

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica



“Diseño de una central termoeléctrica de biomasa para Lambayeque, utilizando residuos agrícolas como el bagazo de caña de azúcar y cascarilla de arroz.”

Tesis para optar el Título Profesional de:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

Autor:

Bach. Paz Paredes, Carlos Enrique

Asesor:

M.Sc. Ing. Villalobos Cabrera, Jony

Lambayeque, junio 2022



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica



TESIS

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

TÍTULO

“Diseño de una central termoelectrónica de biomasa para Lambayeque, utilizando residuos agrícolas como el bagazo de caña de azúcar y cascarilla de arroz.”

CONTENIDOS

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.

CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN.

CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Autor: Bach. Paz Paredes, Carlos Enrique

Dr. Fredy Dávila Hurtado

PRESIDENTE

Ing. Yupanqui Rodríguez, Carlos

SECRETARIO

Ing. Julca Orozco, Teobaldo Oscar

VOCAL

M.Sc. Ing. Villalobos Cabrera, Jony

ASESOR

Lambayeque, junio 2022

DEDICATORIA

A mis padres Enrique Paz y Marianella Paredes; a mis abuelos Nicolás Paz, Rosa Noriega y Juana Sosa; a mis hermanos Alejandra y Eduardo Paz por creer en mí en todo momento.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis abuelos, que me enseñaron a no desanimarme, a ceder ante nada y a perseverar, con sus sabios consejos y su apoyo incondicional.

A mis padres que, sin su soporte y esfuerzo, no hubiera podido alcanzar todas las metas que me propuse a lo largo de mi vida.

Al Ing. Villalobos Cabrera Jony, asesor de tesis, por sus invaluable consejos y asesoramiento para hacer este trabajo posible.

Finalmente, un agradecimiento a todos los que contribuyeron, directa e indirectamente, a la realización de este trabajo.

¡Gracias totales!

RESUMEN

Hoy por hoy, en la región Lambayeque se cosechan cerca de 100 000 toneladas de cañas de azúcar, dejando como sobrante alrededor de 30 000 toneladas de bagazo de caña, los cuales solo son tratados como desechos o, simplemente son utilizados de manera ineficiente por los ingenios azucareros. Ante este desafío, surge el estudio de factibilidad de una central termoeléctrica, con el cual se propone la utilización adecuada de los residuos de la caña de azúcar para llegar a la generación de electricidad de manera sostenible, alcanzar una mejora en la calidad de vida de los pobladores aledaños a dicha central, impulsar el estudio de las energías renovables, así como también paliar el efecto adverso del cambio climático por el que estamos atravesando.

Para tales fines, se parte de la cuantificación de biomasa que es producida a diario en la región Lambayeque, para luego estimar la cantidad de energía calorífica que es capaz de generar dicha biomasa, obteniéndose así la cantidad de energía eléctrica disponible. Con este último dato se determina que la potencia instalada de la central será de aproximadamente 20 MW. Luego de comparar entre varias opciones, se opta por el distrito de Pomalca como el emplazamiento más adecuado para la central. Finalmente, después de realizar el análisis económico y obtener resultados positivos en los indicadores, se concluyó que el proyecto de una central termoeléctrica es factible.

Palabras clave: Biomasa, bagazo de caña de azúcar, central termoeléctrica.

ABSTRACT

Today, in the Lambayeque region, about 100,000 tons of sugar cane are harvested, leaving around 30,000 tons of cane bagasse as a surplus, which are only treated as waste or are simply used inefficiently by farmers. sugar mills. Faced with this challenge, the feasibility study of a thermoelectric power plant arises, with which the proper use of sugar cane residues is proposed to achieve the generation of electricity in a sustainable way, to achieve an improvement in the quality of life of the residents surrounding said power station, to promote the study of renewable energies, as well as to alleviate the adverse effect of climate change that we are going through.

For these purposes, we start from the quantification of biomass that is produced daily in the Lambayeque region, to then estimate the amount of heat energy that can generate said biomass, thus obtaining the amount of available electrical energy. With this last data it is determined that the installed capacity of the plant will be approximately 20 MW. After comparing several options, the district of Pomalca is chosen as the most suitable location for the plant. Finally, after conducting the economic analysis and obtaining positive results in the indicators, it was concluded that the project of a thermoelectric plant is feasible.

Keywords: *Biomass, sugarcane bagasse, thermoelectric plant.*

ÍNDICE

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
RESUMEN	V
ABSTRACT	VI
ÍNDICE	VII
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	2
1.1 Realidad problemática:	2
1.2 Formulación del problema:	3
1.3 Delimitación de la investigación:	3
1.3.1. Delimitación espacial:	3
1.3.2 Delimitación temporal:	5
1.4 Justificación e importancia de la investigación:	5
1.4.1 Justificación ambiental:	5
1.4.2 Justificación social:	5
1.4.3 Justificación científica:	5
1.5 Limitaciones de la investigación:	5
1.6 Objetivos de la investigación:	6
1.6.1 Objetivo general:	6
1.6.2 Objetivos específicos:	6
CAPÍTULO II	7
2.1 Antecedentes de estudios:	7
2.1.1 A nivel internacional:	7
2.1.2 A nivel nacional:	9
2.1.3 A nivel local:	9
2.2 Desarrollo de la temática correspondiente al tema investigado:	10
2.2.1 Biomasa:	10
2.2.2 Conversión de la biomasa en energía:	13
2.2.3 Beneficios de la conversión de biomasa:	19
2.2.4 Humedad:	20
2.2.5 Granulometría:	21
2.2.6 Poder calorífico:	22

2.2.7	Energía térmica:.....	23
2.2.8	Energía producida anualmente:	23
2.2.9	Cantidad de combustible necesario:	24
2.2.10	Evaluación económica:	24
2.3	Definición conceptual de la terminología utilizada:	26
2.3.1	Energías renovables:	26
2.3.2	Caña de azúcar:	27
2.3.3	Constituyentes de la caña de azúcar:.....	27
2.3.4	Bagazo:	28
2.3.5	Composición del bagazo de caña de azúcar:	28
2.3.6	Centrales termoeléctricas:.....	29
2.3.7	Calderos:	32
2.3.8	Sistema de almacenamiento y tratamiento de biomasa:	40
2.3.9	Secado de biomasa:.....	41
2.3.10	Sistema de depuración de gases:	41
2.3.11	Ciclo agua-vapor:.....	41
2.3.12	Vapor:	41
2.3.13	Turbina de vapor:	42
2.3.14	Condensador:	42
2.3.15	Enfriamiento con agua:	42
2.3.16	Generador eléctrico:.....	43
2.3.17	Sistema eléctrico de alta tensión:	43
2.3.18	Sistema eléctrico de baja tensión:.....	43
2.3.19	Sistemas auxiliares:	44
2.3.20	Sistema de control distribuido (DCS):.....	44
CAPÍTULO III	.....	45
3.1	Tipo y diseño de investigación:	45
3.2	Población y muestra:	45
3.2.1	Población:	45
3.2.2	Muestra:	45
3.3	Hipótesis:	45
3.4	Variables – Operacionalización:	46
3.5	Métodos y técnicas de investigación:	47
3.6	Análisis estadístico e interpretación de datos:	47
CAPÍTULO IV	.....	48
4.1	Tipo de biomasa a utilizar:.....	48
4.1.1.	Bagazo de caña de azúcar:	48

4.1.2.	Cascarilla de arroz:	48
4.2	Evaluación del potencial energético del bagazo de la caña de azúcar:	49
4.2.1.	Cálculo del peso de la biomasa:	49
4.2.2.	Determinación del PCI:	51
4.2.3.	Cálculo de la energía producida por la biomasa:	52
4.3	Cálculo de la potencia instalada:	52
4.4	Ubicación, distribución y selección de los componentes de la central:	54
4.4.1.	Ubicación de la central termoeléctrica:	54
4.4.2.	Distribución de la central termoeléctrica:	55
4.4.3.	Componentes de la central termoeléctrica:	56
4.5	Evaluación económica del proyecto:	56
4.5.1.	Inversión:	56
4.5.2.	Costos de operación y mantenimiento:	57
4.5.3.	Estimación de ingresos:	57
4.5.4.	Venta de energía eléctrica:	58
4.5.5.	Flujo de caja:	59
CAPÍTULO V	.....	60
5.1	Conclusiones:	60
5.2	Recomendaciones:	61
BIBLIOGRAFÍA	.....	62
ANEXOS	.....	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°01: Operacionalización de las variables	46
Tabla N°02: Producción de caña anual.....	49
Tabla N°03: Cantidad de hectáreas cosechadas anualmente	49
Tabla N°04: Relación entre toneladas de caña y hectáreas cosechadas.....	50
Tabla N°05: Cantidad de bagazo al año	50
Tabla N°06: Cantidad de bagazo al día	51
Tabla N°07: Cantidad de camiones al día	51
Tabla N°08: Poder calorífico inferior del bagazo.....	51
Tabla N°09: Energía calorífica producida por la biomasa	52
Tabla N°10: Equivalente de energía calorífica en MWh	52
Tabla N°11: Energía eléctrica producida por la biomasa	53
Tabla N°12: Potencia efectiva de la central termoeléctrica	53
Tabla N°13: Potencia instalada de la central termoeléctrica	53
Tabla N°14: Cuadro comparativo para determinar la ubicación de la central	54
Tabla N°15: Inversión estimada para el proyecto	57
Tabla N°16: Valores del precio del kWh.....	58
Tabla N°17: Flujo de caja	59
Tabla N°18: Resultados del flujo de caja.....	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°01: Ubicación del proyecto	4
Figura N°02: Planta Florida Crystals.....	8
Figura N°03: Tipos de biomasa	13
Figura N°04: Procesos termoquímicos de conversión de biomasa en energía	14
Figura N°05: Proceso de gasificación	16
Figura N°06: Proceso de pirólisis	17
Figura N°07: Proceso anaeróbico	18
Figura N°08: Constitución y composición del bagazo de caña de azúcar	29
Figura N°09: Planta de generación eléctrica mediante biomasa	32
Figura N°10: Caldera pirotubular horizontal	34
Figura N°11: Caldera acuotubular.....	35
Figura N°12: Caldera de combustión	35
Figura N°13: Caldera de lecho burbujeante	38
Figura N°14: Caldera de lecho circundante	40
Figura N°15: Condensador	42
Figura N°16: Esquema de los principales equipos en la distribución de la planta ..	43
Figura N°17: Una subestación eléctrica y sus principales componentes	44
Figura N°18: Plano de distribución de la central	55

INTRODUCCIÓN

A nivel nacional, el departamento de Lambayeque es uno de los principales productores de caña de azúcar. Según el Ministerio de Agricultura y Riego, a través del Sistema Integrado de Estadística Agraria (SIEA), en 2019 la región Lambayeque se ubicó en el segundo lugar a nivel nacional en la producción de caña de azúcar; que cubre el 34% de la producción nacional, precedido de la región La Libertad con el 44% de la producción total. Gracias a ello se generan a su vez grandes cantidades de residuos agrícolas, tales como el bagazo; y dado a que no existe una planta de residuos orgánicos, dichos residuos no se aprovechan en su totalidad. Es por ello que nació este proyecto, con el fin de determinar la viabilidad de crear una planta termoeléctrica, con la que se pueda generar electricidad utilizando los recursos antes mencionados y contribuyendo así a la conservación del medio ambiente.

CAPÍTULO I

PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Realidad problemática:

Con el incesante crecimiento de la población a nivel mundial en las últimas décadas, la necesidad de satisfacer el consumo energético y también la de suplir la dependencia del oro negro, incluso de generar conciencia en la sociedad sobre el cambio climático originado por el voraz consumo de combustibles fósiles, nos vuelca en una búsqueda y fructificación colectiva hacia alternativas energéticas que sean radicales, ecológicas y renovables, tales como la biomasa.

A nivel mundial, según la *Food and Agriculture Organization* (en adelante, FAO), en el año 2018 la producción de caña de azúcar tuvo un total de 1 907 024 730 toneladas; siendo Brasil el principal productor con 746 828 157 toneladas. Cifra que representó el 37,6% de la producción mundial; lo que le permitió conservar el liderato internacional que lleva por más de una década. La posición de liderato de Brasil en el comercio mundial actualmente se fundamenta en los menores costos de producción y la presencia del sector alcohol como una alternativa importante a los productos derivados de la caña de azúcar en este país. (FAO, 2019)

“En el Perú la caña de azúcar es sembrada en la costa, sierra y selva, y cosechada durante todo el año. El mayor uso industrial de la caña de azúcar es para la producción de azúcar. De las hectáreas sembradas con caña, corresponde el 65 % a los 10 ingenios azucareros y el 35 % restante a los sembradores particulares. La superficie con mayor cantidad de

hectáreas cosechadas se concentra en la zona norte, como La libertad, Lambayeque y Piura”. (MINAGRI, 2015)

Cabe destacar que el Perú es un país con un alto potencial para la reutilización de residuos agrícolas, mediante sistemas de producción de energía y cogeneración, para la obtención de electricidad o vapor en diversas industrias. Pero a pesar de que al menos 9 de las 11 azucareras que existen en Perú utilizan bagazo en plantas de cogeneración y de los denodados avances de la industria azucarera en la construcción de sistemas de generación, resulta exiguo para lograr un aprovechamiento eficiente de dichos recursos. (PERUCAÑA, 2019)

1.2 Formulación del problema:

Gracias al diseño de una central termoeléctrica en la región Lambayeque, ¿se logrará promover el uso y, por consiguiente, beneficiarse del potencial del bagazo de la caña de azúcar?

1.3 Delimitación de la investigación:

1.3.1. Delimitación espacial:

La investigación de este proyecto comprenderá el distrito de Pomalca, del cual se recopilarán los datos necesarios para realizar los estudios correspondientes.

Ubicado a unos 7 km de la ciudad de Chiclayo, el distrito de Pomalca se extiende por 80,35 km² de superficie y cuenta con 31 928 habitantes (2013), convirtiéndose así en uno de los distritos más poblados de la provincia de Chiclayo. (INEI, 2020).

Límites:

- Norte: Distrito de Pícsi
- Sur: Distritos de Tumbán, Reque y Monsefú
- Este: Distrito de Tumbán
- Oeste: Distritos de Chiclayo y José Leonardo Ortiz

Coordenadas:

- Latitud: 6°46'10.12" S
- Longitud: 79°47'29.37 O

Figura N°01: Ubicación del proyecto



Fuente: Google Earth

1.3.2 Delimitación temporal:

Este estudio se llevará a cabo entre julio y diciembre de 2020.

1.4 Justificación e importancia de la investigación:

1.4.1 Justificación ambiental:

Con la realización y ejecución de esta investigación, se reducirá el deterioro medio ambiental ocasionado por los gases de efecto invernadero, ya que se utilizará la biomasa como recurso renovable y ecológico.

1.4.2 Justificación social:

Al implementar este proyecto, cuya finalidad es la de producir energía eléctrica de una fuente limpia, se les estará brindando una mejor calidad de vida a muchos más habitantes, así como también se generarán más puestos de trabajo para los mismos.

1.4.3 Justificación científica:

Este tipo de investigación sirve para impulsar la utilización de recursos renovables, como la biomasa, con fines de estudio científico.

1.5 Limitaciones de la investigación:

Para esta investigación se consideró que la recopilación de datos en las distintas entidades competentes será escasa, debido a las restricciones sociales que implementó el Gobierno durante la pandemia del Covid-19.

1.6 Objetivos de la investigación:

1.6.1 Objetivo general:

- Realizar el diseño de una central termoeléctrica para la región Lambayeque, utilizando como fuente de energía el bagazo de caña de azúcar y cascarilla de arroz.

1.6.2 Objetivos específicos:

- Establecer el tipo de biomasa (bagazo de caña o cascarilla de arroz) a utilizar.
- Determinar la cantidad y el potencial energético de la biomasa disponible (bagazo de caña de azúcar).
- Calcular la potencia instalada para la central termoeléctrica.
- Calcular y seleccionar los componentes de la central termoeléctrica.
- Realizar la evaluación económica del proyecto.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de estudios:

La biomasa es el portador de energía más antiguo del mundo. Y debido a que es un recurso que se presenta en diversas formas (biomasa forestal, residuos agrícolas, residuos de la industria maderera, etc.), está muy extendido en muchos países alrededor del mundo.

Las principales biomásas producto de la caña de azúcar son: la escoria de caña, la cual es el residuo que queda después de la cosecha de la caña de azúcar y el bagazo, que es el desecho fibroso resultante de la trituration de la caña. Por su parte, el bagazo de tiene la gran ventaja de generar electricidad de forma más sustentable que utilizando combustibles fósiles. Las emisiones de CO₂ de la quema de bagazo son menores que la cantidad de CO₂ que absorbió la planta de caña de medida que crecía, lo que la convierte en una fuente de energía renovable que también es neutral en cuanto a gases de efecto invernadero.

