departamento de Cajamarca*. Repositorio de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Schmerler Vainstein, D., Velarde Sacio, J. C., Rodríguez González, A., & Solís Sosa, B. (2019). *Energías Renovables: Experiencia y Perspectivas en la Ruta del Perú hacia la Transición Energética*. Osinergmin.
- Social Energy. (31 de agosto de 2021). *¿Cómo funciona una instalación solar fotovoltaica?* Social Energy: <https://www.socialenergy.es/blog/instalaciones-fotovoltaicas/como-funciona-instalacion-solar-fotovoltaica/>
- Soria, E. (2010). *Energías renovables para todos: Hidráulica*. Iberdrola - Haya Comunicación.
- Schallenberg Rodríguez, J. C., Piernavieja Izquierdo, G., Hernández Rodríguez, C., Unamunzaga Falcón, P., García Déniz, R., Díaz Torres, D., . . . Subiela Ortin, V. (2008). *Energías Renovables y Eficiencia Energética*. Instituto Tecnológico de Canarias S.A.
- Afanasjeva, N. (2014). Conversión pirolítica de los concentrados resino-asfálticos de los crudos pesados. *Revista Ion*, 27(2), 71-86.
- Caro González, W. E., & Rueda Núñez, J. C. (2007). *Modelamiento y Simulación de un Gasificador de Carbón para la obtención de Hidrógeno*. Repositorio de la Universidad Industrial de Santander.
- Vázquez Cordano, A. L., De la Cruz Sandoval, R., & Coello Jaramillo, F. J. (2016). *Los Biocombustibles: Desarrollos recientes y tendencias internacionales*. Documento de Trabajo No 36, Gerencia de Políticas y Análisis Económico – Osinergmin.
- Prieto Liguori, P. (2018). Centrales de Biomasa: Tipos de calderas y resolución problema tipo. *ResearchGate*, 1, 1-3.
- Bonmatí, A. (2008). Gestión y tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos. *Documenta Universitaria*, 1, 215-250.
- Alean, J., Chejne Janna, F., Gomez, C. A., López, O., Betancur Arboleda, L. A., Guerra del Río, C. F., . . . Isaza Roldán, C. A. (2015). *Recuperación de Energía en Procesos Industriales*. Repositorio de la Universidad Nacional de Colombia.

- Uris Mas, M. (2017). *Viabilidad técnico - económica de la Cogeneración para el sector residencial en España a partir de Biomasa mediante Ciclo De Rankine Orgánico*. Repositorio de la Universidad Pontificia Comillas.
- Tchanche, B. F., Papadakis, G., Lambrinos, G., & Frangoudakis, A. (2009). Fluid selection for a low-temperature solar organic Rankine cycle. *Applied Thermal Engineering*, 29(11-12), 2468-2476. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2008.12.025>
- Michea, S., Muñoz, Á., Zárate, X., Alvarado, N., Inostroza, N., Reyes Bozo, L., . . . Gómez, T. (2019). ENERGÍAS que mueven al mundo. *Línea Editorial Aprende*, 1(1), 1-122. <https://doi.org/10.32457/ISBN9789568454470472019-ED1>
- Moran, M. J., Shapiro, H. N., Boettner, D. D., & Bailey, M. B. (2018). *Fundamentals of Engineering thermodynamics* (9na ed.). United States of America: Wiley.
- Lugo, L. (2009). *Propiedades termofísicas a alta presión, Aplicación a la caracterización de lubricantes biodegradables*.
- Mitsubishi Chemical Group. (2022). *Generación de Energía Eólica*. Mitsubishi: <https://www.mcam.com/na-es/industrias/energia-renovable/generacion-de-energia-eolica/>
- Hive Power. (15 de febrero de 2021). *El futuro del almacenamiento de energía en la red*. Hive Power: <https://www.hivepower.tech/es/blog/el-futuro-del-almacenamiento-de-energ%C3%ADa-en-la-red>
- Biomass Energetic. (2018). *Así es el ciclo de la biomasa*. Biomass Energetic: <https://biomassenergetic.com/es/asi-es-el-ciclo-de-la-biomasa/>
- Sector Electricidad. (17 de julio de 2022). *¿Qué es la energía mareomotriz y cómo funciona?* <https://www.sectorelectricidad.com/37924/que-es-la-energia-mareomotriz-y-como-funciona/>
- Palacio Villa, M. A., Blessent, D., López Sánchez, J., & Moreno, D. (2020). Sistemas geotérmicos mejorados: revisión y análisis de casos de estudio. *Boletín de Geología*, 42(1), 101-118. <https://doi.org/10.18273/revbol.v42n1-2020006>
- Instituto Nacional de Electrificación. (29 de septiembre de 2020). *¿QUÉ ES LA ENERGÍA HIDRÁULICA?* Instituto Nacional de Electrificación: <https://www.inde.gob.gt/blogs/que-es-la-energia-hidraulica/>
- Hernández Ochoa, A. F., Aragón Aguilar, A., & Franco Nava, J. M. (2021). 7 - An up-to-date perspective of geothermal power technology. *Sustainable Fuel Technologies Handbook*, 201-239. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822989-7.00008-1>.
- Shiun Lim, J., Manan, A. Z., Wan Alwi, S. R., & Hashim, H. (2012). A review on utilisation of biomass from rice industry as a source of renewable energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 3048-3094. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.051>
- Groenestijn, J. V., Harmsen, P., & Bos, H. (2020). *Biomasa para la economía circular: Todo lo que querías saber sobre la biomasa pero no te atrevías a preguntar*. Wageningen Food & Biobased Research. <https://doi.org/10.18174/535237>

