



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

INFORME DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

**ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO SOBRE EL USO DE LA CASULLA
DEL CAFÉ PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL
BENEFICIO CORINTO UBICADO EN SUBIRANA, YORO.**

PRESENTADO POR:

EMILIO JOSÉ LEIVA RIVERA

21611206

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERO EN ENERGÍA

SAN PEDRO SULA, CORTÉS

HONDURAS, C.A.

MAYO, 2020

DEDICATORIA

A mis padres, quienes me han apoyado siempre.

RESUMEN EJECUTIVO (ESPAÑOL)

En la presente investigación se ha realizado un análisis técnico-económico sobre el uso de la casulla del café, que es un residuo agrícola proveniente del proceso de trilla en la producción de café del Beneficio Corinto ubicado en la comunidad de Subirana, Yoro. Se propone utilizar este residuo como recurso energético primario para la generación de energía eléctrica y reducir el 50% de la energía eléctrica generada por el generador diésel el cual es su única fuente de energía ya que la ENEE no puede brindarle un servicio debido a la inexistencia de un circuito de distribución local en la zona. La investigación comienza examinando una visión general sobre el uso de esta tecnología en América Latina, en países como Colombia, luego analiza los diferentes tipos de tecnologías utilizadas, así como el tipo de componentes necesarios para implementar estas soluciones tecnológicas. Luego comienzan los cálculos necesarios para el dimensionamiento del equipo técnico necesario. Una vez realizados los cálculos, se realiza un análisis de los resultados que nos permiten elegir los componentes más adecuados para nuestro proyecto. Con el análisis técnico realizado, se puede ejecutar el análisis económico que nos permitirá determinar si la realización de proyecto es económicamente viable para este Beneficio. Por último, las conclusiones sobre el proyecto se dan respondiendo a la hipótesis y a las preguntas de investigación planteadas durante el desarrollo de la investigación.

RESUMEN EJECUTIVO (INGLÉS)

In this research, a technical-economic analysis has been carried out on the use of coffee casulla, which is an agricultural waste from the threshing process in the production of coffee of the Corinthian Benefit located in the community of Subirana, Yoro. It is proposed to use this waste as a primary energy resource for the generation of electricity and reduce 50% of the electricity generated by the diesel generator which is its only source of energy since the ENEE cannot provide a service due to the existence of a local distribution circuit in the area. The research begins by examining an overview of the use of this technology in Latin America, in countries such as Colombia, then analyzes the different types of technologies used, as well as the type of components needed to implement these technological solutions. Then the calculations necessary for the sizing of the necessary technical equipment begin. Once the calculations are done, an analysis is carried out on the results that allow us to choose the most suitable components for our project. With the technical analysis performed, we can execute the economic analysis that will allow us to determine whether the realization of the project is economically viable for this Benefit. Finally, the conclusions on the project are given in response to the hypothesis and research questions raised during the development of research.

TABLA DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA.....	2
2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	2
2.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	3
2.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	3
2.4.1 OBJETIVO GENERAL	3
2.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
2.3 JUSTIFICACIÓN.....	4
III. MARCO TEÓRICO.....	5
3.1 RUBRO DEL CAFÉ EN LATINOAMÉRICA Y EL CARIBE.....	5
3.2 RUBRO DEL CAFÉ EN HONDURAS.....	7
3.3 PROCESOS EN LA PRODUCCIÓN DEL CAFÉ.....	8
3.3.1 PRIMERA ETAPA: LA PLANTACIÓN.....	8
3.3.2 SEGUNDA ETAPA: LA COSECHA.....	8
3.3.3 TERCERA ETAPA: EL PROCESAMIENTO.....	9
3.3.4 CUARTA ETAPA: EL CURADO.....	9
3.3.5 QUINTA ETAPA: CATA DEL CAFÉ.....	9
3.3.6 SEXTA ETAPA: EL TUESTE	9
3.3.7 SÉPTIMA ETAPA: EL MOLIDO.....	9
3.4 RESIDUOS ORGÁNICOS EN LA PRODUCCIÓN DE CAFÉ	10
3.4.1 PULPA DE CAFÉ.....	10

3.4.3 CISCO DE CAFÉ	11
3.4.4 BORRA DE CAFÉ.....	11
3.4.5 TALLOS DE CAFÉ.....	11
3.4.6 RIPIOS.....	12
3.5 GENERACIÓN DE ENERGÍA LIMPIA A PARTIR DE LOS RESIDUOS DE LA PRODUCCION DE CAFÉ.....	13
3.6 UTILIZACIÓN DE LA CASULLA (CISCO) DE CAFÉ PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LATINOAMÉRICA	15
3.6 PROPIEDADES DE LA CASULLA DEL CAFÉ	19
3.7 COMBUSTIÓN.....	21
3.7.1 DEFINICIÓN DE COMBUSTIÓN.....	21
3.7.2 TRIANGULO DE COMBUSTIÓN.....	22
3.7.3 TIPOS DE COMBUSTIÓN	23
3.7.4 CICLO TERMODINÁMICO (RANKINE).....	24
3.8 CALDERAS	25
3.8.1 DEFINICIÓN DE CALDERA.....	25
3.9 TURBINAS DE VAPOR	27
3.9.1 DEFINICIÓN DE TURBINA DE VAPOR.....	27
3.9.2 CLASIFICACION DE LAS TURBINAS DE VAPOR	28
3.9.3 FUNCIONAMIENTO DE UNA TURBINA DE VAPOR.....	29
3.10 GENERADOR ELÉCTRICO.....	30
3.11 TURBOGENERADOR.....	31
3.11.1 DEFINICIÓN DE TURBOGENERADOR.....	31
3.12 CENTRALES DE BIOMASA	32

3.12.1 ¿QUÉ ES UNA CENTRAL DE BIOMASA?	32
3.12.2 FUNCIONAMIENTO DE UNA CENTRAL DE BIOMASA	32
3.12.3 IMPACTO AMBIENTAL DE UNA CENTRAL DE BIOMASA.....	33
3.13 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA UTILIZANDO BIOMASA.....	35
3.13.1 CÁLCULO DE ENERGÍA ELÉCTRICA ACTIVA GENERADA POR EL GENERADOR DIESEL.....	35
3.13.1.1 CÁLCULO DE FACTOR DE DISPONIBILIDAD	36
3.13.2 CÁLCULO DE COSTO NIVELADO DE ELECTRICIDAD UTILIZANDO EL MOTOR DIÉSEL.....	36
3.12.2.1 CÁLCULO DE FUEL COST.....	37
3.12.2.1.1 CÁLCULO DEL TIEMPO DE OPERACIÓN ANUAL EXACTO.....	37
3.12.2.1.2 CÁLCULO DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE ANUAL	37
3.12.2.1.3 CÁLCULO DE COSTO POR COMBUSTIBLE ANUAL.....	38
3.13.3 CÁLCULO DE LA POTENCIA ELÉCTRICA ACTIVA REQUERIDA UTILIZANDO CASULLA DE CAFÉ	38
3.13.4 CÁLCULO DE COSTO NIVELADO DE ELECTRICIDAD UTILIZANDO CASULLA DE CAFÉ	39
3.13.6 CÁLCULO DE POTENCIA DE LA CALDERA.....	40
3.13.7 CÁLCULO DE CONSUMO DE BIOMASA [CASULLA DE CAFÉ].....	43
3.13.7.1 CÁLCULO DE PRODUCCIÓN PROMEDIO ANUAL DE CASULLA	43
3.13.7.1 CÁLCULO DE PODER CALORÍFICO INFERIOR CASULLA DE CAFÉ.....	44
3.13.7.2 CÁLCULO DE PORCENTAJE DE HUMEDAD	44
3.13.8 CÁLCULO DE LA DENSIDAD DE LA CASULLA DE CAFÉ.....	45
3.13.9 CÁLCULO DE LA EFICIENCIA TÉRMICA COMBUSTIÓN	45
3.13.9.1 CÁLCULO DE ENERGÍA TÉRMICA ÚTIL	46

3.13.9.2 CÁLCULO DE ENERGÍA TÉRMICA DISPONIBLE	47
3.13.9.3 DETERMINACIÓN DE LA MASA DE AGUA.....	48
3.13.9.4 CÁLCULO DE REDUCCIÓN DE GASES EMITIDOS A LA ATMOSFERA	50
3.13.10 CÁLCULO DE INVERSIÓN INICIAL.....	50
3.13.11 CÁLCULO DE VAN	50
3.13.12 CÁLCULO DE TIR.....	51
3.13.13 CÁLCULO DE PERIODO DE RETORNO.....	52
3.14 ESTUDIO TÉCNICO.....	52
3.15 ESTUDIO ECONÓMICO	53
3.15.1 ELEMENTOS CLAVES DEL ESTUDIO ECONÓMICO	54
3.15.1.1 LAS INVERSIONES	54
3.15.1.2 LOS GASTOS TOTALES	55
3.15.1.3 LOS COSTOS	55
3.15.1.4 INGRESOS.....	56
IV. METODOLOGÍA.....	57
4.1 CONGRUENCIA METODOLÓGICA	57
4.1.1 MATRIZ METODOLÓGICA	58
4.1.2 DEFINICIÓN OPERACIONAL DE VARIABLES	61
4.1.3 HIPÓTESIS	62
4.2 ENFOQUE Y MÉTODOS	62
4.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS	63
4.3.1 INSTRUMENTOS	63
4.3.2 FUENTES DE INFORMACIÓN	63
4.3.3 FUENTES PRIMARIAS	63

4.3.4 FUENTES SECUNDARIAS	64
4.3.5 LIMITANTES DEL ESTUDIO.....	64
4.5 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	65
V. CÁLCULOS Y RESULTADOS.....	66
5.1 CÁLCULO DE ENERGÍA ELÉCTRICA ACTIVA GENERADA POR EL GENERADOR DIESEL	66
5.1.1 CÁLCULO DE FACTOR DE DISPONIBILIDAD	67
5.1.2 CÁLCULO DEL TIEMPO DE OPERACIÓN ANUAL EXACTO	68
5.1.3 CÁLCULO DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE ANUAL.....	68
5.1.4 CÁLCULO DE COSTO POR COMBUSTIBLE FÓSIL UTILIZADO	69
5.2 CÁLCULO DE COSTO NIVELADO DE ELECTRICIDAD UTILIZANDO EL MOTOR DIESEL	70
5.2.1 PROYECCIÓN DEL PRECIO DEL GALÓN DE DIÉSEL EN LEMPIRAS	70
5.2.2 CÁLCULO DE PROYECCIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE	76
5.2.3 CÁLCULO DE PROYECCIÓN COSTO POR COMBUSTIBLE	77
5.2.4 CÁLCULO DE PROYECCIÓN EN COSTO DE O&M.....	78
5.2.5 CÁLCULO PROYECCIÓN ENERGÍA ELÉCTRICA GENERADA.....	79
5.3 CÁLCULO DE LA POTENCIA ELÉCTRICA ACTIVA REQUERIDA UTILIZANDO CASULLA DE CAFÉ.....	81
5.4 CÁLCULO DE POTENCIA DE LA CALDERA.....	82
5.4.1 DETERMINACIÓN DE LA ENTALPÍA DEL AGUA QUE ENTRARA A LA CALDERA	83
5.4.2 DETERMINACIÓN DE LA ENTALPÍA DEL VAPOR DE SALIDA EN LA CALDERA .	84
5.4.3 CÁLCULO DE LA POTENCIA NETA DE LA CALDERA.....	86
5.5 CÁLCULO DE CONSUMO DE BIOMASA [CASULLA DE CAFÉ].....	87

5.5.1 CÁLCULO DE CAPACIDAD TÉRMICA DE ABSORCIÓN DEL MATERIAL	88
5.5.2 CÁLCULO DE PODER CALORÍFICO	89
5.5.3 CÁLCULO DE PRODUCCIÓN PROMEDIO DE CASULLA DE CAFÉ.....	90
5.5.4 CÁLCULO DE PORCENTAJE DE HUMEDAD	91
5.5.5 CÁLCULO DE LA DENSIDAD DE LA CASULLA DE CAFÉ	91
3.13.9 CÁLCULO DE LA EFICIENCIA TÉRMICA COMBUSTIÓN	92
3.13.9.1 CÁLCULO DE ENERGÍA TÉRMICA ÚTIL	93
3.13.9.2 CÁLCULO DE ENERGÍA TÉRMICA DISPONIBLE	94
3.13.9.3 DETERMINACIÓN DE LA MASA DE AGUA.....	95
3.13.9.4 CÁLCULO DE REDUCCIÓN DE GASES EMITIDOS A LA ATMOSFERA	97
5.6 CÁLCULO DE COSTO NIVELADO DE ELECTRICIDAD UTILIZANDO CASULLA DE CAFÉ	98
5.7 CÁLCULO DE INVERSIÓN INICIAL.....	99
5.7.1 CÁLCULO DE LA INVERSIÓN DE CAPITAL FIJO.....	99
5.7.2 CÁLCULO DE COSTO DE CAPITAL DE TRABAJO.....	100
5.8 CÁLCULO DE VAN	101
5.9 CÁLCULO DE TIR.....	102
5.10 CÁLCULO DE PERIODO DE RETORNO	103
VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	104
6.1 ANÁLISIS DE COSTOS NIVELADOS DE LA ELECTRICIDAD.....	104
6.2 ANÁLISIS DE LA POTENCIA ELECTRICA REQUERIDA	104
6.3 ANÁLISIS DE LA POTENCIA DE LA CALDERA.....	106
6.4 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA.....	106
6.5 CONTROLADOR DE CARGA	108

6.7 ANÁLISIS DE PROCESO EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	109
6.6 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES DE LA CASULLA DE CAFÉ.....	110
6.7 ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA TÉRMICA	110
6.8 ANÁLISIS DEL CONSUMO DE BIOMASA [CASULLA DE CAFÉ]	111
6.9 REDUCCIÓN EN LAS EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO.....	112
6.10 ANÁLISIS DE VARIABLES FINANCIERAS.....	113
VII. CONCLUSIONES.....	114
VIII. RECOMENDACIONES	115
VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	116
X. ANEXOS	121
10.1 TABLAS DE FINANCIAMIENTO DEL EQUIPO DE BIOMASA.....	121
10.2 FICHA TÉCNICA MICROTURBINA DE VAPOR.....	122
.....	123
10.3 PLANO DE CALDERA.....	124
10.4 FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO.....	125
10.5 FICHA TÉCNICA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA	126
10.6 FICHA TÉCNICA CONTROLADOR DE CARGA.....	127
10.7 DIAGRAMA UNIFILAR BENEFICIO CORINTO	128
10.8 FICHA TÉCNICA GNERADOR CUMMINS.....	129

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Producción total de café (miles de sacos de 60kg). Cosecha 2017-18.	6
Ilustración 2: Producción Nacional de Café 2015.....	8
Ilustración 3: Proceso de Generación de Energía Eléctrica con Gasificador.....	16
Ilustración 4: Sistema de Gasificación BIOMAX 25	17
Ilustración 5: Sistema de Gasificación FGB 20	18
Ilustración 6: Casulla de café	19
Ilustración 7: Triángulo de la combustión.....	23
Ilustración 8: Etapas del ciclo Rankine.....	24
Ilustración 9: Caldera Acuatubular	26
Ilustración 10: Caldera Piro tubular.....	27
Ilustración 11: Turbina de Vapor.....	28
Ilustración 12: Funcionamiento de una turbina de vapor	30
Ilustración 13: Generador Eléctrico	31
Ilustración 14: Turbogenerador WEG.....	32
Ilustración 15: Esquema de una central de biomasa.....	33
Ilustración 16: Ciclo natural del carbono	34
Ilustración 17: Tabla de propiedades físicas del agua con base a la presión	41
Ilustración 18: Tabla de propiedades físicas del agua con base en la temperatura.....	42
Ilustración 19: Características de calderas según su potencia térmica	48
Ilustración 20: Densidad del agua a diferentes temperaturas.....	49
Ilustración 21: Diagrama de Variables	61
Ilustración 22: Enfoque y métodos de la investigación.....	62

Ilustración 23: Gráfica precio histórico galón de diésel	71
Ilustración 24: Gráfica tasa de cambio lempiras – dólares.....	74
Ilustración 25: Tabla de propiedades físicas.....	83
Ilustración 26: Tabla de propiedades físicas del agua saturada.....	84
Ilustración 27: Propiedades físicas del vapor sobrecalentado.....	85
Ilustración 28: Características de calderas según su potencia térmica	96
Ilustración 29: Densidad del agua a diferentes temperaturas.....	97
Ilustración 30: Gráfico de LCOE para cada tecnología.....	104
Ilustración 31: Microturbina de vapor.....	105
Ilustración 32: Energía generada por la microturbina de vapor	105
Ilustración 33: Montaje de caldera ATTSU	106
Ilustración 34: Planta de tratamiento de Agua.....	107
Ilustración 35: Funcionamiento Planta de Tratamiento de Agua	107
Ilustración 36: Diagrama unifilar sistema.....	108
Ilustración 37: Diagrama de Procesos en la generación de energía eléctrica	109
Ilustración 38: Almacenamiento casulla de café beneficio Corinto	111
Ilustración 39: Emisiones de CO2	112
Ilustración 40: Ficha técnica microturbina de vapor.....	123
Ilustración 41: Plano de Caldera.....	124
Ilustración 42: Datos planta de tratamiento de agua	126
Ilustración 43: Diagrama de funcionamiento planta de tratamiento de agua	126
Ilustración 44: Controlador de carga eLUM.....	127
Ilustración 45: Diagrama Unifilar Beneficio Corinto	128

Ilustración 46: Ficha Técnica Generador Cummins 1	129
Ilustración 47: Ficha técnica generador Anexos.....	130

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Residuos orgánicos obtenidos a partir de 1000 g de café cereza	10
Tabla 2: Poder calorífico de los residuos del café	12
Tabla 3: Composición de la casulla de café	20
Tabla 4: Propiedades físicas y químicas de la casulla de café.....	20
Tabla 5: Tabla metodológica	59
Tabla 6: Cronograma de actividades.....	65
Tabla 7: Precio histórico del galón de diésel.....	70
Tabla 8: Proyección valor del galón de diésel en lempiras.....	72
Tabla 9: Tasa de cambio histórica lempiras – dólares	73
Tabla 10: Proyección tasa de cambio lempiras a dólares.....	75
Tabla 11: Proyección valor del galón de diésel en dólares.....	76
Tabla 12: Tabla de proyección consumo de combustible.....	77
Tabla 13: Proyección costo por combustible	78
Tabla 14: Proyección costo de O&M.....	79
Tabla 15: Energía generada durante vida útil	80
Tabla 16: Producción promedio de biomasa	90
Tabla 17: Descripción de equipo técnico principal.....	100
Tabla 18: Costos de instalación equipos.....	100
Tabla 19: Pérdidas asociadas a la combustión	110
Tabla 20: Emisiones de CO2	112
Tabla 21: Parámetros de entrada financiamiento del proyecto.....	121
Tabla 22: Desglose de pagos del financiamiento.....	121

Tabla 23: Desglose de pagos totales anuales.....	121
Tabla 24: Características caldera.....	124
Tabla 25: Flujo de caja del proyecto año 1-10	125
Tabla 26: Flujo de caja del proyecto año 10-25.....	125

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Combustión del Carbono (C) e Hidrogeno (H).....	21
Ecuación 2: Combustión típica de combustibles	21
Ecuación 3: Energía activa generada por generador diésel.....	35
Ecuación 4: Factor de disponibilidad	36
Ecuación 5: Costo nivelado de la electricidad generador diésel	36
Ecuación 6: Tiempo de operación anual exacto	37
Ecuación 7: Combustible anual utilizado	37
Ecuación 8: Costo por combustible anual.....	38
Ecuación 9: Potencia eléctrica requerida utilizando casulla de café	38
Ecuación 10: Costo nivelado de la electricidad utilizando casulla de café	39
Ecuación 11: Cálculo de potencia neta.....	42
Ecuación 12: Consumo de biomasa por la caldera.....	43
Ecuación 13: Producción Promedio Anual de biomasa.....	43
Ecuación 14: Poder calorífica casulla de café.....	44
Ecuación 15: Porcentaje de humedad de la biomasa	44
Ecuación 16: Cálculo de la densidad	45
Ecuación 17: Cálculo de eficiencia térmica de la caldera	45
Ecuación 18: Cálculo de energía térmica útil	46
Ecuación 19: Cálculo de calor de vaporización	46
Ecuación 20: Cálculo de energía de sobrecalentamiento de vapor	47
Ecuación 21: Cálculo de energía térmica disponible.....	47
Ecuación 22: Cálculo de reducción de emisiones de dióxido de carbono.....	50

Ecuación 23: Cálculo de inversión inicial	50
Ecuación 24: Cálculo de VAN	51
Ecuación 25: Cálculo de TIR.....	51
Ecuación 26: Cálculo de periodo de retorno.....	52
Ecuación 27: Ecuación gráfica precio del diésel.....	71
Ecuación 28: Ecuación tasa de cambio lempiras- dólares.....	74
Ecuación 29: Capacidad térmica de absorción del material.....	88

LISTA DE SIGLAS Y GLOSARIO

Biomasa: Cantidad de productos obtenidos por fotosíntesis, susceptibles de ser transformados en combustible útil para el hombre y expresada en unidades de superficie y de volumen.

Capacidad Térmica de absorción: Es la cantidad de energía, en forma de calor, que gana o pierde un sistema por unidad de masa, para que se produzca en él un cambio de temperatura de un grado, sin que haya cambio de estado.

ENEE: Empresa Nacional de Energía Eléctrica

Entalpía: La entalpía es una magnitud termodinámica que equivale a la suma de la energía interna del cuerpo más la multiplicación del volumen del mismo por la presión exterior.

Entropía: La entropía puede ser la magnitud física termodinámica que permite medir la parte no utilizable de la energía contenida en un sistema. Esto quiere decir que dicha parte de la energía no puede usarse para producir un trabajo.

Gasificación: La gasificación es un proceso termoquímico en el que un sustrato carbonoso es transformado en un gas combustible mediante una serie de reacciones que ocurren en presencia de un agente gasificante.

GEI: Gases de Efecto Invernadero

HP: *Horse Power – Caballo de Fuerza*

Inversión Inicial: Se denomina inversión inicial a la cantidad de dinero que es necesario invertir para poner en marcha un proyecto de negocio.

LCOE: El costo nivelado de la energía (LCOE, por sus siglas en inglés) es una herramienta útil que permite comparar de forma consistente los costos de diferentes tipos de tecnologías (solar, eólica, gas natural, etc.).

Lignocelulósicos: Es la materia prima más abundante disponible en la Tierra para la producción de biocombustibles, principalmente bioetanol. Está compuesto por polímeros de carbohidratos y un polímero aromático.

Periodo de retorno: El período de recuperación de la inversión (PRI) es un indicador que mide en cuánto tiempo se recuperará el total de la inversión a valor presente.

Poder calorífico: El poder calorífico es la cantidad de energía por unidad de masa o unidad de volumen de materia que se puede desprender al producirse una reacción química de oxidación.

Propiedad física: es cualquier propiedad que es medible, usualmente se asume que el conjunto de propiedades físicas define el estado de un sistema físico.

Propiedad química: Una propiedad química es cualquier propiedad de la materia por la cual cambia de composición. Cuando se enfrenta una sustancia química a distintos reactivos o condiciones experimentales puede o no reaccionar con ellos.

TIR: La tasa interna de retorno o tasa interna de rentabilidad de una inversión es la media geométrica de los rendimientos futuros esperados de dicha inversión, y que implica por cierto el supuesto de una oportunidad para "reinvertir".

Turbina: Turbina es el nombre genérico que se da a la mayoría de las turbomáquinas motoras. Estas son máquinas de fluido, a través de las cuales pasa un fluido en forma continua y este le entrega su energía cinética a través de un rodete con paletas o álabes.

VAN: El valor actual neto, también conocido como valor actualizado neto o valor presente neto, cuyo acrónimo es VAN, es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

En el presente informe se realizará un análisis técnico-económico sobre el uso de la casulla del café para la generación de energía eléctrica en el beneficio Corinto ubicado en Subirana, Yoro con el objetivo de servir como referencia para el área técnica y administrativa en caso de optar por la realización del proyecto. Este análisis técnico-económico es un documento donde se ilustrará, detallará y respaldará todos los aspectos necesarios para la generación de energía eléctrica a partir de residuos orgánicos como lo es la casulla del café.

El informe estará desarrollado en cuatro capítulos principales en donde se desarrollará de manera progresiva y coherente toda la información.

En el capítulo 1 se describirán los aspectos principales del proyecto: los objetivos, preguntas de investigación y definición del problema que darán apertura al desarrollo de la investigación.

Posteriormente en el capítulo 2, se mostrará la información existente acerca de los elementos relacionados al desarrollo del proyecto, así como también el enfoque y las variables de investigación escogidas para su progreso.

Luego en el capítulo 3 se detallará cuáles serán las metodologías usadas en el proyecto de investigación, el cronograma de actividades realizadas, así como también las técnicas e instrumentos que se utilizarán durante cada etapa del desarrollo del proyecto.

Por último, en el capítulo 4, se hará referencia a las conclusiones y recomendaciones orientadas hacia el proyecto y el beneficio de café Corinto, así como también el análisis de los resultados obtenidos finalizando con las conclusiones y anexos correspondientes.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el capítulo II se expone al lector los aspectos por los cuales se está realizando la investigación definiendo de manera comprensible el problema que se presenta, así como también las preguntas sobre las cuales se fundamentará la investigación y los objetivos que se aspiran a cumplir con la realización de la misma.

2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA

El beneficio de café Corinto, no cuenta con un sistema de generación de energía eléctrica a base de biomasa, que utilice la casulla de café proveniente de un proceso en la producción del café llamado trilla, como recurso energético primario ya que el beneficio tiene una producción promedio anual de 180,583.33 kilogramos de este residuo. Debido a esto no cuenta con una alternativa que le permita diversificar su matriz energética dándole fin al constante y obligatorio uso del combustible fósil [diésel] como único medio para este propósito. Estas falencias ocasionan que el benéfico posea dificultades económicas, logísticas y energéticas constantes.

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El beneficio de café Corinto posee un consumo de energía eléctrica anual de 86,337.9 kWh, la cual no puede ser suministrada por la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE) debido a la inexistencia de un circuito de distribución local en la zona, lo que obliga a la utilización de un generador eléctrico *Cummins* con una potencia en *prime* de 165 kW a base de combustible fósil (diésel) para suministrar el 100% de este consumo de energía eléctrica, consumiendo 8,000 galones al año, lo que representa una carga económica y logística anual para el beneficio de \$31,338.16

¿Es posible solventar las dificultades energéticas de manera confiable, económica y renovable del beneficio de café Corinto mediante la utilización de la casulla de café como recurso energético primario?

2.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- 1.- ¿Cuáles son los componentes principales necesarios para la utilización de la casulla del café como recurso energético primario en la generación de energía eléctrica?
- 2.- ¿Es posible suministrar el 50% de la energía eléctrica utilizando la casulla de café como recurso energético primario?
3. - ¿Qué cantidad de casulla de café se requiere para producir el 50% de la energía eléctrica anualmente?
- 4.- ¿Cuál sería la inversión requerida para la realización del proyecto?
- 5.- ¿En cuánto tiempo se recuperaría dicha inversión?