Es por ello que, en los últimos años, las diferentes centrales térmicas se han beneficiado de la versátil energía química procedente de la biomasa, ya que se utiliza para producir electricidad, calor e incluso combustibles para los medios de transporte que utilizamos.

2.1.1 A nivel internacional:

La planta de energía de biomasa más grande de los Estados Unidos, que utiliza una combinación de bagazo y desechos de madera, es la instalación de 140 MW, propiedad de *Florida Crystals Corporativos* (ver

Figura N°2), una de las compañías azucareras más grandes de Estados Unidos. (Our World Energy, 2008)

Pese a las grandes operaciones de molienda y refinación, cuenta con suficiente generación excedente para abastecer a unos 60.000 hogares en el condado de *West Palm Beach*. (Our World Energy, 2008)

Figura N°02: Planta Florida Crystals



Fuente: Google

En el 2009, Gaston Cantens, vicepresidente de relaciones cooperativas de *Florida Crystals*, dijo: "Nuestra mentalidad siempre ha sido encontrar una manera de ser independientes del combustible sin depender de los alimentos de países extranjeros". También mencionó que nunca se tendrá energía renovable a gran escala sin un estándar, haciendo referencia a

que las ganancias por kilovatio hora eran de entre 3,5 a 4 centavos de dólar en comparación de 12 a 13 centavos de dólar que ganan otras centrales. (Gaston Cantens, 2009)

2.1.2 A nivel nacional:

“El Ministerio de Energía y Minas ha otorgado una concesión definitiva a Maple Etanol S.R.L. para desarrollar la actividad de generación de energía eléctrica con recursos energéticos renovables (biomasa) en la Central Térmica Maple Etanol, con una capacidad instalada de 37,52 MW y que está ubicada en el distrito de La Huaca, provincia de Paita, departamento de Piura”. (MINEM, 2012) (Anexo 01)

También está la Central de Biomasa de Paramonga, con una potencia nominal instalada de 23 MW. La planta está ubicada cerca de Paramonga en el departamento de Lima. El combustible de esta planta es el bagazo que proviene del proceso de producción de azúcar en la empresa Agroindustrial Paramonga. (OSINERGMIN, 2014)

2.1.3 A nivel local:

Hasta la fecha, la región Lambayeque no cuenta con una central termoeléctrica que aproveche la biomasa de la caña de azúcar. Cabe mencionar que los diferentes ingenios azucareros locales, utilizan parte de los residuos agrícolas que producen para satisfacer las necesidades eléctricas que requieren sus instalaciones, generando vapor mediante calderos; sin embargo, todas estas prácticas resultan ineficientes debido a que solo se emplea una parte del total de la biomasa generada.

2.2 Desarrollo de la temática correspondiente al tema investigado:

2.2.1 Biomasa:

La biomasa es cualquier material orgánico que se pueda utilizar como fuente de energía, según ENDESA, una empresa española. La energía de biomasa puede ser de origen animal o vegetal y se puede obtener de forma natural o por conversión artificial en plantas de biomasa. Este material se convierte en energía mediante el uso de varios procesos químicos.

Según ENDESA, la energía de la biomasa proviene en última instancia del sol. Los animales y los vegetales almacenan y absorben parte de la energía solar transmitida a la tierra en forma de alimentos y energía. Cuando esto sucede, también se generan subproductos que no son útiles para los seres vivos y no pueden usarse para producir alimentos, sino que se utilizan para obtener energía a partir de ellos.

Como menciona el MINEM, la biomasa es la materia orgánica no fósil de origen biológico que se puede utilizar con fines energéticos para producir calor y en ocasiones incluso electricidad. Bajo este concepto se agrupan el bagazo, el estiércol, la yareta y los residuos agrícolas.

OSINERGIM señala la producción de biomasa a partir de la energía del sol se lleva a cabo mediante un proceso conocido como fotosíntesis por plantas. A través de la fotosíntesis, las plantas que contienen clorofila convierten el dióxido de carbono y el agua de productos minerales sin energía, en sustancias orgánicas de alta energía que, a su vez, sirven como alimento para otros seres vivos. La energía almacenada en la

fotosíntesis se puede convertir en calor, electricidad o combustibles vegetal, liberando de nuevo el dióxido de carbono almacenado.

Según el OSINERGMIN, en el sector agroindustrial, en particular en la industria azucarera, se ha encontrado un gran potencial para la producción de energía eléctrica en base al bagazo y la cascarilla de arroz.

2.2.1.1 Tipos de biomasa:

Lorena Berdasco Menéndez, ingeniera forestal de la Universidad de Oviedo, señala que existen distintos tipos de biomasa que se pueden utilizar como fuente de energía. Los cuales son:

➤ Biomasa natural:

Es un producto creado en la naturaleza sin la necesidad de intervención humana. La principal limitación de este tipo de biomasa es la gestión necesaria y obligatoria de la adquisición y transporte del recurso desde su origen hasta el sitio donde se utilizará. Esto puede hacer que la extracción de este tipo de biomasa sea económicamente impráctica.

➤ Biomasa residual:

Se trata de residuos que surgen, entre otras cosas, en la agricultura (madera y herbáceas), en la ganadería, en la silvicultura, en la industria maderera y alimentaria y que aún pueden ser utilizados y vistos como un subproducto. Ejemplos de biomasa residual seca incluyen aserrín, cáscaras de almendras, poda de árboles, etc.

➤ ***Excedentes agrícolas:***

Los excedentes agrícolas que no utilizados para el consumo humano pueden considerarse biomasa utilizada con fines energéticos. El uso de productos agrícolas utilizados en la cadena alimentaria humana ha dado lugar a una reputación injustificada por el uso de la biomasa con fines energéticos, ya que se cree que este uso es responsable del aumento en el costo de algunos productos agrícolas que sustentan los alimentos en muchos países del tercer mundo y en desarrollo. Estos excedentes agrícolas se pueden utilizar como combustible en centrales eléctricas y transformarse en biocombustibles.

➤ ***Cultivos energéticos:***

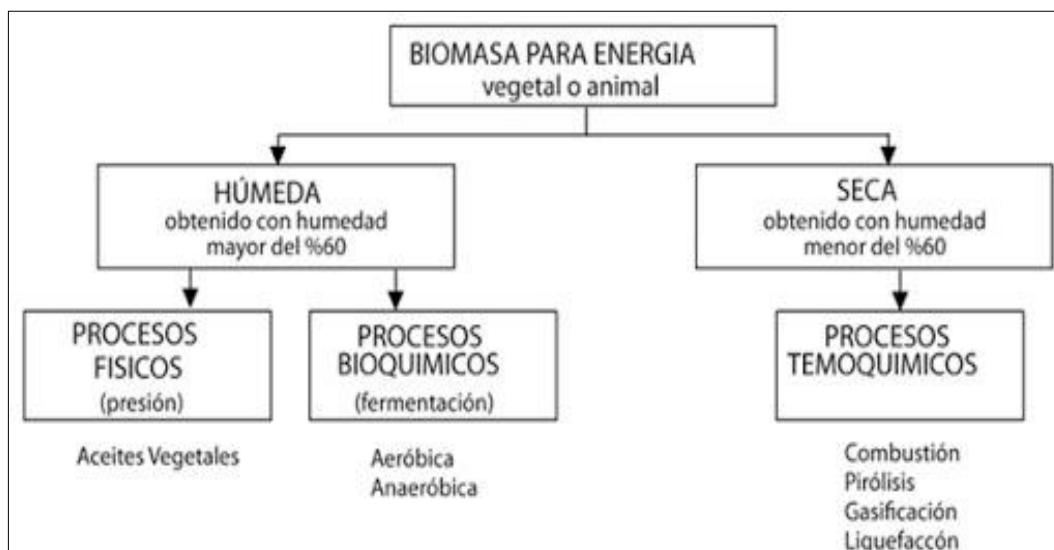
La energía producida en centrales de cultivos energéticos se basa en cultivos sembrados específicamente con dicha función; la de ser fuente de energía. Contrariamente a los cultivos agrícolas tradicionales, sus principales características son un alto rendimiento de biomasa y una alta robustez, reflejada en características tales como la tolerancia a la sequía, enfermedades, vitalidad, crecimiento temprano, capacidad de regeneración y adaptación a tierras marginales.

Este tipo de cultivo se produce con el único fin de producir biomasa que se pueda transformar en biomasa. Algunos ejemplos de estos cultivos son los cereales, la remolacha, el sauce, el cardo, la patata, etc.

2.2.2 Conversión de la biomasa en energía:

Según lo informado por la Secretaría de Energía de Argentina en cooperación con la FAO, desde un punto de vista energético, es útil dividir la biomasa en dos grandes grupos:

Figura N°03: Tipos de biomasa



Fuente: (Secretaría de Energía de Argentina, 2008)

➤ **Biomasa húmeda:**

Denominada así cuando supera el 60% del porcentaje de humedad, como ocurre en otras plantas, desechos animales, vegetación acuática, etc. Es particularmente adecuado para el tratamiento mediante procesos químicos, o en algunos casos, por procesos físicos simples, para obtener combustibles líquidos y gaseosos. Cabe aclarar que esta categorización es totalmente arbitraria, pero da una imagen más clara de la caracterización posterior de las transiciones.

➤ **Biomasa seca:**

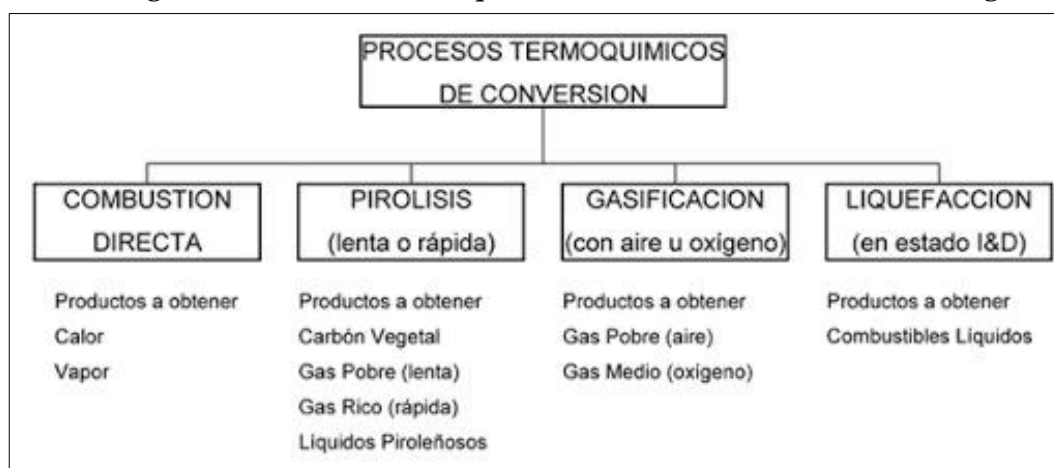
Se puede elaborar de forma natural con menos del 60% de humedad, como leña, paja, etc. Este ejemplar se utiliza mejor para el uso de energía

de sucesos termoquímicos o fisicoquímicos, que generan directamente calor o subproductos en forma de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos.

2.2.2.1 **Procesos termoquímicos:**

Son métodos que se utilizan para transformar la biomasa mediante el uso de calor. Es por eso que se aplica en materia con un alto grado de humedad, como residuos orgánicos, leña, paja, etc. Los procesos termoquímicos más empleados son:

Figura N°04: Procesos termoquímicos de conversión de biomasa en energía



Fuente: (Secretaría de Energía de Argentina, 2008)

➤ **Combustión directa:**

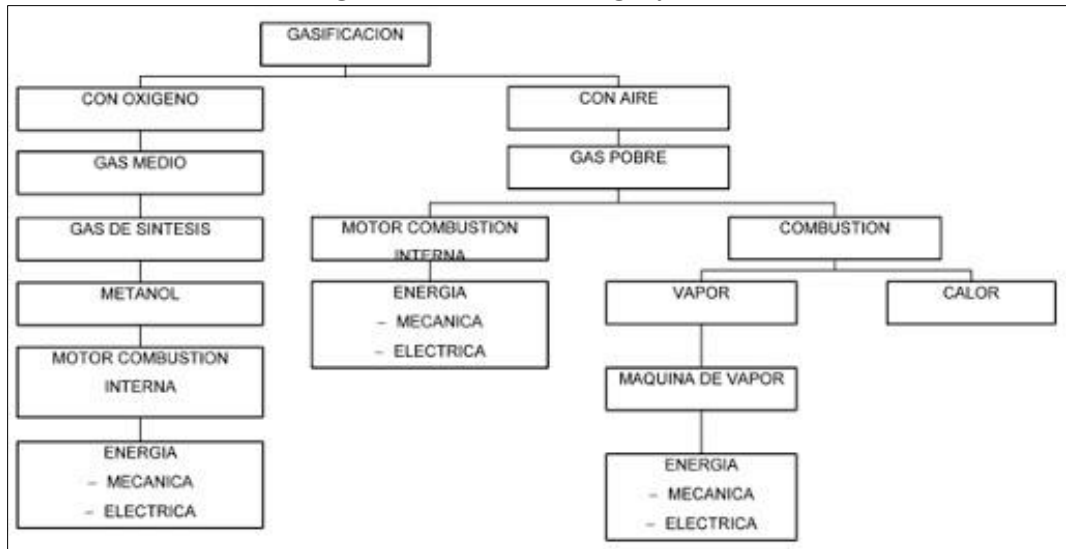
Proceso más sencillo y utilizado, tanto en la antigüedad como en la actualidad. Permite la obtención de energía térmica, tanto doméstica (cocción, calefacción) como industrial (tratamiento térmico, vapor por calderas, energía mecánica utilizando el vapor de las máquinas).

Para la combustión directa de la biomasa las tecnologías utilizadas cubren una amplia gama que comprenden simples estufas abiertas (que todavía se utilizan en grandes áreas para cocinar alimentos) hasta los calderos de alto rendimiento empleadas en la manufactura. (Energías Renovables - Energía Biomasa, 2008)

➤ **Gasificación:**

“Se trata de la combustión de biomasa (principalmente residuos forestales industriales) en presencia de oxígeno, de forma controlada, para producir un gas combustible denominado gas pobre por su bajo contenido calórico en relación, por ejemplo, al gas natural (en el orden de la cuarta parte). La gasificación se lleva a cabo en un recipiente sellado, llamado generador de gas, en el que necesita combustible y menos aire para una combustión completa. El gas pobre resultante se puede quemar en un horno para obtener energía térmica, en una caldera para producir vapor, o se puede enfriar y acondicionar para su uso en un motor de combustión interna que genere, a su vez, energía mecánica.” (Secretaría de Energía de Argentina, 2008)

Figura N°05: Proceso de gasificación



Fuente: (Secretaría de Energía de Argentina, 2008)

➤ **Pirólisis:**

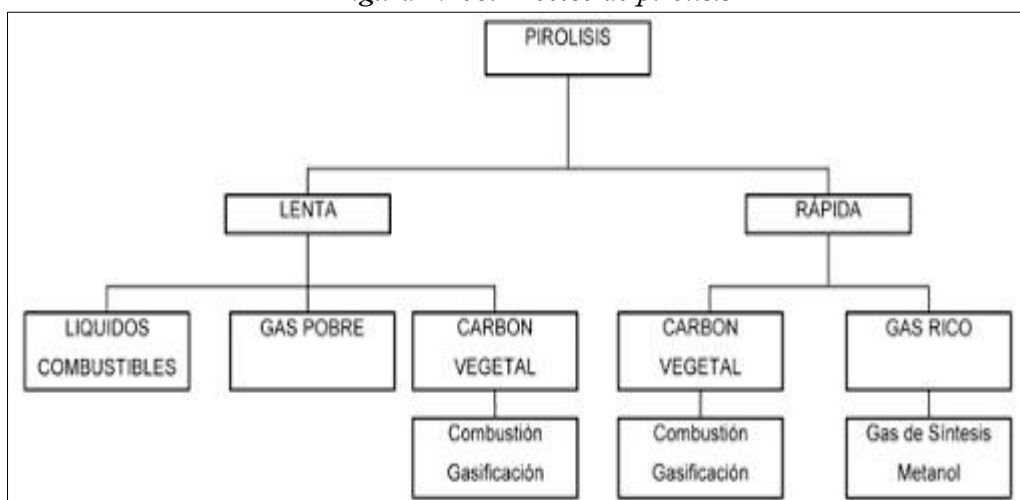
Procedimiento semejante a la gasificación mediante la realización de una oxidación parcial y controlada de la biomasa, para obtener un producto compuesto por una mezcla diversa de combustibles sólidos (carbón), líquidos (aguas residuales de piroleno) y gaseosos (gas pobre). El principal producto de la pirólisis es el carbón, y los líquidos y gases se consideran subproductos del proceso.