- Acuña Martínez, C. E. (2019). *Alternativas de Energía en el Perú*. Repositorio de la Universidad Privada del Norte.
- Pardo Cárdenas, O. P. (2019). *Evaluación económica para generación de electricidad usando biogás producido de los residuos sólidos urbanos en la ciudad de Jaén - Perú*. Repositorio de la Universidad Nacional de Jaén.
- Castro Suárez, M. (2018). *Planta de potencia ORC con fuente de energía renovable*.
- Organización para el Desarrollo sostenible. (2012). *Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos (PIGARS) de la Provincia de Chiclayo, Departamento de Lambayeque*. Ambiente y Desarrollo Sostenible S.A.C.
- Pelegrina Ortiz, M. (2016). *Diseño de una Central Termoeléctrica de Biomasa*. Repositorio de la Universidad Politécnica de Cataluña.
- José, T. H. (2019). *ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD DE UNA CENTRAL TÉRMICA QUE APROVECHE LA BIOMASA RESIDUAL DE CHCLAYO*.
file:///F:/TESIS/INFO%20MAS%20IMPORTANTE/CONTEXTO%20NACIONL/BC-4594%20TINEO%20HUANCAS.pdf
- Cid Coffré, A. T. (2016). *Análisis técnico económico de planta térmica de generación de energía eléctrica a partir de residuos sólidos municipales para Santiago de Chile*. Universidad de Chile. Santiago de Chile: Repositorio Académico de la Universidad de Chile.
file:///F:/TESIS/INFO%20MAS%20IMPORTANTE/CONTEXTO%20NACIONL/Analisis-tecnico-economico-de-planta-termica-de-generacion-de-energia-electrica-a-partir-de-residuos-solidos.pdf
- Serrato Monroy, C. C., & Lesmes Cepeda, V. (2016). *Metodología para el cálculo de energía extraída a partir de la Biomasa en el departamento de Cundinamarca*. Repositorio de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Gestión de RSU. (2020). *Gestión de Residuos Sólidos Urbanos*. Repositorio de la Universidad Tecnológica Ecotec.
- Trujillo Julca, P., & Pérez Ramírez, J. (2022). *Determinar las características de una Central Geotermoeléctrica en el campo geotérmico Calacoa-Putina en Moquegua*. Repositorio de la Universidad César Vallejo.
- BCRP. (2022). *Reporte de inflación: Panorama actual y proyecciones macroeconómicas 2022-2023*. Banco Central de Reserva del Perú (BCRP).
- Castillo, J. G., & Zhangallimbay, D. (2021). La tasa social de descuento en la evaluación de proyectos de inversión: Una aplicación para el Ecuador. *Revista de la CEPAL*, 134, 77-98.

ANEXOS

Anexo 1 – Propiedades termodinámicas del refrigerante R410a

TABLE B.4

Thermodynamic Properties of R-410a

TABLE B.4.1

Saturated R-410a

Temp. (°C)	Press. (kPa)	Specific Volume, m ³ /kg			Internal Energy, kJ/kg		
		Sat. Liquid v_f	Evap. v_{fg}	Sat. Vapor v_g	Sat. Liquid u_f	Evap. u_{fg}	Sat. Vapor u_g
-60	64.1	0.000727	0.36772	0.36845	-27.50	256.41	228.91
-55	84.0	0.000735	0.28484	0.28558	-20.70	251.89	231.19
-51.4	101.3	0.000741	0.23875	0.23949	-15.78	248.59	232.81
-50	108.7	0.000743	0.22344	0.22418	-13.88	247.31	233.43
-45	138.8	0.000752	0.17729	0.17804	-7.02	242.67	235.64
-40	175.0	0.000762	0.14215	0.14291	-0.13	237.95	237.81
-35	218.4	0.000771	0.11505	0.11582	6.80	233.14	239.94
-30	269.6	0.000781	0.09392	0.09470	13.78	228.23	242.01
-25	329.7	0.000792	0.07726	0.07805	20.82	223.21	244.03
-20	399.6	0.000803	0.06400	0.06480	27.92	218.07	245.99
-15	480.4	0.000815	0.05334	0.05416	35.08	212.79	247.88
-10	573.1	0.000827	0.04470	0.04553	42.32	207.36	249.69
-5	678.9	0.000841	0.03764	0.03848	49.65	201.75	251.41
0	798.7	0.000855	0.03182	0.03267	57.07	195.95	253.02
5	933.9	0.000870	0.02699	0.02786	64.60	189.93	254.53
10	1085.7	0.000886	0.02295	0.02383	72.24	183.66	255.90
15	1255.4	0.000904	0.01955	0.02045	80.02	177.10	257.12
20	1444.2	0.000923	0.01666	0.01758	87.94	170.21	258.16
25	1653.6	0.000944	0.01420	0.01514	96.03	162.95	258.98
30	1885.1	0.000968	0.01208	0.01305	104.32	155.24	259.56
35	2140.2	0.000995	0.01025	0.01124	112.83	147.00	259.83
40	2420.7	0.001025	0.00865	0.00967	121.61	138.11	259.72
45	2728.3	0.001060	0.00723	0.00829	130.72	128.41	259.13
50	3065.2	0.001103	0.00597	0.00707	140.27	117.63	257.90
55	3433.7	0.001156	0.00482	0.00598	150.44	105.34	255.78
60	3836.9	0.001227	0.00374	0.00497	161.57	90.70	252.27
65	4278.3	0.001338	0.00265	0.00399	174.59	71.59	246.19
70	4763.1	0.001619	0.00124	0.00286	194.53	37.47	232.01
71.3	4901.2	0.00218	0	0.00218	215.78	0	215.78