2.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.4.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema de generación de energía eléctrica que utilice la casulla de café como recurso energético primario para suministrar el 50% de la energía eléctrica del beneficio Corinto de manera renovable, confiable y económica.

2.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar los componentes principales necesarios técnico y económicamente para la utilización de la casulla de café como recurso energético primario para la generación de energía eléctrica en el beneficio Corinto durante los próximos 25 años.
2. Determinar si es posible suministrar el 50% de la energía eléctrica mediante la utilización de la casulla de café como recurso energético primario.
3. Determinar la cantidad de biomasa necesaria para la generación del 50% de la energía eléctrica consumida por el beneficio Corinto.

4. Estimar cual sería la inversión inicial presupuestada para la realización del proyecto con base en la realización de un análisis económico.

5. Estimar el tiempo de recuperación de la inversión, si se optará por realizar el proyecto en el año de 2020, analizando los valores de flujo de caja anualmente.

2.3 JUSTIFICACIÓN

La presente investigación nos permitirá determinar si el uso de la casulla de café como recurso energético primario permite solventar las dificultades de manera eficiente, económica y renovable del beneficio de café Corinto generando el 50% de la energía eléctrica que actualmente se obtiene utilizando combustible fósil [Diésel]. Esta investigación servirá como herramienta para el área técnico y administrativa del beneficio proponiéndoles una alternativa que les permita diversificar su matriz energética de manera inmediata y accediendo a una serie las ventajas que otorga la implementación de este tipo de proyectos de energía renovable.

Entre las ventajas que se otorgaría esta la reducción a la completa dependencia del combustible fósil en la generación de energía eléctrica, diversificación de la matriz energética que actualmente se posee, reducción en la cantidad de residuos agrícolas desechados etc.

III. MARCO TEÓRICO

En el capítulo III se procura realizar una correcta indagación sobre la información existente de los aspectos fundamentales de la investigación como ser: El rubro del café, El uso de la biomasa como combustible, termodinámica aplicada, calderas y generadores de vapor, maquinas eléctricas, turbomáquinas, etc. Elementos de comprensión clave para que el lector pueda concebir una idea clara sobre el uso de la biomasa de manera confiable para la generación de energía eléctrica.

ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

3.1 RUBRO DEL CAFÉ EN LATINOAMÉRICA Y EL CARIBE

El café es uno de los productos agrícolas de mayor importancia económica a nivel mundial, y ocupa el segundo lugar después del petróleo en materia de cifras de comercio internacional, generando ingresos anuales mayores a USD \$15 mil millones para los países exportadores y brinda fuente de trabajo a más de 20 millones de personas en el mundo; el café ocupa un lugar primordial en el mercado mundial de bebidas y constituye un elemento esencial en la vida diaria de las diferentes poblaciones en la mayor parte del planeta, donde se disfruta como complemento de las actividades del quehacer diario. (Brenes, 2016)

En los países del hemisferio americano, ha formado parte de su cultura y ha constituido un elemento esencial para el desarrollo de su vida republicana, donde el 90% de la producción agrícola está en manos de pequeños productores en la gran región productora, comprendida desde Perú hasta México. (Brenes, 2016)

El café es un producto de gran importancia en el mercado mundial y su cultivo se realiza generalmente en las regiones tropicales. Hoy más de 80 países lo cultivan y varía por sus diferentes tipos de calidad; poco más de 50 países lo exportan. Por su valor comercial es uno

de los principales productos agrícolas, con una participación importante en el comercio mundial que produce ingresos anuales superiores a los 15 mil millones de dólares para los países exportadores y da empleos directos e indirectos a poco más de 20 millones de personas dedicadas al cultivo, transformación, procesamiento y comercialización del producto en todo el mundo. (Brenes, 2016)

En esta lista actualizada se muestra de mayor a menor, los 10 principales países productores de café en el mundo. (Posada, 2018)

1. Brasil
2. Vietnam
3. Colombia
4. Indonesia
5. Honduras
6. Etiopía
7. India
8. Uganda
9. México
10. Perú

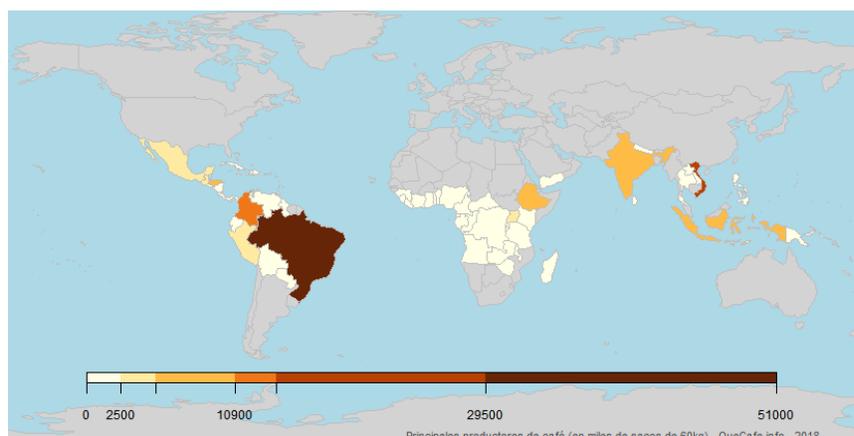


Ilustración 1: Producción total de café (miles de sacos de 60kg). Cosecha 2017-18.

Fuente: (Posada, 2018)

Como se puede observar en la ilustración 1 cinco de los diez países que más producen café en el mundo son latinoamericanos, siendo esta la región que más desarrollo presentan en este rubro y por lo tanto los que más necesidad de innovación requieren para realizar los procesos relacionados con la producción del café.

3.2 RUBRO DEL CAFÉ EN HONDURAS

La industria cafetalera de Honduras inició a mediados del siglo XX, constituyéndose, desde entonces, en la actividad de mayor importancia económica y social del país. Actualmente, el café representa el principal producto de exportación y la mayor fuente de divisas, obteniendo un valor de US\$ 986 millones en el año 2015, ocupando el 6to lugar de exportación a nivel mundial en café. El cultivo del café en honduras se inició en la primera década del siglo XIX. En aquel tiempo, el café que se producía se destinaba al autoconsumo. (Lauff, 2018)

En Honduras se produce en un 100% la variedad de café arábica y está prohibido por ley el cultivo de la variedad de café de baja calidad llamada café robusto. En la actualidad, Honduras también se destaca por su Café Gourmet con características de calidad y sabor diferenciadas. (Lauff, 2018)

En Honduras el 95% de la caficultura está en manos de pequeños productores, son más de 100,000 familias las que viven del café. El área de siembre es de 280,000 hectáreas. Las variedades de café que se cultivan en el país son: Típica, Borbón, Catuai, Parainema y Lempira, las cuales ascienden a una producción anual de 4.9

millones de sacos de 46 kg. Los principales compradores del café hondureño son los países de: Alemania, Estados Unidos, Bélgica, Francia, Italia y Japón. (Lauff, 2018)



Ilustración 2: Producción Nacional de Café 2015

Fuente: (Carranza, 2015)

3.3 PROCESOS EN LA PRODUCCIÓN DEL CAFÉ

3.3.1 PRIMERA ETAPA: LA PLANTACIÓN

La plantación es la primera etapa del proceso de producción del café. En ella, se da inicio a un ciclo natural que verá crecer a las semillas hasta convertirse en plantas que pueden alcanzar los 10 metros de altura. La forma del sembrado y del manejo del cultivo son elementos fundamentales para la calidad del grano. (Sierra, 2019)

3.3.2 SEGUNDA ETAPA: LA COSECHA

La cosecha se produce anualmente cuando las cerezas de café están maduras. Existen dos métodos distintos para realizar la cosecha: *picking* y *stripping*. Mediante el *picking*, las cerezas más maduras se seleccionan y recogen manualmente, lo que produce una cosecha homogénea y de calidad. El *stripping* es un proceso mecanizado en la mayoría de ocasiones,

en el que se recogen todas las cerezas a la vez, por lo que se suele realizar posteriormente una comprobación para seleccionar más detalladamente las cerezas. (Sierra, 2019)

3.3.3 TERCERA ETAPA: EL PROCESAMIENTO

En el procesamiento se elimina la pulpa de la cereza de café y se seca para transformar el café recolectado en café listo para las etapas venideras. Se puede hacer mediante el método húmedo o el método seco. Según el método seleccionado, el sabor del café obtendrá unas características en su sabor u otras. (Sierra, 2019)

3.3.4 CUARTA ETAPA: EL CURADO

“El curado se materializa antes de su exportación. Su función principal es eliminar la cascara que recubre al grano para clasificarlo según su calidad, forma y tamaño.” (Sierra, 2019)

3.3.5 QUINTA ETAPA: CATA DEL CAFÉ

“La degustación se lleva a cabo en distintos momentos del proceso y de formas muy distintas. Su objetivo es analizar su calidad y sabor.” (Sierra, 2019)

3.3.6 SEXTA ETAPA: EL TUESTE

En el tueste, el café obtiene su sabor y aroma más característico. El grano es sometido a altas temperaturas que alcanzan los 200°, por consiguiente, aumenta en un 80-100% su tamaño, pierde entre un 12-20% de peso, disminuye su cafeína, y finalmente adquiere su color característico. (Sierra, 2019)

3.3.7 SÉPTIMA ETAPA: EL MOLIDO

El molido reduce el grano a polvo mediante el uso de un molino. (Sierra, 2019)

3.4 RESIDUOS ORGÁNICOS EN LA PRODUCCIÓN DE CAFÉ

En el proceso del café se estima que menos del 5% de la biomasa generada se aprovecha en la elaboración de la bebida, el resto queda en forma residual representado en materiales lignocelulósicos como hojas, ramas y tallos, generados en el proceso de renovación de los cafetales; frutos verdes que se caen durante la recolección o que se retiran de la masa de café recolectado; pulpa o exocarpio del fruto, que representa aproximadamente el 44% del fruto fresco; y la borra o ripio, que se genera en las fábricas de producción de café soluble y cuando se prepara la bebida a partir del grano tostado y molido, que representa cerca del 10% del peso del fruto fresco y con un contenido de aceite entre el 10% y el 15% en base seca. (Valencia & Zambrano, 2010)

Tabla 1: Residuos orgánicos obtenidos a partir de 1000 g de café cereza

Proceso	Residuo obtenido	Pérdida (en gramos)
Despulpado	Pulpa fresca	436
Desmucilaginado	Mucilago	149
Secado	Agua	171
Trilla	Pergamino	42
	Película plateada	
Torrefacción	Volátiles	22
Preparación bebida	Borra	104
Pérdida acumulada		924

Fuente: (Valencia & Zambrano, 2010)

3.4.1 PULPA DE CAFÉ

Es el primer producto que se obtiene en el procesamiento del fruto de café, y representa, en base húmeda, alrededor del 43,58% del peso del fruto fresco. El promedio de la producción de pulpa es de 2,25 t/ha-año. Por cada millón de sacos de 60 kg de café almendra que Colombia exporta, se generan 162.900 t de pulpa fresca, que si no se utilizan adecuadamente

producirían una contaminación equivalente a la generada durante un año, en excretas y orina, por una población de 868.736 habitantes. (Valencia & Zambrano, 2010)

3.4.2 MUCÍLAGO DE CAFÉ

El mucílago se genera en la etapa del desmucilaginado, y en base húmeda, representa alrededor del 14,85% del peso del fruto fresco. En términos de volumen, por cada kilogramo de café cereza sin seleccionar se producen 91 ml de mucílago fermentado. Su producción media es de 768 kg/ ha-año. Por cada millón de sacos de 60 kg de café que Colombia exporta, se generan aproximadamente 55.500 t de mucílago fresco, que si no se utilizan adecuadamente producirían una contaminación equivalente a la generada en un año, en excretas y orina, por una población de 310.000 habitantes.

(Valencia & Zambrano, 2010)

3.4.3 CISCO DE CAFÉ

“El endocarpio del fruto, constituido por la cascarilla (cisco) y la película plateada, es otro subproducto con excelentes propiedades combustibles.” (Valencia & Zambrano, 2010)

3.4.4 BORRA DE CAFÉ

“Residuo que se genera en las fábricas de café soluble y corresponde a la fracción insoluble del grano tostado. Representa cerca del 10% del peso del fruto fresco.”

(Valencia & Zambrano, 2010)

3.4.5 TALLOS DE CAFÉ

Los tallos de café, provenientes de la práctica de soqueó, son utilizados por los productores para la cocción de alimentos y el secado del grano, contribuyendo a la

conservación del bosque nativo, lo cual tiene una influencia directa en beneficio del ciclo hidrológico y en la regulación del calentamiento global. (Valencia & Zambrano, 2010)

3.4.6 RIPIOS

Son residuos del proceso de trilla y están constituidos por granos imperfectos, almendras partidas y frutos pequeños, y tienen la misma composición química del grano. La bebida preparada a partir de los ripios es de baja calidad. (Valencia & Zambrano, 2010)

Tabla 2: Poder calorífico de los residuos del café

Subproducto	Poder calorífico	Producción	Referencia
Pulpa	15,88 MJ/kg pulpa seca. Combustible sólido (Pulpa seca)	2.258 kg/ha-año (28)	Porres <i>et al.</i> (23)
	0,54 MJ/kg pulpa fresca. Combustible gaseoso (Biogás)		Adaptado de Arcila (2)
	0,53 MJ/kg pulpa fresca. Combustible líquido (Bioetanol)		Rodríguez (27, 28)
Mucílago	2,00 MJ/kg mucílago fresco. Combustible gaseoso (Biogás)	768 kg/ha-año (28)	Adaptado de Zambrano (34)
	1,23 MJ/kg mucílago fresco. Combustible líquido (Bioetanol)		Rodríguez (27, 28)
Cisco	17,90MJ/kg. Combustible sólido	227 kg/ha-año (28)	Roa <i>et al.</i> (25)
Borra	29,01 MJ/kg borra seca. Combustible sólido	22.300 t/año (1)	Federacafé (13)
	5,90 MJ/kg borra seca. Combustible gaseoso (Biogás)		Adaptado de Kostenberg <i>et al.</i> (16)
	4,38 MJ/kg borra seca. Combustible líquido (Bioetanol)		Adaptado de Agudelo (1)
	5,76 MJ/kg borra seca. Combustible líquido (Biodiésel)		Adaptado de Kondamudi <i>et al.</i> (15)
Ripios	15,60 MJ/kg ripio. Combustible sólido	Sin datos	Rodríguez (27, 28)
	3,46 MJ/kg ripio. Combustible líquido (Biodiésel)		Adaptado de Oliveira <i>et al.</i> (20)
Tallos	19,75 MJ/kg tallo seco. Combustible sólido	3.200 kg/ha-año (28)	Roa (24)

Fuente: (Valencia & Zambrano, 2010)

3.5 GENERACIÓN DE ENERGÍA LIMPIA A PARTIR DE LOS RESIDUOS DE LA PRODUCCION DE CAFÉ

El proyecto *Energy from Coffee Wastewater* de *UTZ Certified*, consultora especializada en la certificación de procesos agrícolas sostenibles, ha demostrado que es posible generar energía y proteger los recursos hídricos mediante el tratamiento de los residuos procedentes de las plantaciones de café. Esta iniciativa surgió en 2010, con el objetivo de reducir el impacto ambiental y sobre la salud causado por las aguas residuales generadas por la industria cafetera. (Cáceres, 2014)

Así, se instalaron sistemas a medida para el tratamiento de aguas residuales y de residuos sólidos en diversas plantaciones de café de Nicaragua, Honduras y Guatemala. El resultado positivo de este proyecto, tanto a nivel medioambiental como económico –se han beneficiado de él más de 5.000 personas, ha llevado a *UTZ Certified* a replicar esta iniciativa en otros países. (Cáceres, 2014)

América Latina produce alrededor del 70% del café que se consume en todo el mundo, y cuenta también con el 31% de las reservas de agua potable. La producción de café genera una gran cantidad de aguas residuales que habitualmente son vertidas a los ríos sin un tratamiento previo, lo que afecta a la fauna y flora acuática, así como a las comunidades que habitan aguas abajo. Además, las aguas residuales de la industria cafetera incluyen toneladas de residuos orgánicos y de alta toxicidad que afectan el suelo y generan cantidades considerables de emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente metano, contribuyendo fuertemente al cambio climático. (Cáceres, 2014)

El proyecto para generar energía a partir de estos residuos se ha implementado en granjas de diferente tamaño. Entre los beneficios obtenidos con este proyecto se incluye la prevención de la deforestación de árboles autóctonos o la mejora en la calidad de vida de las familias, que sustituyen las cocinas de leña por otras de gas (obtenido de la valorización energética de los residuos de café).

Otros resultados de la iniciativa son:

- Tratamiento de prácticamente toda el agua usada en el procesamiento de café.
- Reducción del 50% del agua usada en dicho proceso.
- Generación de una importante cantidad de biogás para ser usado en los hogares y las granjas.
- Prevención de la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

La producción de café solo es medioambientalmente sostenible cuando el agua se usa de forma eficiente y las aguas residuales generadas en el proceso son tratadas. Los ecosistemas locales no tienen la capacidad de limpiar esta gran cantidad de fluidos contaminantes. Las comunidades rurales y la producción de café dependen intrínsecamente del suministro de agua limpia. Así que, si queremos hablar de café producido de forma sostenible, las aguas residuales deben ser tratadas antes de liberarlas al medio ambiente. Actualmente, la empresa está introduciendo esta tecnología en Perú y Brasil, y en el futuro sus responsables esperan que la iniciativa se pueda replicar en África y Asia. (Cáceres, 2014)

3.6 UTILIZACIÓN DE LA CASULLA (CISCO) DE CAFÉ PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LATINOAMÉRICA

Latinoamérica es la zona con mayor concentración de países productores de café a nivel mundial, países como Colombia, Brasil y Honduras llevan ejerciendo este rubro desde hace más de 100 años, el cual representa un gran porcentaje de sus exportaciones y posee una notable importancia en su economía local. Sin embargo, esta dependencia en la producción de café exige en estos tiempos mejoras continuas que ayuden a disminuir las cargas asociadas a la producción en los diferentes beneficios distribuidos por toda la región, aspectos como eficiencia energética, ahorro de combustible, disminución de las emisiones de GEI son los que cada día más representan un requisito para la operación de los beneficios de café.

Por tal razón es necesario aplicar los conocimientos relacionados a la innovación energética, campo que se ha estado desarrollando en los últimos 20 años por toda Latinoamérica siendo Colombia y Perú pioneros desarrollando investigaciones que permitan utilizar los residuos orgánicos de la producción de café como una alternativa energética que permita desarrollar todos los campos necesarios para poner a la vanguardia la producción de café y disminuir en lo máximo posible las cargas asociadas.

Tanto en Colombia como en Perú el método que utilizan para la generación de energía eléctrica con casulla de café es mediante un sistema de gasificación para la producción del combustible gaseoso y la generación de energía eléctrica.

Proceso que se mostrará en la ilustración siguiente:

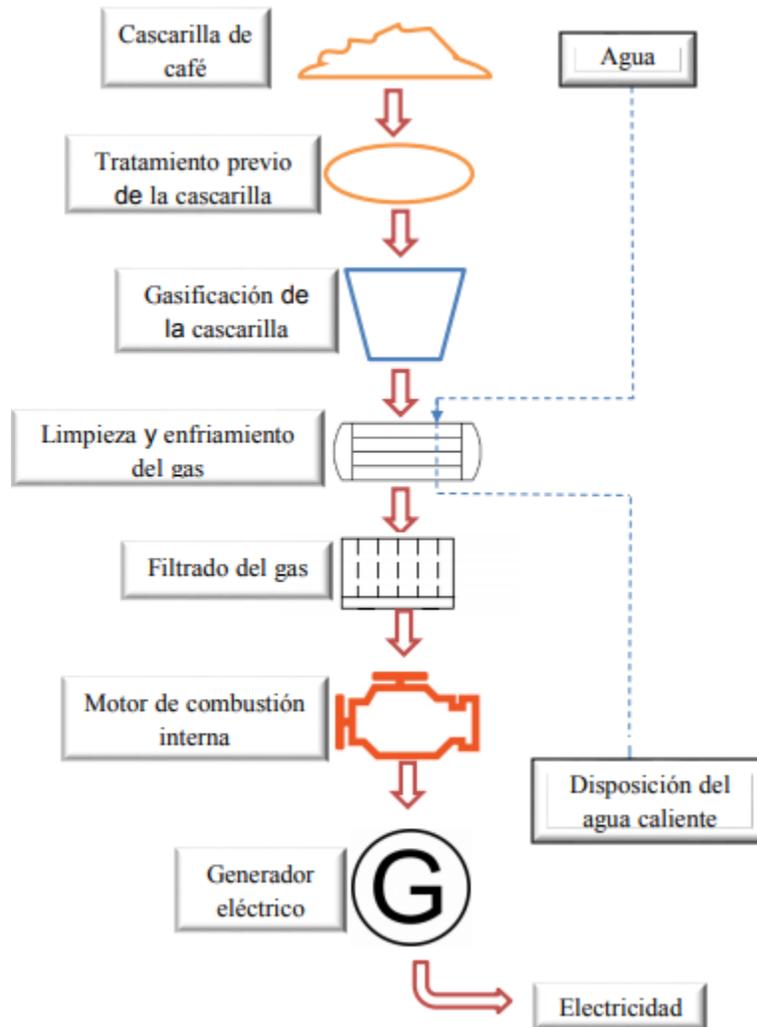


Ilustración 3: Proceso de Generación de Energía Eléctrica con Gasificador

Fuente: (Pérez, 2019)

El proceso está sustentado por diferentes proveedores a nivel mundial de equipos de gasificación CHP que cada vez más ofrecen nuevas tecnologías que se adapte a las necesidades energéticas de cada uno de los beneficios que deseen implementar un sistema de este estilo. A continuación, se muestran dos de los proveedores de mayor importancia:

- BIOMAX 25: Este equipo es fabricado por “Community Power Corporation” un fabricante de tecnología para el aprovechamiento de la biomasa localizado en Littleton Colorado. Este gasificador está en capacidad de producir hasta 25kW de potencia con una alimentación de biomasa con alto contenido de celulosa (superior al 40%) de 22kg por hora. (Arenas, 2009)



Ilustración 4: Sistema de Gasificación BIOMAX 25

Fuente: (Arenas, 2009)

- FGB 20: Este es un equipo fabricado por *Ankur Scientific Energy Technologies*, compañía establecida en la India. Este gasificador está en capacidad de producir cerca de 20 kW de potencia aprovechable en la generación de energía eléctrica, con un consumo de biomasa aproximado de 20 kg por hora. (Arenas, 2009)



Ilustración 5: Sistema de Gasificación FGB 20

Fuente: (Arenas, 2009)

La selección de estas tecnologías obedece a las experiencias exitosas de uso de las mismas en diferentes proyectos alrededor mundial:

En Filipinas se ha patrocinado el desarrollo de pequeñas empresas basadas en el uso de la biomasa. Un equipo generador de energía desarrollado por CPC (*Comutity Power Corporation*), fue instalado en la aldea de Alaminos en las Filipinas, con el patrocinio del Departamento de Energía de los Estados Unidos, *Shell Renewables* y el Programa de Energía Sostenible del país. El sistema es un pequeño reactor de Biopotencial" llamado BioMax y produce 15kW de potencia. El Biomax consume residuos del coco. El coco es usa dopara la industria local de artesanías y en la agricultura local, a su vez, y gracias al proyecto, está potenciando su crecimiento. El interés principal del sistema ha sido su capacidad de, paulatinamente, aliviar la pobreza de la región y crear riqueza e ingresos a sus pobladores. (Arenas, 2009)

En la India la empresa *Husk Power Systems*, a través del desarrollo de la tecnología de gasificación FGB de *Ankur Scientific Energy*, tecnología para transformar de forma eficiente en costos, la cascarilla del arroz en energía eléctrica, ha logrado llevar la electricidad a miles de familias en el cinturón arrocero de la India. La producción de esta energía se hace de forma sostenible, aprovechando las toneladas de desperdicios de la industria arrocera y de

forma ambientalmente amigable produciendo la energía a partir de la biomasa. La organización usa „mini plantas“ de entre 35 kW y 100 kW para llevar energía a pequeñas aldeas de entre 2000 y 4000 personas. Finalmente es conveniente señalar que la principal diferencia entre ambos equipos, radica en el tipo de control, siendo el gasificador de *Community Power Corporation*, controlado a través de un dispositivo automático. (Arenas, 2009)

3.6 PROPIEDADES DE LA CASULLA DEL CAFÉ

El pergamino de café o cascarilla es la parte que envuelve el grano inmediatamente después de la capa mucilaginosa y representa alrededor de 12% del grano. Esta cascarilla constituye una excelente fuente de celulosa, y lignina, pentosanos, sílice y cenizas, así como otros compuestos en menor proporción. En los países productores de café, los residuos y subproductos del café constituyen una fuente de grave contaminación y problemas ambientales. Por ese motivo, desde mediados del siglo pasado se ha tratado de buscar métodos sobre cómo utilizarlos como materia prima para la producción de bebidas, vinagre, biogás, cafeína, pectina, proteína y abono. (Silvia & Cristel, 2019)



Ilustración 6: Casulla de café

Fuente: (Posada, 2018)

Tabla 3: Composición de la casulla de café
Composición de la Cascarilla de Café

Componentes	% (peso en base seca)
Carbohidratos	57.8
Proteínas	9.2
Grasas	2
Cafeína	1.3
Taninos	4.5
Pectinas	12.4

Fuente: (Arenas, 2009)

En la tabla número 3 se puede observar que más de la mitad de la composición química de la casulla de café está compuesta por carbohidratos que son moléculas orgánicas compuestas por carbono, hidrógeno y oxígeno tres elementos esenciales para la realización de una excelente combustión, convirtiendo la casulla de café en un excepcional combustible orgánico.

Tabla 4: Propiedades físicas y químicas de la casulla de café

PROPIEDADES FÍSICAS	PROPIEDADES QUÍMICAS
Densidad a 26°C 1,323 g/cm ³ Densidad bruta 0,323 g/ cm ³ Calor de combustión 4500 cal/ °C g	Humedad 11,45 % Lignina 41,86 % Cenizas 0,95 % Grasas 5,83 % Pentosas 25,5%

Fuente: (Barón, 2014)

En la tabla número 4 se puede observar las excelentes propiedades físicas y químicas de la casulla del café, un calor de combustión que se define como como la cantidad de calor que cede la unidad de masa del cuerpo al quemarse totalmente y una baja humedad que permitiría una combustión rápida y por ende una cantidad notable de calor disponible.