El proceso de pirólisis con plena utilización de subproductos alcanza un pico antes de que el petróleo se difunda masivamente, porque es la única fuente de determinadas sustancias (ácido acético, metanol, etc.) que luego son producidas por petroquímicos. Hoy en día, solo la producción de carbón tiene una importancia cuantitativa.

Como combustible sólido, el carbón, tiene la ventaja, respecto a la biomasa de la cual resultó, de tener un mayor poder calorífico o, con la misma energía, un peso menor, lo que concede un fácil transporte. No obstante, cabe destacar que la carbonización significa una disminución

muy grande de la energía contenida en la materia prima, ya que este proceso agota una gran cuantía de energía. (Secretaría de Energía de Argentina, 2008)

Figura N°06: Proceso de pirólisis



Fuente: (Secretaría de Energía de Argentina, 2008)

➤ **Co-Combustión:**

Es una tecnología relativamente nueva en la que parte del carbono utilizado en la planta, generalmente entre el 2 y el 20% de la energía, se sustituye por biomasa. Aun cuando este porcentaje es pequeño, debido a la gran dimensión de las plantas, el objetivo final es la producción de cantidades masivas de electricidad a partir de este combustible renovable. Además, la biomasa residual seca (forestal, residuos agrícolas, etc.) también está adaptada a esta tecnología para cultivos energéticos. (Royo, 2004)

2.2.2.2 Procesos bioquímicos:

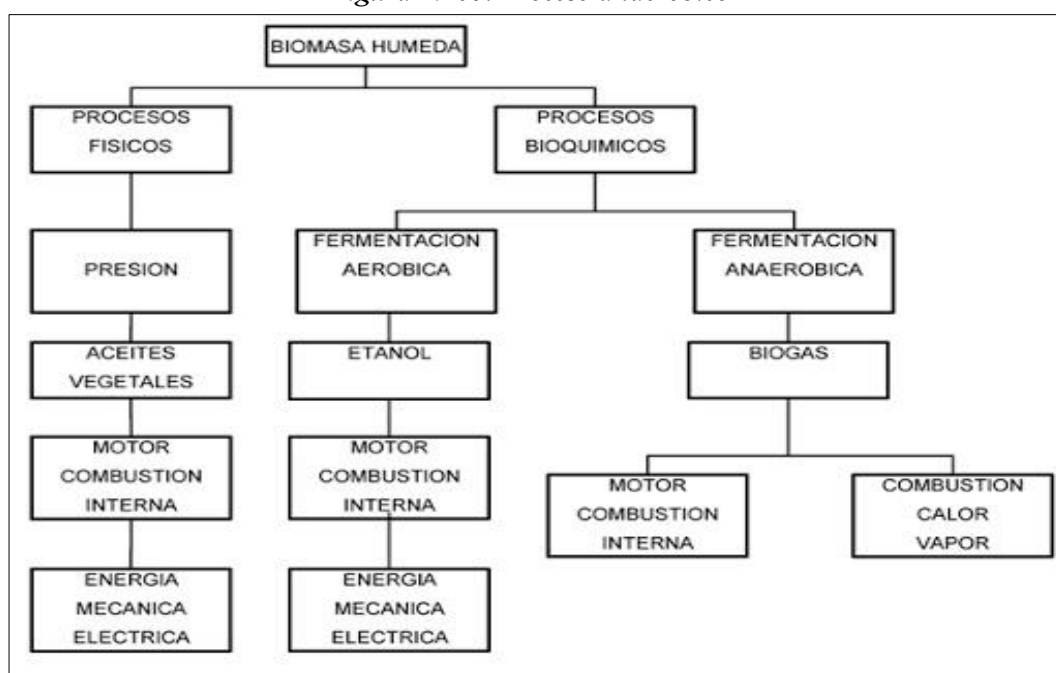
“Los procesos bioquímicos se basan en la degradación de la biomasa por la acción de microorganismos y se pueden dividir en dos grandes grupos: los que ocurren en ausencia de aire (anaeróbicos) y los que ocurren en presencia de aire (aeróbicos)”. (Secretaría de Energía de Argentina, 2008)

➤ Procesos anaeróbicos:

La digestión anaeróbica, que generalmente utiliza desechos vegetales o animales con una proporción baja de carbono/nitrógeno, se lleva a cabo en un recipiente cerrado llamado “fermentador” y produce un gas inflamable llamado biogás.

Además, la biomasa descompuesta que queda de la producción del biogás es un gran abono para cultivos agrícolas. (Secretaría de Energía de Argentina, 2008)

Figura N°07: Proceso anaeróbico



Fuente: (Secretaría de Energía de Argentina, 2008)

➤ **Procesos aeróbicos:**

La descomposición aeróbica de biomasa con gran presencia de azúcar o almidón conlleva a la creación de alcohol (etanol), que, así como es conocido en medicina y licores, también es un combustible líquido con propiedades semejantes a las obtenidas mediante el refinado del petróleo.

Los elementos básicos más comúnmente usados para la producción de alcohol son la caña de azúcar, la yuca, el sorgo dulce y el maíz.

Este procedimiento contiene una fase de prensado y triturado por la cual se consigue una masa uniforme, una fase de descomposición y una fase de destilación y rectificación. (Secretaría de Energía de Argentina, 2008)

2.2.3 Beneficios de la conversión de biomasa:

Mediante el uso de los distintos procedimientos de transformación, la biomasa se puede transformar en diversos tipos de energía: (Renovetec, 2013)

➤ **Calor y vapor:**

El calor y el vapor se pueden producir quemando biomasa o biogás. El calor puede ser un producto importante en las aplicaciones de brasero y cocción, o puede ser un producto derivado de la generación de electricidad en plantas combinadas de vapor y electricidad.

➤ **Combustible gaseoso:**

El biogás generado por descomposición anaeróbica o gasificación puede ser utilizado en motores de explosión para generación de

electricidad, calefacción y aire acondicionado en los sectores privado, comercial e institucional, así como en vehículos acondicionados.

➤ **Biocombustibles:**

La elaboración de biocombustibles como el etanol y el biodiésel tiene la capacidad de sustituir dosis relevantes de comburentes fósiles en varias aplicaciones de tránsito. Por ejemplo, la combinación llamada E20, que consta de 80% de petróleo y 20% de etanol, se puede utilizar en gran parte de los motores de encendido.

➤ **Electricidad:**

La energía eléctrica producida a partir de biomasa puede comercializarse como “energía verde”, ya que no aporta al impacto ambiental debido a que no hay presencia de dióxido de carbono (CO₂).

➤ **Cogeneración (Calor y electricidad):**

La cogeneración hace referencia a la generación en paralelo de vapor y energía eléctrica que se aplica a distintos procesos industriales que emplean ambos tipos de energía. Centroamérica, por ejemplo, emplea largamente este procedimiento en la industria azucarera, donde se aprovechan los residuos de esta técnica, esencialmente el bagazo. Debido al alto grado de confiabilidad del bagazo utilizable, convencionalmente, la cogeneración se ejecuta manera muy eficaz.

2.2.4 Humedad:

Es la propiedad más importante desde el punto de vista de la eficiencia energética en la producción de vapor vivo, depende en gran medida del tipo de molino, su configuración y la forma en que se extrae el jugo. La

humedad del bagazo suele estar en un rango entre el 49 % y 52 %. Esto significa que, de una unidad de masa que se quema en las calderas, aproximadamente la mitad es bagazo y la otra mitad es agua. Los efectos de la humedad sobre la combustión son: menor valor calorífico, el volumen del gas aumenta y la producción disminuye. (Muñoz, 2012)

Por así decirlo, de humedad se entiende la pérdida de peso por la disipación que afecta a un producto específico en circunstancias de calor y se expresa en tanto por ciento. (Paz, Martínez, 2007)

$$\textit{Humedad} = 100 * (\textit{Peso en húmedo} - \textit{Peso en seco} / \textit{Peso en húmedo}) \dots (1)$$

2.2.5 Granulometría:

Un menor tamaño de partícula asegura una mejor combustión. Además, en los combustibles, tanto en líquidos como en sólidos, es importante el tamaño de partícula debido a que se busca que la oxidación se favorezca en cada uno de los átomos de carbono, por ello es importante optimizar el tamaño de las partículas reduciéndolas cuanto sea posible. La forma, tipo y disposición de las fibras dependen del grado de preparación de la caña de azúcar durante el exprimido, el número de juegos de cuchillos, trituradoras, picadoras y molinos. Un análisis granulométrico indica en la distribución de tamaños, el porcentaje de particulado que se quemará más eficientemente. Dicho análisis está destinado a obtener la distribución de tamaño de las partículas contenidas en una muestra de material. Para obtener la distribución de tamaños, se utilizan tamices estandarizados y numerados en orden descendente. (Muñoz, 2012)

2.2.6 Poder calorífico:

“El poder calorífico de un combustible es la cantidad máxima que se puede obtener de él cuando está completamente quemado y sus productos se enfrían a la temperatura original de la mezcla aire-combustible. La principal característica de un combustible es su poder calorífico. Este calor se emite en Joule o Julio, calorías o BTU, según el sistema de unidades.

Entre los productos de la combustión se encuentra el vapor de agua que, dependiendo de la temperatura de los productos, puede permanecer como vapor, condensarse parcial o totalmente. Dado que el vapor libera calor durante la condensación, cuanta más condensación se forme, más calor recibe el combustible. Esto permite distinguir entre Poder Calorífico Inferior (PCI) y Poder Calorífico Superior (PCS)”. (Paz, Martínez, 2007)

2.2.6.1 Poder Calorífico Superior (PCS o Hs):

“Esta es la cantidad de calor que se gana de la combustión completa de una unidad de masa o volumen de un combustible, cuando los productos de la combustión han alcanzado la misma temperatura que tenían el combustible y el aire antes de la combustión (25° C) y cuando el agua proveniente de la combustión y de la humedad del propio combustible se encuentra en la fase líquida después de la combustión. Se supone que el vapor de agua ha abandonado por completo su calor latente de vaporización y, por tanto, se está condensando”. (Alderetes, 2016)

2.2.6.2 Poder Calorífico Inferior (PCI o Hi):

“Es la cantidad de calor que se obtiene de la combustión completa de la masa o volumen de un combustible cuando los productos de la combustión han alcanzado la misma temperatura que tenían el combustible y el aire antes de la combustión (25°C) y cuando el agua procedente de la combustión y de la humedad del propio combustible se encuentran en fase gaseosa, es decir, sin haber renunciado a su calor latente de vaporización”. (Alderetes, 2016)

Los dos valores caloríficos están referidos en seco o húmedo. A continuación, se hablará del poder calorífico del bagazo seco o húmedo. La relación entre los dos poderes caloríficos viene dada, según Baehr, por la ecuación siguiente:

$$H_s - H_i = r \left(\frac{9H}{100} + \frac{w}{100} \right) \dots (2)$$

Donde:

- r: Calor latente de vaporización del vapor = 540 kcal / kg
- H: Porcentaje de hidrógeno del bagazo
- W: Porcentaje de humedad del bagazo

2.2.7 Energía térmica:

Es la energía térmica producida por la central termoeléctrica. (Gotti, 2018)

$$Energía\ térmica = \frac{Energía\ eléctrica}{\eta\ (eficiencia)} \dots (3)$$

2.2.8 Energía producida anualmente:

Es la energía producida durante todo el año por la central. (Gotti, 2018)

$$Energía\ prod.\ anual = Energía\ térmica * N^o\ de\ horas\ de\ trabajo \dots (4)$$

2.2.9 Cantidad de combustible necesario:

Se calcula la cantidad de combustible (bagazo) requerido por la central para su funcionamiento. (Gotti, 2018)

$$Cant. \text{ bagazo de caña} = \frac{Energía \text{ prod. anual}}{PCI \text{ bagazo}} \dots (5)$$

2.2.10 Evaluación económica:

2.2.10.1 Valor Anual Neto (VAN):

“El valor actual neto (VAN) evidencia la excedencia de utilidades sobre la recuperación de las inversiones realizadas y el pago de los costos a accionistas y acreedores. Se mide en términos de valor presente y representa el valor del proyecto; en otras palabras, aumenta de la equidad. Un VAN de cero significa que el proyecto genera idénticamente el costo de oportunidad de los acreedores y accionarios”. (Cornejo, 2017)

$$VAN = \sum_{t=0}^{t=T} \frac{F_t}{(1+k)^t} \dots (6)$$

Siendo:

- VAN: Valor actual neto
- F_t : Flujo de caja anual
- k : Tasa de rentabilidad o tasa de descuento
- t : Número de años para estudio de la rentabilidad

En situaciones de aprobación o denegar, la regla se aplica para admitir un proyecto si el *Valor Actual Neto* es ≥ 0 . (Cornejo, 2017)

2.2.10.2 Tasa Interna de Retorno (TIR):

“La tasa interna de retorno (TIR) calcula la rentabilidad producida por un proyecto. Depende únicamente de los flujos de efectivo del proyecto y, por tanto, no refleja el riesgo del proyecto. Nótese que el cálculo de la TIR se realiza resolviendo una ecuación polinomial de grado T y, por lo tanto, admite T soluciones. La solución es válida solo si es única. En cualquier otro caso, no lo es”. (Cornejo, 2017)

$$TIR = x \rightarrow 0 = \sum_{t=0}^{t=T} \frac{F_t}{(1+x)^t} \dots (7)$$

En situaciones de aprobación o denegar, la regla se aplica para admitir un proyecto es si $TIR \geq \text{costo de capital}$. (Cornejo, 2017)

2.2.10.3 Relación beneficio costo (B/C):

Esta herramienta compara el valor de los beneficios con el de los costos.

La fórmula por utilizar es:

$$B/C = \frac{\sum_{t=0}^{t=T} \frac{B_t}{(1+k)^t}}{\sum_{t=0}^{t=T} \frac{C_t}{(1+k)^t}} \dots (8)$$

Donde B_t son las ganancias en el período t y C_t son los costos en el período t. En situaciones de aceptación o rechazo, la regla es aceptar un proyecto si $B/C \geq 1$. (Cornejo, 2017)

2.2.10.4 Periodo de Recuperación (PR):

El período de recuperación con descuento calcula el tiempo de recuperación de la inversión realizada, así como sus costos de oportunidad.

$$PR = \min. x \rightarrow 0 = \sum_{t=0}^{t=x} \frac{F_t}{(1+k)^t} \dots (9)$$

En los casos de aprobación o denegar, la regla para admitir un proyecto si el PR está determinado o $PR \leq$ duración máxima. Esta última regla es más restrictiva que las reglas establecidas para el VAN , el B/C y la TIR . (Cornejo, 2017)

2.2.10.5 Valor del kWh en la central termoeléctrica (LCOE):

“Se calcula utilizando el LCOE, que es el costo teórico de producción de electricidad. Incluye la inversión inicial, la tasa de descuento, así como los costos de mantenimiento y operación. La fórmula es”: (Gómez, 2017)

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{i + Mt}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E}{(1+r)^t}} \dots (10)$$

Donde: t es la vida útil estimada del sistema, i es la inversión total, Mt son los costos de operación y mantenimiento, E es la energía durante la vida útil del sistema y r es la tasa de descuento.

2.3 Definición conceptual de la terminología utilizada:

2.3.1 Energías renovables:

Como nos recuerda ENEL Perú, una empresa española, en discrepancia con las fuentes de energía tradicionales, las energías renovables son las que se pueden encontrar en el medio ambiente en cantidades ilimitadas, renovables, naturales o artificiales y la huella en la naturaleza es casi nulo o reversible. La energía renovable

incluye energía hidroeléctrica, eólica, solar, geotérmica, mareomotriz y de biomasa.

2.3.2 Caña de azúcar:

Según Subirós Ruiz (citado en Farfán y Flores, 2019), este es el nombre común para esta especie de tallos herbáceos, vívidos y leñosos de un género (*Saccharum*) de la familia de las gramíneas (*Gramineae*), nativa de la Melanesia, la especie básica de los cuales es *Saccharum officinarum*. La caña de azúcar se siembra ampliamente en los trópicos y subtrópicos a nivel mundial debido a los azúcares contenidos en los troncos, que están constituidos por varias uniones. Es una hierba gigante relacionada con el sorgo y el maíz. El tronco llega a una altura de 3 a 6 m y un diámetro de 2 a 5 cm. El sistema de raíces consiste en un fuerte rizoma subterráneo; el tronco recoge un líquido abundante en sacarosa, una mezcla que, cuando se extrae y cristaliza en el molino forma el azúcar. El azúcar se sintetiza a partir de la caña de azúcar debido a la energía solar extraída a lo largo de la fotosíntesis con hojas que pueden tener de 2 a 4 m de largo.