TABLE B.4.1 (continued)
Saturated R-410a

Temp. (°C)	Press. (kPa)	Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg-K		
		Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Sat. Liquid s_f	Evap. s_{fg}	Sat. Vapor s_g
-60	64.1	-27.45	279.96	252.51	-0.1227	1.3135	1.1907
-55	84.0	-20.64	275.83	255.19	-0.0912	1.2644	1.1732
-51.4	101.3	-15.70	272.78	257.08	-0.0688	1.2301	1.1613
-50	108.7	-13.80	271.60	257.80	-0.0603	1.2171	1.1568
-45	138.8	-6.92	267.27	260.35	-0.0299	1.1715	1.1416
-40	175.0	0	262.83	262.83	0	1.1273	1.1273
-35	218.4	6.97	258.26	265.23	0.0294	1.0844	1.1139
-30	269.6	13.99	253.55	267.54	0.0585	1.0428	1.1012
-25	329.7	21.08	248.69	269.77	0.0871	1.0022	1.0893
-20	399.6	28.24	243.65	271.89	0.1154	0.9625	1.0779
-15	480.4	35.47	238.42	273.90	0.1435	0.9236	1.0671
-10	573.1	42.80	232.98	275.78	0.1713	0.8854	1.0567
-5	678.9	50.22	227.31	277.53	0.1989	0.8477	1.0466
0	798.7	57.76	221.37	279.12	0.2264	0.8104	1.0368
5	933.9	65.41	215.13	280.55	0.2537	0.7734	1.0272
10	1085.7	73.21	208.57	281.78	0.2810	0.7366	1.0176
15	1255.4	81.15	201.64	282.79	0.3083	0.6998	1.0081
20	1444.2	89.27	194.28	283.55	0.3357	0.6627	0.9984
25	1653.6	97.59	186.43	284.02	0.3631	0.6253	0.9884
30	1885.1	106.14	178.02	284.16	0.3908	0.5872	0.9781
35	2140.2	114.95	168.94	283.89	0.4189	0.5482	0.9671
40	2420.7	124.09	159.04	283.13	0.4473	0.5079	0.9552
45	2728.3	133.61	148.14	281.76	0.4765	0.4656	0.9421
50	3065.2	143.65	135.93	279.58	0.5067	0.4206	0.9273
55	3433.7	154.41	121.89	276.30	0.5384	0.3715	0.9099
60	3836.9	166.28	105.04	271.33	0.5729	0.3153	0.8882
65	4278.3	180.32	82.95	263.26	0.6130	0.2453	0.8583
70	4763.1	202.24	43.40	245.64	0.6752	0.1265	0.8017
71.3	4901.2	226.46	0	226.46	0.7449	0	0.7449

TABLE B.4.2
Superheated R-410a

Temp. (°C)	v (m ³ /kg)	u (kJ/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg-K)	v (m ³ /kg)	u (kJ/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg-K)
	50 kPa (−64.34°C)				100 kPa (−51.65°C)			
Sat.	0.46484	226.90	250.15	1.2070	0.24247	232.70	256.94	1.1621
−60	0.47585	229.60	253.40	1.2225	—	—	—	—
−40	0.52508	241.94	268.20	1.2888	0.25778	240.40	266.18	1.2027
−20	0.57295	254.51	283.16	1.3504	0.28289	253.44	281.73	1.2667
0	0.62016	267.52	298.53	1.4088	0.30723	266.72	297.44	1.3265
20	0.66698	281.05	314.40	1.4649	0.33116	280.42	313.54	1.3833
40	0.71355	295.15	330.83	1.5191	0.35483	294.64	330.12	1.4380
60	0.75995	309.84	347.83	1.5717	0.37833	309.40	347.24	1.4910
80	0.80623	325.11	365.43	1.6230	0.40171	324.75	364.92	1.5425
100	0.85243	340.99	383.61	1.6731	0.42500	340.67	383.17	1.5928
120	0.89857	357.46	402.38	1.7221	0.44822	357.17	401.99	1.6419
140	0.94465	374.50	421.74	1.7701	0.47140	374.25	421.39	1.6901
160	0.99070	392.12	441.65	1.8171	0.49453	391.89	441.34	1.7372
180	1.03671	410.28	462.12	1.8633	0.51764	410.07	461.84	1.7835
200	1.08270	428.98	483.11	1.9087	0.54072	428.79	482.86	1.8289
220	1.12867	448.19	504.63	1.9532	0.56378	448.02	504.40	1.8734
240	1.17462	467.90	526.63	1.9969	0.58682	467.74	526.42	1.9172
	150 kPa (−43.35°C)				200 kPa (−37.01°C)			
Sat.	0.16540	236.36	261.17	1.1368	0.12591	239.09	264.27	1.1192
−40	0.16851	238.72	263.99	1.1489	—	—	—	—
−20	0.18613	252.34	280.26	1.2159	0.13771	251.18	278.72	1.1783
0	0.20289	265.90	296.33	1.2770	0.15070	265.06	295.20	1.2410
20	0.21921	279.78	312.66	1.3347	0.16322	279.13	311.78	1.2995
40	0.23525	294.12	329.40	1.3899	0.17545	293.59	328.68	1.3553
60	0.25112	308.97	346.64	1.4433	0.18750	308.53	346.03	1.4090
80	0.26686	324.37	364.40	1.4950	0.19943	324.00	363.89	1.4610
100	0.28251	340.35	382.72	1.5455	0.21127	340.02	382.28	1.5117
120	0.29810	356.89	401.60	1.5948	0.22305	356.60	401.21	1.5611
140	0.31364	374.00	421.04	1.6430	0.23477	373.74	420.70	1.6094
160	0.32915	391.66	441.03	1.6902	0.24645	391.43	440.72	1.6568
180	0.34462	409.87	461.56	1.7366	0.25810	409.66	461.28	1.7032
200	0.36006	428.60	482.61	1.7820	0.26973	428.41	482.35	1.7487
220	0.37548	447.84	504.16	1.8266	0.28134	447.67	503.93	1.7933
240	0.39089	467.58	526.21	1.8705	0.29293	467.41	526.00	1.8372
260	0.40628	487.78	548.73	1.9135	0.30450	487.63	548.53	1.8803