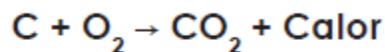
3.7 COMBUSTIÓN

3.7.1 DEFINICIÓN DE COMBUSTIÓN

La Combustión es el conjunto de procesos físico-químicos en los que un elemento combustible se combina con otro elemento comburente (generalmente oxígeno en forma de O₂ gaseoso), desprendiendo luz, calor y productos químicos resultantes de la reacción (oxidación). Como consecuencia de la reacción de combustión se tiene la formación de una llama. Dicha llama es una masa gaseosa incandescente que emite luz y calor. (Domínguez, 2012)

Las reacciones básicas de combustión corresponden a las reacciones de oxidación del carbono (C) y del hidrógeno (H) mediante oxígeno que puede aportarse en forma pura (oxicombustión) o mediante el aporte de aire que lo contiene en una proporción media del 21%. (Domínguez, 2012) Estas reacciones son:

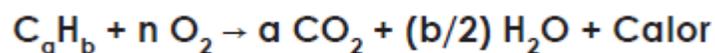
Ecuación 1: Combustión del Carbono (C) e Hidrogeno (H)



Fuente: (Domínguez, 2012)

Pero estos dos componentes químicos no se encuentran habitualmente en estado puro para actuar como combustibles (salvo el carbono en el carbón de origen fósil). Los combustibles tienen una composición general que se puede expresar como C_aH_b y cuya reacción de combustión es:

Ecuación 2: Combustión típica de combustibles



Fuente: (Domínguez, 2012)

La combustión no es realmente una única reacción química, sino que se pueden distinguir tres fases en la reacción de combustión:

1. **Fase de procreación (formación de radicales):** el combustible se descompone dando lugar a la formación de *radicales*, que son unos compuestos intermedios inestables y muy activos, para que, de este modo, el carbono y el hidrógeno puedan reaccionar con el oxígeno. Estos radicales son del tipo H^+ , CO^- , CH_3^+ (en el caso del metano), OH^- , O^- .
2. **Fase de oxidación:** en esta fase se produce la combinación entre radicales y el oxígeno de un modo exotérmico. Es cuando tiene lugar la propagación de la llama.
3. **Fase de terminación:** en esta fase se forman los compuestos estables finales. El conjunto de estos compuestos es lo que se denominan "*gases de combustión*". (Domínguez, 2012)

"Aun existiendo en el conjunto de estas reacciones algunas endotérmicas y otras exotérmicas, el balance global es netamente exotérmico." (Domínguez, 2012)

3.7.2 TRIANGULO DE COMBUSTIÓN

"Para que se produzca la combustión, deben encontrarse en el espacio y en el tiempo tres elementos:

1. Combustible.
2. Comburente.
3. Fuente de ignición." (Domínguez, 2012)

"El combustible y el comburente se deben encontrar en unas proporciones adecuadas, no produciéndose la combustión fuera de esas condiciones." (Domínguez, 2012)

"Adicionalmente, es precisa una fuente de energía que produzca el inicio de la combustión, lo que se denomina fuente de ignición, y que después mantenga esta combustión." (Domínguez, 2012)

"El conjunto de estos tres elementos es lo que se denomina triángulo de combustión, o triángulo del fuego, del cual se puede concluir que para mantenerla combustión deben estar presentes todos los elementos." (Domínguez, 2012)

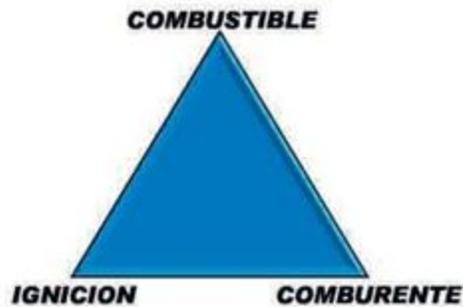


Ilustración 7: Triángulo de la combustión

Fuente: (Domínguez, 2012)

3.7.3 TIPOS DE COMBUSTIÓN

- **Combustión completa:** es aquella reacción en la que el combustible se quema hasta el máximo grado posible de oxidación. En consecuencia, no habrá sustancias combustibles en los humos. En los productos de la combustión se puede encontrar N_2 , CO_2 , H_2O y SO_2 . (Domínguez, 2012)
- **Combustión incompleta:** es aquella reacción en la que el combustible no se oxida completamente. Se forman sustancias, denominadas inquemados, que todavía pueden seguir oxidándose, por ejemplo, CO. Otros inquemados pueden ser H_2 , C_AH_M , H_2O y C. Estas sustancias son los contaminantes más comunes que escapan a la atmósfera en los gases de combustión. (Domínguez, 2012)
- **Combustión teórica o estequiométrica:** es la combustión realizada con la cantidad teórica de oxígeno estrictamente necesaria para producir la oxidación total del combustible sin que se produzcan inquemados. En consecuencia, no se encuentra O_2 en los humos, ya que el O_2 aportado a la combustión se consume completamente en la misma. (Domínguez, 2012)
- **Combustión con exceso de aire:** es la combustión que se lleva a cabo con una cantidad de aire superior a la estequiométrica. Esta combustión tiende a no producir inquemados y es típica la presencia de O_2 en los humos. Si bien la incorporación de aire permite evitar la combustión incompleta y la formación de inquemados, trae aparejada la pérdida de

calor en los productos de combustión, reduciendo la temperatura de combustión, la eficiencia y la longitud de llama. (Domínguez, 2012)

- **Combustión con defecto de aire:** en esta combustión, el aire disponible es menor que el necesario para que se produzca la oxidación total del combustible. Por lo tanto, se producen inquemados. (Domínguez, 2012)

3.7.4 CICLO TERMODINÁMICO (RANKINE)

El ciclo Rankine es un ciclo que opera con vapor, y es el que se utiliza en las centrales termoeléctricas. Consiste en calentar agua en una caldera hasta evaporarla y elevar la presión del vapor. Éste será llevado a una turbina donde produce energía cinética a costa de perder presión. Su camino continúa al seguir hacia un condensador donde lo que queda de vapor pasa a estado líquido para poder entrar a una bomba que le subirá la presión para nuevamente poder introducirlo a la caldera. (Peña, 2010)

Los diagramas p-V en los que interviene un líquido que se vaporiza tienen una diferencia respecto a los de gas: aparece la llamada campana de cambio de fase. (Peña, 2010)

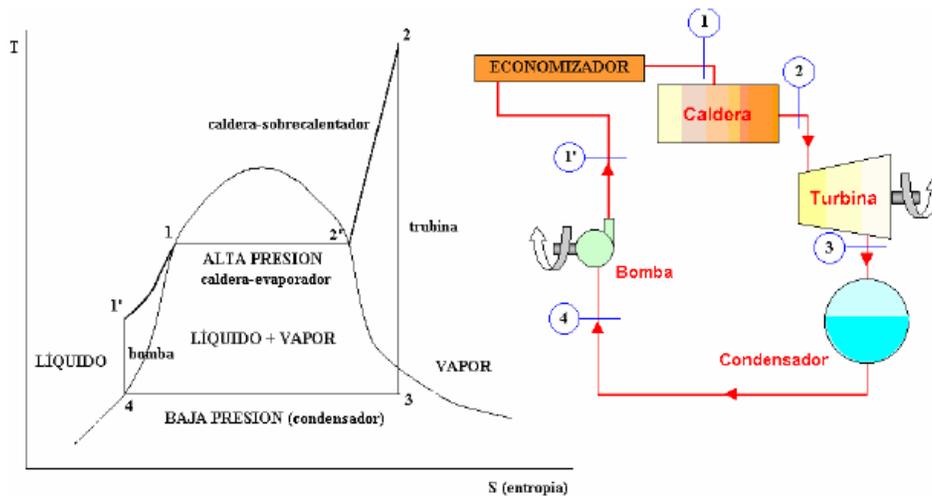


Ilustración 8: Etapas del ciclo Rankine

Fuente: (Peña, 2010)

“En el proceso 1-2 se aumenta la presión del líquido sin pérdidas de calor mediante un compresor o bomba, al que se aporta un pequeño trabajo.” (Peña, 2010)

“El proceso 2-3 es una transmisión de calor hacia el fluido de trabajo a presión constante en la caldera. Con este calor se evapora todo el líquido y se calienta el vapor hasta la temperatura máxima.” (Peña, 2010)

“La expansión del proceso 3-4 se realiza de forma adiabática. El vapor realiza un trabajo en la turbina desde la presión de la caldera hasta un valor bajo de presión al cual se transfiere el vapor al condensador.” (Peña, 2010)

“El proceso 4-1 consiste en refrigerar el vapor de trabajo a presión constante en el condensador hasta el estado de líquido, para iniciar de nuevo el ciclo.” (Peña, 2010)

“Mediante estos 4 ciclos se cierra el proceso que sigue el ciclo para la producción de energía.” (Peña, 2010)

3.8 CALDERAS

3.8.1 DEFINICIÓN DE CALDERA

“Una Caldera es un recipiente metálico, cerrado, destinado a producir vapor o calentar agua, mediante la acción del calor a una temperatura superior a la del ambiente y presión mayor que la atmosférica.” (Bahamondes, 2017)

3.8.2 CLASIFICACIÓN PRINCIPAL DE LAS CALDERAS SEGÚN SU DISPOSICIÓN DE FLUIDOS

3.8.2.1 CALDERAS ACUATUBULARES

Son aquellas calderas en las que el fluido de trabajo se desplaza por el interior de tubos durante su calentamiento y los gases de combustión circulan por el exterior de los mismos.

Son de aplicación cuando se requiere una presión de trabajo por encima de los 22 bar.

Por su diseño constructivo, lógicamente tienen un bajo volumen de agua y, por lo tanto, pueden ser clasificadas como clase primera gran número de ellas, de acuerdo con lo

indicado en el Reglamento de Equipos a Presión en su Instrucción Técnica Complementaria ITC EP-1 Capítulo II Artículo 3. (Cid, 2012)

En el caso de calderas de vapor, el título de vapor es muy bajo (0,85), es decir, que el contenido de agua por unidad de masa es muy alto (15%) si no se les añaden subconjuntos secadores del vapor, tales como recalentadores o sobre calentadores. Las exigencias de la calidad del agua de alimentación a estas calderas suelen ser superior al requerido para otro tipo de calderas. Los generadores instantáneos también forman parte de la familia de calderas acuotubulares. (Cid, 2012)

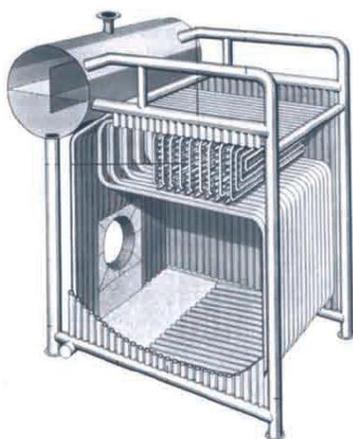


Ilustración 9: Caldera Acuotubular

Fuente: (Cid, 2012)

3.8.2.2 CALDERAS PIROTUBULARES

Son aquellas calderas en las que los gases de la combustión circulan por el interior de los tubos y el líquido se encuentra en un recipiente atravesado por dichos tubos. Son de aplicación principalmente cuando la presión de trabajo es inferior a los 22 bar. (Cid, 2012)

Por su diseño, tienen un gran volumen de agua, por lo que suelen estar la totalidad de las mismas clasificadas en la clase segunda de acuerdo con lo indicado en el Reglamento de Equipos a Presión en su instrucción técnica complementaria ITC EP-1 Capítulo II Artículo 3.

Dicho volumen de agua les permite adaptarse mejor a las variaciones de la instalación que las calderas acuotubulares. (Cid, 2012)

El vapor producido por las misma suele tener un título de vapor cercano al 1, es decir, que el contenido de agua por unidad de masa es bajo (3%), no siendo necesario instalar equipos auxiliares complementarios. Las exigencias de la calidad del agua de alimentación son menores a las requeridas por las calderas acuotubulares. (Cid, 2012)

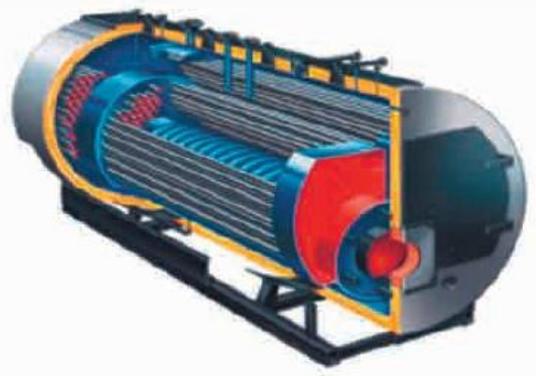


Ilustración 10: Caldera Pirotubular

Fuente: (Cid, 2012)

3.9 TURBINAS DE VAPOR

3.9.1 DEFINICIÓN DE TURBINA DE VAPOR

Se conoce como turbina de vapor a una turbo maquina motora encargada de transformar energía de vapor (por flujo) en energía mecánica. Esta transformación generada por la energía de vapor ocurre a través de un intercambio de la cantidad de movimiento entre el vapor y el rodete de la turbina, entendemos que el rodete viene siendo el órgano principal de la misma. El rodete cuenta con unas palas especiales de forma particular que son precisas para hacer el trabajo de intercambio energético. Como ya mencionamos, dentro de la turbina se transforma la energía interna del vapor en energía mecánica. Esta se transmite a un generador, que termina produciendo electricidad. (Saenz, 2019)

Podríamos dividir la turbina en dos partes bastante distintivas, como lo son: el rotor y el estator. El rotor está formado por ruedas unidas al eje, que forman la parte móvil de la turbina de vapor. El estator también está formado por ruedas, pero estas están particularmente unidas a la carcasa de la turbina. (Saenz, 2019)



Ilustración 11: Turbina de Vapor

Fuente: RENOVETEC

3.9.2 CLASIFICACION DE LAS TURBINAS DE VAPOR

La turbina de vapor está fabricada en muchos tamaños, por lo que tenemos una variedad. Existen turbinas que van desde 1HP (0.75 kW), y que se utilizan para accionar bombas y otros equipos, y turbinas de 2,000,000 HP (1,500,000 kW) que son utilizadas para generar electricidad. (Saenz, 2019)

Las turbinas de vapor también se clasifican por su grado de reacción, en ese caso tenemos:

1. Turbinas de acción: Son usadas en los álabes directores o las toberas de inyección si se trata de la primera etapa de un conjunto de turbinas. Estos elementos siempre se encuentran sujetos al estator.

En el paso del vapor por el rotor la presión se mantendrá constante y encontraremos una notable reducción de la velocidad. (Saenz, 2019)

2. Turbinas de reacción: En ellas, el vapor puede realizarse tanto en el rotor como en el estator, cuando este salto ocurre únicamente en el rotor la turbina es conocida por el nombre de reacción pura neta. (Saenz, 2019)

3.9.3 FUNCIONAMIENTO DE UNA TURBINA DE VAPOR

Dentro de la turbina de vapor se encuentran unos tubos llamados toberas, el vapor que es generado en estos va llegando hasta la parte de la turbina que golpea las paletas. Al ser golpeadas las paletas, se gira la turbina y su eje. Al eje de las turbinas se les conoce por el nombre de rotor. Existe también una fila de paletas dentro de la turbina que tiene por nombre carrete. (Saenz, 2019)

En el mismo momento que el vapor escapa o sale de la turbina, este pierde su fuerza, además de parte de su calor. Aun así, el vapor que vaya quedando a la salida se aprovecha gradualmente convirtiéndose en líquido. Así se transforma de gas a líquido. (Saenz, 2019)

Este líquido es aprovechado llevándose de vuelta a la caldera de la turbina, se calienta y se vuelve a usar. De esta forma se repite el proceso vez tras vez. El vapor de la turbina de vapor se condensa en algo llamado condensador, que no es más que tubos con agua fría. en este caso, el vapor entra a la turbina y al tener contacto con el agua fría llega a condensarse. Pero al estar anteriormente en temperaturas tan calientes, este vapor condensado se vuelve líquido caliente, y llega así a la caldera, eso hace que sea mucho más sencillo y que se gaste menos energía. (Saenz, 2019)

“Las turbinas en su funcionamiento a veces necesitan mejorar su rendimiento, para esto suelen colocarse en su eje dos o tres turbinas más, el vapor golpea una a una las turbinas hasta que logra salir.” (Saenz, 2019)

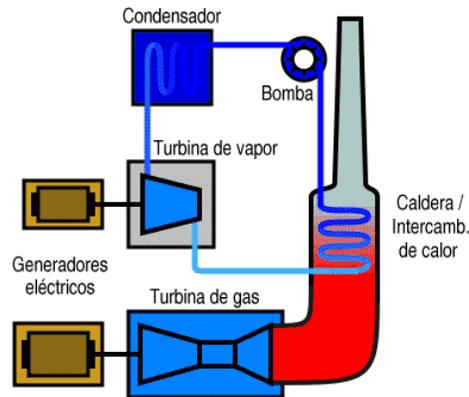


Ilustración 12: Funcionamiento de una turbina de vapor

Fuente: (Saenz, 2019)

3.10 GENERADOR ELÉCTRICO

“Un generador eléctrico es una máquina rotativa capaz de producir energía eléctrica mediante la transformación de energía mecánica.” (Perayá, 2019)

“Habitualmente, este tipo de equipos produce energía eléctrica a partir de energías de otra naturaleza, como puede ser la hidráulica, eólica, vapor, aire comprimido, nuclear, etc.” (Perayá, 2019)

“Según se desprende de la ley de Faraday, cuando hacemos girar una bobina en el interior de un campo magnético, se produce una variación del flujo de dicho campo, generando una corriente eléctrica.” (Perayá, 2019)

El generador eléctrico se compone de tres partes fundamentales:

- Rotor: Es la parte en movimiento accionada por el motor.
- Estator: Es la carcasa en cuya interior gira el rotor.
- Motor de accionamiento: En función del tipo de energía que se utilice para generar el movimiento, su diseño es diferente. Por ejemplo, puede ser una turbina si se emplea agua o vapor, o un motor de combustión si se usa gasoil o gas. (Perayá, 2019)

Los generadores eléctricos se pueden dividir en dos grupos:

- Alternadores, que generan electricidad en corriente alterna. El elemento inductor es el rotor y el inducido el estator. Ejemplo: un grupo electrógeno.
- Dinamos, que generan electricidad en corriente continua. El elemento inductor es el estator y el inducido el rotor. Ejemplo: la dinamo de una bicicleta. (Perayá, 2019)

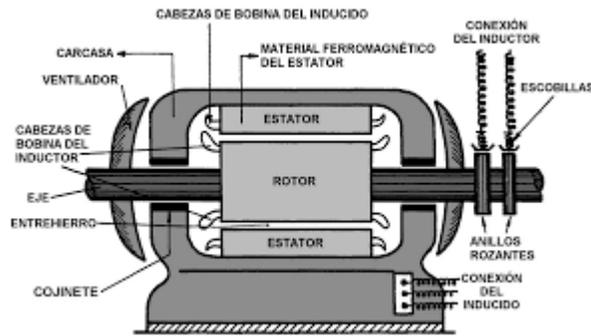


Ilustración 13: Generador Eléctrico

Fuente: (PartesDel.com, 2020)

3.11 TURBOGENERADOR

3.11.1 DEFINICIÓN DE TURBOGENERADOR

Es un Equipo utilizado para la generación de energía eléctrica. El término Turbo se aplica en su nombre porque es impulsado por una turbina y el término generador por que el dispositivo impulsado por la turbina, es llamado generador (generador eléctrico), también se le llama grupo turbina a vapor alternador En el generador, se aprovecha la energía mecánica que entrega la turbina en forma de giro, para convertirla en energía eléctrica por el principio de generación de electricidad de electromagnetismo. En el turbogenerador también se encuentran integrados algunos sistemas auxiliares y complementarios tales como sistema de enfriamiento, sistema de lubricación, sistema de mediciones, tablero del turbogenerador, cada uno de los cuales veremos de manera particular. (Strahdez, 2008)



Ilustración 14: Turbogenerador WEG

Fuente: WEG

3.12 CENTRALES DE BIOMASA

3.12.1 ¿QUÉ ES UNA CENTRAL DE BIOMASA?

Es una instalación industrial diseñada para generar energía eléctrica a partir de recursos biológicos. Así pues, las centrales de biomasa utilizan fuentes renovables para la producción de energía eléctrica. (Quiñones, 2013)

3.12.2 FUNCIONAMIENTO DE UNA CENTRAL DE BIOMASA

El combustible principal de la instalación y los residuos forestales se almacenan en la central. Allí, si fuera necesario, se tratan para reducir su tamaño. Toda esta materia prima pasa después a un edificio de preparación del combustible, donde se clasifica en función de su tamaño y finalmente es almacenado. Cuando el combustible es conducido a la caldera para su combustión, el agua de las tuberías de la caldera se convierte en vapor debido al calor. El agua que circula por las tuberías de la caldera proviene del tanque de alimentación. Allí se precalienta mediante el intercambio de calor con los gases de combustión, aún más lentos, que salen de la propia caldera. (Quiñones, 2013)

Del mismo modo que se hace en otras centrales térmicas convencionales, el vapor generado en la caldera va hacia la turbina de vapor que está unida al generador eléctrico donde se produce la energía eléctrica que se transportará a través de las líneas correspondientes. El vapor de agua se convierte en líquido en el condensador y desde aquí es nuevamente enviado al tanque de alimentación cerrándose así el circuito principal agua-vapor de la central. (Quiñones, 2013)

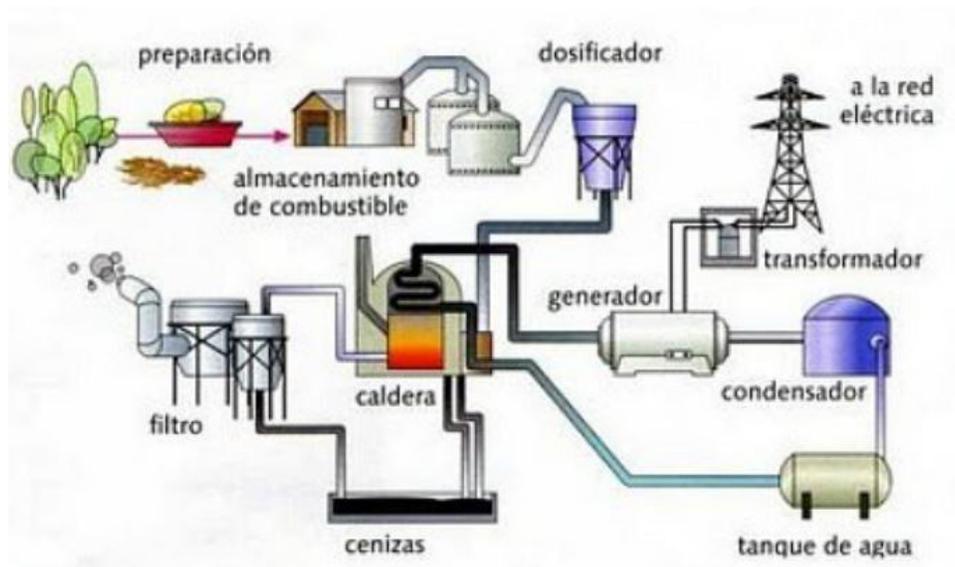


Ilustración 15: Esquema de una central de biomasa

Fuente: (Quiñones, 2013)

3.12.3 IMPACTO AMBIENTAL DE UNA CENTRAL DE BIOMASA

La biomasa es la única fuente de energía que aporta un balance de CO₂ favorable, siempre y cuando la obtención de la biomasa se realice de una forma renovable y sostenible. Esto ocurre cuando el consumo del recurso se hace más lentamente que la capacidad de la Tierra para regenerarse. De esta manera, la materia orgánica es capaz de retener durante su crecimiento más CO₂ del que libera en su combustión, sin incrementar la concentración de CO₂. (Quiñones, 2013)

Aunque el potencial energético existente en el planeta sería suficiente para cubrir todas las necesidades energéticas, esta no se puede utilizar en su totalidad, ya que exigiría el aprovechamiento a gran escala de los recursos forestales. Esto haría imposible mantener el consumo por debajo de la capacidad de regeneración, lo cual reduciría muy considerablemente la energía neta resultante y conduciría a un agotamiento de dichos recursos a la vez que daría lugar a efectos medioambientales negativos. Los efectos producidos serían tales como la deforestación y el aumento notable de emisiones de CO₂, lo que implicaría una contribución al cambio climático. (Quiñones, 2013)

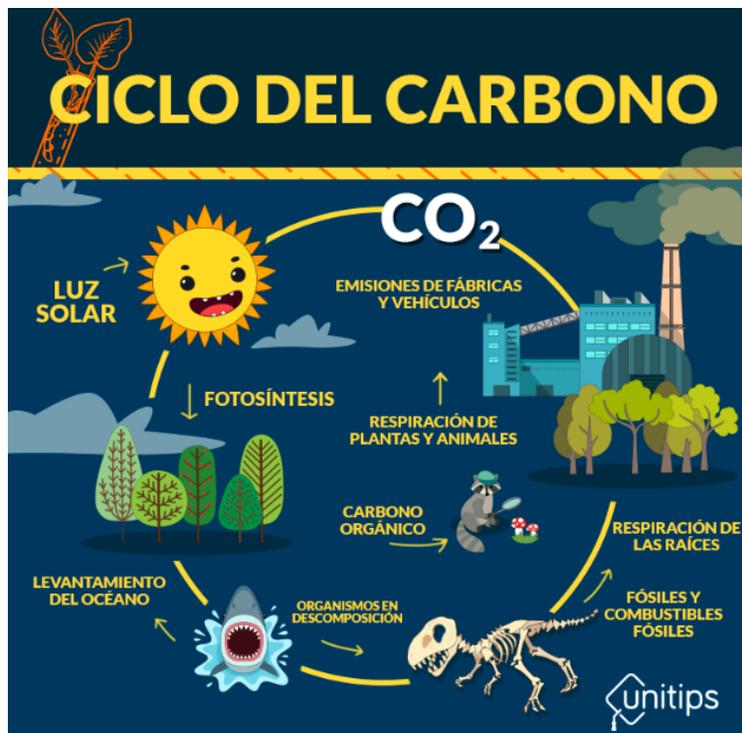


Ilustración 16: Ciclo natural del carbono

Fuente: (Gúzman, 2018)

Como se puede observar en la ilustración 15 el proceso del ciclo del carbono es un fenómeno natural que se ha dado desde hace millones de años en el planeta tierra, el uso de biomasa de manera planificada y eficiente como recurso energético primario para la generación de energía no afecta este ciclo natural ya que permite que los seres vivos, las mismas plantas de las que se obtiene la biomasa absorban una cantidad mayor de CO_2 que la desprendida en el proceso de la combustión por ejemplo el uso del bagazo en los ingenios azucareros para la generación de energía.

3.13 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA UTILIZANDO BIOMASA

El sistema de generación de energía eléctrica con casulla de café requiere una serie de cálculos previos para la toma de decisiones sobre el dimensionamiento y elección de equipo más adecuado que se debería utilizar, aspecto clave para desarrollar de manera completa el análisis técnico del proyecto.