2.3.3 Constituyentes de la caña de azúcar:

Según Subirós Ruiz (citado en Farfán y Flores, 2019), el tallo de la caña de azúcar consta de una parte maciza denominada fibra, y un líquido, el jugo, que contiene azúcar y agua. En ambas zonas hay otros elementos en pequeñas cantidades. Las relaciones de los elementos cambian según la diversidad (familia) de la caña, tiempo, madurez, ambiente, terreno, procedimiento de cultivo, fertilizantes, precipitación, irrigación, etc. Sin

embargo, algunos valores de referencia generales pueden ser:

- ✓ Agua: 73 - 76 %
- ✓ Sacarosa: 08 - 15 %
- ✓ Fibra: 11 - 16 %

La sacarosa en el jugo se cristaliza en el desarrollo como fibra y azúcar después que se forma el bagazo una vez triturada la caña.

2.3.4 Bagazo:

Según Subirós Ruiz (citado en Farfán y Flores, 2019), surge como resultado de la producción de azúcar y es un producto derivado de esta obtención. Es un comburente natural que se utiliza a fin de generar vapor en las industrias de azúcar. Material fibroso, heterogéneo en tamaño de grano y composición estructural, que, en las condiciones en las que se obtiene del triturado de la caña, tiene una densidad relativamente baja y una alta humedad.

2.3.5 Composición del bagazo de caña de azúcar:

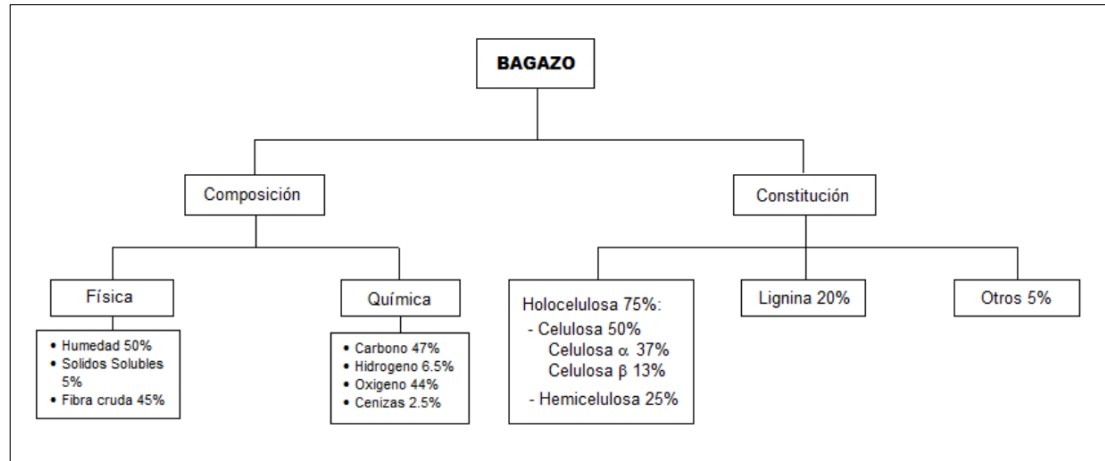
Según Subirós Ruiz (citado en Farfán y Flores, 2019), a la salida del molino, el bagazo está compuesto aproximadamente de lo siguiente:

- ✓ Humedad: 50%
- ✓ Sólidos solubles: 5%
- ✓ Sólidos insolubles o fibra cruda: 45%

Además, su composición química es la siguiente:

- ✓ Carbono: 47%
- ✓ Hidrógeno: 6,5%
- ✓ Oxígeno 44% y cenizas 2,5%

Figura N°08: Constitución y composición del bagazo de caña de azúcar



Fuente: (Armas, 2019)

2.3.6 Centrales termoeléctricas:

Como menciona David García (2018) en su trabajo de fin de grado, las centrales térmicas pueden clasificarse de dos formas:

2.3.6.1 Dependiendo del combustible utilizado en el punto caliente:

- ✓ Comburentes sólidos (carbón o biomasa).
- ✓ Comburentes líquidos (a base de petróleo o restos orgánicos).
- ✓ Comburentes gaseosos (gas natural o procedente del petróleo).

2.3.6.2 Según el Ciclo Termodinámico aplicado:

➤ Ciclo de vapor:

“Estas plantas utilizan el agua en un bucle cerrado. El agua, desde el pozo de condensado y mediante el uso de una o más bombas, la elevan a la caldera o generador. Una vez en la caldera, el agua se calienta hasta que se evapora. A la salida de la caldera, el vapor pasa por la turbina donde se expande, produciendo trabajo. A su salida de la turbina, el vapor pasa por el condensador, cediendo calor al agua de refrigeración, que lo atraviesa, hasta que se condensa por completo. En

esta etapa se vuelve a alcanzar el pozo de condensados y se repite el ciclo. El agua se calienta en grandes calderas para producir vapor, utilizando carbón, gas, biomasa, energía solar, fisión nuclear, etc. como combustible. La turbina se mueve bajo la presión del vapor de agua, y su energía cinética se transforma en electricidad mediante un generador. Estas plantas se consideran las más baratas y rentables, por lo que su uso está muy extendido". (García. 2018)

➤ **Ciclo Diesel:**

Estos sistemas basados en el uso de motores de explosión acoplados al generador de electricidad. Presentan las características siguientes: (García, 2018)

- ✓ Su ventaja es que arrancan solos, en cortos tiempos de inicio.
- ✓ Las capacidades instaladas son menores a las de los sistemas que usan vapor.
- ✓ Estas plantas se disponen como plantas de emergencia.
- ✓ Tiene la ventaja de menores costos de instalación.
- ✓ El consumo de comburente por kW-h generado es superior al de las plantas de vapor.

➤ **Ciclo de gas:**

"En estas plantas, el elemento intermedio de la transformación energética es un gas. Se instala en áreas donde el gas está disponible en condiciones favorables o donde hay campos de gas natural.

El ciclo de Brayton describe el comportamiento ideal de un motor de turbina de gas, como los que se utilizan en los aviones. Estos motores

son demasiado robustos y presentan dificultades de uso. El gas se utiliza actualmente como combustible en una caldera especial, dispuesta junto con la unidad turbina-generador”. (García, 2018)

➤ **Ciclo binario:**

Este sistema utiliza la energía de dos fluidos. El bucle superior, o de la cabeza, utiliza mercurio líquido; esto se calienta y se vaporiza en su caldera, luego se expande hacia la turbina, donde se pone a trabajar. A la salida de la turbina, el vapor pasa a un condensador, donde al condensarse transfiere su calor al segundo fluido (agua), vaporizándolo. El vapor de este segundo fluido (vapor de agua) se calienta y se envía a la turbina.

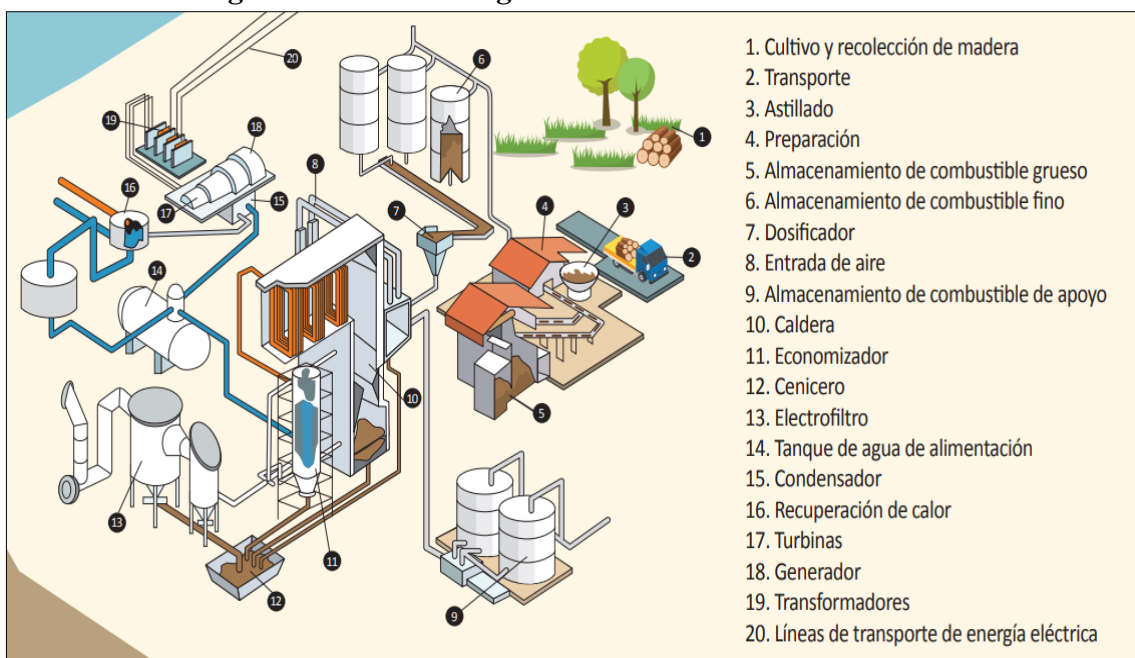
En su salida se condensa y se devuelve al condensador-vaporizador que actúa como caldera, completando así el ciclo del fluido inferior.

“Cualquiera que sea el combustible utilizado (fuel oil, carbón, biomasa o gas), el diagrama de todas las centrales térmicas es prácticamente el mismo. Las únicas diferencias radican en los diferentes preparamientos al que se somete el combustible antes de ser inyectado en la caldera y en el diseño de sus quemadores, que varían en función del tipo de combustible utilizado”. (García, 2018)

“En un sistema de vapor convencional hay tres flujos principales: vapor, gases de combustión y agua de refrigeración y cuatro dispositivos básicos: la caldera, la turbina, las bombas de agua de alimentación y condensadores”. (García, 2018)

En nuestra investigación, nos centraremos en una planta térmica de biomasa procedente de combustión, en consecuencia, el ciclo utilizado será el ciclo de vapor.

Figura N°09: Planta de generación eléctrica mediante biomasa



Fuente y elaboración: (UNESA, s.f.)

2.3.7 Calderos:

La caldera es el componente más caro en las plantas eléctricas de biomasa y generalmente cuesta más del 50% de la inversión inicial. En la caldera, se incinera el comburente y se genera calor que calienta el agua que pasa a través de las tuberías de la casa. (Gotti, 2018)

Como menciona Luz Morales (2018), existen tres tipos diferentes de calderas clasificadas como en calderas de combustión según:

- ✓ Circulación de agua, incluyendo calderas de tubulares y las calderas tubulares de agua.
- ✓ Calderas por tipo de combustión, incluyendo las calderas de parrillas móviles, calderas de lecho fluidizado y las calderas con quemador suspendido.
- ✓ Calderos conforme la presión del hogar.

2.3.7.1 Calderas de circulación de agua:

➤ Calderas pirotubulares:

En estos calderos, los gases de la incineración circulan dentro de las tuberías y el fluido está dentro de un envase atravesado por dichas tuberías. Se aplican ante todo cuando la presión de funcionamiento es menor a 22 bar. Gracias a su diseño, cuentan con un gran volumen de agua, lo que les permite ajustarse mejor a las alteraciones en la instalación que los calderos tubulares de agua. Los requisitos sobre la calidad del agua de entrada son inferiores a los exigidos por las calderas tubulares de agua. Los calderos pirotubulares se clasifican según la disposición del haz de tubos en: (Morales, 2018)

- ✓ Calderos horizontales: El haz de tubos se dispone de la parte de adelante a la posterior del caldero.
- ✓ Calderos verticales: El haz de tubos se dispone desde el interior hacia la parte de arriba del caldero.

Figura N°10: Caldera pirotubular horizontal

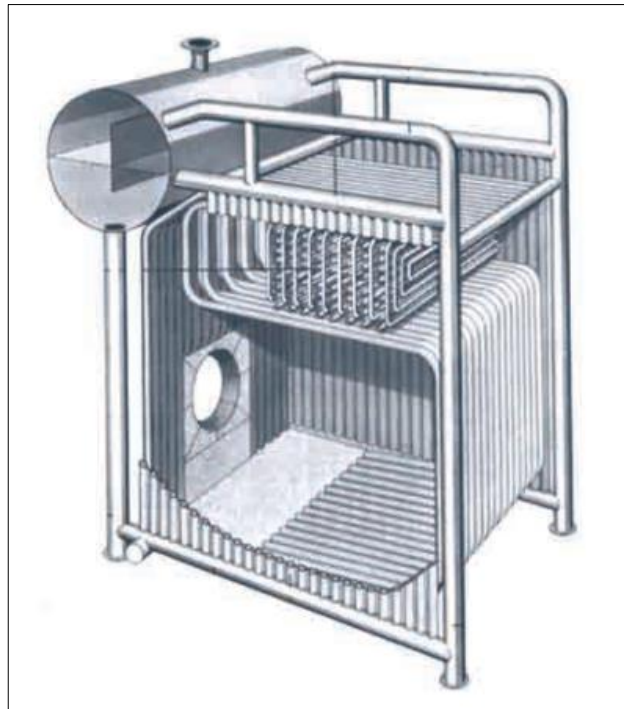


Fuente: (Morales, 2018)

➤ **Calderas acuotubulares:**

Estas son las calderas en las que el fluido de trabajo se mueve dentro de las tuberías durante su calentamiento y los gases de combustión circulan fuera de las tuberías. Son aplicables cuando se requiere una presión de funcionamiento superior a 22 bar. Debido a su diseño constructivo, lógicamente tienen un volumen de agua reducido y, por tanto, algunos de ellos se pueden clasificar como de primera clase. En el caso de los calderos, el contenido de vapor es escaso, es decir, el contenido de agua por unidad de masa es elevado si no se les agregan subgrupos de secado, como recalentadores o sobrecalentadores. Los requisitos de calidad del agua de entrada de estos calderos son generalmente más altos que los requerido para otros tipos de calderas. (Morales, 2018)

Figura N°11: Caldera acuotubular



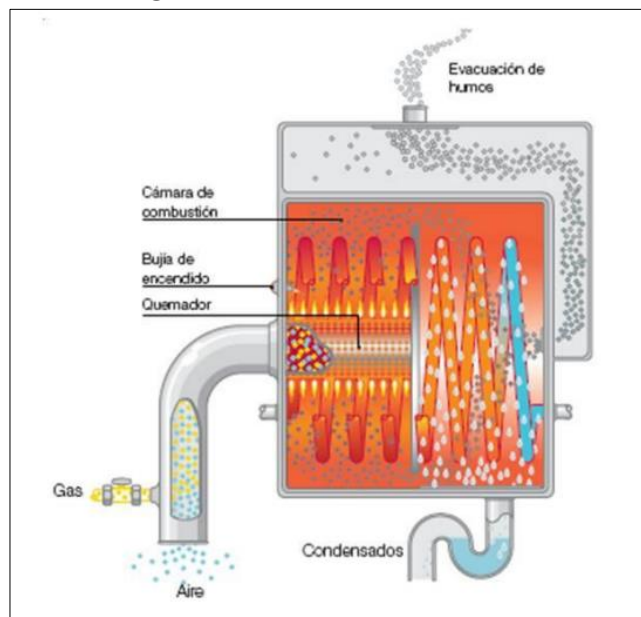
Fuente: (Morales, 2018)

2.3.7.2 Calderas según la forma de combustión:

➤ **Lecho fijo: Parrilla**

En él podemos clasificar dos tipos distintos de parrillas: de rejilla inmóvil (horizontal o inclinada) y rejilla movable (vibrante o *móvil*).

Figura N°12: Caldera de combustión



Fuente: (Morales, 2018)

➤ **Sistemas de parrilla plana:**

“En estos sistemas, la cámara de combustión es más pequeña y el suministro se encuentra por debajo o al costado. Estos sistemas son ideales para ser usados con combustibles más secos con un contenido de humedad inferior al 35%. La ceniza se levanta del fondo de la cámara o se retira manualmente”. (Morales, 2018)

Ventajas:

- ✓ Menos material refractario y una cámara reducida de combustión indica que estos sistemas se pueden instalar en un espacio más pequeño que otros sistemas.
- ✓ También se pueden operar con múltiples tipos de combustible, lo que permite flexibilidad.
- ✓ Un diseño más simple significa que es más económico que un sistema de parrilla portátil.