TABLE B.4.2 (continued)
Superheated R-410a

Temp. (°C)	v (m ³ /kg)	u (kJ/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg-K)	v (m ³ /kg)	u (kJ/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg-K)
	300 kPa (-27.37°C)				400 kPa (-19.98°C)			
Sat.	0.08548	243.08	268.72	1.0949	0.06475	246.00	271.90	1.0779
-20	0.08916	248.71	275.46	1.1219	—	—	—	—
0	0.09845	263.33	292.87	1.1881	0.07227	261.51	290.42	1.1483
20	0.10720	277.81	309.96	1.2485	0.07916	276.44	308.10	1.2108
40	0.11564	292.53	327.22	1.3054	0.08571	291.44	325.72	1.2689
60	0.12388	307.65	344.81	1.3599	0.09207	306.75	343.58	1.3242
80	0.13200	323.25	362.85	1.4125	0.09828	322.49	361.80	1.3773
100	0.14003	339.37	381.38	1.4635	0.10440	338.72	380.48	1.4288
120	0.14798	356.03	400.43	1.5132	0.11045	355.45	399.64	1.4788
140	0.15589	373.23	420.00	1.5617	0.11645	372.72	419.30	1.5276
160	0.16376	390.97	440.10	1.6093	0.12241	390.51	439.47	1.5752
180	0.17159	409.24	460.72	1.6558	0.12834	408.82	460.16	1.6219
200	0.17940	428.03	481.85	1.7014	0.13424	427.64	481.34	1.6676
220	0.18719	447.31	503.47	1.7462	0.14012	446.96	503.01	1.7125
240	0.19496	467.09	525.58	1.7901	0.14598	466.76	525.15	1.7565
260	0.20272	487.33	548.15	1.8332	0.15182	487.03	547.76	1.7997
280	0.21046	508.02	571.16	1.8756	0.15766	507.74	570.81	1.8422
	500 kPa (-13.89°C)				600 kPa (-8.67°C)			
Sat.	0.05208	248.29	274.33	1.0647	0.04351	250.15	276.26	1.0540
0	0.05651	259.59	287.84	1.1155	0.04595	257.54	285.12	1.0869
20	0.06231	275.02	306.18	1.1803	0.05106	273.56	304.20	1.1543
40	0.06775	290.32	324.20	1.2398	0.05576	289.19	322.64	1.2152
60	0.07297	305.84	342.32	1.2959	0.06023	304.91	341.05	1.2722
80	0.07804	321.72	360.74	1.3496	0.06455	320.94	359.67	1.3265
100	0.08302	338.05	379.56	1.4014	0.06877	337.38	378.65	1.3787
120	0.08793	354.87	398.84	1.4517	0.07292	354.29	398.04	1.4294
140	0.09279	372.20	418.60	1.5007	0.07701	371.68	417.89	1.4786
160	0.09760	390.05	438.85	1.5486	0.08106	389.58	438.22	1.5266
180	0.10238	408.40	459.59	1.5954	0.08508	407.98	459.03	1.5736
200	0.10714	427.26	480.83	1.6413	0.08907	426.88	480.32	1.6196
220	0.11187	446.61	502.55	1.6862	0.09304	446.26	502.08	1.6646
240	0.11659	466.44	524.73	1.7303	0.09700	466.11	524.31	1.7088
260	0.12129	486.73	547.37	1.7736	0.10093	486.42	546.98	1.7521
280	0.12598	507.46	570.45	1.8161	0.10486	507.18	570.09	1.7947
300	0.13066	528.62	593.95	1.8578	0.10877	528.36	593.62	1.8365

TABLE B.4.2 (continued)
Superheated R-410a

Temp. (°C)	v (m ³ /kg)	u (kJ/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg-K)	v (m ³ /kg)	u (kJ/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg-K)
	800 kPa (0.05°C)				1000 kPa (7.25°C)			
Sat.	0.03262	253.04	279.14	1.0367	0.02596	255.16	281.12	1.0229
20	0.03693	270.47	300.02	1.1105	0.02838	267.11	295.49	1.0730
40	0.04074	286.83	319.42	1.1746	0.03170	284.35	316.05	1.1409
60	0.04429	303.01	338.44	1.2334	0.03470	301.04	335.75	1.2019
80	0.04767	319.36	357.49	1.2890	0.03753	317.73	355.27	1.2588
100	0.05095	336.03	376.79	1.3421	0.04025	334.65	374.89	1.3128
120	0.05415	353.11	396.42	1.3934	0.04288	351.91	394.79	1.3648
140	0.05729	370.64	416.47	1.4431	0.04545	369.58	415.04	1.4150
160	0.06039	388.65	436.96	1.4915	0.04798	387.70	435.68	1.4638
180	0.06345	407.13	457.90	1.5388	0.05048	406.28	456.76	1.5113
200	0.06649	426.10	479.30	1.5850	0.05294	425.33	478.27	1.5578
220	0.06951	445.55	501.15	1.6302	0.05539	444.84	500.23	1.6032
240	0.07251	465.46	523.46	1.6746	0.05781	464.80	522.62	1.6477
260	0.07549	485.82	546.21	1.7181	0.06023	485.21	545.43	1.6914
280	0.07846	506.61	569.38	1.7607	0.06262	506.05	568.67	1.7341
300	0.08142	527.83	592.97	1.8026	0.06501	527.30	592.31	1.7761
	1200 kPa (13.43°C)				1400 kPa (18.88°C)			
Sat.	0.02145	256.75	282.50	1.0111	0.01819	257.94	283.40	1.0006
20	0.02260	263.39	290.51	1.0388	0.01838	259.18	284.90	1.0057
40	0.02563	281.72	312.48	1.1113	0.02127	278.93	308.71	1.0843
60	0.02830	299.00	332.96	1.1747	0.02371	296.88	330.07	1.1505
80	0.03077	316.06	352.98	1.2331	0.02593	314.35	350.64	1.2105
100	0.03311	333.24	372.97	1.2881	0.02801	331.80	371.01	1.2666
120	0.03537	350.69	393.13	1.3408	0.03000	349.46	391.46	1.3199
140	0.03756	368.51	413.59	1.3915	0.03192	367.43	412.13	1.3712
160	0.03971	386.75	434.40	1.4407	0.03380	385.79	433.12	1.4208
180	0.04183	405.43	455.62	1.4886	0.03565	404.56	454.47	1.4690
200	0.04391	424.55	477.24	1.5353	0.03746	423.77	476.21	1.5160
220	0.04597	444.12	499.29	1.5809	0.03925	443.41	498.36	1.5618
240	0.04802	464.14	521.77	1.6256	0.04102	463.49	520.92	1.6066
260	0.05005	484.60	544.66	1.6693	0.04278	483.99	543.88	1.6505
280	0.05207	505.48	567.96	1.7122	0.04452	504.91	567.25	1.6936
300	0.05407	526.77	591.66	1.7543	0.04626	526.25	591.01	1.7358
320	0.05607	548.47	615.75	1.7956	0.04798	547.97	615.14	1.7772