3.13.1 CÁLCULO DE ENERGÍA ELÉCTRICA ACTIVA GENERADA POR EL GENERADOR DIESEL

Para el cálculo de la energía generada activa al día por el generador diésel se utilizará la siguiente formula:

$$EA [kWh] = PA [kW] * \eta [\%] * Fc [\%] * Fd [\%] * Sp[\%] * T [h]$$

Ecuación 3: Energía activa generada por generador diésel

Fuente: Elaboración Propia

Siendo:

- EA = Energía Generada Total [Dato a calcular]
- PA = Potencia Eléctrica Activa [Dato obtenido de placa]
- η = Eficiencia del generador diésel [Dato obtenido de placa]
- Fc = Factor de Carga [Dato obtenido de placa]
- Fd = Factor de Disponibilidad [Determinado mediante cálculo]

- Sp = Servicios Propios [Dato obtenido de placa]
- T = Tiempo de operación [Dato obtenido de operador]

3.13.1.1 CÁLCULO DE FACTOR DE DISPONIBILIDAD

Para el cálculo del factor de disponibilidad del generador se utilizará la siguiente ecuación:

$$Fd [\%] = \left(1 - \frac{\text{Tiempo de mantenimiento diario [h]}}{\text{Tiempo de operación [h]}}\right) * 100$$

Ecuación 4: Factor de disponibilidad

Fuente: (Fernández, 2016)

Siendo:

- Fd = Factor de disponibilidad [Dato a calcular]
- Tiempo de mantenimiento diario = [Dato obtenido de operador]
- Tiempo de operación = [Dato obtenido de operador]

3.13.2 CÁLCULO DE COSTO NIVELADO DE ELECTRICIDAD UTILIZANDO EL MOTOR DIÉSEL

Para el cálculo del costo nivelado de electricidad utilizando el generador diésel se utilizará la siguiente formula:

$$LCOE \left[\frac{\$}{kWh}\right] = \sum_{i=0}^m \frac{CC_i[\$] + O\&M_i[\$] + FuelCost[\$]}{Energía\ Generada_i [kWh]}$$

Ecuación 5: Costo nivelado de la electricidad generador diésel

Fuente: (Paredes, 2018)

Siendo:

- LCOE = Costo Nivelado de la Electricidad [Dato a calcular]
- CC = Costo de Capital [Dato obtenido de operador]

- O&M = Operación y Mantenimiento [Dato obtenido de operador]
- *Fuel Cost* = Costo de combustible [Determinado mediante cálculo]
- *m* = Años de vida útil del generador [Dato obtenido de placa]
- *i* = Año [Dato general]

3.12.2.1 CÁLCULO DE FUEL COST

Para el cálculo del combustible se han utilizado las ecuaciones siguientes:

3.12.2.1.1 CÁLCULO DEL TIEMPO DE OPERACIÓN ANUAL EXACTO

Para el cálculo del tiempo de operación anual se utilizó la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \textit{Tiempo de operación anual exacto [h]} \\ = \textit{Tiempo de operación total [h]} - (\textit{Tiempo de operación total [h]} * Fd) \end{aligned}$$

Ecuación 6: Tiempo de operación anual exacto

Fuente: Elaboración propia

Siendo:

- Tiempo de operación anual exacto = [Dato a calcular]
- Tiempo de operación total = [Dato obtenido de operador]
- *Fd* = Factor de disponibilidad [Dato obtenido de cálculos]

3.12.2.1.2 CÁLCULO DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE ANUAL

Para el cálculo de combustible de forma anual se utilizó la ecuación siguiente:

$$\begin{aligned} \textit{Combustible Anual [gal]} \\ = \textit{Tiempo de operación anual exacto [h]} * \textit{Consumo de combustible} \left[\frac{\textit{gal}}{\textit{h}} \right] \end{aligned}$$

Ecuación 7: Combustible anual utilizado

Fuente: (Group, 2018)

Siendo:

- Combustible anual = Combustible consumido en un año [Dato a calcular]
- Tiempo de operación anual = [Dato obtenido de cálculos]
- Consumo de combustible = Combustible consumido según factor de carga [Dato obtenido de placa]

3.12.2.1.3 CÁLCULO DE COSTO POR COMBUSTIBLE ANUAL

Para el cálculo del costo por combustible anual se ha utilizado la ecuación siguiente:

Costo por Combustible [\$]

$$= \left(\text{Combustible Anual [gal]} * \text{Precio del galón} \left[\frac{\$}{\text{gal}} \right] \right) + \text{Costo por flete} [\$]$$

Ecuación 8: Costo por combustible anual

Fuente: Elaboración propia

Siendo:

- Costo por combustible = [Dato a calcular]
- Combustible anual = [Dato obtenido de cálculos]
- Precio del galón diésel = [Dato general]
- Costo por flete = [Dato general]

3.13.3 CÁLCULO DE LA POTENCIA ELÉCTRICA ACTIVA REQUERIDA UTILIZANDO CASULLA DE CAFÉ

Para calcular la potencia eléctrica requerida para suministrar el 50% de la energía utilizando la casulla de café se utilizará la siguiente formula:

$$PA [kW] = \frac{EA [kWh]}{\eta [\%] * Fc [\%] * Fd [\%] * Sp [\%] * T [h]}$$

Ecuación 9: Potencia eléctrica requerida utilizando casulla de café

Fuente: Elaboración Propia

Siendo:

- P = Potencia Eléctrica Activa [Dato a calcular]
- EA = 50% de la energía activa generada por el generador diésel [Dato obtenido de cálculos]
- η = Eficiencia de la microturbina de vapor [Dato obtenido de placa]
- Fc = Factor de Carga [Dato de placa]
- Fd = Factor de Disponibilidad [Dato obtenido de cálculos con base ecuación 6]
- Sp = Servicios Propios [Dato de placa]
- T = Tiempo de operación [Dato obtenido de operador]

* La energía corresponde al 50% de la energía correspondiente a la del generador.

3.13.4 CÁLCULO DE COSTO NIVELADO DE ELECTRICIDAD UTILIZANDO CASULLA DE CAFÉ

Para el cálculo del costo nivelado de la electricidad utilizando casulla de café como recurso energético primario se utilizará la formula siguiente:

$$LCOE \left[\frac{\$}{kWh} \right] = \sum_{i=0}^m \frac{CC_i[\$] + O\&M_i[\$]}{Energía\ Generada_i [kWh]}$$

Ecuación 10: Costo nivelado de la electricidad utilizando casulla de café

Fuente: (Paredes, 2018)

Siendo:

- LCOE = Costo Nivelado de la Electricidad [Dato a calcular]
- CC = Costo de Capital [Dato de cálculos de inversión inicial]
- O&M = Operación y Mantenimiento [Dato obtenido de proveedor]
- m = Años de vida útil del generador [Dato obtenido de placa]

- i = Año [Dato general]

* La energía generada corresponde al 50% de la energía correspondiente a la del generador.

3.13.6 CÁLCULO DE POTENCIA DE LA CALDERA

La potencia neta de una caldera corresponde a la potencia calorífica necesaria para evaporar una cantidad de agua en unas condiciones y transformarla en vapor en otras condiciones diferentes de presión y temperatura.

El cálculo de la potencia eléctrica de la caldera se divide en varias secciones en las cuales se utilizarán las ecuaciones descritas a continuación:

3.13.6.1 Determinación de la entalpía de salida del vapor [Hs]

La determinación de la entalpía de salida del vapor en la caldera se determinará mediante valores específicos predeterminados tomados con base en tablas correspondientes a las propiedades físicas del agua con base a la presión del vapor en la entrada en la microturbina.

TABLA A16

Vapor de agua sobrecalentado												
T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K
P = 0.01 MPa (45.81°C)				P = 0.05 MPa (81.32°C)				P = 0.10 MPa (99.61°C)				
Sat.	14.670	2437.2	2583.9	8.1488	3.2403	2483.2	2645.2	7.5931	1.6941	2505.6	2675.0	7.3589
50	14.867	2443.3	2592.0	8.1741								
100	17.196	2515.5	2687.5	8.4489	3.4187	2511.5	2682.4	7.6953	1.6959	2506.2	2675.8	7.3611
150	19.513	2587.9	2783.0	8.6893	3.8897	2585.7	2780.2	7.9413	1.9367	2582.9	2776.6	7.6148
200	21.826	2661.4	2879.6	8.9049	4.3562	2660.0	2877.8	8.1592	2.1724	2658.2	2875.5	7.8356
250	24.136	2736.1	2977.5	9.1015	4.8206	2735.1	2976.2	8.3568	2.4062	2733.9	2974.5	8.0346
300	26.446	2812.3	3076.7	9.2827	5.2841	2811.6	3075.8	8.5387	2.6389	2810.7	3074.5	8.2172
400	31.063	2989.3	3280.0	9.6094	6.2094	2968.9	3279.3	8.8659	3.1027	2968.3	3278.6	8.5452
500	35.680	3132.9	3489.7	9.8998	7.1338	3132.6	3489.3	9.1566	3.5655	3132.2	3488.7	8.8362
600	40.296	3303.3	3706.3	10.1631	8.0577	3303.1	3706.0	9.4201	4.0279	3302.8	3705.6	9.0999
700	44.911	3480.8	3929.9	10.4056	8.9813	3480.6	3929.7	9.6626	4.4900	3480.4	3929.4	9.3424
800	49.527	3665.4	4160.6	10.6312	9.9047	3665.2	4160.4	9.8883	4.9519	3665.0	4160.2	9.5682
900	54.143	3856.9	4398.3	10.8429	10.8280	3856.8	4398.2	10.1000	5.4137	3856.7	4398.0	9.7800
1000	58.758	4055.3	4642.8	11.0429	11.7513	4055.2	4642.7	10.3000	5.8755	4055.0	4642.6	9.9800
1100	63.373	4260.0	4893.8	11.2326	12.6745	4259.9	4893.7	10.4897	6.3372	4259.8	4893.6	10.1698
1200	67.989	4470.9	5150.8	11.4132	13.5977	4470.8	5150.7	10.6704	6.7988	4470.7	5150.6	10.3504
1300	72.604	4687.4	5413.4	11.5857	14.5209	4687.3	5413.3	10.8429	7.2605	4687.2	5413.3	10.5229
P = 0.20 MPa (120.21°C)				P = 0.30 MPa (133.52°C)				P = 0.40 MPa (143.61°C)				
Sat.	0.88578	2529.1	2706.3	7.1270	0.60582	2543.2	2724.9	6.9917	0.46242	2553.1	2738.1	6.8955
150	0.95986	2577.1	2769.1	7.2810	0.63402	2571.0	2761.2	7.0792	0.47088	2564.4	2752.8	6.9306
200	1.08049	2654.6	2870.7	7.5081	0.71643	2651.0	2855.9	7.3132	0.53434	2647.2	2860.9	7.1723
250	1.19890	2731.4	2971.2	7.7100	0.79645	2728.9	2967.9	7.5180	0.59520	2726.4	2964.5	7.3804
300	1.31623	2809.8	3072.1	7.8941	0.87535	2807.0	3069.6	7.7037	0.65489	2805.1	3067.1	7.5677
400	1.54934	2967.2	3277.0	8.2236	1.03155	2966.0	3275.5	8.0347	0.77265	2964.9	3273.9	7.9003
500	1.78142	3131.4	3487.7	8.5153	1.18672	3130.6	3486.6	8.3271	0.88936	3129.8	3483.5	8.1933
600	2.01302	3302.2	3704.8	8.7793	1.34159	3301.6	3704.0	8.5915	1.00558	3301.0	3703.3	8.4580
700	2.24434	3479.9	3928.8	9.0221	1.49580	3479.5	3928.2	8.8345	1.12152	3479.0	3927.6	8.7012
800	2.47550	3664.7	4159.8	9.2479	1.65004	3664.3	4159.3	9.0605	1.23730	3663.9	4158.9	8.9274
900	2.70656	3856.3	4397.7	9.4598	1.80417	3856.0	4397.3	9.2725	1.35298	3855.7	4396.9	9.1394
1000	2.93755	4054.8	4642.3	9.6599	1.95824	4054.5	4642.0	9.4726	1.46859	4054.3	4641.7	9.3396
1100	3.16848	4259.6	4893.3	9.8497	2.11226	4259.4	4893.1	9.6624	1.58414	4259.2	4892.9	9.5295
1200	3.39938	4470.5	5150.4	10.0304	2.26624	4470.3	5150.2	9.8431	1.69966	4470.2	5150.0	9.7102
1300	3.63026	4687.1	5413.1	10.2029	2.42019	4686.9	5413.0	10.0157	1.81516	4686.7	5412.8	9.8828
P = 0.50 MPa (151.83°C)				P = 0.60 MPa (158.83°C)				P = 0.80 MPa (170.41°C)				
Sat.	0.37483	2560.7	2748.1	6.8207	0.31560	2566.8	2756.2	6.7593	0.24035	2576.0	2768.3	6.6616
200	0.42503	2643.3	2856.8	7.0610	0.35212	2639.4	2850.6	6.9683	0.26088	2631.1	2839.5	6.8177
250	0.47443	2723.8	2961.0	7.2725	0.39390	2721.2	2957.6	7.1833	0.29321	2715.9	2950.4	7.0402
300	0.52261	2803.3	3064.6	7.4614	0.43442	2801.4	3062.0	7.3740	0.32416	2797.5	3056.9	7.2345
350	0.57015	2883.0	3168.1	7.6346	0.47428	2881.6	3166.1	7.5481	0.35442	2878.6	3162.2	7.4107
400	0.61731	2963.7	3272.4	7.7956	0.51374	2962.5	3270.8	7.7097	0.38429	2960.2	3267.7	7.5735
500	0.71095	3129.0	3484.5	8.0893	0.59200	3128.2	3483.4	8.0041	0.44332	3126.6	3481.3	7.8692
600	0.80409	3300.4	3702.5	8.3544	0.66976	3299.8	3701.7	8.2695	0.50186	3298.7	3700.1	8.1394
700	0.89696	3478.6	3927.0	8.5978	0.74725	3478.1	3926.4	8.5132	0.56011	3477.2	3925.3	8.3794
800	0.98966	3663.6	4158.4	8.8240	0.82457	3663.2	4157.9	8.7395	0.61820	3662.5	4157.0	8.6061
900	1.08227	3855.4	4396.6	9.0352	0.90179	3855.1	4396.2	8.9518	0.67619	3854.5	4395.5	8.8185
1000	1.17480	4054.0	4641.4	9.2364	0.97893	4053.8	4641.1	9.1521	0.73411	4053.3	4640.5	9.0189
1100	1.26728	4259.0	4892.6	9.4263	1.05603	4258.8	4892.4	9.3420	0.79197	4258.3	4891.9	9.2090
1200	1.35972	4470.0	5149.8	9.6071	1.13309	4469.8	5149.6	9.5229	0.84960	4469.4	5149.3	9.3898
1300	1.45214	4686.6	5412.6	9.7797	1.21012	4686.4	5412.5	9.6955	0.90761	4686.1	5412.2	9.5625

Ilustración 17: Tabla de propiedades físicas del agua con base a la presión

Fuente: (Renedo, 2012)

3.13.6.2 Determinación de la entalpía en la entrada de agua a la caldera [He]

La determinación de la entalpía en la entrada de agua en la caldera se determinará mediante valores específicos predeterminados tomados con base en tablas correspondientes a las propiedades físicas del agua con base a la temperatura del agua que entra a la caldera.

TABLA A-4
Agua saturada. Tabla de temperaturas

Temp., T °C	Pres. sat., P _{sat} kPa	Volumen específico, m ³ /kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg		Entropía, kJ/kg · K			
		Líquido sat., v _f	Vapor sat., v _g	Líquido sat., u _f	Evapor., u _g	Vapor sat., u _g	Líquido sat., h _f	Evapor., h _g	Vapor sat., h _g	Líquido sat., s _f	Evapor., s _g	Vapor sat., s _g
0.01	0.6117	0.001000	206.00	0.000	2374.9	2374.9	0.001	2500.9	2500.9	0.0000	9.1556	9.1556
5	0.8725	0.001000	147.03	21.019	2360.8	2381.8	21.020	2489.1	2510.1	0.0763	8.9487	9.0249
10	1.2281	0.001000	106.32	42.020	2346.6	2388.7	42.022	2477.2	2515.2	0.1511	8.7488	8.8999
15	1.7057	0.001001	77.885	62.980	2332.5	2395.5	62.982	2465.4	2528.3	0.2245	8.5559	8.7803
20	2.3392	0.001002	57.762	83.913	2318.4	2402.3	83.915	2453.5	2537.4	0.2965	8.3696	8.6661
25	3.1698	0.001003	43.340	104.83	2304.3	2409.1	104.83	2441.7	2546.5	0.3672	8.1895	8.5567
30	4.2469	0.001004	32.879	125.73	2290.2	2415.9	125.74	2429.8	2555.6	0.4358	8.0152	8.4520
35	5.6291	0.001006	25.205	146.63	2276.0	2422.7	146.64	2417.9	2564.6	0.5051	7.8466	8.3517
40	7.3851	0.001008	19.515	167.53	2261.9	2429.4	167.53	2406.0	2573.5	0.5724	7.6832	8.2556
45	9.5953	0.001010	15.251	188.43	2247.7	2436.1	188.44	2394.0	2582.4	0.6386	7.5247	8.1633
50	12.352	0.001012	12.026	209.33	2233.4	2442.7	209.34	2382.0	2591.3	0.7038	7.3710	8.0748
55	15.763	0.001015	9.5639	230.24	2219.1	2449.3	230.26	2369.8	2600.1	0.7680	7.2218	7.9898
60	19.947	0.001017	7.6670	251.16	2204.7	2455.9	251.18	2357.7	2608.8	0.8313	7.0769	7.9082
65	25.043	0.001020	6.1935	272.09	2190.3	2462.4	272.12	2345.4	2617.5	0.8937	6.9360	7.8296
70	31.202	0.001023	5.0396	293.04	2175.8	2468.9	293.07	2333.0	2626.1	0.9551	6.7989	7.7540
75	38.597	0.001026	4.1291	313.99	2161.3	2475.3	314.03	2320.6	2634.6	1.0158	6.6655	7.6812
80	47.416	0.001029	3.4053	334.97	2146.6	2481.6	335.02	2308.0	2643.0	1.0756	6.5355	7.6111
85	57.868	0.001032	2.8261	355.96	2131.9	2487.8	356.02	2295.3	2651.4	1.1346	6.4089	7.5435
90	70.183	0.001036	2.3593	376.97	2117.0	2494.0	377.04	2282.5	2659.6	1.1929	6.2853	7.4782
95	84.609	0.001040	1.9808	398.00	2102.0	2500.1	398.09	2269.6	2667.6	1.2504	6.1647	7.4151
100	101.42	0.001043	1.6720	419.05	2087.0	2506.0	419.17	2256.4	2675.6	1.3072	6.0470	7.3542
105	120.90	0.001047	1.4186	440.15	2071.8	2511.9	440.28	2243.1	2683.4	1.3634	5.9319	7.2952
110	143.38	0.001052	1.2094	461.27	2056.4	2517.7	461.42	2229.7	2691.1	1.4188	5.8193	7.2382
115	169.18	0.001056	1.0360	482.42	2040.9	2523.3	482.59	2216.0	2698.6	1.4737	5.7092	7.1829
120	198.67	0.001060	0.89133	503.60	2025.3	2528.9	503.81	2202.1	2706.0	1.5279	5.6013	7.1292
125	232.23	0.001065	0.77012	524.83	2009.5	2534.3	525.07	2188.1	2713.1	1.5816	5.4956	7.0771
130	270.28	0.001070	0.66808	546.10	1993.4	2539.5	546.38	2173.7	2720.1	1.6346	5.3919	7.0265
135	313.22	0.001075	0.58179	567.41	1977.3	2544.7	567.75	2159.1	2726.9	1.6872	5.2901	6.9773
140	361.53	0.001080	0.50850	588.77	1960.9	2549.6	589.16	2144.3	2733.5	1.7392	5.1901	6.9294
145	415.68	0.001085	0.44600	610.19	1944.2	2554.4	610.64	2129.2	2739.8	1.7908	5.0919	6.8827
150	476.16	0.001091	0.39248	631.66	1927.4	2559.1	632.18	2113.8	2745.9	1.8418	4.9953	6.8371
155	543.49	0.001096	0.34648	653.19	1910.3	2563.5	653.79	2098.0	2751.8	1.8924	4.9002	6.7927
160	618.23	0.001102	0.30680	674.79	1893.0	2567.8	675.47	2082.0	2757.5	1.9426	4.8066	6.7492
165	700.93	0.001108	0.27244	696.46	1875.4	2571.9	697.24	2065.6	2762.8	1.9923	4.7143	6.7057
170	792.18	0.001114	0.24260	718.20	1857.5	2575.7	719.08	2048.8	2767.9	2.0417	4.6233	6.6650
175	892.60	0.001121	0.21659	740.02	1839.4	2579.4	741.02	2031.7	2772.7	2.0906	4.5335	6.6242
180	1002.8	0.001127	0.19384	761.92	1820.9	2582.8	763.05	2014.2	2777.2	2.1392	4.4448	6.5841
185	1123.5	0.001134	0.17390	783.91	1802.1	2586.0	785.19	1996.2	2781.4	2.1875	4.3572	6.5447
190	1256.2	0.001141	0.15636	806.00	1783.0	2589.0	807.43	1977.9	2785.3	2.2355	4.2705	6.5059
195	1398.8	0.001149	0.14089	828.18	1763.6	2591.7	829.78	1959.0	2788.8	2.2831	4.1847	6.4678
200	1554.9	0.001157	0.12721	850.46	1743.7	2594.2	852.26	1939.8	2792.0	2.3305	4.0997	6.4302

Ilustración 18: Tabla de propiedades físicas del agua con base en la temperatura

Fuente: (Renedo, 2012)

3.13.6.3 Determinación de la potencia neta de la caldera

Para el dimensionamiento de la potencia neta de la caldera se utilizará la siguiente ecuación:

$$PN \left[\frac{kJ}{h} \right] = mv \left[\frac{kg}{h} \right] * \left(h_s \left[\frac{kJ}{kg} \right] - h_e \left[\frac{kJ}{kg} \right] \right)$$

Ecuación 11: Cálculo de potencia neta

Fuente: (Becerra, 2018)

Siendo:

- PN = Potencia Neta [Dato a calcular]
- mv = Caudal másico de vapor [Dato obtenido de placa de microturbina de vapor]

- h_s = Entalpía de salida del vapor de la Caldera [Dato obtenido de tabla]
- h_e = Entalpía de entrada del agua a la Caldera [Dato obtenido de tabla]

3.13.7 CÁLCULO DE CONSUMO DE BIOMASA [CASULLA DE CAFÉ]

Para el cálculo del consumo de biomasa (casulla de café) para generar la potencia térmica requerida se utilizará la ecuación siguiente:

$$CB \left[\frac{kg}{h} \right] = \frac{PTN \left[\frac{kJ}{h} \right]}{PCI \left[\frac{kJ}{kg} \right]}$$

Ecuación 12: Consumo de biomasa por la caldera

Fuente: (Becerra, 2018)

Siendo:

- CB = Consumo de Biomasa [Dato a calcular]
- PTN = Potencia térmica necesaria [Dato obtenido de cálculos]
- PCI = Poder calorífico inferior [Dato obtenido de cálculos]

3.13.7.1 CÁLCULO DE PRODUCCIÓN PROMEDIO ANUAL DE CASULLA

Para el cálculo de producción promedio anual de casulla de café en el beneficio se utilizó la ecuación siguiente:

$$PBP \left[\frac{kg}{año} \right] = \frac{\sum_i^m PBT \left[kg \right]}{\text{Número de muestras} \left[años \right]}$$

Ecuación 13: Producción Promedio Anual de biomasa

Fuente: Elaboración Propia

Siendo:

- PBA = Producción de biomasa anual [Dato a calcular]
- PBT = Producción de biomasa total [Dato obtenido de operador]
- Numero de muestras = [Dato general]

3.13.7.1 CÁLCULO DE PODER CALORÍFICO INFERIOR CASULLA DE CAFÉ

Para el cálculo del poder calorífico inferior de la casulla de café se ha utilizado la ecuación siguiente:

$$PCI \left[\frac{J}{g} \right] = \frac{K \left[\frac{J}{^{\circ}C} \right] * \Delta T [^{\circ}C]}{V_c [cm^3] * P_c [Kg/cm^3]}$$

Ecuación 14: Poder calorífica casulla de café

Fuente: (Sifuentes, 2014)

Siendo:

- $K [J/^{\circ}C]$ = Capacidad térmica de absorción del material [Dato específico de material]
- $\Delta T [^{\circ}C]$ = Cambio de temperatura registrado por el material [Dato General]
- $V_c [cm^3]$ = Es el volumen del combustible [Dato General]
- $P_c [Kg/cm^3]$ = Es la densidad del combustible [Dato específico de material]

3.13.7.2 CÁLCULO DE PORCENTAJE DE HUMEDAD

Para el cálculo de porcentaje de humedad se ha utilizado la ecuación siguiente:

$$Humedad [\%] = \frac{Masa\ inicial\ [kg] - Masa\ final\ [kg]}{Masa\ Final\ [kg]} * 100$$

Ecuación 15: Porcentaje de humedad de la biomasa

Fuente: (Fernández, 2005)

Siendo:

- Humedad = [Dato a calcular]

- Masa Inicial = [Masa antes del proceso de secado]
- Masa Final = [Masa después del proceso de secado]

3.13.8 CÁLCULO DE LA DENSIDAD DE LA CASULLA DE CAFÉ

Para el cálculo de la densidad de la casulla del café se utilizará la ecuación siguiente:

$$\rho \left[\frac{kg}{cm^3} \right] = \frac{m [kg]}{V [cm^3]}$$

Ecuación 16: Cálculo de la densidad

Fuente: (Torrelavega, 2015)

Siendo:

- m = Masa de la casulla de café [Dato obtenido de medición]
- V = Volumen de la casulla de café [Dato seleccionado para la medición de 1000 cm³]

3.13.9 CÁLCULO DE LA EFICIENCIA TÉRMICA COMBUSTIÓN

Para el cálculo de la eficiencia térmica de la caldera se ha utilizado la ecuación siguiente:

$$\eta [\%] = \frac{Q_{\text{útil}} [kJ]}{Q_{\text{disponible}} [kJ]}$$

Ecuación 17: Cálculo de eficiencia térmica de la caldera

Fuente: (Oelker, 2010)

Siendo:

- Q_{útil} = La energía térmica que se utiliza para transformar el agua en vapor. [Dato obtenido de cálculos]
- Q_{disponible}: La energía térmica desprendida de la combustión de la biomasa [Dato obtenido de cálculos]

3.13.9.1 CÁLCULO DE ENERGÍA TÉRMICA ÚTIL

Para el cálculo de la energía térmica útil se han utilizado la ecuación siguiente:

$$Q_{\text{útil}} [kJ] = Q_{\text{vaporización}} [kJ] + Q_{\text{sobrecalentamiento}} [kJ]$$

Ecuación 18: Cálculo de energía térmica útil

Fuente: (Oelker, 2010)

Siendo:

- $Q_{\text{vaporización}}$ = Energía necesaria para vaporizar el agua [Dato obtenido de cálculos]
- $Q_{\text{sobrecalentamiento}}$: Energía necesaria para sobrecalentar el vapor de agua [Dato obtenido de cálculos]

3.13.9.1.1 CÁLCULO DE CALOR DE VAPORIZACIÓN

Para el cálculo del calor de vaporización se ha utilizado la ecuación siguiente:

$$Q_{\text{vaporización}} [kJ] = m [kg] * Lv \left[\frac{J}{kg} \right]$$

Ecuación 19: Cálculo de calor de vaporización

Fuente: (Oelker, 2010)

Siendo:

- m = Masa de agua [Dato obtenido de tabla]
- Lv = Calor latente de vaporización del agua [Dato general]