Desventajas:

- ✓ Dado la cámara de combustión reducida, el volumen de humedad del comburente debería ser menor y, en consecuencia, se requiere una mejor calidad de combustible.

➤ **Rejilla móvil:**

“El tipo de sistema más flexible, pero también el más caro, la rejilla móvil, a veces también denominada parrilla inclinada o escalonada, requiere un espacio de combustión considerable y equipo adicional. El combustible se mezcla en la cámara de combustión con parrillas desplazadas, lo que hace que el combustible se seque rápidamente y luego se queme. Al variar la velocidad de la parrilla, puede permitir una

amplia variedad de combustibles con un contenido de humedad variable (generalmente hasta un 60%). La incineración produce cenizas que caen al final de la parrilla.

Estas son comunes en el norte de Europa, incluido el Reino Unido, debido a la amplia disponibilidad de combustibles húmedos de madera blanda”. (Morales, 2018)

Ventajas:

- ✓ Amplio rango de contenido de humedad y tamaños de partículas, por lo que se puede usar combustible más económico.
- ✓ Menos proclive a accidentes.
- ✓ Mayor eficacia.

Desventajas:

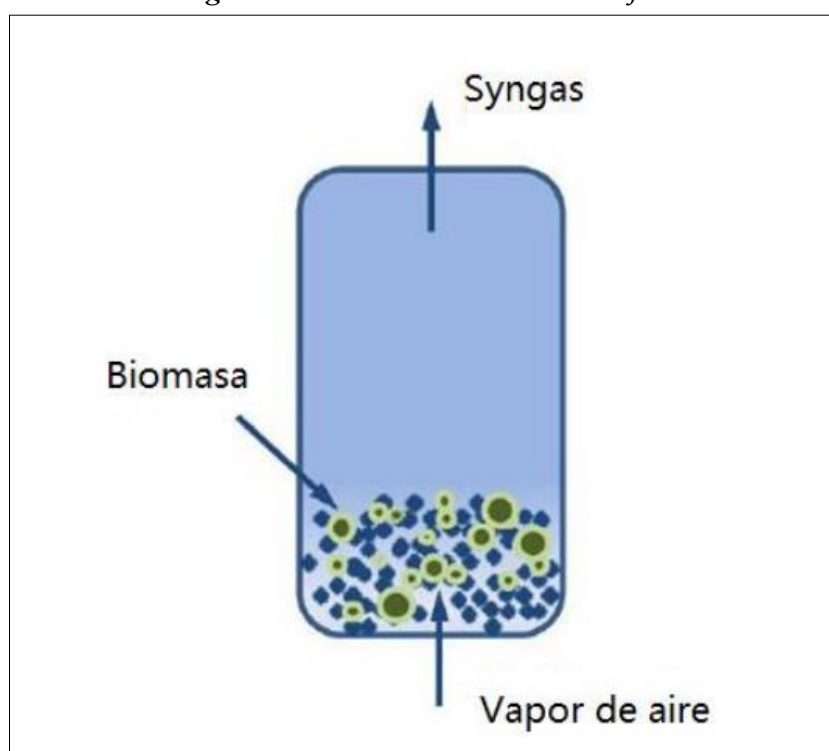
- ✓ Puede tener un tiempo de calentamiento prolongado con combustibles más húmedos.
- ✓ El funcionamiento a baja carga puede resultar en mayores costos de mantenimiento.
- ✓ Mayores costos de capital.

➤ **Calderas de lecho fluidizado burbujeante:**

“La combustión tiene lugar en un lecho que se mantiene en suspensión por la acción del aire de combustión. Las calderas de lecho fluidizado, que se han ampliado para la combustión limpia de carbones de baja calidad, se utilizan para determinadas biomásas, que provocan problemas de proceso en las rejillas.

Caldera apta para el uso de combustibles con alto contenido de humedad y bajo poder calorífico, sin requerir el uso de combustibles auxiliares. Las calderas de lecho fluidizado de burbujas son particularmente adecuadas para la combustión de diversos tipos de residuos industriales y domésticos, y en particular los procedentes la industria forestal en general. Estas calderas permiten la combustión de combustibles con un alto contenido de sustancias contaminantes inertes, como, por ejemplo, piedras, hierro, etc. Estas calderas están construidas para bajas potencias eléctricas de menos de 60 MW eléctricos”. (Morales, 2018)

Figura N°13: Caldera de lecho burbujeante



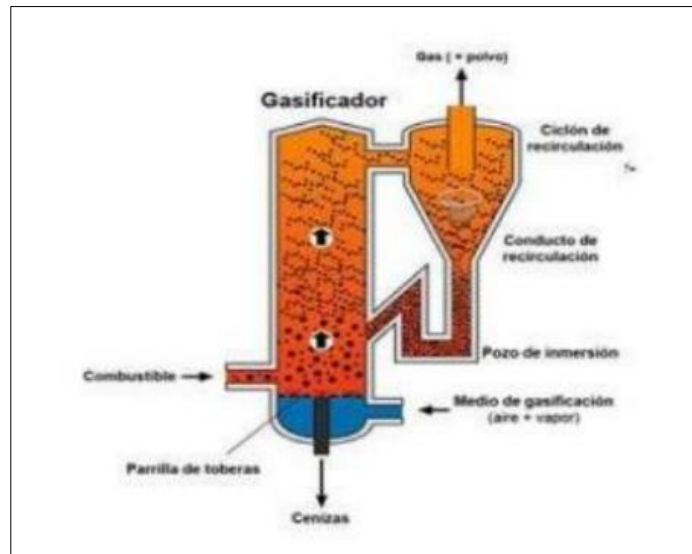
Fuente: (Morales, 2018)

➤ **Calderas de lecho fluidizado circundante:**

“Caldera apta para el uso de combustibles sólidos como el carbón, especialmente aquellos de difícil combustión como petcoke o coque de petróleo, antracita y lignito (con alta humedad, bajos componentes volátiles y bajo poder calorífico) sin necesidad de utilizar combustibles auxiliares. Se basa en una combustión lenta a baja temperatura utilizando un material inerte caliente como la arena, que permite que el combustible se encienda cuando está en contacto directo con ese material. Las calderas de lecho fluidizado circulante recirculan material inerte y combustible a alta velocidad como parte del proceso de combustión. Al agregar piedra caliza, se puede lograr una reducción de óxidos de azufre (SOx) del 90%. Junto con las bajas emisiones de SOx y NOx, esta tecnología es muy respetuosa con el medio ambiente. Estos calderos construidos eléctricamente para altas potencias de hasta 300 MW. Las calderas de lecho fluidizado circulante son la tecnología más avanzada en calderas de potencia y tienen las siguientes aplicaciones principales: en calderas de lecho fluidizado presurizado, la caldera está ubicada en un recipiente que se encuentra a una presión superior a la presión atmosférica”. (Morales, 2018)

- ✓ Retenimiento del azufre del comburente (> 90%) en las cenizas del lecho.
- ✓ Disminución de la formación de NOx.
- ✓ Retenimiento de compuestos de cloro y flúor y reducción de la evaporación de metales pesados del combustible.

Figura N°14: Caldera de lecho circundante



Fuente: (Morales, 2018)

2.3.7.3 Calderas según la presión de la cámara de combustión:

Los calderos de pellet emplean esta forma de biomasa para producir energía en forma de calor. Con pellets de madera o desechos orgánicos como huesos de aceituna como combustible. Este tipo de caldera es la resolución idónea para suplir la vieja estufa diésel por dos motivos principales.

2.3.8 Sistema de almacenamiento y tratamiento de biomasa:

Se puede garantizar desde 15 día a 3 meses de autonomía con un sistema de almacenamiento. El combustible generalmente es almacenado en interiores donde se resguarda de las precipitaciones, pero con la capacidad de hacer fluir el aire. El tratamiento consiste en una homogeneización y una compresión. La homogeneización sirve para adaptar la biomasa a las condiciones granulométricas y de composición requeridas. La compactación mejora las propiedades mediante la formación de briquetas o la granulación. (Gotti, 2018)

2.3.9 Secado de biomasa:

El secado natural o artificial se puede realizar, en este último caso, el calor proporcionado por los sistemas. El tromel es un sistema muy empleado, es un grupo rotatorio que deja escapar la humedad. Para vaporizar el agua de los desechos, se usa parte del calor residual del proceso, ya de lo contrario el secado del material no suele ser beneficioso. (Gotti, 2018)

2.3.10 Sistema de depuración de gases:

El sistema de filtro de aire ayuda a eliminar las partículas sólidas de los gases de escape. Este sistema representa una inversión total de alrededor del 10%. (Gotti, 2018)

2.3.11 Ciclo agua-vapor:

En este ciclo, el agua se convierte en vapor (en la caldera), se expande en la turbina de vapor y vuelve a fase líquida en el condensador. Se le imprime una pequeña cantidad de presión para poderla mover, se calienta el agua en un precalentador hasta los 90 °C, y se le quitan el O₂ y el CO₂ en el tanque desgasificador a través de un proceso de calentamiento. Al final el agua pasa por la bomba de alta presión, que es la máquina del proceso que requiere más energía, que la hace llegar a una presión de 80 bar, antes de entrar otra vez en la caldera. (Gotti, 2018)

2.3.12 Vapor:

“Es el líquido que se utiliza para asegurar la rotación de las turbinas de vapor acopladas a los generadores, en estos generadores es allí donde se genera la energía eléctrica; la electricidad y el vapor residual de la turbina se utiliza para el consumo interno”. (Coronel, 2020)

2.3.13 Turbina de vapor:

Es una máquina en la que el calor del vapor se convierte en energía mecánica de rotación. (Gotti, 2018)

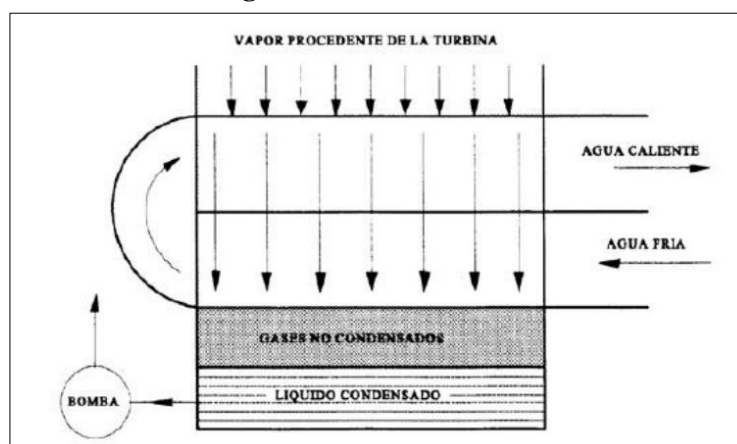
2.3.14 Condensador:

Como su nombre indica, su principal objetivo es, por un lado, condensar el vapor proveniente de la turbina de vapor (condiciones cercanas a la saturación) y, por otro lado, disipar el calor condensado al exterior (utilizando el aire y el agua, o ambos). (García, 2018)

2.3.15 Enfriamiento con agua:

El vapor de la turbina, presente en el condensador, trasfiere calor al agua de refrigeración, creando un condensado completo. El condensado en el fondo del tanque (condensador) se bombea para ser extraído para un nuevo ciclo. Como se puede apreciar en la siguiente ilustración (*Figura N°15*), el agua circula dentro de las tuberías del circuito mientras que el vapor de la turbina circula por los tubos, provocando así intercambios de calor y consiguiendo condensar gran parte del vapor de agua.

Figura N°15: Condensador



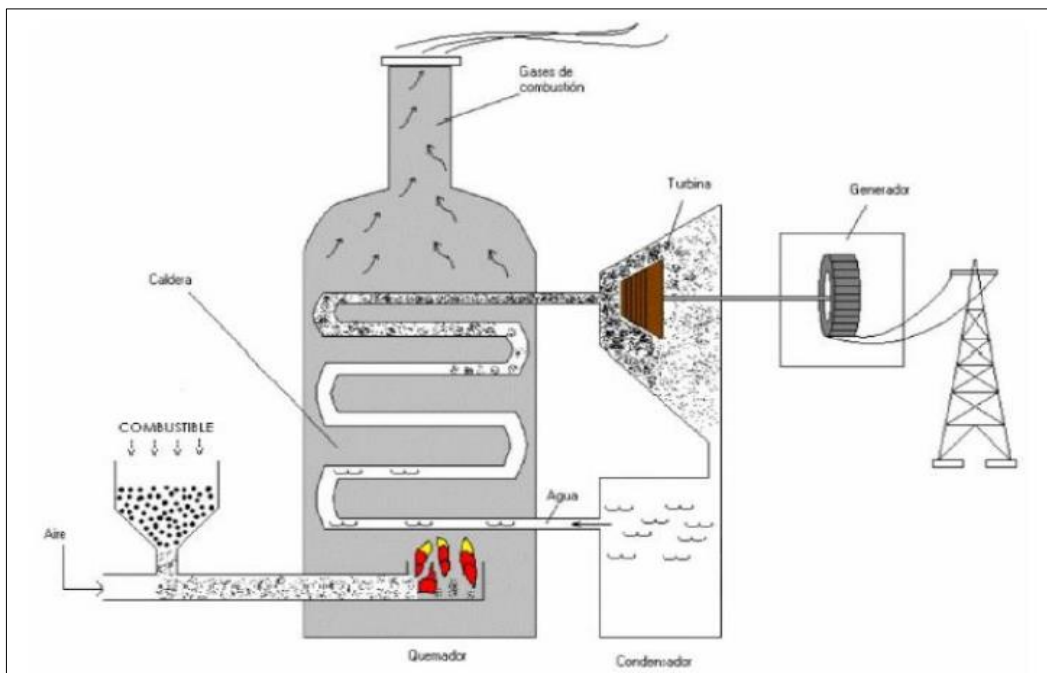
Fuente: (García, 2018)

Por otro lado, el agua caliente regresa a la torre de enfriamiento donde se enfriará nuevamente continuando su ciclo cerrado. (García, 2018)

2.3.16 Generador eléctrico:

Es el componente que convierte la energía cinética mecánica del eje en electricidad. (Gotti, 2018)

Figura N°16: Esquema de los principales equipos en la distribución de la planta



Fuente: (García, 2018)

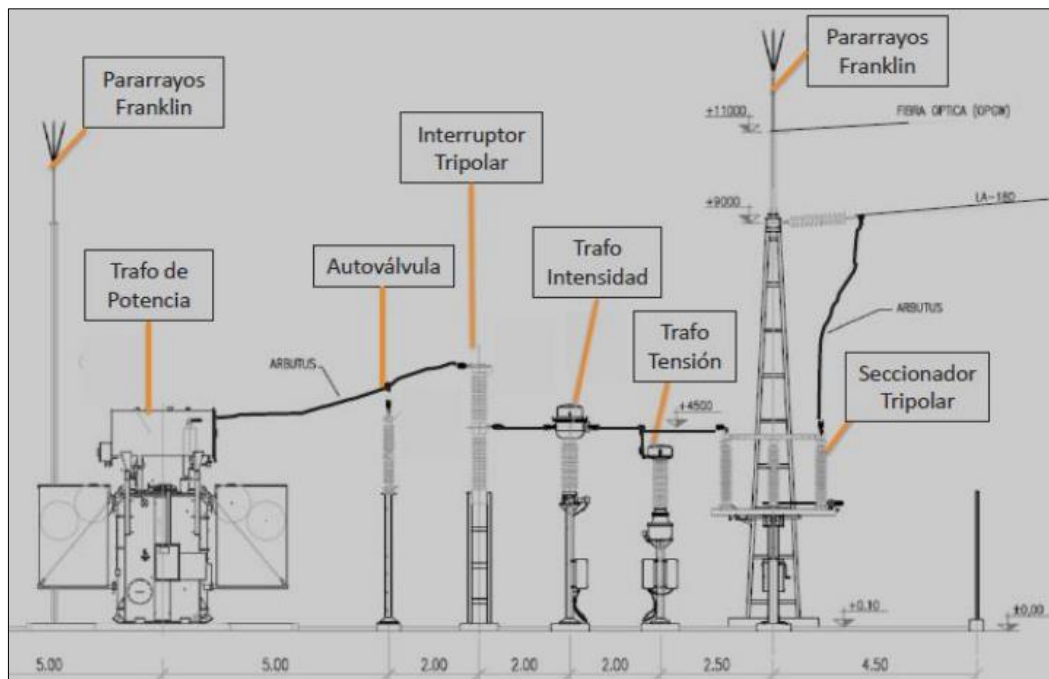
2.3.17 Sistema eléctrico de alta tensión:

Facilita el poder aumentar el voltaje y transferir la electricidad a la red de transmisión de energía eléctrica (o distribución si está conectado a media tensión). (Gotti, 2018)

2.3.18 Sistema eléctrico de baja tensión:

Se trata de un sistema de alimentación eléctrica que permite evacuar lo producido (media tensión) por el generador a la subestación y alimentar diferentes motores del proceso y en los sistemas auxiliares. (Gotti, 2018)

Figura N°17: Una subestación eléctrica y sus principales componentes



Fuente: (Gotti, 2018)

2.3.19 Sistemas auxiliares:

Por lo general son sistemas de poca capacidad que facilitan que los equipos primarios funcionen adecuadamente, como bombas de lubricación de compresores y turbinas de vapor, sistemas de control de válvulas, etc. (Gotti, 2018)

2.3.20 Sistema de control distribuido (DCS):

Son sistemas permiten manejar diversas variables del proceso como presión, temperatura y flujo de agua y vapor en distintos intervalos del proceso, temperatura de los gases de combustión, generación de electricidad, etc. (Gotti, 2018)

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo y diseño de investigación:

➤ Investigación exploratoria:

Incluye la evaluación de la factibilidad de una central térmica de biomasa en la región de Lambayeque.