TABLE B.4.2 (continued)
Superheated R-410a

Temp. (°C)	v (m ³ /kg)	u (kJ/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg-K)	v (m ³ /kg)	u (kJ/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg-K)
	1800 kPa (28.22°C)				2000 kPa (32.31°C)			
Sat.	0.01376	259.38	284.15	0.9818	0.01218	259.72	284.09	0.9731
40	0.01534	272.67	300.29	1.0344	0.01321	269.07	295.49	1.0099
60	0.01754	292.34	323.92	1.1076	0.01536	289.90	320.62	1.0878
80	0.01945	310.76	345.77	1.1713	0.01717	308.88	343.22	1.1537
100	0.02119	328.84	366.98	1.2297	0.01880	327.30	364.91	1.2134
120	0.02283	346.93	388.03	1.2847	0.02032	345.64	386.29	1.2693
140	0.02441	365.24	409.17	1.3371	0.02177	364.12	407.66	1.3223
160	0.02593	383.85	430.51	1.3875	0.02317	382.86	429.20	1.3732
180	0.02741	402.82	452.16	1.4364	0.02452	401.94	450.99	1.4224
200	0.02886	422.19	474.14	1.4839	0.02585	421.40	473.10	1.4701
220	0.03029	441.97	496.49	1.5301	0.02715	441.25	495.55	1.5166
240	0.03170	462.16	519.22	1.5753	0.02844	461.50	518.37	1.5619
260	0.03309	482.77	542.34	1.6195	0.02970	482.16	541.56	1.6063
280	0.03447	503.78	565.83	1.6627	0.03095	503.21	565.12	1.6497
300	0.03584	525.19	589.70	1.7051	0.03220	524.66	589.05	1.6922
320	0.03720	546.98	613.94	1.7467	0.03343	546.49	613.35	1.7338
340	0.03855	569.15	638.54	1.7875	0.03465	568.69	637.99	1.7747
	3000 kPa (49.07°C)				4000 kPa (61.90°C)			
Sat.	0.00729	258.19	280.06	0.9303	0.00460	250.37	268.76	0.8782
60	0.00858	274.96	300.70	0.9933	—	—	—	—
80	0.01025	298.38	329.12	1.0762	0.00661	285.02	311.48	1.0028
100	0.01159	319.07	353.84	1.1443	0.00792	309.62	341.29	1.0850
120	0.01277	338.84	377.16	1.2052	0.00897	331.39	367.29	1.1529
140	0.01387	358.32	399.92	1.2617	0.00990	352.14	391.75	1.2136
160	0.01489	377.80	422.49	1.3150	0.01076	372.51	415.53	1.2698
180	0.01588	397.46	445.09	1.3661	0.01156	392.82	439.05	1.3229
200	0.01683	417.37	467.85	1.4152	0.01232	413.25	462.52	1.3736
220	0.01775	437.60	490.84	1.4628	0.01305	433.88	486.10	1.4224
240	0.01865	458.16	514.11	1.5091	0.01377	454.79	509.85	1.4696
260	0.01954	479.08	537.69	1.5541	0.01446	475.99	533.83	1.5155
280	0.02041	500.37	561.59	1.5981	0.01514	497.51	558.08	1.5601
300	0.02127	522.01	585.81	1.6411	0.01581	519.37	582.60	1.6037
320	0.02212	544.02	610.37	1.6833	0.01647	541.55	607.42	1.6462
340	0.02296	566.37	635.25	1.7245	0.01712	564.06	632.54	1.6879
360	0.02379	589.07	660.45	1.7650	0.01776	586.90	657.95	1.7286

Anexo 2 – Ficha técnica de Caldera ZOZEN SZL35-2.45-M

DZL serie de caldera de vapor de biomasa

vapor

Capacidad térmica del producto: 2 – 20t/h (142BHP-1420BHP)

Presión del trabajo: 1 - 2.5 MPA (145PSI-232PSI)

Combustibles aplicables: Partículas de biomasa , astillas de madera, mazorca de maíz, polvo de sierra, etc

Industrias de aplicación: calefacción, fábrica química, industria de alimento, textil, imprenta y tejido, tabaco, forraje para animal, farmacia, materiales de construcción, caucho, hospital etc.

en línea

Email

Consulta



Eficiencia térmica $\geq 88\%$



Ahorro energético y protección medioambiental



Alto nivel de automatización

Modelo	Capacidad de vapor (t/h/MW)	Presión del trabajo (MPa)	Temperatura de vapor (°C)	Eficiencia térmica (%)	Tamaño máximo (m) (L×W×H)
DZL4-2.45-M	4/2.8	2.45	225	88	6.6×2.6×3.6
DZL6-1.25-M	6/4.2	1.25	194	88	7.3×3.2×3.6
DZL6-1.60-M	6/4.2	1.6	204	88	7.3×3.2×3.6
DZL10-1.25-M	10/7	1.25	194	88	a la medida
DZL10-1.60-M	10/7	1.6	205	88	a la medida
DZL15-1.25-M	15/10.5	1.25	194	88	a la medida
DZL15-1.60-M	15/10.5	1.6	205	88	a la medida
DZL20-1.25-M	20/14	1.25	194	88	a la medida
DZL20-1.60-M	20/14	1.6	205	88	a la medida

* Todos estos parámetros son para modelos básicos. De acuerdo con las necesidades reales de los clientes, ZOZEN Boiler personalizará los equipos de calderas y soluciones de sistemas a medida;

* Para obtener información más específica, consulte el producto real y el manual del producto. A menos que se especifique lo contrario, el derecho de interpretación de datos incluidos en este sitio web pertenece a ZOZEN Boiler.

Turbinas de vapor KK&K®

La completa gama de productos hasta 24 megavatios



CORE

Hasta 6 MW

CORE ha sido diseñada para empresas empacadoras o EPC (Ingeniería, adquisición y construcción). Esta turbina es fabricada con válvulas de admisión, carcasa rotor y reducción.

Información técnica

Potencia de salida hasta 6 MW

Presión de entrada hasta 131 bar(a)/1.900 psi

Temperatura de entrada de vapor saturado seco hasta 530 °C/985 °F

Velocidad según máquina accionada

Presión de salida: contrapresión hasta 29 bar(a)/420 psi o vacío

Dimensiones típicas

Depende del alcance del paquete completo

Características

De tipo contrapresión o condensación

Disponibles válvulas de control del grupo de boquillas

Arranque rápido sin precalentamiento

Cumple con los requisitos de API 611/612*

*Si se acepta diseño en voladizo y engranajes integrales.



MONO

Hasta 6 MW

MONO destaca por su diseño robusto y reconocida fiabilidad incluso bajo las condiciones de operación más rigurosas e ideales para operación con vapor saturado. La adaptabilidad de esta turbina permite que pueda ser utilizada para aplicaciones a contrapresión o condensación, combinando nuestros distintos módulos de reducciones, rotores y carcasa.