3.13.9.1.2 CÁLCULO DE ENERGÍA TÉRMICA DE SOBRECALENTAMIENTO DEL VAPOR

Para el cálculo de la energía térmica de sobrecalentamiento se ha utilizado la ecuación siguiente:

$$Q_{sobrecalentamiento} [kJ] = m [kg] * CIG_{agua} \left[\frac{J}{kg * K} \right] * \Delta T [^{\circ}C]$$

Ecuación 20: Cálculo de energía de sobrecalentamiento de vapor

Fuente: (Oelker, 2010)

Siendo:

- m = Masa de agua [Dato obtenido de Tabla]
- CIG_{agua} = Constante individual gaseosa del vapor de agua [Dato obtenido de tabla]
- ΔT = Cambio de temperatura [Dato obtenido de Cálculos]

3.13.9.2 CÁLCULO DE ENERGÍA TÉRMICA DISPONIBLE

Para el cálculo de la energía térmica disponible se ha utilizado la ecuación siguiente:

$$Q_{disponible} [kJ] = CB \left[\frac{kg}{h} \right] * PC \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

Ecuación 21: Cálculo de energía térmica disponible

Fuente: (Oelker, 2010)

Siendo:

- $Q_{disponible}$ = La energía disponible proveniente de la combustión de la biomasa. [Dato a calcular]
- CB = Consumo de biomasa por parte de la caldera en un tiempo determinado [Dato obtenido de cálculos]
- PC = Poder calorífico de la casulla de café [Dato obtenido de cálculos]

3.13.9.3 DETERMINACIÓN DE LA MASA DE AGUA

Para la determinación de la masa de agua se ha utilizado la el método siguiente:

En primera instancia se ha convertido la potencia térmica de la caldera de kWt a caballos caldera [CC] utilizando el factor de conversión siguiente:

$$1 [CC] = 9.80 [kWt]$$

Desarrollando la siguiente operación matemática:

$$1000 [kWt] * \frac{1 [CC]}{9.80 [kWt]}$$

Luego de convertir las unidades se utiliza una tabla donde se indica las características estándar de las calderas según su potencia térmica en caballos caldera [CC] como se muestra a continuación:

Potencia Caldera CC	Rapidez de evaporac. GPM	Factor de encendido	Capacidad bomba GPM	Capacid. del tanque galones	Tamaño tanque plg.
10	0,70	2	2	30	16x42
15	1,00	2	3	30	16x42
20	1,40	2	3	30	16x42
25	1,70.	2	4	30	16x42
30	2,10	2	4	30	16x42
40	2,80	2	6	30	16x42
50	3,50	2	7	60	22x43
60	4,10	2	8	60	22x43
70	4,80	2	10	60	22x43
80	5,50	2	11	100	24x56
90	6,20	2	12	100	24x56
100	6,90	2	14	100	24x56
125	8,60	2	17	100	24x56
150	10,40	2	21	200	30x69
175	12,10	2	24	200	30x69
200	13,80	2	27	200	30x69
225	15,50	2	31	250	36x71
250	17,10	2	34	250	36x71
275	19,00	2	38	250	36x71
300	20,70	2	42	350	42x73
350	24,20	2	48	350	42x73
400	27,60	2	55	350	42x73
450	31,10	2	62	500	42x97
500	34,50	2	69	500	42x97
550	38,00	2	76	750	48x98
600	41,40	2	83	750	48x98

Ilustración 19: Características de calderas según su potencia térmica

Fuente: (Jimenez, 1997)

Observando la tabla se puede determinar que con base la potencia térmica de la caldera la capacidad de almacenamiento de agua. Luego de obtener este dato procedemos a convertir

las unidades de volumen de galones a metros cúbicos utilizando el siguiente factor de conversión:

$$1 \text{ Galón} = 0.00378541 \text{ m}^3$$

Desarrollando la siguiente operación matemática:

$$1000 \text{ Galones} * \frac{0.00378541 \text{ m}^3}{1 \text{ Galón}}$$

Luego de obtener este valor procederemos a obtener la densidad del agua a la temperatura de entrada de agua en la caldera. Utilizando la tabla siguiente:

Temperatura °C	Densidad kg / m ³	Temperatura °C	Densidad kg / m ³	Temperatura °C	Densidad kg / m ³
0 (hielo)	917,00	33	994,76	67	979,34
0	999,82	34	994,43	68	978,78
1	999,89	35	994,08	69	978,21
2	999,94	36	993,73	70	977,63
3	999,98	37	993,37	71	977,05
4	1000,00	38	993,00	72	976,47
5	1000,00	39	992,63	73	975,88
6	999,99	40	992,25	74	975,28
7	999,96	41	991,86	75	974,68
8	999,91	42	991,46	76	974,08
9	999,85	43	991,05	77	973,46
10	999,77	44	990,64	78	972,85
11	999,68	45	990,22	79	972,23
12	999,58	46	989,80	80	971,60
13	999,46	47	989,36	81	970,97
14	999,33	48	988,92	82	970,33
15	999,19	49	988,47	83	969,69
16	999,03	50	988,02	84	969,04
17	998,86	51	987,56	85	968,39
18	998,68	52	987,09	86	967,73
19	998,49	53	986,62	87	967,07
20	998,29	54	986,14	88	966,41
21	998,08	55	985,65	89	965,74
22	997,86	56	985,16	90	965,06
23	997,62	57	984,66	91	964,38
24	997,38	58	984,16	92	963,70
25	997,13	59	983,64	93	963,01
26	996,86	60	983,13	94	962,31
27	996,59	61	982,60	95	961,62
28	996,31	62	982,07	96	960,91
29	996,02	63	981,54	97	960,20
30	995,71	64	981,00	98	959,49
31	995,41	65	980,45	99	958,78
32	995,09	66	979,90	100	958,05

Ilustración 20: Densidad del agua a diferentes temperaturas

(Química Inorgánica , 2012)

Con base en los valores de la tabla se determina que la densidad. Luego se procede a calcular la cantidad de masa de agua multiplicando el valor de la densidad por el volumen actual.

3.13.9.4 CÁLCULO DE REDUCCIÓN DE GASES EMITIDOS A LA ATMOSFERA

Para el cálculo de la reducción de gases de efecto invernadero emitidos a la atmósfera se ha utilizado la ecuación siguiente:

$$REG [\text{ton de } CO_2] = \text{Energía Generada [kWh]} * \text{Factor de Emisión} \left[\frac{\text{ton de } CO_2}{\text{kWh}} \right]$$

Ecuación 22: Cálculo de reducción de emisiones de dióxido de carbono

Fuente: Página Oficial EPA

Siendo:

- Energía Generada = La energía de la fuente renovable [Dato obtenido de cálculos]
- Factor de Emisión = Cantidad de dióxido de carbono emitido a la atmósfera por kWh generado [Dato general que para este caso es de 0.000707 $\left[\frac{\text{ton de } CO_2}{\text{kWh}} \right]$.

3.13.10 CÁLCULO DE INVERSIÓN INICIAL

Para el cálculo de la inversión inicial del proyecto se utilizará la ecuación siguiente:

$$\text{Inversión Inicial} = ICF [\$] + ICT[\$]$$

Ecuación 23: Cálculo de inversión inicial

Fuente: (Torres, 2019)

Siendo:

- ICF = Inversión de capital fijo [Dato obtenido de cálculos]
- ICT = Inversión de capital de trabajo [Dato obtenido cálculos]

3.13.11 CÁLCULO DE VAN

Para la determinación del VAN se empleará la ecuación siguiente:

$$VAN [\$] = -I_0 [\$] + \sum_{j=0}^n \frac{FN_j [\$]}{(1 + i [\%])^j}$$

Ecuación 24: Cálculo de VAN

Fuente: (Torres, 2019)

Siendo:

- VAN = Valor actual neto [Dato a calcular]
- I₀ = Inversión inicial [Dato obtenido de cálculos]
- j = Periodo [Dato general]
- n = Número de periodos [Dato general]
- FN = Flujo neto de caja [Dato obtenido de cálculo]
- i = Interés [Dato general]

3.13.12 CÁLCULO DE TIR

Para el cálculo de la TIR se utilizará la ecuación siguiente:

$$TIR [\%] = \sum_{j=0}^n \frac{FN [\$]}{(1 + i [\%])^n}$$

Ecuación 25: Cálculo de TIR

Fuente: (Torres, 2019)

Siendo:

- TIR = Tasa interna de retorno [Dato a calcular]
- j = Periodo [Dato general]
- n = Número de periodos [Dato general]
- FN = Flujo neto [Dato obtenido de cálculos]
- i = interés [Dato general]

3.13.13 CÁLCULO DE PERIODO DE RETORNO

Para el cálculo del periodo de retorno se utilizará la ecuación siguiente:

$$PR [\text{años}] = PFAN [\text{año}] + \frac{|UFCN| [\$]}{|VFCSP| [\$]}$$

Ecuación 26: Cálculo de periodo de retorno

Fuente: (Torres, 2019)

Siendo:

- PR = Periodo de retorno [Dato a calcular]
- PFAN = Número de periodo con ultimo con flujo de caja negativo [Dato obtenido de cálculos]
- UFCN = Valor del ultimo flujo de caja negativo [Dato obtenido de cálculos]
- VFCSP = Valor de flujo de caja del siguiente periodo [Dato obtenido de cálculos]

3.14 ESTUDIO TÉCNICO

El estudio técnico de la ingeniería de proyectos de inversión cobra relevancia dentro de la evaluación de un proyecto ya que en él se determinan los costos en los que se incurrirán al implementarlo, por lo que dicho estudio es la base para el cálculo financiero y la evaluación económica del mismo. (González, 2012)

Un proyecto de inversión debe mostrar, en su estudio técnico, las diferentes alternativas para la elaboración o producción del bien o servicio, de tal manera que se identifiquen los procesos y métodos necesarios para su realización, de ahí se desprende la necesidad de maquinaria y equipo propio para la producción, así como mano de obra calificada para lograr los objetivos de operación del producto, la organización de los espacios para su implementación, la identificación de los proveedores y acreedores que proporcionen los materiales y herramientas necesarias para desarrollar el producto de manera óptima, así

como establecer un análisis de la estrategia a seguir para administrar la capacidad del proceso para satisfacer la demanda durante el horizonte de planeación. Con ello se tiene una base para determinar costos de producción, los costos de maquinaria y con los de mano de obra. (González, 2012)

En la evaluación de proyectos se realiza en un primer momento el estudio de mercado donde se muestran las tendencias de la demanda, a partir de la identificación de las necesidades de los clientes reales y potenciales, la oferta real y proyectada del producto o servicio, así como la comercialización y la determinación de los precios de venta; a partir de estos elementos el siguiente momento es realizar el análisis del estudio técnico el cual proporciona información cuantitativa para determinar el monto de la inversión y los costos de operación necesarios para su desarrollo. (González, 2012)

El Estudio Técnico de un proyecto de inversión consiste en diseñar la función de producción óptima, que mejor utilice los recursos disponibles para obtener el producto deseado, sea éste un bien o un servicio. "En resumen, se pretende resolver las preguntas referentes a dónde, cuándo, cuanto, cómo y con qué producir lo que se desea, por lo que el aspecto técnico operativo de un proyecto comprende todo aquello que tenga relación con el funcionamiento y la operatividad del propio proyecto" (Baca, 2001)

3.15 ESTUDIO ECONÓMICO

Una de las fases más importantes antes de comenzar cualquier proyecto, con independencia de cuáles sean sus características, es realizar un estudio de viabilidad, con el propósito de analizar si su puesta en marcha es factible o no. Sin embargo, la eficacia del estudio dependerá de si se han tenido en cuenta todos los factores que intervienen en el proceso y que pueden suponer un grave riesgo para el éxito del mismo. La puesta en marcha de cualquier proyecto debe ir precedida de un análisis exhaustivo de: (Tarradeles, 2020)

- El entorno en el que se asienta la empresa, a fin de conocer su situación.
- El mercado al que se dirige, para conocer sus características concretas.
- Las características técnicas que hacen falta para llevarlo a cabo.

- Los recursos administrativos que hay que tener presente para su puesta en marcha.
 - Los requisitos legales que hay que cumplir para que el proyecto se ejecute.
 - Los gastos económicos que conlleva poner en funcionamiento el proyecto.
- (Tarradeles, 2020)

El estudio económico del proyecto es, por tanto, uno de los pasos claves para identificar la viabilidad de un proyecto, pero no es el único. Un estudio que sólo se base en el aspecto económico, será incompleto y, por tanto, su viabilidad no será fiable. (Tarradeles, 2020)

3.15.1 Elementos claves del estudio económico

El fin último de este estudio es analizar las necesidades de tipo económico y financiero que precisa la puesta en marcha del proyecto, con el propósito de ayudar a valorar si es rentable, o no, emprender el nuevo proyecto. (Tarradeles, 2020)

- “La inversión económica necesaria y cómo se va a financiar.” (Tarradeles, 2020)
- “Estimar los costos y gastos que va a suponer la puesta en marcha del proyecto.” (Tarradeles, 2020)
- “Valorar los posibles ingresos para realizar un cálculo aproximado de los beneficios que puede dar el proyecto.” (Tarradeles, 2020)

Por lo tanto, para realizar este estudio económico, es preciso estructurarlo atendiendo a estos cuatro elementos: (Tarradeles, 2020)

3.15.1.1 LAS INVERSIONES

“En todo proyecto existen tres tipos de inversiones, cuya suma proporcionará el total de inversiones necesario para poner en marcha el proyecto.” (Tarradeles, 2020)

- **Inversiones en Activos fijos.** Son aquellas destinadas a recursos de tipo tangible, como la maquinaria o el mobiliario físico, o intangible, es decir, que no se pueden “tocar”, como los estudios, las relaciones con los proveedores, derechos y permisos.
- (Tarradeles, 2020)

- **Inversiones en Capital de trabajo o activos circulantes.** Se trata de determinar los recursos necesarios para poner en funcionamiento el proyecto (materias primas, mano de obra, etc.). Para calcular este capital de trabajo, es preciso restar a los activos corrientes que ya posee la empresa para poner en marcha el proyecto (capital disponible en efectivo o no, materias primas, repuestos y productos), los pasivos o deudas por pagar a proveedores. También hay que tener en cuenta cuales son las fuentes de financiación del proyecto y en qué medida lo van a financiar, si se posee capital, existen inversores, se va a pedir un crédito a los bancos o si la financiación va a ser mixta, combinando dos o más fuentes de financiación. (Tarradeles, 2020)
- **Gastos previos preoperatorios,** es decir, aquellos destinados a la realización de estudios, captación de capital, y la realización de diseños y planes, previos a la puesta en marcha del proyecto. (Tarradeles, 2020)

“Es conveniente realizar un calendario de inversiones para llevar un control de las mismas durante la evaluación del proyecto.” (Tarradeles, 2020)

3.15.1.2 LOS GASTOS TOTALES

“Son los gastos totales que va a suponer el proyecto. Para obtener este resultado es preciso analizar.” (Tarradeles, 2020)

- “Los gastos de administración y ventas, donde se engloban los gastos derivados de la remuneración del personal, depreciaciones, etc.” (Tarradeles, 2020)
- “Los gastos financieros, aquellos gastos correspondientes a los intereses de las obligaciones financieras.” (Tarradeles, 2020)
- “Los gastos de fabricación y comercialización, serían aquellos gastos derivados de facturas de luz, combustibles, impuestos, repuestos, etc. ” (Tarradeles, 2020)

3.15.1.3 Los costos

Se trata de los costos de producción, dentro de los que se encuentran las materias primas, materiales y recursos necesarios para crear el producto o dar el servicio. Estos costos se pueden clasificar en función de su valor, como variables o fijos. (Tarradeles, 2020)

3.15.1.4 INGRESOS

Por otro lado, en el estudio económico, además de los gastos, hay que realizar una valoración del dinero que se estima se puede recaudar gracias a la venta del producto o servicio realizado y de otros tipos de ingresos que puedan beneficiar la rentabilidad del proyecto. (Tarradeles, 2020)

IV. METODOLOGÍA

En este capítulo se definen las variables propias del proyecto y en las cuales se basará la investigación, otorgándoles una clasificación de variables dependientes o independientes. Se ha tomado como variable dependiente la energía eléctrica generada a partir de la utilización de casulla de café como recurso energético primario y las variables de las cuales este depende es el consumo de energía eléctrica y la matriz energética en el beneficio Corinto. De igual manera se define las hipótesis correspondientes, así como también el diseño planteado para el desarrollo de la investigación. También se definen las técnicas, instrumentos y procedimientos utilizados para la realización de la investigación siendo el uso del programa Excel como instrumento fundamental para el cálculo y análisis numéricos correspondientes a la investigación, técnicas y procedimientos por ejemplo la realización de flujos de caja, análisis de costos, análisis de periodo de recuperación, etc. Para finalizar se presentan todas las fuentes consultadas para el desarrollo de la investigación las cuales fueron en su mayoría manuales técnicos, investigaciones y artículos publicados por organizaciones y personas con gran experiencia en la producción de energía a partir de la biomasa, así como también las limitantes encontradas al momento de desarrollar el proyecto.

4.1 CONGRUENCIA METODOLÓGICA

En este segmento de la investigación se plantea definir la planificación correspondiente al desarrollo de la misma. Demostrando la congruencia lógica entre el problema planteado anteriormente con los objetivos general y específicos, de la misma forma con las variables de investigación planteadas en el desarrollo de este segmento. Además, se desarrollarán secciones como la matriz metodológica, hipótesis y fuentes de información consultadas para el desarrollo propio de la investigación.

4.1.1 MATRIZ METODOLÓGICA

La matriz de congruencia metodológica es un esquema que tiene como fin organizar cada una de las etapas del proyecto de investigación, pues permite comprobar la coherencia lógica entre cada una de estas, esto se traduce directamente en una reducción significativa del tiempo y esfuerzo empleado en el desarrollo del proyecto.

En la tabla que se presenta a continuación se describirá el patrón lógico empleado en el proyecto de investigación:

Tabla 5: Tabla metodológica

Título	Análisis técnico-económico sobre el uso de la casulla del café para la generación de energía eléctrica en el beneficio corinto ubicado en Subirana, Yoro.				
Problema	Objetivo General	Objetivos Específicos	Preguntas de Investigación	Variables Independientes	Variable Dependiente
<p>¿Es posible solventar las dificultades energéticas de manera confiable, económica y renovable del beneficio de café Corinto mediante la utilización de la casulla de café como recurso energético primario?</p>	<p>Diseñar un sistema de generación de energía eléctrica que utilice la casulla de café como recurso energético primario para suministrar el 50% de la energía eléctrica del beneficio Corinto de manera renovable, confiable y económica.</p>	<p>1. Determinar los componentes necesarios técnico y económicamente para la utilización de la casulla de café como recurso energético primario para la generación de energía eléctrica en el beneficio Corinto durante los próximos 25 años.</p>	<p>1.- ¿Cuáles son los componentes necesarios para la utilización de la casulla del café como recurso energético primario en la generación de energía eléctrica?</p>	<p>Equipo Técnico</p>	<p>Energía eléctrica generada utilizando casulla de café como recurso energético primario.</p>
		<p>2. Determinar si es posible suministrar el 50% de la energía eléctrica mediante la utilización de la casulla de café como recurso energético primario a través de un balance energético.</p>	<p>2.- ¿Es posible suministrar el 50% de la energía eléctrica utilizando la casulla de café como recurso energético primario?</p>	<p>Matriz Energética</p>	

		3. Determinar la cantidad de biomasa necesaria para la generación del 50% de la energía eléctrica a través de análisis y cálculo de consumo del recurso energético.	3. - ¿Qué cantidad de casulla de café se requiere para producir el 50% de la energía eléctrica mensualmente?	Consumo de Materia Prima	
		4. Estimar cual sería la inversión inicial presupuestada con base en la realización de un análisis financiero.	4.- ¿Cuál sería la inversión requerida para la realización del proyecto?	Monto Inicial	
		5. Estimar el tiempo de recuperación de la inversión, si se optará por realizar el proyecto en el año de 2021 haciendo uso de un análisis del retorno de la inversión.	5.- ¿En cuánto tiempo se recuperaría dicha inversión?	Tiempo de retorno	

Fuente: Elaboración Propia

Una vez definida la tabla metodológica se procederá a mostrar en un diagrama que representará de manera más simple y práctica todas las variables:

4.1.2 DEFINICIÓN OPERACIONAL DE VARIABLES



Ilustración 21: Diagrama de Variables

Fuente: Elaboración Propia

4.1.3 HIPÓTESIS

H1: Es posible solventar las dificultades energéticas de manera confiable, económica y renovable del beneficio de café Corinto mediante la utilización de la casulla de café como recurso energético primario.

Ho: No es posible solventar las dificultades energéticas de manera confiable, económica y renovable del beneficio de café Corinto mediante la utilización de la casulla de café como recurso energético primario.

4.2 ENFOQUE Y MÉTODOS

La presente investigación tendrá un enfoque puramente cuantitativo debido a que todas las técnicas, procedimientos e instrumentos serán utilizados para obtener datos numéricos para su posterior análisis concluyendo con la presentación de resultados de carácter puntual que estén orientados a responder las hipótesis planteadas en la investigación.

Enfoque	•Cuantitativo
Tipo de Estudio	•No experimental
Tipo de diseño	•Transversal
Alcance	•Descriptivo
Método	•Análisis Técnico - Económico
Tipo de Muestra	•No probabilística
Técnica	•Proyecciones Energéticas y Financieras

Ilustración 22: Enfoque y métodos de la investigación

Fuente: Elaboración propia

4.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

4.3.1 INSTRUMENTOS

Un instrumento fundamental para la realización de esta investigación es el programa Excel ya que es donde se registrarán todos los datos relevantes y se realizarán todos los cálculos necesarios para la obtención de los resultados numéricos de donde partirán los análisis correspondientes por ejemplo la generación de energía anual, análisis de costos, flujos de caja correspondientes al proyecto, cálculo de cantidad de biomasa necesaria para la generación de energía eléctrica así como también la determinación de la inversión inicial y el periodo de retorno sobre dicha inversión. Otro instrumento que se utilizó fue el programa *profiCAD* para la realización de un diagrama unifilar donde se ilustra la nueva configuración del sistema en el beneficio Corinto.

4.3.1 TÉCNICAS

Una de las técnicas utilizada para recolección de información fue la observación, visitando el beneficio Corinto en diferentes ocasiones para la toma de datos de forma directa.

4.3.2 FUENTES DE INFORMACIÓN

Las fuentes de información consultadas en el progreso de la investigación se dividen en primarias y secundarias, las cuales fueron piezas clave para desarrollo del marco teórico y de la metodología.

4.3.3 FUENTES PRIMARIAS

Dentro de las fuentes primarias consultadas para el desarrollo de la investigación se encuentran:

- Libros sobre termodinámica y maquinas térmicas
- Libros sobre evaluación de proyectos
- Manuales de calderas y generadores de vapor
- Resultados obtenidos en Excel.

- Libros sobre finanzas y economía

4.3.4 FUENTES SECUNDARIAS

Dentro de las fuentes secundarias consultadas se encuentran:

- Artículos escritos por personas especializadas en el campo
- Revistas Técnicas

4.3.5 LIMITANTES DEL ESTUDIO

Una de las limitantes del estudio fue la falta de un analizador de redes para poder determinar con mayor precisión el consumo de energía eléctrica del beneficio Corinto.

4.4 MATERIALES

El material elemental para la realización de esta investigación es la computadora con acceso al paquete office. Principalmente se utilizarán los programas Excel para la realización de la parte numérica, Word para la redacción de la investigación como tal y PowerPoint para la presentación de los resultados obtenidos a las autoridades competentes.

4.5 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

En la tabla que se presenta a continuación se describe las actividades realizadas durante todo el tiempo del cual se dispone para desarrollar la investigación.

Tabla 6: Cronograma de actividades

Etapas	Cronograma de Actividades					
	31 ene/ 3 feb	6 feb/ 15 feb	1 mar/ 7 mar	9 mar/ 15 mar	16 mar/ 20 mar	21 mar/ 24 mar
Visita al beneficio Corinto						
Recolección de datos						
Realización de cálculos técnicos						
Realización de análisis financiero						
Análisis de resultados						
Conclusiones						

Fuente: Elaboración Propia

V. CÁLCULOS Y RESULTADOS

En el siguiente capítulo se realizarán todos los cálculos necesarios correspondientes al proyecto, que nos permitirán determinar a primera instancia el equipo técnico necesario para la producción de energía eléctrica así como también otras variables fundamentales como el costo nivelado de la electricidad para cada tecnología y el consumo de biomasa necesario para el funcionamiento del equipo técnico, también se realizarán una serie de cálculos financieros que nos permitirán determinar la rentabilidad del proyecto para el beneficio Corinto. Estos cálculos darán respuesta a las preguntas de investigación planteadas y de manera conjunta comprobar la hipótesis establecida.

5.1 CÁLCULO DE ENERGÍA ELÉCTRICA ACTIVA GENERADA POR EL GENERADOR DIESEL

El cálculo de la energía generada por el generador diésel se realizó utilizando la ecuación 3 anteriormente descrita:

$$EA [kWh] = PA [kW] * \eta [\%] * Fc [\%] * Fd [\%] * Sp[\%] * T [h]$$

Ecuación 3

El valor de las variables asociadas al cálculo de la energía activa generada es:

- $PA [Kw] = 165 [kW]$, la cual es la potencia en *prime* del generador diésel.
- $\eta [\%] = 80 [\%]$, es la eficiencia registrada del generador diésel.
- $Fc [\%] = 75 [\%]$, es el factor de carga al cual opera el generador diésel.
- $Fd [\%] = 85 [\%]$, es el factor de disponibilidad para la generación de energía eléctrica.
- $Sp[\%] = 95 [\%]$, es el porcentaje de energía disponible para el consumo del beneficio.
- $T [h] = 1080 [h]$, son las horas en las cuales el generador está en funcionamiento al año.

Desarrollando la operación matemática:

$$EA [kWh] = 165 [kW] * 80 [\%] * 75 [\%] * 85[\%] * 95 [\%] * 1080 [h]$$

$$EA [kWh] = 86,337.9 [kWh]$$

Esta es la energía generada por el generador diésel durante el periodo de corte del café que es de tres meses aproximadamente en el caso del beneficio Corinto.

5.1.1 CÁLCULO DE FACTOR DE DISPONIBILIDAD

Para el cálculo del factor de disponibilidad se ha utilizado la ecuación 4 anteriormente descrita:

$$Fd [\%] = \left(1 - \frac{\text{Tiempo de mantenimiento diario [h]}}{\text{Tiempo de operación [h]}} \right) * 100$$

El valor de las variables asociadas al cálculo del factor de disponibilidad es:

- Tiempo de mantenimiento diario [h] = 1.8 [h]
- Tiempo de operación [h] = 12 [h]

Desarrollando la operación matemática:

$$Fd [\%] = \left(1 - \frac{1.8 [h]}{12 [h]} \right) * 100$$

$$Fd [\%] = 85\%$$

El factor de disponibilidad del generador diésel es del 85%.