➤ Investigación descriptiva cuantitativa:

Este estudio se centra en la descripción de los criterios necesarios para determinar la viabilidad de una central térmica de biomasa en la región de Lambayeque.

3.2 Población y muestra:

3.2.1 Población:

Número total de hectáreas de caña de azúcar cultivadas y cosechadas en la región de Lambayeque.

3.2.2 Muestra:

Bagazo producto del procesamiento de la caña de azúcar en diversas fábricas de azúcar.

3.3 Hipótesis:

Es posible instalar una central térmica utilizando bagazo de la caña de azúcar como fuente de energía.

3.4 Variables – Operacionalización:

- Variable independiente: estudio de viabilidad.
- Variable dependiente: Instalación de la central térmica.

Tabla N°01: Operacionalización de las variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores
Variable independiente Estudio de viabilidad	Cuando hablamos del estudio de viabilidad , nos referimos a la capacidad de una determinada inversión para ofrecer una rentabilidad superior a las que se obtienen tras esperar un tiempo determinado.	Evaluación de la factibilidad del proyecto.	Cantidad de bagazo de caña disponible. VAN, TIR y periodo de recuperación. Ubicación de la central.
Variable dependiente Central termoeléctrica	Se entiende por central térmica una instalación industrial destinada a producir electricidad haciendo uso recursos biológicos. Por lo tanto, las plantas de biomasa emplean fuentes renovables con el fin de generar electricidad.	Determinar la energía promedio anual para así estimar la potencia instalada de la central.	Energía promedio diaria. (MWh) Energía promedio anual. (MWh) Potencia instalada. (MW)

Fuente: Elaboración propia

3.5 Métodos y técnicas de investigación:

- Para desarrollar este estudio emplearemos el procedimiento deductivo, pues, a través de teorías e investigaciones previas, podremos sacar conclusiones sobre viabilidad de este proyecto.
- Como técnica, se utilizará el análisis de contenido para recoger información de diversas fuentes bibliográficas (tesis, documentos, revistas, sitios web, etc.) sobre centrales térmicas de biomasa.

3.6 Análisis estadístico e interpretación de datos:

La información recabada de diversas fuentes bibliográficas servirá para calcular la cantidad y el poder calorífico del bagazo producido, y al mismo tiempo, permitirá calcular la energía y capacidad promedio de la central térmica, a partir de la cual podremos determinar factibilidad de este proyecto.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1 Tipo de biomasa a utilizar:

4.1.1. Bagazo de caña de azúcar:

Como se había mencionado en los primeros capítulos de este trabajo, la región Lambayeque es una de las más importantes en la producción de caña de azúcar a nivel nacional. Además, se debe considerar que dentro de los principales distritos productores de caña de azúcar se encuentran: Tuman, Pucallá y Pomalca; siendo este último, el distrito con mayor obtención de dicho *commoditie*. También debe tenerse en cuenta un PCI de 4250 kCal/Kg , según menciona (Pernalet et al., 2008) en su estudio.

4.1.2. Cascarilla de arroz:

En cuanto a la cosecha de arroz de cáscara, la región Lambayeque también se encuentra entre los principales productores del país. Por otro lado, la molinería de la ceja de selva está inactiva, esto debido a que la mayoría de los productores arroceros de Jaén, Bagua y San Martín prefieren trasladar el arroz cáscara a los molinos instalados en la carretera de Chiclayo a Lambayeque. (MIDAGRI, s.f.) De igual forma, como se menciona en (Ramón et al., 2018), se deberá considerar el PCI de la cascarilla de arroz como 3736 kCal/Kg .

Considerando los atributos de ambos residuos agrícolas, es fácil optar por el bagazo de caña como materia prima de la central, debido a que se requeriría menos cantidad de dicho residuo (tomando la **ecuación (5)** como referencia) para obtener la misma proporción de energía térmica.

4.2 Evaluación del potencial energético del bagazo de la caña de azúcar:

4.2.1. Cálculo del peso de la biomasa:

Con los datos proporcionados por el Ministerio de Agricultura y Riego, MINAGRI (2020), se calcularán las hectáreas cosechadas diariamente en la región de Lambayeque, para luego conocer la cantidad de biomasa disponible para utilizar en la central.

Tabla N°02: Producción de caña anual

Año	Producción de caña (t)
2010	2 824 848
2011	2 748 163
2012	2 767 051
2013	3 046 548
2014	2 894 565
2015	2 022 870
2016	2 241 978
2017	2 489 374
2018	2 648 009

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°03: Cantidad de hectáreas cosechadas anualmente

Año	Superficie cosechada (ha)
2010	26 773
2011	25 317
2012	25 710
2013	28 753
2014	32 418
2015	23 430
2016	25 874
2017	24 065
2018	27 600

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°04: Relación entre toneladas de caña y hectáreas cosechadas

Año	Rendimiento (t/ha)
2010	105 511
2011	108 549
2012	107 625
2013	105 954
2014	89 289
2015	86 337
2016	86 650
2017	103 442
2018	95 941

Fuente: Elaboración propia

En promedio, se cosechó 98 811 toneladas de caña de azúcar por cada hectárea de caña de cultivada al año.

“El bagazo se obtiene como subproducto, o residuo, en las fábricas de azúcar después de la extracción del jugo de la caña y representa entre el 25 y 40% del total del material procesado, dependiendo del contenido de fibra de caña y la eficiencia del proceso”. (Pernalet et al., 2008)

En base a lo antes mencionado, se puede establecer que, en promedio por cada tonelada de caña cosechada, el 30% del peso corresponderá a la cantidad de bagazo disponible, dando como resultado lo siguiente:

Tabla N°05: Cantidad de bagazo al año

Caña cosechada (t)	Bagazo (t)
98 811	29 643

Fuente: Elaboración propia

Entonces se tiene que la cantidad de bagazo de caña disponible sería de 29 643 toneladas al año.

Si se plantean solo 250 días laborales al año, sin contar sábados ni domingos, entonces se tiene que la cantidad diaria de bagazo sería:

Tabla N°06: Cantidad de bagazo al día

Bagazo (t/año)	Bagazo (t/día)
29 643	119

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, la cantidad de bagazo de caña de azúcar que se utilizará será de 119 toneladas diarias.

Como menciona (Morales, 2018), también se puede estimar el número de camiones diarios que podrán transportar la biomasa, asumiendo que los mismos tiene una capacidad de 20 toneladas, obteniendo lo siguiente:

Tabla N°07: Cantidad de camiones al día

Bagazo (t/día)	Cantidad diaria camiones
119	5.9

Fuente: Elaboración propia

Con lo cual se estima que serán necesarios al menos 6 camiones diarios para el funcionamiento óptimo de la central.

4.2.2. Determinación del PCI:

Como se propone en (Pernalet et al., 2008), el PCI para el bagazo es el siguiente:

Tabla N°08: Poder calorífico inferior del bagazo

Tipo de biomasa	PCI (kcal/kg)
Bagazo de caña	4 250

Fuente: Elaboración propia

4.2.3. Cálculo de la energía producida por la biomasa:

Despejando de la **ecuación (5)**, tenemos que la energía calorífica producida en un día por el bagazo es la siguiente:

Tabla N°09: Energía calorífica producida por la biomasa

PCI (kcal/kg)	Peso de bagazo (kg)	Energía (kcal)	Energía (MJ)
4 250	118 573	503 935 533	2 108 466

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta que 1 kcal = 4.184 kJ y que 1 MJ = 1000 kJ, se obtendrá que la energía total en forma de calor, producida por el bagazo, será de 2 108 466 MJ al día.

4.3 Cálculo de la potencia instalada:

Como se halló en el **ítem 4.2.3.**, la energía calorífica generada por la combustión del bagazo es de 2 108 466 MJ al día. Por lo que ahora se encontrará el equivalente en MWh:

Tabla N°10: Equivalente de energía calorífica en MWh

Energía (MJ)	Energía (MWh)
2 108 466	585,69

Fuente: Elaboración propia

Se tendrá en cuenta que $1 \text{ MJ} = 277,7777778 \times 10^{-6} \text{ MWh}$, por lo tanto, la energía calorífica producida por la biomasa será de 585.69 MWh al día.

Según (Morales, 2018), la eficiencia de las centrales termoeléctricas para convertir energía térmica en energía eléctrica es del 25%, así como también, la disponibilidad es del 80%. Contando con estos datos, se propone encontrar la electricidad que puede llegar a producir la planta:

Tabla N°11: Energía eléctrica producida por la biomasa

Energía térmica (MWh)	Energía eléctrica (MWh)
585,69	117,14

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, la energía eléctrica que será capaz de producir a partir de la combustión de la biomasa será de 117.14 MWh al día.

Con este dato se puede calcular la potencia efectiva de la central, al dividir la energía eléctrica (en MWh) entre las 24 horas del día:

Tabla N°12: Potencia efectiva de la central termoeléctrica

Energía eléctrica (MWh)	Potencia Efectiva (MW)
117,14	4,88

Fuente: Elaboración propia

Se tiene entonces que la potencia efectiva que produce la central es de 4.88 MW diarios.

Habiendo calculado la potencia efectiva de la central termoeléctrica se puede estimar la potencia instalada de la misma, sabiendo que la eficiencia de la central será del 25%:

Tabla N°13: Potencia instalada de la central termoeléctrica

Potencia Efectiva (MW)	Potencia Instalada (MW)
4,88	19,52

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se tiene que la capacidad instalada de la central térmica ronda los 20 MW.

4.4 Ubicación, distribución y selección de los componentes de la central:

4.4.1. Ubicación de la central termoeléctrica:

Para seleccionar un adecuado emplazamiento de la central debemos tener en cuenta varios factores, como: (García, 2018)

- Disponibilidad adecuada de recursos.
- Seguridad del suministro de agua.
- Facilidad de acceso.
- Acceso a redes eléctricas.

Por eso se decidió hacer un cuadro comparativo para encontrar la ubicación más favorable para el proyecto:

Tabla N°14: Cuadro comparativo para determinar la ubicación de la central

Criterios \ Distritos	Tumán	Pucalá	Pomalca
Cercanía a la biomasa	Uno de los mayores productores	Uno de los mayores productores	Uno de los mayores productores
Facilidad de acceso	Cuenta con carreteras y caminos	Cuenta con carreteras y caminos	Cuenta con carreteras y caminos
Abastecimiento de agua	A 10 km de distancia de una fuente de agua	A 2 km de distancia del Río Chancay	A 4 km de distancia de la Laguna Boro
Acceso a redes eléctricas	Cercanía a redes eléctricas	Cercanía a redes eléctricas	Cercanía a subestación eléctrica

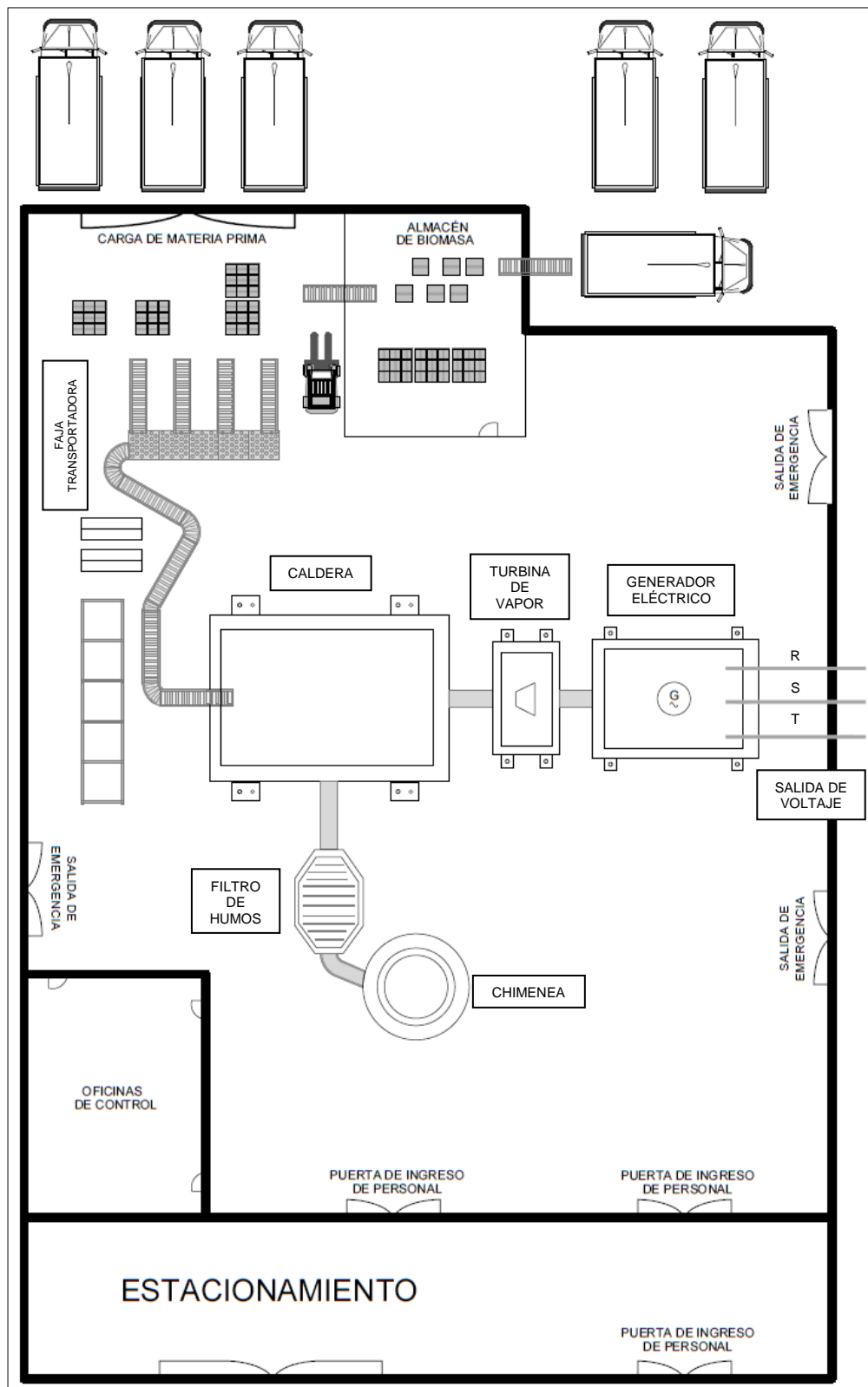
Fuente: Elaboración propia

Debido a la cercanía con la subestación eléctrica, será factible ubicar la central termoeléctrica en el distrito de Pomalca.

4.4.2. Distribución de la central termoeléctrica:

En cuanto a la distribución de los diferentes componentes de la central se tomará en cuenta la siguiente:

Figura N°18: Plano de distribución de la central



Fuente: Elaboración propia

4.4.3. Componentes de la central termoeléctrica:

A. Caldera:

Se consideró el uso de la caldera Vitomax 200–HS, modelo M237, para la central térmica; la cual tiene un caudal de vapor de 0,7 a 3,8 t/h y una presión de funcionamiento de 25 bar. Debido a la disposición horizontal de la cámara de combustión, esta caldera es muy compacta, sin perder sus ventajas estructurales. (ANEXO 02)

B. Turbina:

En el caso de la turbina se seleccionó una turbina de la marca Siemens, modelo SST-060, que tiene las principales características de: proporcionar potencia de hasta 6 MW, presión de vapor hasta 131 bar, temperatura del vapor de 530 °C, así como una construcción robusta y un funcionamiento seguro incluso en condiciones difíciles. (ANEXO 03)

C. Generador eléctrico:

Para el generador, se seleccionó un generador de turbina de vapor de la marca ABB de 6MW con un rango de 1500 a 1800 rpm, a frecuencia de 50 a 60 Hz. Otras características se pueden encontrar en el ANEXO 04.