Información técnica

Potencia de salida hasta 6 MW

Presión de entrada hasta 131 bar(a)/1.900 psi

Temperatura de entrada de vapor saturado seco hasta 530 °C/985 °F

Velocidad según máquina accionada

Presión de salida: contrapresión hasta 29 bar(a)/420 psi o vacío

Dimensiones típicas (aprox.)

Longitud 1,5 m/4,9 ft* (solo la turbina, 6 m/20 ft incl. generador)

Anchura 2,5 m/8,2 ft*

Altura 2,5 m/8,2 ft*

Características

De tipo contrapresión o condensación

Diseño de unidad independiente

Unidad de aceite integrada en el bastidor de base

Disponibles válvulas de control del grupo de boquillas

Arranque rápido sin precalentamiento

Diseño a medida

*Solo turbina

Anexo 4 – Ficha técnica Generador ABB 9AKK106094 de 0.9 a 7.8 MVA



PRODUCT NOTE

Medium and high voltage generators for engines

Range from 0.9 to 7.8 MVA



ABB is expanding its range to cover standard 4-, 6-, 8- and 10-pole generators for engine and genset manufacturers. Ideal for continuous or standby power, the new compact, high performance generators offer short delivery times and easy installation. ABB's globally identical production processes ensure high quality, easy sourcing and efficient logistics.

Standard industrial product family

As the global technology leader in motors and generators, ABB has expertise in different types of applications to help OEMs and end-users achieve even better performance. We build generators to the strictest manufacturing standards for even the biggest gensets with common base frames.

The new upgraded 500 – 630 frame size generators extend our broad offering into the 0.9 – 7.8 MVA power range at voltages of 3.3 – 13.8 kV.

They are ideal for both continuous and standby applications.

These open air cooled, TEWAC or TEAAC synchronous generators feature H-class insulation. Reliable, high performance PMG excitation comes as standard, complemented by an analog or digital AVR. Optional accessories enable easy customer interface adaptation.

Future-proof design means significant savings

The many pre-engineered options mean the standard platform needs only a few frame lengths to cover the whole power range and provide scope for various designs in the future. Adding an inlet air filter (IP23), for example, does not require extra width or derating. The NEMA version also has the same dimensions, with only a slightly higher terminal box.

No additional length is required for the IC01A-IP44 option, and the same foot design is suitable for all protection classes. The large terminal space has room for optional bus bars, PTs and CTs. The center bus bar arrangement enables easy cable connection. These factors not only help OEMs to minimize the number of genset base frames but also produce significant savings in engineering, material and installation costs.

Professional features in a standard generator series

The innovative built-in exciter and PMG unit, as well as the integrated main and auxiliary terminals and AVR, make the generators compact and easy to install – factors that are important in the genset business.

In parallel operation no additional PLCs or cabling are needed to realize Voltage Droop Compensation (VDC) control. For grid operation, ABB's cutting-edge digital AVR option completes the high performance generator package. ABB is the technology leader in grid code compliant LVRT (low voltage ride through) systems, and the digital AVR not only offers power factor regulation, voltage matching and limiters but also built-in diode monitoring and auto synchronization. Its fast voltage dip detection keeps the genset connected to the network during fault situations.

Reliable ABB generators with global manufacturing and technical support

- 01 ABB's rigid salient pole rotor construction enables reliable operation under the most demanding load conditions.
- 02 Built-in exciter and PMG in NDE shield with easy access to diodes.

High reliability and performance

ABB applies advanced techniques like FEM simulation and CFD, enabling OEMs to produce rigid, predictable genset designs with excellent vibration durability. 3D models can be supplied to help OEMs to rapidly prepare documentation for their genset offering.

ABB generators have quality built in to their design, materials and manufacturing processes. Purchases are sourced from reliable vendors only and thorough testing is performed at all stages of manufacturing.

Both the stator and rotor use reliable ABB form wound windings and vacuum pressure impregnation – which has proven itself for more than 30 years in tens of thousands of large motors and generators that are operating successfully all over the world. Our advanced insulation system gives the windings superior strength to withstand vibration, and mechanical and electrical stresses. ABB uses many different ways to minimize harmonics – such as $5/6^{\text{th}}$ winding pitch, which reduces all significant harmonics to minimum levels. A $2/3$ pitch winding, which eliminates only the 3rd harmonic, can be provided on request.

^{**} Exact pitch may vary slightly on a case by case basis.

Together with our expertise in a wide range of bearing constructions, these factors result in high availability and trouble-free operation.

The new standard product family offers high reliability and low cost of ownership. It provides a cost-efficient solution with the fastest delivery times, backed by ABB's globally identical high quality manufacturing processes and worldwide network of local engineering and service facilities.

The ETO design – engineered to order

ABB generators fit with all engine brands and can be easily adapted to comply with their special requirements. In addition to the most common IP23 open air cooled 4-pole design with single or double bearings, various pre-engineered solutions and selected ETO configurations are available.

Optimized sourcing and logistics

ABB is a truly global company that offers its customers a complete portfolio of products – so OEMs can get all the components they need on time and can optimize their sourcing and logistics, wherever they are located.

01



02



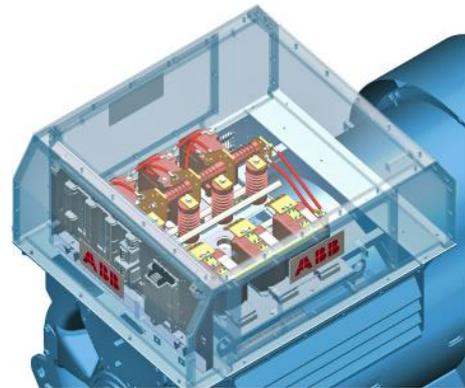
Professional features in standard generator series

— 03 ABB's cutting-edge digital AVR option makes for a reliable generator package without needing external synchronization or diode monitoring units.

— 04 Large, integrated terminal space in top of frame for easy installation of cables, transformers and AVR, with a clever cooling function.