5.1.2 CÁLCULO DEL TIEMPO DE OPERACIÓN ANUAL EXACTO

Para el cálculo del tiempo de operación anual se utilizó la ecuación 6:

$$\begin{aligned} \textit{Tiempo de operación anual exacto [h]} \\ = \textit{Tiempo de operación total [h]} - (\textit{Tiempo de operación total [h]} * Fd) \end{aligned}$$

Ecuación 6

El valor de las variables asociadas al cálculo del tiempo de operación anual exacto es:

- Tiempo de operación total [h] = 1080 [h]
- Fd [%] = 15 [%]

Desarrollando la operación matemática:

$$\textit{Tiempo de operación anual exacto [h]} = 1080 [h] - (1080 [h] * 15 [\%])$$

$$\boxed{\textit{Tiempo de operación anual exacto [h]} = 918 [h]}$$

El tiempo de operación anual exacto del generador diésel es de 918 horas.

5.1.3 CÁLCULO DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE ANUAL

Para el cálculo de combustible de forma anual se utilizó la ecuación 7:

$$\textit{Combustible Anual [gal]}$$

$$= \textit{Tiempo de operación anual exacto [h]} * \textit{Consumo de combustible} \left[\frac{\textit{gal}}{\textit{h}} \right]$$

Ecuación 7

El valor asociado de las variables para el cálculo del combustible anual es:

- Tiempo de operación anual exacto = 918 [h]
- Consumo de combustible = 8.72 [gal/h]

Desarrollando la operación matemática:

$$\text{Combustible Anual [gal]} = 918 \text{ [h]} * 8.72 \left[\frac{\text{gal}}{\text{h}} \right]$$

$$\boxed{\text{Combustible Anual [gal]} = 8,003.70 \text{ gal}}$$

El consumo anual de combustible es de 8,0003.70 gal de diésel.

5.1.4 CÁLCULO DE COSTO POR COMBUSTIBLE FÓSIL UTILIZADO

Para el cálculo del costo por combustible se ha utilizado la ecuación 8:

Costo por Combustible [\$]

$$= \left(\text{Combustible Anual [gal]} * \text{Precio del galón} \left[\frac{\$}{\text{gal}} \right] \right) + \text{Costo por flete} [\$]$$

Ecuación 8

Las variables asociadas al costo del combustible fósil utilizado son:

- Combustible Utilizado [gal]: 8,003.70 [gal]
- Precio del Combustible [\$/gal]: 3.82 [\$/gal]
- Costo de Flete [\$]: \$750 + 2.5% de inflación anual

Desarrollando la operación matemática:

$$\text{Costo por Combustible [\$]}: (8,003.70 \text{ [gal]} * 3.82 \text{ [$/gal]}) + 750 \text{ [\$]}$$

Costo por combustible [\$]: \$ 31,338.1613

El costo por combustible anual es de \$31,338.1613

5.2 CÁLCULO DE COSTO NIVELADO DE ELECTRICIDAD UTILIZANDO EL MOTOR DIESEL

5.2.1 PROYECCIÓN DEL PRECIO DEL GALÓN DE DIÉSEL EN LEMPIRAS

Para realizar la proyección del precio del galón de diésel en lempiras se han tomado los datos desde el año 1997 hasta el año de 2019, para posteriormente realizar una regresión lineal. Los datos tabulados corresponden a 23 años y se muestran a continuación:

Tabla 7: Precio histórico del galón de diésel

Año	Precio por Galón Diésel (L)
1997	16.73
1998	15.72
1999	18.97
2000	24.14
2001	26.53
2002	26.38
2003	32.61
2004	41.71
2005	50.85
2006	54.69
2007	59.07
2008	68.80
2009	50.20
2010	60.60
2011	77.77
2012	82.11
2013	84.18
2014	87.77
2015	66.97
2016	54.96
2017	71.59
2018	83.78
2019	81.22

Fuente: Instituto Nacional de Estadística [INE]

Con base en los datos anteriores se ha obtenido la siguiente gráfica:

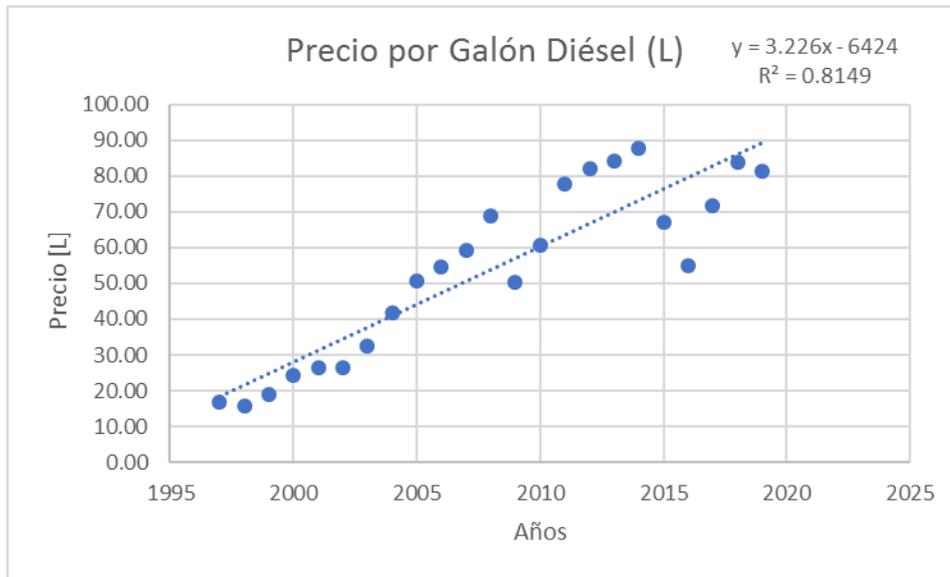


Ilustración 23: Gráfica precio histórico galón de diésel

Fuente: Elaboración Propia

Con base en la gráfica anterior se ha obtenido la ecuación siguiente:

$$y = 3.226x - 6,424$$

Ecuación 27: Ecuación gráfica precio del diésel

Para el cálculo del precio del galón de diésel en los próximos 25 años se ha utilizado la ecuación 22, sustituyendo el valor de x por año en el cual corresponde.

Tabla 8: Proyección valor del galón de diésel en lempiras

2021	95.75
2022	98.97
2023	102.20
2024	105.42
2025	108.65
2026	111.88
2027	115.10
2028	118.33
2029	121.55
2030	124.78
2031	128.01
2032	131.23
2033	134.46
2034	137.68
2035	140.91
2036	144.14
2037	147.36
2038	150.59
2039	153.81
2040	157.04
2041	160.27
2042	163.49
2043	166.72
2044	169.94
2045	173.17

Fuente: Elaboración Propia

Después de realizar esta proyección se procedió a realizar la tabla para el valor de la tasa de cambio de lempiras a dólares desde el año 1997 hasta el año 2019 que se puede apreciar a continuación:

Tabla 9: Tasa de cambio histórica lempiras – dólares

Año	Tasa de cambio L-$\\$
1997	13.09
1998	13.81
1999	14.50
2000	15.01
2001	15.65
2002	16.61
2003	17.54
2004	18.41
2005	19.00
2006	19.03
2007	18.03
2008	19.03
2009	19.03
2010	19.03
2011	19.05
2012	19.64
2013	20.50
2014	21.13
2015	22.10
2016	22.99
2017	23.65
2018	24.07
2019	24.68
2020	24.61

Fuente: Banco Central de Honduras

Con base en los datos anteriores se obtuvo la siguiente gráfica:

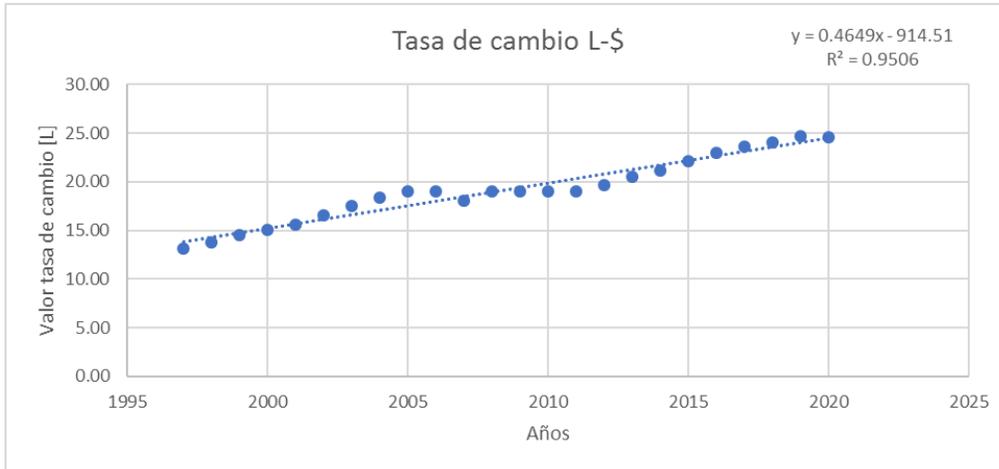


Ilustración 24: Gráfica tasa de cambio lempiras – dólares

Fuente: Elaboración Propia

Con base en la gráfica anterior se ha determinado la ecuación siguiente:

$$y = 0.4649x - 914.51$$

Ecuación 28: Ecuación tasa de cambio lempiras- dólares

Con base en la ecuación anterior se ha realizado la proyección siguiente de la tasa de cambio de lempiras a dólares para los próximos 25 años:

Tabla 10: Proyección tasa de cambio lempiras a dólares

2021	25.05
2022	25.52
2023	25.98
2024	26.45
2025	26.91
2026	27.38
2027	27.84
2028	28.31
2029	28.77
2030	29.24
2031	29.70
2032	30.17
2033	30.63
2034	31.10
2035	31.56
2036	32.03
2037	32.49
2038	32.96
2039	33.42
2040	33.89
2041	34.35
2042	34.82
2043	35.28
2044	35.75
2045	36.21

Fuente: Elaboración Propia

Con base en la información se puede determinar la proyección del valor del galón de diésel en dólares para su posterior utilización dentro del análisis:

Tabla 11: Proyección valor del galón de diésel en dólares

2021	3.82
2022	3.88
2023	3.93
2024	3.99
2025	4.04
2026	4.09
2027	4.13
2028	4.18
2029	4.22
2030	4.27
2031	4.31
2032	4.35
2033	4.39
2034	4.43
2035	4.46
2036	4.50
2037	4.54
2038	4.57
2039	4.60
2040	4.63
2041	4.67
2042	4.70
2043	4.73
2044	4.75
2045	4.78

Fuente: Elaboración propia

5.2.2 CÁLCULO DE PROYECCIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE

Para el cálculo de esta proyección se ha utilizado un valor 0.03% como base para el incremento anual durante el periodo de vida útil del generador. Este incremento se ilustra en la tabla siguiente:

Tabla 12: Tabla de proyección consumo de combustible

Año	Consumo de combustible [gal]
1	8003.70
2	8006.10
3	8008.50
4	8010.90
5	8013.31
6	8015.71
7	8018.12
8	8020.52
9	8022.93
10	8025.33
11	8027.74
12	8030.15
13	8032.56
14	8034.97
15	8037.38
16	8039.79
17	8042.20
18	8044.62
19	8047.03
20	8049.44
21	8051.86
22	8054.27
23	8056.69
24	8059.11
25	8061.52

Fuente: Elaboración Propia

5.2.3 CÁLCULO DE PROYECCIÓN COSTO POR COMBUSTIBLE

Para el cálculo de proyección del costo por combustible se ha multiplicado los valores obtenidos de las proyecciones con base en la ecuación 8 descrita anteriormente y se ha añadido una inflación del 2.5% anual con respecto al valor del flete. Los datos obtenidos se ilustran en la tabla siguiente:

Tabla 13: Proyección costo por combustible

Año	Costo por combustible [\$]
1	\$ 31,338.16
2	\$ 31,803.16
3	\$ 32,251.04
4	\$ 32,683.76
5	\$ 33,102.11
6	\$ 33,506.82
7	\$ 33,898.57
8	\$ 34,278.01
9	\$ 34,645.73
10	\$ 35,002.29
11	\$ 35,348.21
12	\$ 35,683.99
13	\$ 36,010.09
14	\$ 36,326.94
15	\$ 36,634.95
16	\$ 36,934.50
17	\$ 37,225.97
18	\$ 37,509.69
19	\$ 37,785.98
20	\$ 38,055.16
21	\$ 38,317.51
22	\$ 38,573.30
23	\$ 38,822.80
24	\$ 39,066.24
25	\$ 39,303.87

Fuente: Elaboración propia

5.2.4 CÁLCULO DE PROYECCIÓN EN COSTO DE O&M

Para el cálculo de costo de operación y mantenimiento se ha utilizado un valor de inflación con respecto al dólar del 2.5%, ilustrando los valores resultantes en la tabla siguiente:

Tabla 14: Proyección costo de O&M

AÑO	Costo de O&M
1	\$ 400.00
2	\$ 410.00
3	\$ 420.25
4	\$ 430.76
5	\$ 441.53
6	\$ 452.56
7	\$ 463.88
8	\$ 475.47
9	\$ 487.36
10	\$ 499.55
11	\$ 512.03
12	\$ 524.83
13	\$ 537.96
14	\$ 551.40
15	\$ 565.19
16	\$ 579.32
17	\$ 593.80
18	\$ 608.65
19	\$ 623.86
20	\$ 639.46
21	\$ 655.45
22	\$ 671.83
23	\$ 688.63
24	\$ 705.84
25	\$ 723.49

Fuente: Elaboración propia

5.2.5 CÁLCULO PROYECCIÓN ENERGÍA ELÉCTRICA GENERADA

Para el cálculo de proyección energía eléctrica generada se ha utilizado un factor de degradación de 0.03% obtenido del Manual de operación y mantenimiento de grupos electrógenos por el proveedor SDMO.

Tabla 15: Energía generada durante vida útil

AÑO	Energía Generada [kWh]
1	86,337.90
2	86,268.83
3	86,199.76
4	86,130.69
5	86,061.62
6	85,992.55
7	85,923.48
8	85,854.41
9	85,785.34
10	85,716.27
11	85,647.20
12	85,578.13
13	85,509.06
14	85,439.99
15	85,370.92
16	85,301.85
17	85,232.77
18	85,163.70
19	85,094.63
20	85,025.56
21	84,956.49
22	84,887.42
23	84,818.35
24	84,749.28
25	84,680.21

Fuente: Elaboración Propia

El cálculo de la energía generada por el generador diésel se realizó utilizando la ecuación 9 anteriormente descrita.

$$LCOE \left[\frac{\$}{kWh} \right] = \sum_{i=0}^m \frac{CC [\$] + O\&M_i [\$] + FuelCost_i [\$]}{Energía\ Generada_i [kWh]}$$

Ecuación 9

El valor de las variables asociadas al cálculo de la energía activa generada el primer año son:

- $CC_i [\$] = \$36,202$, es el costo del generador diésel.
- $O\&M_i [\$] = \400 , es el costo de operación y mantenimiento anual del generador diésel.
- $FuelCost [\$] = \$31,338.16$, es el costo anual total por el diésel utilizado.
- $Energía\ Generada_i [kWh] = 86,337.9$ kWh, es la energía generada en el primer año.
- $m = 25$ años, es la vida útil del generador diésel.
- $i = 1$ año, año de vida útil del generador diésel.

Desarrollando la operación matemática:

$$LCOE \left[\frac{\$}{kWh} \right] = \sum_{i=1}^{25} \frac{36,202 [\$] + 400_i [\$] + 31,338.16_i [\$]}{86,337.9_i [kWh]}$$

$$LCOE \left[\frac{\$}{kWh} \right] = 0.45293 [\$ / kWh]$$

Este es el costo en dólares por cada kWh generado utilizando el generador diésel actualmente en el Beneficio Corinto.

5.3 CÁLCULO DE LA POTENCIA ELÉCTRICA ACTIVA REQUERIDA UTILIZANDO CASULLA DE CAFÉ

El cálculo de la potencia eléctrica activa requerida para la generación del 50% de la energía consumida por el beneficio Corinto se hizo utilizando la ecuación 5.

$$PA [kWe] = \frac{EA [kWh]}{\eta [\%] * Fc [\%] * Fd [\%] * Sp [\%] * T [h]}$$

El valor de las variables asociadas al cálculo de la potencia activa requerida para la generación del 50% de la energía consumida por el beneficio Corinto son:

- EA [kWh] = 43,169 [kWh], es el 50% de la energía activa generada por el generador diésel.
- η [%] = 96 [%], es la eficiencia eléctrica registrada de la microturbina de vapor.
- F_c [%] = 95 [%], es el factor de carga al cual operará la microturbina de vapor.
- F_d [%] = 95 [%], es el factor de disponibilidad para la generación de energía eléctrica.
- S_p [%] = 97 [%], es el porcentaje de energía disponible para el consumo del beneficio.
- T [h] = 1080 [h], son las horas en las cuales la microturbina estará en funcionamiento al año.

Desarrollando la operación matemática:

$$PA [kW] = \frac{43,169 [kWh]}{96 [\%] * 95 [\%] * 95 [\%] * 97 [\%] * 1080 [h]}$$

$PA [kW] = 47.15572 [kWe]$

Esta es la potencia eléctrica requerida para la generación del 50% de la energía eléctrica consumida por el beneficio Corinto.

5.4 CÁLCULO DE POTENCIA DE LA CALDERA

Para el cálculo de la potencia térmica necesaria de la caldera se utilizarán valores ya predeterminados para las entalpías del vapor de salida de la caldera en la ilustración 18 y la entrada de agua a la caldera en la ilustración 19, así como también la ecuación 11 para el cálculo de la potencia térmica y la ecuación 12 para el cálculo de consumo de biomasa por parte de la caldera.

5.4.1 DETERMINACIÓN DE LA ENTALPÍA DEL AGUA QUE ENTRARA A LA CALDERA

Para la determinación de este valor se utilizará la tabla de propiedades termodinámicas del agua saturada.

TABLA 4
Agua saturada. Tabla de temperaturas

Temp., T °C	Volumen específico, m ³ /kg				Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, kJ/kg · K		
	Pres. sat., P _{sat} kPa	Líqu. sat., v _f	Vapor sat., v _g		Líqu. sat., u _f	Vapor sat., u _g		Líqu. sat., h _f	Evap., h _{fg}	Vapor sat., h _g	Líqu. sat., s _f	Evap., s _{fg}	Vapor sat., s _g
0.01	0.6117	0.001000	206.00		0.000	2374.9	2374.9	0.001	2500.9	2500.9	0.0000	9.1556	9.1556
5	0.8725	0.001000	147.03		21.019	2360.8	2381.8	21.020	2489.1	2510.1	0.0763	8.9407	9.0170
10	1.2281	0.001000	106.32		42.020	2346.6	2388.7	42.022	2472.2	2519.2	0.1511	8.7488	8.8999
15	1.7057	0.001001	77.885		62.980	2332.5	2395.5	62.982	2455.4	2528.3	0.2245	8.5559	8.7803
20	2.3392	0.001002	57.762		83.913	2318.4	2402.3	83.915	2438.5	2537.4	0.2965	8.3696	8.6661
25	3.1698	0.001003	43.340		104.83	2304.3	2409.1	104.83	2421.7	2546.5	0.3672	8.1895	8.5567
30	4.2469	0.001004	32.878		125.73	2290.2	2415.9	125.74	2405.8	2555.6	0.4368	8.0152	8.4520
35	5.6291	0.001006	25.205		146.63	2276.0	2422.7	146.64	2417.9	2564.6	0.5051	7.8466	8.3517
40	7.3851	0.001008	19.515		167.53	2261.9	2429.4	167.53	2406.0	2573.5	0.5724	7.6832	8.2556
45	9.5953	0.001010	15.251		188.43	2247.7	2436.1	188.44	2394.0	2582.4	0.6386	7.5247	8.1633
50	12.352	0.001012	12.026		209.33	2233.4	2442.7	209.34	2382.0	2591.3	0.7038	7.3710	8.0748
55	15.763	0.001015	9.5639		230.24	2219.1	2449.3	230.26	2369.8	2600.1	0.7680	7.2218	7.9898
60	19.947	0.001017	7.6670		251.16	2204.7	2455.9	251.18	2357.7	2608.8	0.8313	7.0769	7.9082
65	25.043	0.001020	6.1835		272.09	2190.3	2462.4	272.12	2345.4	2617.5	0.8937	6.9360	7.8296
70	31.202	0.001023	5.0396		293.04	2175.8	2468.9	293.07	2333.0	2626.1	0.9551	6.7989	7.7540
75	38.597	0.001026	4.1291		313.99	2161.3	2475.3	314.03	2320.6	2634.6	1.0158	6.6655	7.6812
80	47.416	0.001029	3.4063		334.97	2146.6	2481.6	335.02	2308.0	2643.0	1.0756	6.5355	7.6111
85	57.868	0.001032	2.8261		355.96	2131.9	2487.8	356.02	2295.3	2651.4	1.1346	6.4089	7.5435
90	70.183	0.001036	2.3593		376.97	2117.0	2494.0	377.04	2282.5	2659.6	1.1929	6.2853	7.4782
95	84.659	0.001040	1.9808		398.00	2102.0	2500.1	398.09	2269.6	2667.6	1.2504	6.1647	7.4151
100	101.42	0.001043	1.6730		419.06	2087.0	2506.0	419.17	2256.4	2675.6	1.3072	6.0470	7.3542
105	120.90	0.001047	1.4186		440.15	2071.8	2511.9	440.28	2243.1	2683.4	1.3634	5.9319	7.2952
110	143.38	0.001052	1.2094		461.27	2056.4	2517.7	461.42	2229.7	2691.1	1.4188	5.8193	7.2382
115	169.18	0.001056	1.0360		482.42	2040.9	2523.3	482.59	2216.0	2698.6	1.4737	5.7092	7.1829
120	198.67	0.001060	0.89133		503.60	2025.3	2528.9	503.81	2202.1	2706.0	1.5279	5.6013	7.1292
125	232.23	0.001065	0.77012		524.83	2009.5	2534.3	525.07	2188.1	2713.1	1.5816	5.4956	7.0771
130	270.28	0.001070	0.66808		546.10	1993.4	2539.5	546.38	2173.7	2720.1	1.6346	5.3919	7.0265
135	313.22	0.001075	0.58179		567.41	1977.3	2544.7	567.75	2159.1	2726.9	1.6872	5.2901	6.9773
140	361.53	0.001080	0.50850		588.77	1961.0	2549.6	589.16	2144.3	2733.5	1.7392	5.1901	6.9294
145	415.68	0.001085	0.44600		610.19	1944.2	2554.4	610.64	2129.2	2739.8	1.7908	5.0919	6.8827
150	476.16	0.001091	0.39248		631.66	1927.4	2559.1	632.18	2113.8	2745.9	1.8418	4.9953	6.8371
155	543.49	0.001096	0.34648		653.19	1910.3	2563.5	653.79	2098.0	2751.8	1.8924	4.9002	6.7927
160	618.23	0.001102	0.30620		674.79	1893.0	2567.8	675.47	2082.0	2757.5	1.9426	4.8066	6.7492
165	700.93	0.001108	0.27244		696.46	1875.4	2571.9	697.24	2065.6	2762.8	1.9923	4.7143	6.7067
170	792.18	0.001114	0.24260		718.20	1857.5	2575.7	719.08	2048.8	2767.9	2.0417	4.6233	6.6650
175	892.60	0.001121	0.21659		740.02	1839.4	2579.4	741.02	2031.7	2772.7	2.0906	4.5335	6.6242
180	1002.8	0.001127	0.19384		761.92	1820.9	2582.8	763.05	2014.2	2777.2	2.1392	4.4448	6.5841
185	1123.5	0.001134	0.17390		783.91	1802.1	2586.0	785.19	1996.2	2781.4	2.1875	4.3572	6.5447
190	1256.2	0.001141	0.15636		806.00	1783.0	2589.0	807.43	1977.9	2785.3	2.2355	4.2705	6.5059
195	1398.8	0.001149	0.14089		828.18	1763.6	2591.7	829.78	1959.0	2788.8	2.2831	4.1847	6.4678
200	1554.9	0.001157	0.12721		850.46	1743.7	2594.2	852.26	1939.8	2792.0	2.3305	4.0997	6.4302

Ilustración 25: Tabla de propiedades físicas

Con base en sugerencia del fabricante la temperatura del agua que entra en la caldera debe ser aproximadamente de 103 °C.