4.5 Evaluación económica del proyecto:

4.5.1. Inversión:

Varios factores influyen en el desarrollo del análisis económico durante la vida útil de una central eléctrica; siendo los siguientes: (Gómez, 2017)

- Vida útil de la central termoeléctrica.
- Precio del kWh.
- Inversión del proyecto.
- Costes de operación y mantenimiento.

A continuación, se muestran los valores de inversión del proyecto:

Tabla N°15: Inversión estimada para el proyecto

Ítem	Valor Total (S/)
Caldera Vitomax 200-HS	
Turbina Siemens SST-060	
Generador eléctrico ABB	
Instalación eléctrica	
Montaje y pruebas	
Obra civil	
Adquisición de terreno	
Transporte de biomasa	
Sistema de pretratamiento del bagazo	
Suma preliminar	54 952 242,04
Imprevistos (10%)	5 495 224,20
Inversión total	60 447 466,24

Fuente: Elaboración propia

4.5.2. Costos de operación y mantenimiento:

Según (Gómez, 2017), los costos operativos representarán el 1% del total de la inversión total, siendo para este caso de 604 474,66 soles.

4.5.3. Estimación de ingresos:

La principal compensación económica será mediante la venta de electricidad. Según lo establecido en la cuarta subasta de suministro eléctrico a partir de fuentes de energía renovables al sistema interconectado nacional (SEIN), realizada en febrero de 2016, el precio de venta de electricidad proveniente de las plantas de biomasa será de un máximo de 77 US\$/MWh (278,74 S/ /MWh), valor por el cual se realizarán los cálculos para vender energía. También se tomará en cuenta la tasa de inflación anual del 0,033 establecida por el BCRP.

4.5.4. Venta de energía eléctrica:

Con los datos anteriores, es posible estimar el precio de kWh (energía eléctrica) que se obtendrá a los siguientes años:

Tabla N°16: Valores del precio del kWh

Año	Precio de venta de energía eléctrica (S/ /MWh)	Producción estimada de energía eléctrica anual (MWh)	Precio total de venta de energía eléctrica anual (S/)
0			
1	278,74	29 284,25	8 162 692,90
2	287,94	29 284,25	8 432 061,76
3	297,44	29 284,25	8 710 319,80
4	307,26	29 284,25	8 997 760,35
5	317,40	29 284,25	9 294 686,44
6	327,87	29 284,25	9 601 411,10
7	338,69	29 284,25	9 918 257,66
8	349,87	29 284,25	10 245 560,17
9	361,41	29 284,25	10 583 663,65
10	373,34	29 284,25	10 932 924,55
11	385,66	29 284,25	11 293 711,06
12	398,38	29 284,25	11 666 403,53
13	411,53	29 284,25	12 051 394,84
14	425,11	29 284,25	12 449 090,87
15	439,14	29 284,25	12 859 910,87
16	453,63	29 284,25	13 284 287,93
17	468,60	29 284,25	13 722 669,43
18	484,07	29 284,25	14 175 517,52
19	500,04	29 284,25	14 643 309,60
20	516,54	29 284,25	15 126 538,82

Fuente: Elaboración propia

4.5.5. Flujo de caja:

La evolución del flujo es relevante porque nos proporciona datos económicos como el VAN, TIR y el tiempo de recuperación. Se espera que la vida útil de la planta sea de 20 años, una tasa de descuento del 10% y una inversión inicial de 60 447 466,24 soles

Tabla N°17: Flujo de caja

Año	Egresos		Ingresos	Flujo de caja
	Inversión (S/)	Mantenimiento (S/)	Venta total de energía eléctrica (S/)	
0	60 447 466,24			-60 447 466,24
1	0,00	604 474,66	8 162 692,90	7 558 218,23
2	0,00	604 474,66	8 432 061,76	7 827 587,10
3	0,00	604 474,66	8 710 319,80	8 105 845,14
4	0,00	604 474,66	8 997 760,35	8 393 285,69
5	0,00	604 474,66	9 294 686,44	8 690 211,78
6	0,00	604 474,66	9 601 411,10	8 996 936,43
7	0,00	604 474,66	9 918 257,66	9 313 783,00
8	0,00	604 474,66	10 245 560,17	9 641 085,50
9	0,00	604 474,66	10 583 663,65	9 979 188,99
10	0,00	604 474,66	10 932 924,55	10 328 449,89
11	0,00	604 474,66	11 293 711,06	10 689 236,40
12	0,00	604 474,66	11 666 403,53	11 061 928,87
13	0,00	604 474,66	12 051 394,84	11 446 920,18
14	0,00	604 474,66	12 449 090,87	11 844 616,21
15	0,00	604 474,66	12 859 910,87	12 255 436,21
16	0,00	604 474,66	13 284 287,93	12 679 813,27
17	0,00	604 474,66	13 722 669,43	13 118 194,77
18	0,00	604 474,66	14 175 517,52	13 571 042,86
19	0,00	604 474,66	14 643 309,60	14 038 834,94
20	0,00	604 474,66	15 126 538,82	14 522 064,16

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°18: Resultados del flujo de caja

VAN	21 570 926,87
TIR	14%
Periodo de retorno	8 años

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones:

- Posterior a una breve comparación entre ambos residuos agrícolas, se inclinará por la opción del bagazo de caña de azúcar como materia prima de la central termoeléctrica debido a que, mediante su combustión, se logrará obtener el mismo porcentaje de energía térmica, pero utilizando menos cantidad de dicho residuo.
- Mediante el cálculo, aprovechando los datos proporcionados por el MIDAGRI, se determinó que la cantidad utilizable de bagazo de caña en el distrito de Pomalca es de 119 toneladas por día, con un potencial energético de 2 108 466 MJ, lo cual resulta eficiente para la generación de electricidad.
- En base al calor generado, debido al proceso de combustión del bagazo de la caña, y posterior al cálculo, se concluye que la capacidad instalada de la central térmica es de 19,52 MW.
- En base a la comparativa entre los tres principales productores de caña de azúcar en la región Lambayeque, se escogerá al distrito de Pomalca como lugar para la ubicación de la central. Así mismo, se desarrolló la distribución y selección de componentes de la central.
- Con una inversión de 60 447 466,24 soles, los resultados de la evaluación económica son positivos, obteniéndose un valor actual neto (VAN) de 21 570 926,87, una tasa interna de retorno (TIR) del 14% y un periodo de recuperación del capital de 8 años; confirmando así la viabilidad económica del proyecto.

5.2 Recomendaciones:

- Para la optimización del proyecto, las investigaciones futuras se deberían enfocar en implementar un proceso de secado de la biomasa antes de que la misma ingrese a la caldera, para reducir aún más la humedad del bagazo y así su combustión sea más eficiente. Así mismo, se hace la invitación respecto a la importancia de seguir investigando sobre el tema expuesto en este trabajo de tesis, ya que la información actual es limitada.

BIBLIOGRAFÍA

- Alderetes C. (2016). *Calderas a Bagazo – Proyecto, operación y mantenimiento. Argentina.* <http://www1.herrera.unt.edu.ar/biblcet/wp-content/uploads/2016/08/Calderas-a-Bagazo.pdf>
- Armas, V. (2019). *Determinación de la viabilidad técnica, económica y ambiental de una planta papelera con fibra del bagazo de caña de azúcar.* http://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/UNFV/3601/UNFV_ARMAS_RIOS_VICTOR%20SANTIAGO_T%c3%8dTULO%20PROFESIONAL_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Assureira, E., & Assureira, M. (2013). *Potencial Energético de la Biomasa Residual en el Perú.* <http://conferencia2013.consortio.edu.pe/wp-content/uploads/2014/09/3.-Assureira.pdf>
- Berdasco, L. (s.f.). *Tipos de biomasa.* Certicalia. <https://www.certicalia.com/blog/tipos-de-biomasa#cultivos-energeticos>
- Biomass Magazine (s.f.). *Florida Crystals, UF to build cellulosic ethanol pilot plant.* <http://biomassmagazine.com/articles/1320/florida-crystals-uf-to-build-cellulosic-ethanol-pilot-plant>
- Cornejo, R. (2017). *Evaluación de proyectos.* <https://renecornejo.esan.edu.pe/wp-content/uploads/2017/07/EPv2-2.pdf>
- Coronel, E. (2020). *Evaluación del potencial energético de los residuos agrícolas de cosecha (RAC) de la caña de azúcar para generar energía eléctrica en la Empresa Agroindustrial Pomalca S.A.A.* <http://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/UNPRG/8225/BC4618%20CORONEL%20REGALADO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- ENDESA. (s.f.). *Centrales de biomasa y sus tipos.* <https://www.fundacionendesa.org/es/centrales-renovables/a201908-central-de-biomasa>
- Enel Perú. (s.f.). *¿Qué son las energías renovables y por qué son importantes?* <https://www.enel.pe/es/sostenibilidad/que-son-las-energias-renovables-y-porque-son-importantes.html>
- Farfán, B. & Flores, R. (2019). *Análisis y propuesta de carpeta asfáltica con la tecnología (s.m.a) modificada con fibra natural de caña de azúcar, Cusco 2018. (tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil).* Universidad Andina del Cusco. http://190.119.204.72/bitstream4e/UAC/2799/1/Bladimir_Rafer_Tesis_bachiller_2019_Part.1.pdf
- Florida Crystals. (s.f.). *About Florida Crystals.* <https://www.floridacrystalcorp.com/about-florida-crystals-0>
- Garcés, R. & Martínez, S. (2007). *Estudio del poder calorífico del bagazo de caña de azúcar en la Industria Azucarera de la Zona de Risaralda.* <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/825/66288G215ep.pdf?sequence=1>

García, D. (2018). *Estudio y diseño de las instalaciones de una planta de biomasa*. http://tauja.ujaen.es/bitstream/10953.1/8951/1/TFG_RECursos_ENERGETICOS_D_AVID_GARCIA_GAITAN.pdf

Gómez, B. (2017). *Dimensionamiento de una central termosolar de colectores cilíndrico-parabólicos para producir 5MW en el distrito de olmos*. http://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/1083/3/TL_GomezChavarryBilly.pdf

Gotti, D. (2018). *Centrales termoeléctricas de biomasa: Descripción de los principales tipos de caldera*. https://www.researchgate.net/publication/324832031_Centrales_termoelectricas_de_biomasa_descripcion_de_los_principales_tipos_de_caldera

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (s.f.). *Estimaciones y Proyecciones de Población por Departamento, Provincia y Distrito, 2018 – 2020*. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1715/libro.pdf

Jaideep H. & Doreen H. (2009). *Biomass plant highlights renewable energy potential and pitfalls*. Radey Attorneys & Counselors at Law. <https://www.radeylaw.com/2009/07/13/biomass-plant-highlights-renewable-energy-potential-and-pitfalls/>

Ministerio de Agricultura y Riego, MINAGRI. (2020). *Observatorio de COMMODITIES. Boletín de publicación trimestral Abril – Junio*. <https://repositorio.minagri.gob.pe/jspui/bitstream/MINAGRI/759/1/Commodities%20Azucar%20abr-jun%202020.pdf>

Ministerio de Agricultura y Riego, MINAGRI. (s.f.). *Observatorio de COMMODITIES*. http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/download/pdf/tematicas/economia/e71/commodities_azucar_ene19.pdf

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, MIDAGRI. (s.f.). *La cadena de alimentaria del arroz*. <https://www.midagri.gob.pe/portal/datero/26-sector-agrario/arroz>

Ministerio de Energía y Minas, MINEM. (2011). *Una matriz energética sostenible basada en la eficiencia energética y energías renovables*. <http://www.minem.gob.pe/detallenoticia.php?idSector=12&idTitular=4076>

Ministerio de Energía y Minas, MINEM. (2012). *Central térmica usará biomasa para generar electricidad en Paíta*. <http://www.minem.gob.pe/detallenoticia.php?idSector=6&idTitular=4788>

Ministerio de Energía y Minas, MINEM. (s.f.). *Glosario de términos*. <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Hidrocarburos/balances/balan-ener-util1998/9e%20-%20Glosario%20de%20TC3%A9rminos.pdf>

Morales, L. (2018). *Centrales termoeléctricas de biomasa*. https://www.researchgate.net/publication/324923017_Centrales_termoelectricas_de_biomasa

Muñoz, M. (2012). *Caracterización del bagazo de 4 ingenios azucareros de Guatemala*. https://www.researchgate.net/publication/235955115_Caracterizacion_del_bagazo_de_4_Ingenios_Azucareros_de_Guatemala

Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, OSINERGMIN. (s.f.). *¿Qué es la biomasa?* <https://www.osinergmin.gob.pe/empresas/energias-renovables/biomasa#:~:text=La%20formaci%C3%B3n%20de%20biomasa%20a,desencadenante%20de%20la%20cadena%20biol%C3%B3gica.&text=Mediante%20estos%20procesos%2C%20la%20biomasa,solar%20en%20forma%20de%20carbono.>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (s.f.). <http://www.fao.org/statistics/es/>

Our World Energy. (s.f.). *What is bagasse and how is it used to generate electricity?* <https://www.ourworldofenergy.com/vignettes.php?type=other-renewables-energy&id=6>

Pernalet Z., Piña F., Suárez M., Ferrer A. & Aiello C. (2008). *Fraccionamiento del bagazo de caña de azúcar mediante tratamiento amoniacal: efecto de la humedad del bagazo y la carga de amoníaco.* http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612008000100001#:~:text=Se%20obtiene%20como%20subproducto%20o,en%20la%20extracci%C3%B3n%20del%20jugo.

Perucaña. (2019). *Sector agroindustrial del azúcar y derivados en el Perú. Informe anual 2019.* https://qrcgcustomers.s3-eu-west-1.amazonaws.com/account9875754/9899105_1.pdf?0.015986338150459023

Ramón S., Cárdenas J., Rojas J. (2018). *Poder calorífico de la cascarilla de arroz usada como combustible en hornos de secado.* <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6770917.pdf>

Renovetec. (2013). *Procesos de transformación de la biomasa.* <http://www.plantasdebiomasa.net/index.php/procesos-de-transformacionde-la-biomasa>

Renovetec. (s.f.). *Tipos de biomasa.* <http://www.plantasdebiomasa.net/tipos-de-biomasa.html>

Royo J., Canalís P. & Sebastián F. (2004). *CO-COMBUSTIÓN.* Fundación CIRCE Universidad de Zaragoza. Documentación de clase Master Europeo en Energías Renovables. <https://static.eoi.es/savia/documents/componente45271.pdf>

Secretaría de Energía de Argentina (2008). *Energía derivada de biomasa.* <http://www.probiomasa.gob.ar/sitio/es/biomasa.php>

Secretaría de Energía de Argentina. (2008). *Energías Renovables – Energía Biomasa.* http://www.energia.gov.ar/contenidos/archivos/publicaciones/libro_energia_biomasa.pdf

World Energy Trade (2019). *La caña de azúcar como fuente agrícola de energía.* <https://www.worldenergytrade.com/energias-alternativas/biomasa/la-cana-de-azucar-como-fuente-agricola-de-energia>

ANEXOS

Anexo 01: Central termoelectrica Maple Etanol



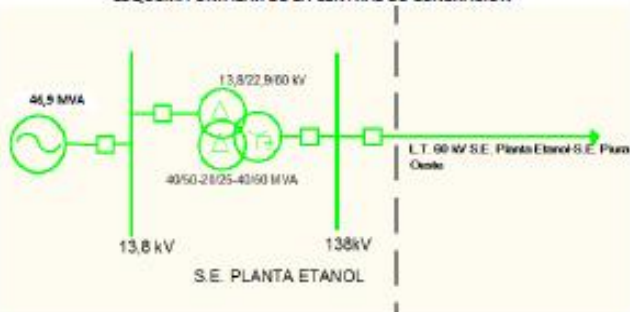
CENTRAL TERMOELÉCTRICA MAPLE ETANOL

DENOMINACIÓN	CENTRAL TERMOELÉCTRICA MAPLE ETANOL
EMPRESA CONCESIONARIA	MAPLE ETANOL S.R.L.
TECNOLOGÍA	Cogeneración
UBICACIÓN	Departamento: Piura Provincia: Paíta Distrito: La Huaca Altitud: 5 msnm
DATOS TÉCNICOS DE CENTRAL	Potencia Instalada: 37,52 MW Número de Unidades de Generación: 1 Turbogenerador Fuente de Energía: El "Follaje" y el "Bagazo" de la caña de azúcar
DATOS DE LA TURBINA	Turbina: 1 Potencia Nominal: 37,5 MW Marca: Siemens Tipo: SST-300, álabes de reacción
DATOS DEL GENERADOR	Potencia Nominal: 46,9 MVA Tensión de Generación: 13,8 kV Velocidad: 1800 RPM
DATOS DE TRANSFORMADOR	Potencia: 40/50-20/25-40/50 MVA Nivel de Tensión: 60/22,9/13,8 kV
LÍNEA DE TRANSMISIÓN	Nivel de Tensión: 60 kV Capacidad de Transmisión: 40 MW Longitud: 36,686 km
DATOS DE CONTRATO	Tipo de contrato: Concesión Definitiva de Generación con RER N° 399-2012 Firma de Contrato: 08.06.2012 Puesta en Operación Comercial (POC): 17.08.2012

INFORMACIÓN RELEVANTE

- La Central Termoelectrica Maple Etanol genera energía eléctrica usando el bagazo, que es un subproducto del proceso de producción del etanol usando como materia prima la caña de azúcar. La Central se ubica dentro de la Planta de Producción de Etanol localizada en el Departamento de Piura.
- Para efectos de la inyección de energía al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), la Central de Generación se conecta a la Sub Estación Piura Oeste (SEPO), componente del SEIN ya existente, utilizando un transformador de potencia de 40/50 MVA que elevará la tensión de generación (13,8 kV) a 60 kV y una línea de transmisión en 60 kV.
- Maple Etanol señala que el 23.04.2008, se aprobó el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) del proyecto de Producción de Etanol Anhidro, donde está incluida la Central Termoelectrica Maple Etanol.
- Mediante R.S. N° 043-20-12-EM, el 22.05.2012 el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) otorgó a la empresa Maple Etanol la concesión definitiva para desarrollar la actividad de generación de energía eléctrica con recursos energéticos renovables (biomasa).
- El monto aproximado de la inversión es de 25 MM US\$.
- La Central Termoelectrica Maple ingresó en operación comercial el 17.08.2012 [Carta COES/D-749-2012], con una potencia efectiva de 37,5 MW.