Key benefits

- Compact in size and easy to install
 - built-in exciter and PMG
 - large terminal unit with built-in AVR
- Adaptability with short delivery times
 - standard platform for serial manufacturing with optional accessories
 - ETO range with pre-engineered configurations
- Reliable operation under changing and non-linear loads
 - good short-circuit, overload and motor starting capabilities using the most reliable PMG excitation
- Optimized sourcing and efficient logistics
 - globally identical ABB manufacturing processes
- Local support
 - backed by ABB's global service network
- Complete portfolio of products from single, reliable partner
 - independent supplier, technology and market leader with unrivalled experience



— 04

Technical data

Frame size	500 to 630
Power range	0.9 – 7.8 MVA
Voltage range	3.3 – 13.8 kV
Frequency	50 or 60 Hz
Pole number	4-, 6-, 8- and 10-pole 720 – 1800 rpm
Cooling and protection	IC 0A1 / IP23, open air cooled IC8 A1W7 and IC616 / IP54
Mounting	IM 1101, double bearings, raised feet
Main dimensions	500: 2463 x 1310 x 1789 mm
IM1101 (LWH)	560: 2693 x 1400 x 1909 mm 630: 3363 x 1650 x 2049 mm

Design features

Insulation class/ Temp. rise	H / H, F or B
Excitation method	PMG as standard
AVR type	Digital or analog
Winding pitch	5/6 (approx.), 2/3 on request
Connections	Top integrated terminals and AVR, 4 bus bars – 6 leads

Main options

- Cutting-edge digital AVR (advanced ABB Unitrol 1010)
- SAE 0 and SAE 00 flanges
- 6 bus bars, CTs and PTs for differential protection
- Inlet air filters (with no power derating or extra width, IP 23)
- Adaptable cable output, all directions with 45° angle cable tube
- Customer specific IP, IC and IM options

— 03



Anexo 5 – Ficha técnica Bomba Inox 200 CV 4 polos WEG

Bomba Inox 200 cv 4 polos Weg



Código: Bomba Inox 200 cv 4 polos Weg
Marca: Weg
Peso: 2,000.00 KGS
Disponibilidade: imediato
Duvida:  **DÚVIDA**
TIRE SUA DÚVIDA DESTE PRODUTO

[Recomendar](#) Sé el primero de tus amigos en recomendar esto.



 **COMPARTILHAR**
NA INTERNET 

 **INDIQUE**
ESTE PRODUTO

[Descrição](#) [Garantia](#) [Tags](#) [Produtos similares](#) [Comentários](#) [Também viram](#)

Descrição do Produto

Informamos que o bomba de inox se trata de um motor usado, rebobinado ou revisado com as seguintes características técnicas, podendo ser alteradas de acordo com a demanda do cliente.

Bomba Inox 200 cv 4 polos Weg

✓ 270 mil litro hora

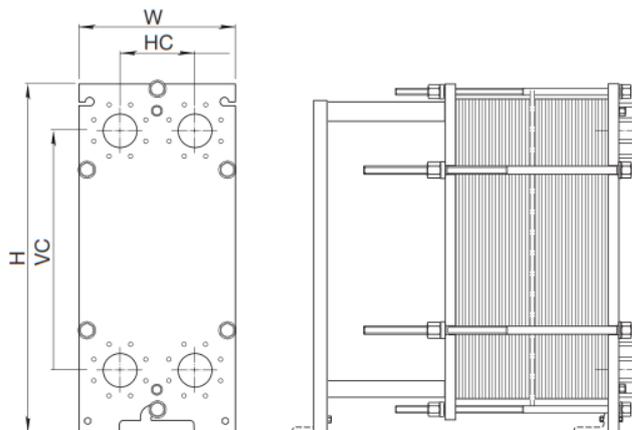
✓ 80 mt

Anexo 6 – Ficha técnica intercambiador de calor Alfa Laval TL10BFG

PHE datos – tablas

Modelo, bastidor	T2BFG	M3FG	T5MFG	M6FG	M6FD	M6MFG	M6MFD	TS6MFG	TS6MFD
Altura, H, (mm)	380	480	742	920	940	920	940	704	704
Anchura, W, (mm)	140	180	245	320	330	320	330	400	410
Conexión vertical dist., VC, (mm)	298	357	553	640	640	640	640	380	380
Conexión horizontal dist., HC, (mm)	50	60	100	140	140	140	140	203	203
Tamaño de conexión, conducto (pulgada)	¾"	1¼"	2"	2"	-	2"	-	-	-
Tamaño de conexión, brida (mm)	-	-	-	60	60	60	60	70	70
Máximo caudal, (kg/s)	2	3.9	13	15	15	15	15	20	20
Máxima temperatura, (°C)	150	140	160	160	160	160	160	180	180
Máxima presión, (barg)	16	16	16	16	25	16	25	16	25
Principio de flujo	Paralelo								

Modelo, bastidor	M15MFM	M15MFG	M15MFD	M15EFG	M15EFD	TS20MFM	TS20MFG	TS20MFS
Altura, H, (mm)	1885	1885	1980	1885	1980	1405	1405	1435
Anchura, W, (mm)	610	650	650	650	650	740	800	800
Conexión vertical dist., VC, (mm)	1294	1294	1294	1294	1294	698	698	698
Conexión horizontal dist., HC, (mm)	298	298	304	298	304	363	363	363
Tamaño de conexión, conducto (pulgada)	-	-	-	-	-	-	-	-
Tamaño de conexión, brida (mm)	140	140	140	140	140	200	200	200
Máximo caudal, (kg/s)	80	80	80	80	80	190	190	190
Máxima temperatura, (°C)	160	160	160	60	60	180	180	180
Máxima presión, (barg)	10	16	30	16	30	10	16	30
Principio de flujo	Paralelo							



M10BFM	M10BFG	M10BFD	M10MFM	M10MFG	M10MFD	TL10BFG	M15BFM	M15BFG	M15BFD
1084	1084	981	1084	1084	981	1981	1885	1885	1980
470	470	470	470	470	470	480	610	650	650
719	719	719	719	719	719	1338	1294	1294	1294
225	225	231	225	225	231	225	298	298	304
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100	100	100	100	100	100	100	140	140	140
50	50	50	50	50	50	50	80	80	80
160	160	160	160	160	160	160	160	160	160
10	16	25	10	16	25	25	10	16	30
Paralelo									