TABLA A-4
Agua saturada. Tabla de temperaturas

Temp., T °C	Pres. sat., P _{sat} kPa	Volumen específico, m ³ /kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, kJ/kg · K		
		Liq. sat., v _f	Vapor sat., v _g	Liq. sat., u _f	Evap., u _{fg}	Vapor sat., u _g	Liq. sat., h _f	Evap., h _{fg}	Vapor sat., h _g	Liq. sat., s _f	Evap., s _{fg}	Vapor sat., s _g
0.01	0.6117	0.001000	206.00	0.000	2374.9	2374.9	0.001	2500.9	2500.9	0.0000	9.1556	9.1556
5	0.8725	0.001000	147.03	21.019	2360.8	2381.8	21.070	2489.1	2510.1	0.0763	8.9487	9.0249
10	1.2281	0.001000	106.32	42.020	2346.6	2388.7	42.022	2477.2	2519.2	0.1511	8.7488	8.8999
15	1.7057	0.001001	77.885	62.980	2332.5	2395.5	62.982	2465.4	2528.3	0.2245	8.5559	8.7803
20	2.3392	0.001002	57.762	83.913	2318.4	2402.3	83.915	2453.5	2537.4	0.2965	8.3696	8.6661
25	3.1698	0.001003	43.340	104.83	2304.3	2409.1	104.83	2441.7	2546.5	0.3672	8.1895	8.5567
30	4.2469	0.001004	32.879	125.73	2290.2	2415.9	125.74	2429.8	2555.6	0.4368	8.0152	8.4520
35	5.6291	0.001006	25.205	146.63	2276.0	2422.7	146.64	2417.9	2564.6	0.5051	7.8466	8.3517
40	7.3851	0.001008	19.515	167.53	2261.9	2429.4	167.53	2406.0	2573.5	0.5724	7.6832	8.2556
45	9.5953	0.001010	15.251	188.43	2247.7	2436.1	188.44	2394.0	2582.4	0.6386	7.5247	8.1633
50	12.352	0.001012	12.026	209.33	2233.4	2442.7	209.34	2382.0	2591.3	0.7038	7.3710	8.0748
55	15.763	0.001015	9.5639	230.24	2219.1	2449.3	230.26	2369.8	2600.1	0.7680	7.2218	7.9898
60	19.947	0.001017	7.6670	251.16	2204.7	2455.9	251.18	2357.7	2608.8	0.8313	7.0769	7.9082
65	25.043	0.001020	6.1935	272.09	2190.3	2462.4	272.12	2345.4	2617.5	0.8937	6.9360	7.8296
70	31.202	0.001023	5.0396	293.04	2175.8	2468.9	293.07	2333.0	2626.1	0.9551	6.7989	7.7540
75	38.597	0.001026	4.1291	313.99	2161.3	2475.3	314.03	2320.6	2634.6	1.0158	6.6655	7.6812
80	47.416	0.001029	3.4053	334.97	2146.6	2481.6	335.02	2308.0	2643.0	1.0756	6.5355	7.6111
85	57.868	0.001032	2.8261	355.96	2131.9	2487.8	356.02	2295.3	2651.4	1.1346	6.4089	7.5435
90	70.183	0.001036	2.3593	376.97	2117.0	2494.0	377.04	2282.5	2659.6	1.1929	6.2853	7.4782
95	84.609	0.001040	1.9808	398.00	2102.0	2500.1	398.09	2269.6	2667.6	1.2504	6.1647	7.4151
100	101.42	0.001043	1.6720	419.06	2087.0	2506.0	419.17	2256.4	2675.6	1.3072	6.0470	7.3542
105	120.90	0.001047	1.4186	440.15	2071.8	2511.9	440.28	2243.1	2683.4	1.3634	5.9319	7.2952
110	143.38	0.001052	1.2094	461.27	2056.4	2517.7	461.42	2229.7	2691.1	1.4188	5.8193	7.2382
115	169.18	0.001056	1.0360	482.42	2040.9	2523.3	482.59	2216.0	2698.6	1.4737	5.7092	7.1829
120	198.67	0.001060	0.89133	503.60	2025.3	2528.9	503.81	2202.1	2706.0	1.5279	5.6013	7.1292
125	232.23	0.001065	0.77012	524.83	2009.5	2534.3	525.07	2188.1	2713.1	1.5816	5.4956	7.0771
130	270.28	0.001070	0.66808	546.10	1993.4	2539.5	546.38	2173.7	2720.1	1.6346	5.3919	7.0265
135	313.22	0.001075	0.58179	567.41	1977.3	2544.7	567.75	2159.1	2726.9	1.6872	5.2901	6.9773
140	361.53	0.001080	0.50850	588.77	1960.9	2549.6	589.16	2144.3	2733.5	1.7392	5.1901	6.9294
145	415.68	0.001085	0.44600	610.19	1944.2	2554.4	610.64	2129.2	2739.8	1.7908	5.0919	6.8827
150	476.16	0.001091	0.39248	631.66	1927.4	2559.1	632.18	2113.8	2745.9	1.8418	4.9953	6.8371
155	543.49	0.001096	0.34648	653.19	1910.3	2563.5	653.79	2098.0	2751.8	1.8924	4.9002	6.7927
160	618.23	0.001102	0.30680	674.79	1893.0	2567.8	675.47	2082.0	2757.5	1.9426	4.8066	6.7492
165	700.93	0.001108	0.27244	696.46	1875.4	2571.9	697.24	2065.6	2762.8	1.9923	4.7143	6.7067
170	792.18	0.001114	0.24260	718.20	1857.5	2575.7	719.08	2048.8	2767.9	2.0417	4.6233	6.6650
175	892.60	0.001121	0.21659	740.02	1839.4	2579.4	741.02	2031.7	2772.7	2.0906	4.5335	6.6242
180	1002.8	0.001127	0.19384	761.92	1820.9	2582.8	763.05	2014.2	2777.2	2.1392	4.4448	6.5841
185	1123.5	0.001134	0.17390	783.91	1802.1	2586.0	785.19	1996.2	2781.4	2.1875	4.3572	6.5447
190	1255.2	0.001141	0.15636	806.00	1783.0	2589.0	807.43	1977.9	2785.3	2.2355	4.2705	6.5059
195	1398.8	0.001149	0.14089	828.18	1763.6	2591.7	829.78	1959.0	2788.8	2.2831	4.1847	6.4678
200	1554.9	0.001157	0.12721	850.46	1743.7	2594.3	852.26	1939.8	2791.8	2.3303	4.1000	6.4310

Ilustración 26: Tabla de propiedades físicas del agua saturada

Ubicando la temperatura indicada, se determinó que la entalpía correspondiente del agua que entra a la caldera es de 419.17 kJ/kg.

5.4.2 DETERMINACIÓN DE LA ENTALPÍA DEL VAPOR DE SALIDA EN LA CALDERA

Para la determinación de la entalpía se utilizará la tabla correspondiente a las propiedades termodinámicas del vapor sobrecalentado correspondiente a la presión y temperatura del vapor de salida en la caldera, detalladas en la ilustración 18.

OTI
TABLAS DE PROPIEDADES, FIGURAS Y DIAGRAMAS (UNIDADES SI)

TABLA A.6
Vapor de agua sobrecalentado

T °C	P = 0.01 MPa (45.81°C)				P = 0.05 MPa (81.32°C)				P = 0.10 MPa (99.61°C)			
	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K
Sat.	14.670	2437.2	2583.9	8.1488	3.2403	2483.2	2645.2	7.5931	1.6941	2505.6	2675.0	7.3589
50	14.867	2443.3	2592.0	8.1741								
100	17.196	2515.5	2687.5	8.4489	3.4187	2511.5	2682.4	7.6953	1.6959	2506.2	2675.8	7.3611
150	19.513	2587.9	2783.0	8.6893	3.8897	2585.7	2780.2	7.9413	1.9367	2582.9	2776.6	7.6148
200	21.826	2661.4	2879.6	8.9049	4.3562	2660.0	2877.8	8.1592	2.1724	2658.2	2875.5	7.8356
250	24.136	2736.1	2977.5	9.1015	4.8206	2735.1	2976.2	8.3568	2.4062	2733.9	2974.5	8.0346
300	26.446	2812.3	3076.7	9.2827	5.2841	2811.6	3075.8	8.5387	2.6389	2810.7	3074.5	8.2172
400	31.063	2969.3	3280.0	9.6094	6.2094	2968.9	3279.3	8.8659	3.1027	2968.3	3278.6	8.5452
500	35.680	3132.9	3489.7	9.8998	7.1338	3132.6	3489.3	9.1566	3.5655	3132.2	3488.7	8.8362
600	40.296	3303.3	3706.3	10.1631	8.0577	3303.1	3706.0	9.4201	4.0279	3302.8	3705.6	9.0999
700	44.911	3480.8	3929.9	10.4056	8.9813	3480.6	3929.7	9.6626	4.4900	3480.4	3929.4	9.3424
800	49.527	3665.4	4160.6	10.6312	9.9047	3665.2	4160.4	9.8883	4.9519	3665.0	4160.2	9.5682
900	54.143	3856.9	4398.3	10.8429	10.8280	3856.8	4398.2	10.1000	5.4137	3856.7	4398.0	9.7800
1000	58.758	4055.3	4642.8	11.0429	11.7513	4055.2	4642.7	10.3000	5.8755	4055.0	4642.6	9.9800
1100	63.373	4260.0	4893.8	11.2326	12.6745	4259.9	4893.7	10.4897	6.3372	4259.8	4893.6	10.1698
1200	67.989	4470.9	5150.8	11.4132	13.5977	4470.8	5150.7	10.6704	6.7988	4470.7	5150.6	10.3504
1300	72.604	4687.4	5413.4	11.5857	14.5209	4687.3	5413.3	10.8429	7.2605	4687.2	5413.3	10.5229
P = 0.20 MPa (120.21°C)												
Sat.	0.88578	2529.1	2706.3	7.1270	0.60582	2543.2	2724.9	6.9917	0.46242	2553.1	2738.1	6.8955
150	0.95996	2577.1	2769.1	7.2810	0.63402	2571.0	2761.2	7.0792	0.47088	2564.4	2752.8	6.9306
200	1.08049	2654.6	2870.7	7.5081	0.71643	2651.0	2865.9	7.3132	0.53434	2642.2	2860.9	7.1723
250	1.19890	2731.4	2971.2	7.7100	0.79645	2728.9	2967.9	7.5180	0.59520	2726.4	2964.5	7.3804
300	1.31623	2808.8	3072.1	7.8941	0.87535	2807.0	3069.6	7.7037	0.65489	2805.1	3067.1	7.5677
400	1.54934	2967.2	3277.0	8.2236	1.03155	2966.0	3275.5	8.0347	0.77265	2964.9	3273.9	7.9003
500	1.78142	3131.4	3487.7	8.5153	1.18672	3130.6	3486.6	8.3271	0.88936	3129.8	3485.5	8.1933
600	2.01302	3302.2	3704.8	8.7793	1.34139	3301.6	3704.0	8.5915	1.00558	3301.0	3703.3	8.4580
700	2.24434	3479.9	3928.8	9.0221	1.49580	3479.5	3928.2	8.8345	1.12152	3479.0	3927.6	8.7012
800	2.47550	3664.7	4159.8	9.2479	1.65004	3664.3	4159.3	9.0605	1.23730	3663.9	4158.9	8.9274
900	2.70656	3856.3	4397.7	9.4598	1.80417	3856.0	4397.3	9.2725	1.35298	3855.7	4396.9	9.1394
1000	2.93755	4054.8	4642.3	9.6599	1.95824	4054.5	4642.0	9.4726	1.46859	4054.3	4641.7	9.3396
1100	3.16848	4259.6	4893.3	9.8497	2.11226	4259.4	4893.1	9.6624	1.58414	4259.2	4892.9	9.5295
1200	3.39938	4470.5	5150.4	10.0304	2.26624	4470.3	5150.2	9.8431	1.69966	4470.2	5150.0	9.7102
1300	3.63026	4687.1	5413.1	10.2029	2.42019	4686.9	5413.0	10.0157	1.81516	4686.7	5412.8	9.8828
P = 0.50 MPa (151.83°C)												
Sat.	0.37483	2560.7	2746.1	6.8207	0.31560	2566.8	2756.2	6.7593	0.24035	2576.0	2768.3	6.6616
200	0.42503	2643.3	2855.8	7.0610	0.35212	2639.4	2850.6	6.9683	0.26088	2631.1	2839.8	6.8177
250	0.47443	2723.8	2961.0	7.2725	0.39390	2721.2	2957.6	7.1833	0.29321	2715.9	2950.4	7.0402
300	0.52261	2803.3	3064.6	7.4614	0.43442	2801.4	3062.0	7.3740	0.32416	2797.5	3056.9	7.2345
350	0.57015	2883.0	3168.1	7.6346	0.47428	2881.6	3166.1	7.5481	0.35442	2878.6	3162.2	7.4107
400	0.61731	2963.7	3272.4	7.7956	0.51374	2962.5	3270.8	7.7097	0.38429	2960.2	3267.7	7.5735
500	0.71095	3129.0	3484.5	8.0893	0.59200	3128.2	3483.4	8.0041	0.44332	3126.6	3481.3	7.8692
600	0.80409	3300.4	3702.5	8.3544	0.66976	3299.8	3701.7	8.2695	0.50186	3298.7	3700.1	8.1354
700	0.89696	3478.6	3927.0	8.5978	0.74725	3478.1	3926.4	8.5132	0.56011	3477.2	3925.3	8.3794
800	0.98966	3663.6	4158.4	8.8240	0.82457	3663.2	4157.9	8.7395	0.61820	3662.5	4157.0	8.6061
900	1.08227	3855.4	4396.6	9.0362	0.90179	3855.1	4396.2	8.9518	0.67619	3854.5	4395.5	8.8185
1000	1.17480	4054.0	4641.4	9.2364	0.97893	4053.8	4641.1	9.1521	0.73411	4053.3	4640.5	9.0189
1100	1.26728	4259.0	4892.6	9.4263	1.05603	4258.8	4892.4	9.3420	0.79197	4258.3	4891.9	9.2090
1200	1.35972	4470.0	5149.8	9.6071	1.13309	4469.8	5149.6	9.5229	0.84980	4469.4	5149.3	9.3898
1300	1.45214	4686.6	5412.6	9.7797	1.21012	4686.4	5412.5	9.6955	0.90761	4686.1	5412.2	9.5625

Ilustración 27: Propiedades físicas del vapor sobrecalentado

Con base en las especificaciones del fabricante la microturbina admite una presión de vapor de 0.4 Megapascals y una temperatura de 140 °C.

TABLAS DE PROPIEDADES, FIGURAS Y DIAGRAMAS (UNIDADES SI)

TABLA A-6

Vapor de agua sobrecalentado

T °C	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K
P = 0.01 MPa (45.81°C)*				P = 0.05 MPa (81.32°C)				P = 0.10 MPa (99.61°C)				
Sat.	14.670	2437.2	2583.9	8.1488	3.2403	2483.2	2645.2	7.5931	1.6941	2505.6	2675.0	7.3589
50	14.867	2443.3	2592.0	8.1741					1.6959	2506.2	2675.8	7.3611
100	17.196	2515.5	2687.5	8.4489	3.4187	2511.5	2682.4	7.6953	1.9367	2582.9	2776.6	7.6148
150	19.513	2587.9	2783.0	8.6893	3.8897	2585.7	2780.2	7.9413	2.1724	2658.2	2875.5	7.8356
200	21.826	2661.4	2879.6	8.9049	4.3562	2660.0	2877.8	8.1592	2.4062	2733.9	2974.5	8.0346
250	24.136	2736.1	2977.5	9.1015	4.8206	2735.1	2976.2	8.3568	2.6389	2810.7	3074.5	8.2172
300	26.446	2812.3	3076.7	9.2827	5.2841	2811.6	3075.8	8.5387	3.1027	2968.3	3278.6	8.5452
400	31.063	2969.3	3280.0	9.6094	6.2094	2968.9	3279.3	8.8659	3.5655	3132.2	3488.7	9.0999
500	35.680	3132.9	3489.7	9.8998	7.1338	3132.6	3489.3	9.1566	4.0279	3302.8	3705.6	9.3424
600	40.296	3303.3	3706.3	10.1631	8.0577	3303.1	3706.0	9.4201	4.4900	3480.4	3929.4	9.5682
700	44.911	3480.8	3929.9	10.4056	8.9813	3480.6	3929.7	9.6626	4.9519	3665.0	4160.2	9.7800
800	49.527	3665.4	4160.6	10.6312	9.9047	3665.2	4160.4	9.8883	5.4137	3856.7	4398.0	9.9800
900	54.143	3856.9	4398.3	10.8429	10.8280	3856.8	4398.2	10.1000	5.8755	4055.0	4642.6	10.1698
1000	58.758	4055.3	4642.8	11.0429	11.7513	4055.2	4642.7	10.3000	6.3372	4259.8	4893.6	10.3524
1100	63.373	4260.0	4893.8	11.2326	12.6745	4259.9	4893.7	10.4897	6.7988	4470.7	5150.6	10.5209
1200	67.989	4470.9	5150.8	11.4132	13.5977	4470.8	5150.7	10.6704	7.2605	4687.2	5413.3	10.6704
1300	72.604	4687.4	5413.4	11.5857	14.5209	4687.3	5413.3	10.8429				
P = 0.20 MPa (120.21°C)				P = 0.30 MPa (133.52°C)				P = 0.40 MPa (143.61°C)				
Sat.	0.88578	2529.1	2706.3	7.1270	0.60582	2543.2	2724.9	6.9917	0.46242	2553.1	2738.1	6.8955
150	0.95986	2577.1	2769.1	7.2810	0.63402	2571.0	2761.2	7.0792	0.47088	2564.4	2752.8	6.9306
200	1.08049	2654.6	2870.7	7.5081	0.71643	2651.0	2865.9	7.3132	0.53434	2647.2	2860.9	7.1723
250	1.19890	2731.4	2971.2	7.7100	0.79645	2728.9	2967.9	7.5180	0.59520	2726.4	2964.5	7.3804
300	1.31623	2808.8	3072.1	7.8941	0.87535	2807.0	3069.6	7.7037	0.65489	2805.1	3067.1	7.5677
400	1.54934	2967.2	3277.0	8.2236	1.03155	2966.0	3275.5	8.0347	0.77265	2964.9	3273.9	7.9003
500	1.78142	3131.4	3487.7	8.5153	1.18672	3130.6	3486.6	8.3271	0.88936	3129.8	3485.5	8.1933
600	2.01302	3302.2	3704.8	8.7793	1.34139	3301.6	3704.0	8.5915	1.00558	3301.0	3703.3	8.4580
700	2.24434	3479.9	3928.8	9.0221	1.49580	3479.5	3928.2	8.8345	1.12152	3479.0	3927.6	8.7012
800	2.47550	3664.7	4159.8	9.2479	1.65004	3664.3	4159.3	9.0605	1.23730	3663.9	4158.9	8.9274
900	2.70656	3856.3	4397.7	9.4598	1.80417	3856.0	4397.3	9.2725	1.35298	3855.7	4396.9	9.1394
1000	2.93755	4054.8	4642.3	9.6599	1.95824	4054.5	4642.0	9.4726	1.46859	4054.3	4641.7	9.3396
1100	3.16848	4259.6	4893.3	9.8497	2.11226	4259.4	4893.1	9.6624	1.58414	4259.2	4892.9	9.5295
1200	3.39938	4470.5	5150.4	10.0304	2.26624	4470.3	5150.2	9.8431	1.69966	4470.2	5150.0	9.7102
1300	3.63026	4687.1	5413.1	10.2029	2.42019	4686.9	5413.0	10.0157	1.81516	4686.7	5412.8	9.8828
P = 0.50 MPa (151.83°C)				P = 0.60 MPa (158.83°C)				P = 0.80 MPa (170.41°C)				
Sat.	0.37483	2560.7	2748.1	6.8207	0.31560	2566.8	2756.2	6.7593	0.24035	2576.0	2768.3	6.6616
200	0.42503	2643.3	2855.8	7.0610	0.35212	2639.4	2850.6	6.9683	0.26088	2631.1	2839.8	6.8177
250	0.47443	2723.8	2961.0	7.2725	0.39390	2721.2	2957.6	7.1833	0.29321	2715.9	2950.4	7.0402
300	0.52261	2803.3	3064.6	7.4614	0.43442	2801.4	3062.0	7.3740	0.32416	2797.5	3056.9	7.2345
350	0.57015	2883.0	3168.1	7.6346	0.47428	2881.6	3166.1	7.5481	0.35442	2878.6	3162.2	7.4107
400	0.61731	2963.7	3272.4	7.7956	0.51374	2962.5	3270.8	7.7097	0.38429	2960.2	3267.7	7.5735
500	0.71095	3129.0	3484.5	8.0893	0.59200	3128.2	3483.4	8.0041	0.44332	3126.6	3481.3	7.8692
600	0.80409	3300.4	3702.5	8.3544	0.66976	3299.8	3701.7	8.2695	0.50186	3298.7	3700.1	8.1354
700	0.89696	3478.6	3927.0	8.5978	0.74725	3478.1	3926.4	8.5132	0.56011	3477.2	3925.3	8.3794
800	0.98966	3663.6	4158.4	8.8240	0.82457	3663.2	4157.9	8.7395	0.61820	3662.5	4157.0	8.6061
900	1.08227	3855.4	4396.6	9.0362	0.90179	3855.1	4396.2	8.9518	0.67619	3854.5	4395.5	8.8185
1000	1.17480	4054.0	4641.4	9.2364	0.97893	4053.8	4641.1	9.1521	0.73411	4053.3	4640.5	9.0189
1100	1.26728	4259.0	4892.6	9.4263	1.05603	4258.8	4892.4	9.3420	0.79197	4258.3	4891.9	9.2090
1200	1.35972	4470.0	5149.8	9.6071	1.13309	4469.8	5149.6	9.5229	0.84980	4469.4	5149.3	9.3898
1300	1.45214	4686.6	5412.6	9.7797	1.21012	4686.4	5412.5	9.6955	0.90761	4686.1	5412.2	9.5625

Ubicando la presión indicada, la entalpía correspondiente al vapor de salida en la caldera es de 2738.1 kJ/kg.

5.4.3 CÁLCULO DE LA POTENCIA NETA DE LA CALDERA

Para el cálculo de la potencia neta de la caldera se hizo utilizando la ecuación 11.

$$PN \left[\frac{kJ}{h} \right] = mv \left[\frac{kg}{h} \right] * \left(hs \left[\frac{kJ}{kg} \right] - he \left[\frac{kJ}{kg} \right] \right)$$

Las variables asociadas al cálculo de la potencia neta de la caldera son:

- $mv \left[\frac{kg}{h} \right] = 1,500 \text{ [kg/h]}$, caudal másico de vapor requerido por la microturbina de vapor.
- $hs \left[\frac{kJ}{kg} \right] = 2738.1 \text{ [kJ/kg]}$, entalpía del vapor de entrada requerido por la microturbina de vapor.
- $he \left[\frac{kJ}{kg} \right] = 419.17 \text{ [kJ/kg]}$, entalpía del agua de entrada a la caldera.

Desarrollando la operación matemática:

$$PN \left[\frac{kJ}{h} \right] = 1500 \left[\frac{kg}{h} \right] * \left(2738.1 \left[\frac{kJ}{kg} \right] - 419.17 \left[\frac{kJ}{kg} \right] \right)$$

$$\boxed{PN \left[\frac{kJ}{h} \right] = 3,478,395 \text{ [kJ/h]}}$$

Convirtiendo las unidades a Kilowatts térmicos:

$$3,478,395 \text{ [kJ/h]} * \frac{1 \text{ [h]}}{3600 \text{ [s]}} * = 966.22 \text{ [kJ/s]}$$

$$1 \text{ [kWt]} = 1 \text{ [kJ/s]}$$

$$\boxed{966.22 \text{ [kWt]}}$$

La potencia térmica neta necesaria para la caldera es de 966.22 [kWt].

5.5 CÁLCULO DE CONSUMO DE BIOMASA [CASULLA DE CAFÉ]

Para el cálculo del consumo de biomasa por parte de la caldera se utilizó la ecuación 12.

$$CB \left[\frac{kg}{h} \right] = \frac{PTN \text{ [kJ/h]}}{PCI \left[\frac{kJ}{kg} \right]}$$

5.5.1 CÁLCULO DE CAPACIDAD TÉRMICA DE ABSORCIÓN DEL MATERIAL

Para el cálculo de la capacidad térmica de absorción del material se utilizó la siguiente ecuación:

$$K \left[\frac{kJ}{^{\circ}C} \right] = C \left[\frac{kJ}{kg * ^{\circ}C} \right] * m [kg]$$

Ecuación 29: Capacidad térmica de absorción del material

Fuente: (Bolívar, 2018)

Siendo:

- K [kJ/°C] = Capacidad térmica de absorción [Dato a calcular]
- C [kJ/ kg * °C] = Calor específico del material [Dato general]
- m [kg] = Masa de la muestra [Dato general]

El valor de las variables asociadas al cálculo de la capacidad térmica de absorción es:

- C [kJ/ kg * °C] = 911 [[kJ/ kg * °C] Calor específico del material.
- m [kg] = 4.86 [kg] Masa de la muestra.

Desarrollando la operación matemática:

$$K \left[\frac{kJ}{^{\circ}C} \right] = 911 \left[\frac{kJ}{kg * ^{\circ}C} \right] * 4.86 [kg]$$

$$K \left[\frac{kJ}{^{\circ}C} \right] = 4,427.46$$

La capacidad térmica de absorción de la muestra es de 4,427.46 [kJ/°C]

5.5.2 CÁLCULO DE PODER CALORÍFICO

Las variables asociadas al cálculo del poder calorífico inferior son:

- K [kJ/°C] = Capacidad térmica de absorción del material
- ΔT [°C] = Cambio de temperatura registrado por el material
- V_c [cm³] = Es el volumen del combustible
- P_c [kg/cm³] = Es la densidad del combustible

Desarrollando la operación matemática:

$$PC \left[\frac{kJ}{g} \right] = \frac{4,427.46 \left[\frac{kJ}{^{\circ}C} \right] * 5 [^{\circ}C]}{1000 [cm^3] * 0.00116 [kg/cm^3]}$$

Las variables asociadas al consumo de biomasa por la caldera son:

- PTN [kJ/h] = 3,223,410 [kJ/h], potencia térmica neta necesaria.
- PC $\left[\frac{kJ}{kg} \right]$ = 19,083.87 [kJ/kg], poder calorífico de la casulla de café.

Desarrollando la operación matemática:

$$CB \left[\frac{kg}{h} \right] = \frac{3,478,395 [kJ/h]}{19,083.87 \left[\frac{kJ}{kg} \right]}$$

$$\boxed{CB \left[\frac{kg}{h} \right] = 182.268 [kg/h]}$$

El consumo por hora de la caldera de biomasa será de 182.268 [kg/h] de casulla de café.

CBa: Consumo de Biomasa Anual

Ta: Tiempo de operación anual

$$CBa [kg] = CB \left[\frac{kg}{h} \right] * Ta [h]$$

$$CBa [kg] = 182.268 \left[\frac{kg}{h} \right] * 918 [h]$$

$$CBa [kg] = 167,322.80 kg$$

El consumo anual de casulla de café es de 167,322.80 kg.

5.5.3 CÁLCULO DE PRODUCCIÓN PROMEDIO DE CASULLA DE CAFÉ

Para el cálculo de la producción promedio anual de casulla de café en el beneficio se tomaron los datos proporcionados por el operador de 5 años anteriores que se ilustran en la tabla siguiente con el de la producción promedio anual:

Tabla 16: Producción promedio de biomasa

Año	Producción de biomasa [kg]
1	170,164.13
2	165,890.89
3	186,754.60
4	190,341.56
5	189,765.45
Promedio Anual	180,583.33

Fuente: Elaboración Propia

El beneficio sí produce la suficiente biomasa anual para la generación de su propia energía eléctrica.

5.5.4 CÁLCULO DE PORCENTAJE DE HUMEDAD

Para el cálculo de porcentaje de humedad se ha utilizado la ecuación siguiente:

$$\text{Humedad [\%]} = \frac{\text{Masa inicial [kg]} - \text{Masa final [kg]}}{\text{Masa Final [kg]}} * 100$$

El valor de las variables asociadas al cálculo del porcentaje de humedad es:

- Masa Inicial [kg] = 1.29 [kg]
- Masa Final [kg] = 1.16 [kg]

Desarrollando la operación matemática:

$$\text{Humedad [\%]} = \frac{1.296 \text{ [kg]} - 1.16 \text{ [kg]}}{1.16 \text{ [kg]}} * 100$$

$$\text{Humedad [\%]} = 11.76 \text{ [\%]}$$

El porcentaje de humedad de la casulla de café es de 11.76 %.

5.5.5 CÁLCULO DE LA DENSIDAD DE LA CASULLA DE CAFÉ

Para el cálculo de la densidad de la casulla del café se utilizará la ecuación 16 anteriormente descrita:

$$\rho \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} \right] = \frac{m \text{ [kg]}}{V \text{ [cm}^3\text{]}}$$

Las variables asociadas al cálculo de la densidad de la casulla de café son:

- M [kg] = 1.16 [kg] Masa de la casulla de café con base a 1000 cm^3 de volumen.
- V [cm^3] = 1000 [cm^3] Volumen de la casulla de café.

Desarrollando la operación matemática:

$$\rho \left[\frac{kg}{cm^3} \right] = \frac{1.16 [kg]}{1000 [cm^3]}$$

$$\rho \left[\frac{kg}{cm^3} \right] = 0.00116 \left[\frac{kg}{cm^3} \right]$$

La densidad de la casulla de café en el beneficio Corinto es de 0.00116 [kg/cm³].

3.13.9 CÁLCULO DE LA EFICIENCIA TÉRMICA COMBUSTIÓN

Para el cálculo de la eficiencia térmica de la caldera se ha utilizado la ecuación 17:

$$\eta [\%] = \frac{Q_{\text{útil}} [kJ]}{Q_{\text{disponible}} [kJ]}$$

Las variables asociadas al cálculo de la eficiencia térmica de la caldera son:

- Q_{útil} [kJ] = 828,516 [kJ] La energía térmica que se utiliza para transformar el agua en vapor.
- Q_{disponible} [kJ] = 3,223,410 [kJ] La energía térmica desprendida de la combustión de la biomasa.