ESQUEMA UNIFILAR DE LA CENTRAL DE GENERACIÓN



Ubicación



L.T. 60 kV S.E. Piura Oeste (SEPO) - S.E. Planta Etanol (SEPE)



L.T. 60 kV S.E. Piura Oeste (SEPO) - S.E. Planta Etanol (SEPE)



S.E. C.T. Maple - Etanol (SEPE)

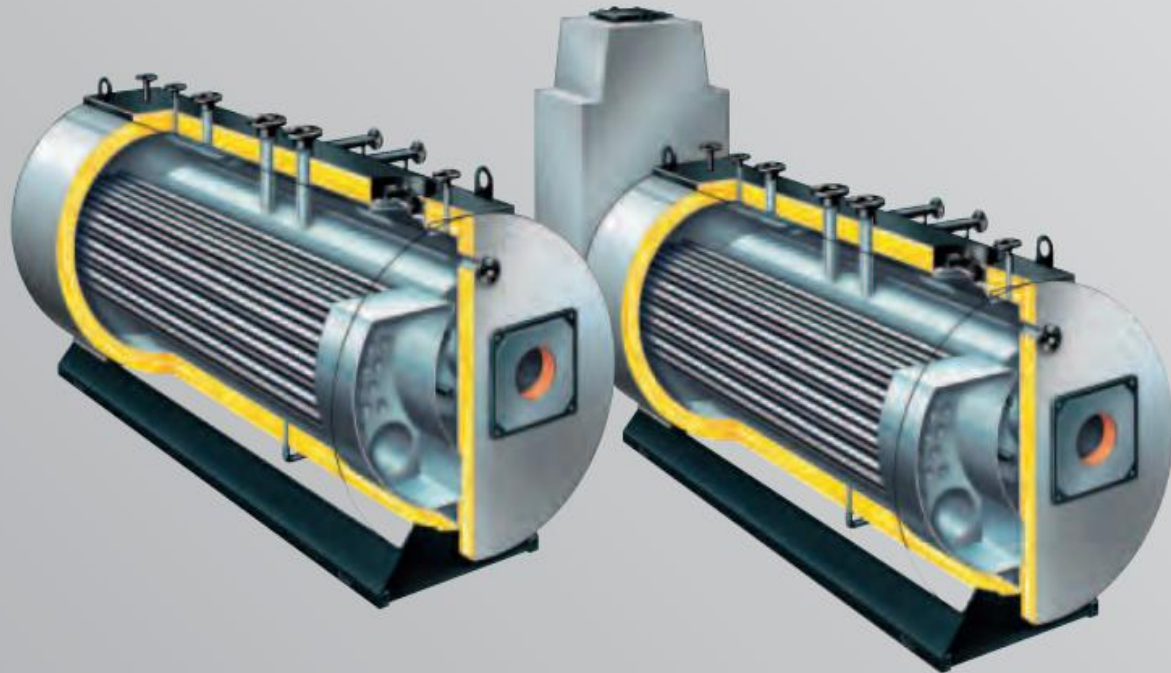
Fuente: (OSINERGMIN, s.f.)

Anexo 02: Caldera Vitomax 200-HS

VITOMAX 200-HS

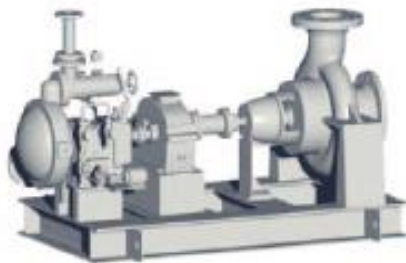
Generador de vapor de
alta presión
De 6 a 26 bar

Modelo M237
De 0,7 a 3,8 t/h



Fuente: (Viessmann, s.f.)

Anexo 03: Turbina de vapor Siemens SST-060



SST-050

(nombre anterior: AF oder BF)

Hasta 750 kW

La SST-050 es una turbina de vapor de contrapresión en la que el vapor fluye axialmente por los álabes. Se emplea principalmente como accionamiento mecánico, p. ej. para bombas o ventiladores, especialmente como accionamiento de reserva con función de arranque rápido.

Datos técnicos

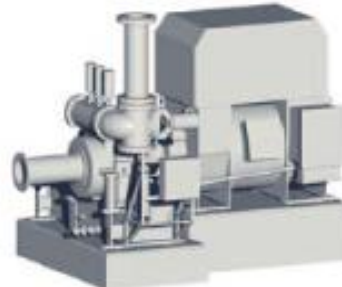
- Potencia: hasta 750 kW
- Presión del vapor vivo: hasta 101 bar (a)
- Temperatura del vapor vivo: vapor saturado seco hasta 500 °C
- Velocidad: según la máquina accionada
- Presión del vapor de salida: contrapresión hasta 11 bar (a)

Dimensiones típicas

Longitud: 1 m*
Anchura: 1 m*
Altura: 1,3 m*

Principales características

- Escaso mantenimiento gracias a su sencillo diseño
- Funcionamiento muy seguro
- Posibilidad de arranque rápido
- Turbina con abastecimiento de aceite incluido
- Corresponde a las especificaciones de API 611 / 612**
- Ejecución ATEX disponible



SST-060

(nombre anterior: AFA, CFA oder CFR)

Hasta 6 MW

La SST-060 se caracteriza por una construcción robusta y por un funcionamiento muy seguro incluso bajo las condiciones más duras. Es apropiada también para el funcionamiento con vapor saturado. Como turbina de condensación o contrapresión en combinación con diversos módulos vale para muchos ámbitos de aplicación.

Datos técnicos

- Potencia: hasta 6 MW
- Presión del vapor vivo: hasta 131 bar (a)
- Temperatura del vapor vivo: vapor saturado seco hasta 530 °C
- Velocidad: según la máquina accionada
- Presión del vapor de salida: contrapresión hasta 29 bar (a) o condensación

Dimensiones típicas

Longitud: 1,5 m*
Anchura: 2,5 m*
Altura: 2,5 m*

Principales características

- Ejecución como turbina de condensación o contrapresión
- Ejecución en paquete
- Sistema de aceite integrado en el bastidor de base
- Regulación del grupo de toberas disponible
- Arranque rápido sin precalentamiento
- Adaptación específica al cliente
- Corresponde a las especificaciones de API 611 / 612**
- Ejecución ATEX disponible
- Apropiada para ORC (Organic Rankine Cycle)
- Apropiada para la expansión de gas natural



*Solo turbina

**Para diseño en valadizo ("Overhung-Design") y accionamiento integrado.



*Solo turbina

**Para diseño en valadizo ("Overhung-Design") y accionamiento integrado.

Fuente: (SIEMENS, s.f.)

Anexo 04: Generador eléctrico ABB

AMG COMPACT – MEDIUM AND HIGH VOLTAGE GENERATORS FOR DIESEL AND GAS ENGINES

PRODUCT NOTE

3

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 ICB A1W7 and ICB616/ 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 Unicontrol 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



Fuente: (ABB, s.f.)

68



Aplicaciones



Los generadores de ABB para turbinas de vapor y gas se encuentran en plantas de gas, de vapor y en plantas de ciclo combinadas.

A continuación se presentan algunos ejemplos seleccionados de aplicaciones en las que se han utilizado generadores de ABB:

- Biomasa
- Generación de energía distribuida
- Geotérmica
- Energía solar por concentración
- Marina
- Petróleo y Gas; apartado de la costa
- Petróleo y Gas; en la costa
- Planta de Azúcar
- Condensador síncrono
- Pérdida de energía



Output power	Up to 85 MVA at 50 Hz
Frame size	710 to 1400 mm
Voltages	3 - 15 kV
Frequency	50 or 60 Hz
Speed	Up to 1800 rpm
Protection	IP20, IP23, (WP I), IPW 24, (WP II), IP54, IP55, IP56
Cooling	Open Air-Cooled (OAC): ICD1 (WP II), IC06 (WP I) (WP II) Totally Enclosed Water to Air-Cooled (TEWAC): IC86W, IC81W Totally Enclosed Air to Air-Cooled (TEAAC): IC616, IC661, IC611, IC666
Ambient conditions	- 50 °C to 60 °C
Generator size	0.9 - 6.0 MVA: AMG 500 - 630, 4 pole 6.0 - 85 MVA: AMS 710 - 1400, 4 - 6 pole
Standards	NEMA MG-1, IEEE 115, ANSI C50.12, BS 4999, IEC 60034, API-516, Australian AS 1359, VDE, GDST R
Hazardous areas	Zone 1 Areas: Pressurization (Ex px) Zone 2 Areas: Non sparking (Ex nA), Pressurization (Ex pz) Increased Safety, Non-sparking, Pressurized
Control Panel	AVR: ABB UNITROL 1010 or 1020 as standard, others (e.g. Basler) on request Protection: Standard REG 670 other on request, Differential Protection Relay, Multilin 489
	Synchronization: Manual and auto. Normal with 1 to 3 circuit breakers, Syncrotact 5

Fuente: (ABB, s.f.)



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

DECANATO



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS VIRTUAL N°043

En la ciudad de Lambayeque, siendo las 12: 00 horas del día 23 de junio del Año 2022 en la sala de sustentaciones virtuales de la Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, se reunieron virtualmente los miembros del jurado, tal como se comprueba en la grabación, designados mediante **Resolución N.º 122-2022-D-VIRTUAL-FIME**, de fecha 17 de junio de 2022 conformado por los siguientes catedráticos:

DR. FREDY DAVILA HURTADO	PRESIDENTE
MSC.CARLOS YUPANQUI RODRIGUEZ	SECRETARIO
ING. TEOBALDO EDGAR JULCA OROZCO	MIEMBRO
MSC. JONY VILLALOBOS CABRERA	ASESOR

Se recibió el Trabajo de Tesis titulada:

“DISEÑO DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA DE BIOMASA PARA LAMBAYEQUE, UTILIZANDO RESIDUOS AGRÍCOLAS COMO EL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR Y CASCARILLA DE ARROZ.”

Presentada virtualmente por su autor, Bachiller: **PAZ PAREDES CARLOS ENRIQUE**. Finalizada la sustentación virtual, el sustentante respondió a través de la plataforma virtual de manera acertada las preguntas formuladas por el jurado examinador procediendo a deliberar y se Acordó Aprobar con NOTA 16 (Dieciséis) la sustentación de Tesis.

Quedando el sustentante apto para obtener el Título profesional de Ingeniero Mecánico Electricista, debiendo cumplir antes con las exigencias de las normas legales vigentes.

Siendo las 13:10 horas del mismo día se da por concluido el acto académico, firmando la presente acta el jurado respectivo:

Presidente

Secretario

Miembro

Asesor

“AÑO DEL FORTALECIMIENTO DE LA SOBERANÍA NACIONAL”

Lambayeque, 10 de marzo del 2022

Señor

Dr. ANIBAL SALAZAR MENDOZA

JEFE DE LA OFICINA DE INVESTIGACION – FIME

ASUNTO: CONFORMIDAD DE ELABORACION DE TESIS

Es grato dirigirme a Ud. Para saludarlo cordialmente y hacer de su conocimiento que, a la fecha, quien suscribe la presente es ASESOR de la tesis elaborada por el Bach. Carlos Enrique Paz Paredes, tesis titulada: **“DISEÑO DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA DE BIOMASA PARA LAMBAYEQUE, UTILIZANDO RESIDUOS AGRÍCOLAS COMO EL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR Y CASCARILLA DE ARROZ”** En ese sentido, después de haber revisado dicha tesis y después de someterlo a revisión en el software Turnitin, este arroja 17% de duplicidad (menor de 20%), por lo tanto, procedo a dar CONFORMIDAD, quedando el Sr. Carlos Enrique Paz Paredes, APTO para la sustentación respectiva, en la hora y fecha que su despacho tenga a bien designar.

Agradecido por su atención al presente, me despido de Ud.

Adjunto

Recibo digital de Turnitin en formato de pdf. (página 01)

Se adjunta el reporte digital de Turnitin en formato pdf. (82 páginas).

Atentamente:



M.Sc. Ing. Villalobos Cabrera,
Jony

Diseño de una central termoeléctrica de biomasa para Lambayeque, utilizando residuos agrícolas como el bagazo de caña de azúcar y cascarilla de arroz

INFORME DE ORIGINALIDAD

17 %	16 %	1 %	9 %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unprg.edu.pe:8080 Fuente de Internet	3 %
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	3 %
3	www.studocu.com Fuente de Internet	1 %
4	Submitted to Universidad de Jaén Trabajo del estudiante	1 %
5	1library.co Fuente de Internet	1 %
6	Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo Trabajo del estudiante	1 %
7	vbook.pub Fuente de Internet	1 %
8	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	1 %

9	Submitted to Universidad de Cádiz Trabajo del estudiante	1 %
10	www1.herrera.unt.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
11	intranet.cip.org.pe Fuente de Internet	<1 %
12	Submitted to Tecsup Trabajo del estudiante	<1 %
13	prezi.com Fuente de Internet	<1 %
14	www.worldenergytrade.com Fuente de Internet	<1 %
15	Submitted to Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurimac Trabajo del estudiante	<1 %
16	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
17	minagri.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
18	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
19	repository.unad.edu.co Fuente de Internet	<1 %
20	sites.google.com Fuente de Internet	<1 %

		<1 %
21	www.conacyt.mx Fuente de Internet	<1 %
22	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
23	www.dspace.uce.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
24	www.osinergmin.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
25	dspace.udla.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
26	Submitted to Universidad de Salamanca Trabajo del estudiante	<1 %
27	repositorio.autonoma.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
28	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
29	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
30	Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
31	conadesuca.gob.mx Fuente de Internet	



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:	Carlos Enrique Paz Paredes
Título del ejercicio:	Tesis de Pregrado
Título de la entrega:	Diseño de una central termoelectrica de biomasa para Lamb...
Nombre del archivo:	Tesis_-_Repositorio.docx
Tamaño del archivo:	3.78M
Total páginas:	86
Total de palabras:	13,293
Total de caracteres:	73,046
Fecha de entrega:	12-jul.-2022 08:15a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entre...	1869632368

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica



"Diseño de una central termoelectrica de biomasa para Lambayeque, utilizando residuos agrícolas como el bagazo de caña de azúcar y cascarilla de arroz."

Tesis para optar el Título Profesional de:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

Autor:

Bach. Paz Paredes, Carlos Enrique

Asesor:

M.Sc. Ing. Villalobos Cabrera, Jony

Lambayeque, junio 2022