T20MFG	T20MFS	MX25BFMS	MX25BFGS	MX25BFG	MX25BFD	M30FM	M30FG	M30FD
2200	2200	2595	2595	2895	2895	2882	2882	2920
780	780	920	920	920	940	1150	1170	1190
1478	1478	1939	1939	1939	1939	1842	1842	1842
365	353	439	439	439	439	596	596	596
-	-	-	-	-	-	-	-	-
210	210	200/250	200	200/250	200/250	300	300	300
180	180	250	190	250	250	450	450	450
160	160	160	160	160	160	140	140	140
16	30	10	16	16	25	10	16	25
Paralelo								

Placas, juntas y materiales conectores

Pueden conseguirse placas en cualquier material susceptible de ser prensado. Los materiales más comunes son: acero inoxidable AISI 304, AISI 316, y titanio. Las juntas están disponibles en una amplia variedad de elastómeros. Los más comunes son: nitrilo y EPDM. Las conexiones de tubos roscados están disponibles en acero inoxidable y titanio, y para el M6 también en acero al carbono. Las uniones por brida están disponibles con o sin revestimiento de caucho, acero inoxidable, titanio y otras aleaciones dependiendo del modelo.

Máxima presión y temperatura

Todos los modelos están disponibles con diferentes diseños de bastidor y diferentes espesores de placas dependiendo de la presión de diseño requerida. La temperatura máxima depende del material empleado en las juntas y de la presión de operación.

Homologación

Todos los modelos están homologados conforme a los principales códigos de recipientes a presión, incluyendo las clasificaciones marinas.

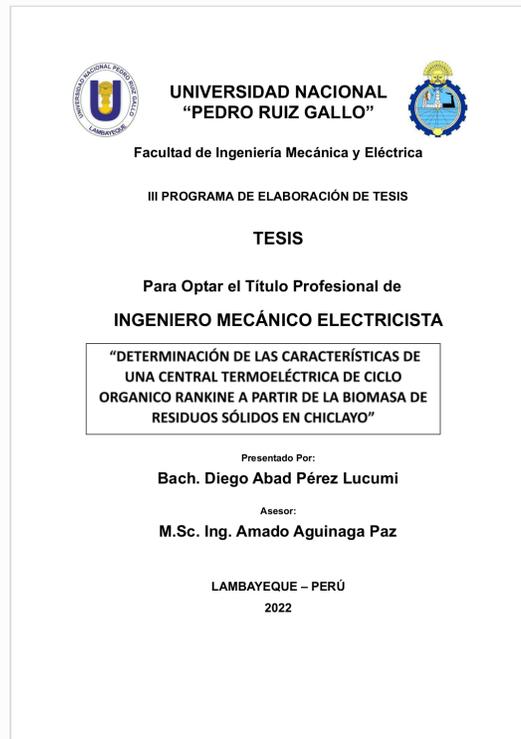


Recibo digital

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

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Diego Abad Perez Lucumi
Título del ejercicio: Perez Lucumi 13 de feb
Título de la entrega: "DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UNA CENTR...
Nombre del archivo: TESIS_DAPL_10-2-23.pdf
Tamaño del archivo: 10.2M
Total páginas: 103
Total de palabras: 17,760
Total de caracteres: 87,778
Fecha de entrega: 13-feb.-2023 06:19a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entre... 2013036095



Dr. Ing. AMADO AGUINAGA PAZ
Asesor

“DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA DE CICLO ORGANICO RANKINE A PARTIR DE LA BIOMASA DE RESIDUOS SÓLIDOS EN CHICLAYO”

INFORME DE ORIGINALIDAD

16%

INDICE DE SIMILITUD

16%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
2	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	3%
3	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	bibdigital.epn.edu.ec Fuente de Internet	1%
5	repositorio.comillas.edu Fuente de Internet	1%
6	www.osinergmin.gob.pe Fuente de Internet	1%
7	www.slideshare.net Fuente de Internet	1%
8	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%



Dr. Ing. AMADO AGUINAGA PAZ
Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

LAMBAYEQUE

ACTA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

AMADO AGUINAGA PAZ, asesor del trabajo de investigación titulado:

"DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA DE CICLO ORGANIZADO RANKINE A PARTIR DE LA BIOMASA DE RESIDUOS SÓLIDOS EN CHICLAYO"

Presentado por el bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica:

PEREZ LUCUMI DIEGO ABAD

Confirma que el citado trabajo académico tiene un índice de similitud de 16%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, que convierte el trabajo aceptable y no constituye plagio, en tanto cumple con todas las normas del uso de citas y referencias establecidas por la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Lambayeque, 16 de agosto del 2023.

Dr. Ing. AMADO AGUINAGA PAZ
Asesor



ACTA DE SUSTENTACION VIRTUAL N°013-2023-FIME



En la ciudad de Lambayeque, siendo las 11:00 a.m. del día viernes 31 de marzo de 2023. Se reunieron vía plataforma virtual <http://meet.google.com/izd-feqm-rqv>. los miembros del jurado, designados mediante Resolución N°076-2023-D-VIRTUAL-FIME, de fecha 29 de marzo de 2023, con la finalidad de Evaluar y Calificar la sustentación de la Trabajo de Tesis, conformado por los siguientes catedráticos:

M.Sc. Ing. JUAN ANTONIO TUMIALAN HINOSTROZA
ING. JORGE ROLANDO TELLO RODRIGUEZ
ING. HÉCTOR ANTONIO OLIDEN NUÑEZ
Dr. Ing. AMADO AGUINAGA PAZ

PRESIDENTE
SECRETARIO
MIEMBRO
ASESOR

Se recibió el Trabajo de Tesis titulada:

“DETERMINACION DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA DE CICLO ORGANICO RANKINE A PARTIR DE LA BIOMASA DE RESIDUOS SÓLIDOS EN CHICLAYO”

Presentada y sustentada por su autor, Bachiller: **PEREZ LUCUMI DIEGO ABAD.**

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

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

Siendo las 11:50 a.m. del mismo día se da por concluido el acto académico, firmando la presente acta el jurado respectivo:

M.Sc. Ing. JUAN ANTONIO TUMIALAN HINOSTROZA
PRESIDENTE

ING. HÉCTOR ANTONIO OLIDEN NUÑEZ
MIEMBRO

ING. JORGE ROLANDO TELLO RODRIGUEZ
SECRETARIO

Dr. Ing. AMADO AGUINAGA PAZ
ASESOR

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Dr. Ing. AMADO AGUINAGA PAZ
Decanato