Desarrollando la operación matemática:

$$\eta [\%] = \frac{823,176.68 [kJ]}{3,223,410 [kJ]}$$

$$\eta [\%] = 25.53 \%$$

La eficiencia térmica de la caldera es de 25.53%.

3.13.9.1 CÁLCULO DE ENERGÍA TÉRMICA ÚTIL

Para el cálculo de la energía térmica útil se han utilizado la ecuación siguiente:

$$Q_{\text{útil}} [kJ] = Q_{\text{vaporización}} [kJ] + Q_{\text{sobrecalentamiento}} [kJ]$$

Las variables asociadas al cálculo de la energía térmica útil son:

- $Q_{\text{vaporización}} [kJ] = 819,543.8 [kJ]$ Energía necesaria para vaporizar el agua.
- $Q_{\text{sobrecalentamiento}} [kJ] = 6,712.60 [kJ]$ Energía necesaria para sobrecalentar el vapor de agua [Dato obtenido de cálculos]

Desarrollando la operación matemática:

$$Q_{\text{útil}} [kJ] = 819,583.8 [kJ] + 6,712.60 [kJ]$$

$$Q_{\text{útil}} [kJ] = 823,176.68 [kJ]$$

La energía térmica útil es de 828,516 [kJ].

3.13.9.1.1 CÁLCULO DE CALOR DE VAPORIZACIÓN

Para el cálculo del calor de vaporización se ha utilizado la ecuación 19:

$$Q_{\text{vaporización}} [kJ] = m [kg] * Lv \left[\frac{J}{kg} \right]$$

Las variables asociadas al cálculo del calor de vaporización son:

- $M [kg] = 362.63 [kg]$ Masa de agua.
- $Lv [J/kg] = 2.26 \times 10^6 [J/kg]$ Calor latente de vaporización del agua.

Desarrollando la operación matemática:

$$Q_{\text{vaporización}} [kJ] = \frac{\left(362.63 [kg] * 2.26 \times 10^6 \left[\frac{J}{kg}\right]\right)}{1000}$$

$$Q_{\text{vaporización}} [kJ] = 819,543.8 [kJ]$$

El calor necesario para la vaporización del agua es de 819,543.8 [kJ]

3.13.9.1.2 CÁLCULO DE ENERGÍA TÉRMICA DE SOBRECALENTAMIENTO DEL VAPOR

Para el cálculo de la energía térmica de sobrecalentamiento se ha utilizado la ecuación 20:

$$Q_{\text{sobrecalentamiento}} [kJ] = m [kg] * CIG_{\text{agua}} \left[\frac{J}{kg * K}\right] * \Delta T [^{\circ}C]$$

Las variables asociadas al cálculo de la energía térmica de sobrecalentamiento del vapor son:

- M [kg] = 363.63 [kg] Masa de agua.
- $CIG_{\text{agua}} \left[\frac{J}{kg * K}\right] = 461.5 \left[\frac{J}{kg * K}\right]$ Constante individual gaseosa del vapor de agua.
- $\Delta T [^{\circ}C] = 40 [^{\circ}C]$ Cambio de temperatura.

Desarrollando la operación matemática:

$$Q_{\text{sobrecalentamiento}} [kJ] = \frac{363.63 [kg] * 461.5 \left[\frac{J}{kg * K}\right] * 40 [^{\circ}C]}{1000}$$

$Q_{\text{sobrecalentamiento}} [kJ] = 6,712.60 [kJ]$
--

3.13.9.2 CÁLCULO DE ENERGÍA TÉRMICA DISPONIBLE

Para el cálculo de la energía térmica disponible se ha utilizado la ecuación 21:

$$Q_{disponible} [kJ] = CB \left[\frac{kg}{h} \right] * PC \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

Las variables asociadas al cálculo de la energía térmica disponible son:

- CB [kg/h] = 182.268 [kg/h] Consumo de biomasa por parte de la caldera en un tiempo determinado [Dato obtenido de cálculos]
- PC [kJ/kg] = 19,083.87 $\left[\frac{kJ}{kg} \right]$ Poder calorífico de la casulla de café [Dato obtenido de cálculos]

Desarrollando la operación matemática:

$$Q_{disponible} [kJ] = 182.268 \left[\frac{kg}{h} \right] * 19,083.87 \left[\frac{kJ}{kg} \right] * 1 h$$

$$Q_{disponible} [kJ] = 3,478,378.81 [kJ]$$

3.13.9.3 DETERMINACIÓN DE LA MASA DE AGUA

Para la determinación de la masa de agua se ha utilizado la el método siguiente:

En primera instancia se ha convertido la potencia térmica de la caldera de kWt a caballos caldera [CC] utilizando el factor de conversión siguiente:

$$1 [CC] = 9.80 [kWt]$$

Desarrollando la operación matemática se obtiene:

$$1000 [kWt] * \frac{1 [CC]}{9.80 [kWt]} = 101.942 [CC]$$

Luego de convertir las unidades se utiliza una tabla donde se indica las características estándar de las calderas según su potencia térmica en caballos caldera [CC] como se muestra a continuación:

Potencia Caldera CC	Rapidez de evaporac. GPM	Factor de encendido	Capacidad bomba GPM	Capacid. del tanque galones	Tamaño tanque plg.
10	0,70	2	2	30	16x42
15	1,00	2	3	30	16x42
20	1,40	2	3	30	16x42
25	1,70	2	4	30	16x42
30	2,10	2	4	30	16x42
40	2,80	2	6	30	16x42
50	3,50	2	7	60	22x43
60	4,10	2	8	60	22x43
70	4,80	2	10	60	22x43
80	5,50	2	11	100	24x56
90	6,20	2	12	100	24x56
100	6,90	2	14	100	24x56
125	8,60	2	17	100	24x56
150	10,40	2	21	200	30x69
175	12,10	2	24	200	30x69
200	13,80	2	27	200	30x69
225	15,50	2	31	250	36x71
250	17,10	2	34	250	36x71
275	19,00	2	38	250	36x71
300	20,70	2	42	350	42x73
350	24,20	2	48	350	42x73
400	27,60	2	55	350	42x73
450	31,10	2	62	500	42x97
500	34,50	2	69	500	42x97
550	38,00	2	76	750	48x98
600	41,40	2	83	750	48x98

Ilustración 28: Características de calderas según su potencia térmica

Fuente: (Jimenez, 1997)

Observando la tabla se puede determinar que con base la potencia térmica de la caldera la capacidad de almacenamiento de agua es de 100 galones. Luego de obtener este dato procedemos a convertir las unidades de volumen de galones a metros cúbicos utilizando el siguiente factor de conversión:

$$1 \text{ Galón} = 0.00378541 \text{ m}^3$$

Desarrollando la operación matemática:

$$1000 \text{ Galones} * \frac{0.00378541 \text{ m}^3}{1 \text{ Galón}} = 0.378541 \text{ m}^3$$

Luego de obtener este valor procederemos a obtener la densidad del agua a la temperatura de entrada de agua en la caldera que en este caso es de aproximadamente 100 °C. Utilizando la tabla siguiente:

Temperatura °C	Densidad kg / m ³	Temperatura °C	Densidad kg / m ³	Temperatura °C	Densidad kg / m ³
0 (hielo)	917,00	33	994,76	67	979,34
0	999,82	34	994,43	68	978,78
1	999,89	35	994,08	69	978,21
2	999,94	36	993,73	70	977,63
3	999,98	37	993,37	71	977,05
4	1000,00	38	993,00	72	976,47
5	1000,00	39	992,63	73	975,88
6	999,99	40	992,25	74	975,28
7	999,96	41	991,86	75	974,68
8	999,91	42	991,46	76	974,08
9	999,85	43	991,05	77	973,46
10	999,77	44	990,64	78	972,85
11	999,68	45	990,22	79	972,23
12	999,58	46	989,80	80	971,60
13	999,46	47	989,36	81	970,97
14	999,33	48	988,92	82	970,33
15	999,19	49	988,47	83	969,69
16	999,03	50	988,02	84	969,04
17	998,86	51	987,56	85	968,39
18	998,68	52	987,09	86	967,73
19	998,49	53	986,62	87	967,07
20	998,29	54	986,14	88	966,41
21	998,08	55	985,65	89	965,74
22	997,86	56	985,16	90	965,06
23	997,62	57	984,66	91	964,38
24	997,38	58	984,16	92	963,70
25	997,13	59	983,64	93	963,01
26	996,86	60	983,13	94	962,31
27	996,59	61	982,60	95	961,62
28	996,31	62	982,07	96	960,91
29	996,02	63	981,54	97	960,20
30	995,71	64	981,00	98	959,49
31	995,41	65	980,45	99	958,78
32	995,09	66	979,90	100	958,05

Ilustración 29: Densidad del agua a diferentes temperaturas

(Química Inorgánica , 2012)

Con base en los valores de la tabla se determina que la densidad del agua es 958.05 [kg/m³]
 Luego se procede a calcular la cantidad de masa de agua multiplicando el valor de la densidad por el volumen actual como se muestra a continuación:

$$958.05 \text{ [kg/m}^3\text{]} * 0.378541 \text{ [m}^3\text{]} = 362.63 \text{ [kg] de agua.}$$

3.13.9.4 CÁLCULO DE REDUCCIÓN DE GASES EMITIDOS A LA ATMOSFERA

Para el cálculo de la reducción se gases de efecto invernadero emitidos a la atmósfera se ha utilizado la ecuación 22:

$$REG [ton\ de\ CO_2] = Energía\ Generada [kWh] * Factor\ de\ Emisión \left[\frac{ton\ de\ CO_2}{kWh} \right]$$

Las variables asociadas para el cálculo de las reducciones en las emisiones de dióxido de carbono son:

- Energía Generada [kWh] = 43,169 [kWh] La energía de la fuente renovable.
- Factor de Emisión $\left[\frac{ton\ de\ CO_2}{kWh} \right]$ = Cantidad de dióxido de carbono emitido a la atmósfera por kWh generado [Dato general que para este caso es de 0.000707 $\left[\frac{ton\ de\ CO_2}{kWh} \right]$.

Desarrollando la operación matemática:

$$REG [ton\ de\ CO_2] = 43,169 [kWh] * 0.000707 \left[\frac{ton\ de\ CO_2}{kWh} \right]$$

$$REG [ton\ de\ CO_2] = 30.52 [ton\ de\ CO_2]$$

5.6 CÁLCULO DE COSTO NIVELADO DE ELECTRICIDAD UTILIZANDO CASULLA DE CAFÉ

Para el cálculo del costo nivelado de la electricidad utilizando casulla de café se utilizará la ecuación 6.

$$LCOE \left[\frac{\$}{kWh} \right] = \sum_{i=0}^m \frac{CC_i [\$] + O\&M_i [\$]}{Energía\ Generada_i [kWh]}$$

Las variables asociadas al cálculo del costo nivelado de la electricidad utilizando casulla de café son:

- $CC_i [\$] = \$70,950$, es monto final por el préstamo del 70%

- $O\&M_i$ [\$] = \$250, es el costo de operación y mantenimiento anual de la caldera y microturbina de vapor.
- $Energía\ Generada_i$ [kWh] = 43,168 kWh, es la energía generada en el primer año.
- $m = 25$ años, es la vida de la caldera y microturbina de vapor.
- $i = 1$ año, año de vida útil de la caldera y microturbina de vapor.

Para el desarrollo de la ecuación se ha utilizado una inflación promedio anual de 2.5% en el costo de operación y mantenimiento anual. Una degradación del generador del 0.08% anual con base en las especificaciones del fabricante.

Desarrollando la operación matemática:

$$LCOE \left[\frac{\$}{kWh} \right] = \sum_{i=1}^{25} \frac{70,950_i [\$] + 250_i [\$]}{43,168.95_i [kWh]}$$

$$LCOE \left[\frac{\$}{kWh} \right] = 0.10924 \left[\frac{\$}{kWh} \right]$$

El costo nivelado de la electricidad utilizando casulla de café es de 0.10924 [\$/kWh].

5.7 CÁLCULO DE INVERSIÓN INICIAL

5.7.1 CÁLCULO DE LA INVERSIÓN DE CAPITAL FIJO

Para el cálculo de la inversión de capital fijo se determinó sumando los valores monetarios de los equipos principales para la realización del proyecto que se describen en la tabla siguiente:

Tabla 17: Descripción de equipo técnico principal

N°	Equipo	Valor [\\$]
1	Caldera 1000 kWt	\$ 40,000.00
2	Microturbina de vapor, 50 kWe	\$ 12,500.00
3	Planta de tratamiento de agua	\$ 3,000.00
4	Overhaul Turbina Año 11	\$ 4,000.00
5	Obra Civil	\$ 1,000.00
6	Controlador de Carga Automatico	\$ 3,500.00
	Inversión Total	\$ 64,000.00

Fuente: Elaboración Propia

5.7.2 CÁLCULO DE COSTO DE CAPITAL DE TRABAJO

Para el cálculo del costo de capital de trabajo se ha tomado los valores correspondientes al costo de instalación de cada equipo principal para la realización del proyecto que se ilustra en la tabla siguiente:

Tabla 18: Costos de instalación equipos

N°	Equipo	Costos de Instalación [\\$]
1	Caldera 1000 kWt	\$2,500.00
2	Microturbina de vapor, 50 kWe	\$500.00
3	Planta de tratamiento de agua	\$800.00
4	Overhaul Turbina Año 11	\$2,000.00
5	Obra Civil	\$500.00
6	Controlador de Carga Automatico	\$650.00
	Inversión Total	\$ 6,950.00

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de la inversión inicial del proyecto se ha utilizado la ecuación 8:

$$\text{Inversión Inicial [\$]} = \text{ICF [\$]} + \text{ICT [\$]}$$

Las variables asociadas al cálculo de la inversión inicial son:

- ICF [\$] = \$64,000, es la inversión del capital fijo para el proyecto.
- ICT [\$] = \$6,950, es el costo de instalación.

Desarrollando la operación matemática:

$$Inversión\ Inicial\ [\$] = 64,000\ [\$] + 6,950\ [\$]$$

$$Inversión\ Inicial\ [\$] = \$70,950$$

La inversión inicial que se requiere para el proyecto en el beneficio Corinto es de \$70,950.

**Nota: No están incluidos los costos por transporte.

5.8 CÁLCULO DE VAN

Para el cálculo del valor actual neto se utilizó la ecuación 17:

$$VAN\ [\$] = -I_0\ [\$] + \sum_{j=0}^n \frac{FN_j\ [\$]}{(1 + i\ [\%])^j}$$

Las variables asociadas al cálculo del valor actual neto son:

- I_0 [\$] = \$21,285, Inversión inicial con base en financiamiento.
- $j = 1$ Periodo
- $n = 25$, Número de periodos
- FN [\$] = \$9,964.49 Flujo neto de caja neto en el primer año.
- i [%] = 8.5%, Tasa de interés del préstamo.

Desarrollando la operación matemática:

$$VAN [\$] = -21,285 [\$] + \sum_{j=1}^{25} \frac{\$9,964.49_1 [\$]}{(1 + 8.5[\%])_1}$$

$$VAN [\$] = \$147,650.51$$

El valor actual neto del proyecto es de \$147,650.51

5.9 CÁLCULO DE TIR

Para el cálculo de la TIR se ha utilizado la ecuación 18:

$$TIR [\%] = \sum_{j=0}^n \frac{FN [\$]}{(1 + i [\%])^n}$$

Las variables asociadas al cálculo de la tasa interna de retorno son:

- $j = 1$, Periodo
- $n = 25$, Número de periodos
- $FN [\$] = \$9,964.49$ Flujo neto de caja neto en el primer año.
- $i [\%] = 8.5\%$ Tasa de interés del préstamo.

Desarrollando la operación matemática:

$$TIR [\%] = \sum_{j=1}^{25} \frac{\$9,964.49_1 [\$]}{(1 + 8.5 [\%])^1}$$

$$TIR [\%] = 53\%$$

La tasa interna de retorno del proyecto es de 53%.

5.10 CÁLCULO DE PERIODO DE RETORNO

Para el cálculo de la tasa interna de retorno se ha utilizado la ecuación 19:

$$PR [\text{años}] = PFAN [\text{año}] + \frac{|UFCN| [\$]}{|VFCSP| [\$]}$$

Las variables asociadas al cálculo del tiempo de retorno son:

- PFAN =2, Número de periodo con ultimo con flujo de caja acumulado negativo
- UFCN [\$] = \$-461.07 Valor del último flujo de caja acumulado negativo
- VFCSP [\$] = \$11,104.70 Valor de flujo de caja acumulado del siguiente periodo

Desarrollando la operación matemática:

$$PR [\text{años}] = 2 [\text{años}] + \frac{|-461.07| [\$]}{|11,104.70| [\$]}$$

$$PR [\text{años}] = 2.04 \text{ años}$$

El periodo de recuperación sobre la inversión es de 2.04 años.

VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 ANÁLISIS DE COSTOS NIVELADOS DE LA ELECTRICIDAD

Se ha determinado los costos nivelados de la electricidad para ambas tecnologías y se puede observar una diferencia de 0.3509 [\$/kWh] entre los costos nivelados de la electricidad de ambas tecnologías. En el caso del diésel el LCOE se ve afectado debido a los altos costos que actualmente representa el uso del combustible fósil para el beneficio Corinto, que ascienden a más de \$31,338.16 anualmente.

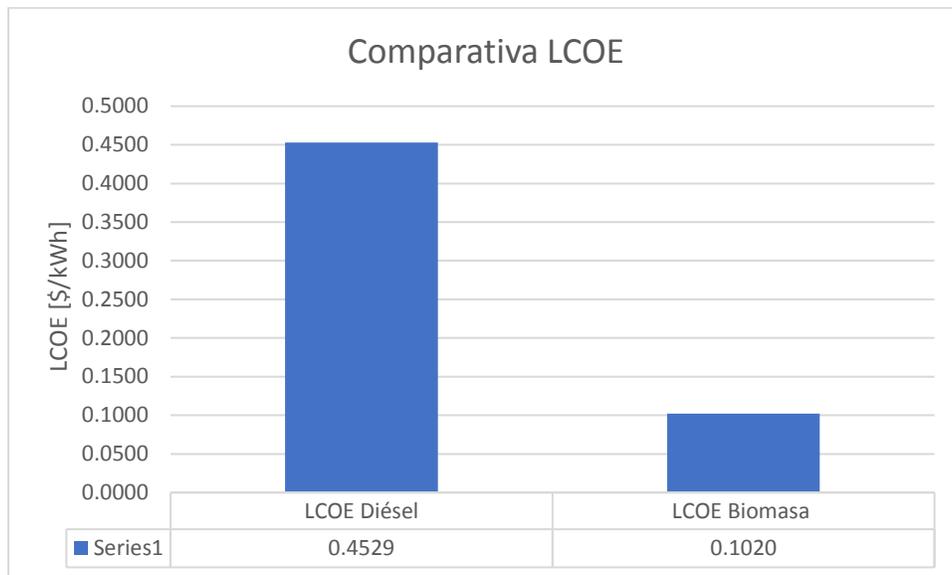


Ilustración 30: Gráfico de LCOE para cada tecnología

Fuente: Elaboración Propia

6.2 ANÁLISIS DE LA POTENCIA ELECTRICA REQUERIDA

La potencia eléctrica requerida para generar el 50% de la energía eléctrica suministrada al beneficio Corinto por el generador diésel es de 47.15 kW. Con base en este dato se ha seleccionado una microturbina de vapor del fabricante español Biocalora modelo S2E – 50 con una potencia neta de 50 kW que se muestra en la ilustración siguiente:



Ilustración 31: Microturbina de vapor

Fuente: Ficha técnica Biocalora

La microturbina de vapor tendrá una generación de energía eléctrica anual ilustrada en el gráfico siguiente:

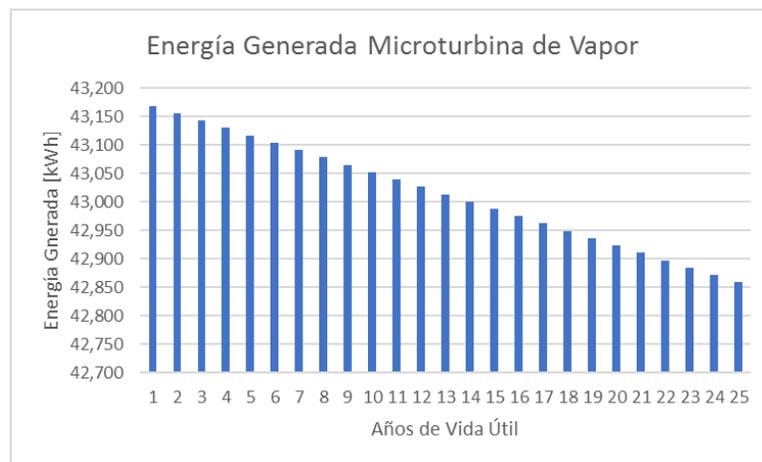


Ilustración 32: Energía generada por la microturbina de vapor

Fuente: Elaboración Propia

6.3 ANÁLISIS DE LA POTENCIA DE LA CALDERA

Con base en los cálculos realizados se determinó que la potencia térmica necesaria para la caldera debería de ser 966.22 [kWt]. Se ha optado por utilizar una caldera pirotubular del fabricante ATTSU modelo CSPM – 1000 con una potencia térmica de 1000 kWt que se muestra en la ilustración siguiente:



Ilustración 33: Montaje de caldera ATTSU

Fuente: Página oficial ATTSU

6.4 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA

Para el funcionamiento óptimo de la caldera se ha integrado al proyecto una planta de tratamiento de agua marca Sentai que ofrece entre 500 [lph] – 1000 [lph] como se ilustra a continuación:



Ilustración 34: Planta de tratamiento de Agua

Fuente: Página oficial Sentai

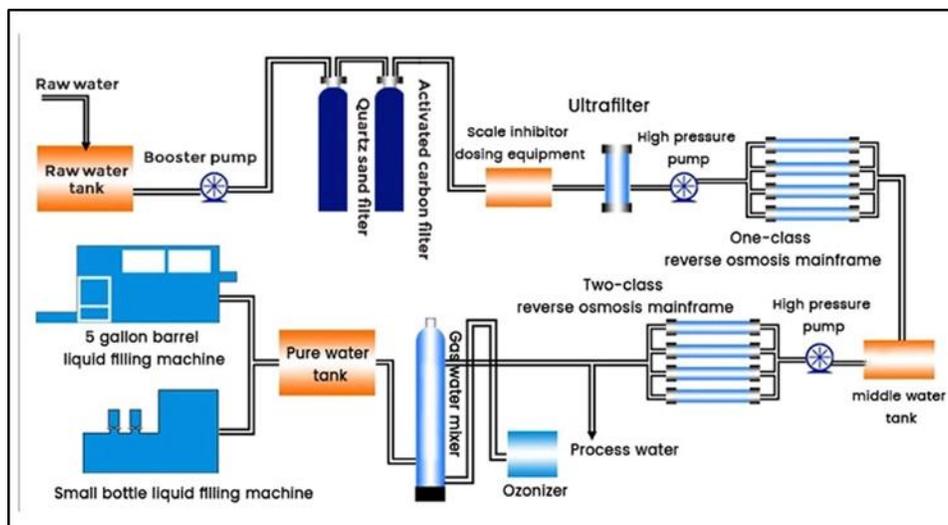


Ilustración 35: Funcionamiento Planta de Tratamiento de Agua

Fuente: Página Oficial Sentai

6.5 CONTROLADOR DE CARGA

Para la implementación de ambas tecnologías de manera simultánea se ha considerado un controlador de carga marca Elum ePowerControl - 200 kW que es ampliamente utilizado para sistemas de esta configuración y que permitirá la correcta sincronización de ambos sistemas. A continuación, se presenta el diagrama unifilar del proyecto en el Beneficio Corinto.

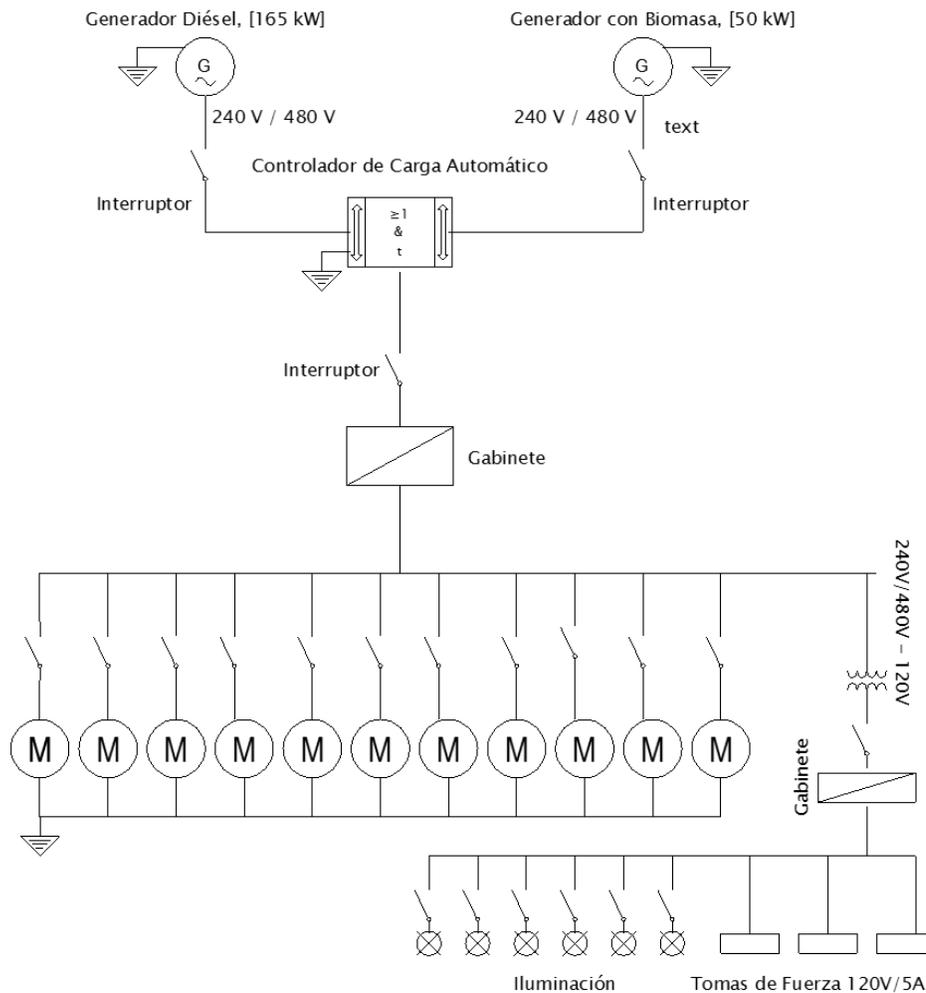


Ilustración 36: Diagrama unifilar sistema

Fuente: Elaboración Propia

**Nota: Se ha utilizado el software profiCAD para la realización de este diagrama.

6.7 ANÁLISIS DE PROCESO EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

El proceso en el cual se basará la generación de energía eléctrica en el beneficio Corinto se ilustrará a continuación en donde se podrá apreciar el equipo técnico necesario principal, así como también los procesos básicos y elementales para su funcionamiento.

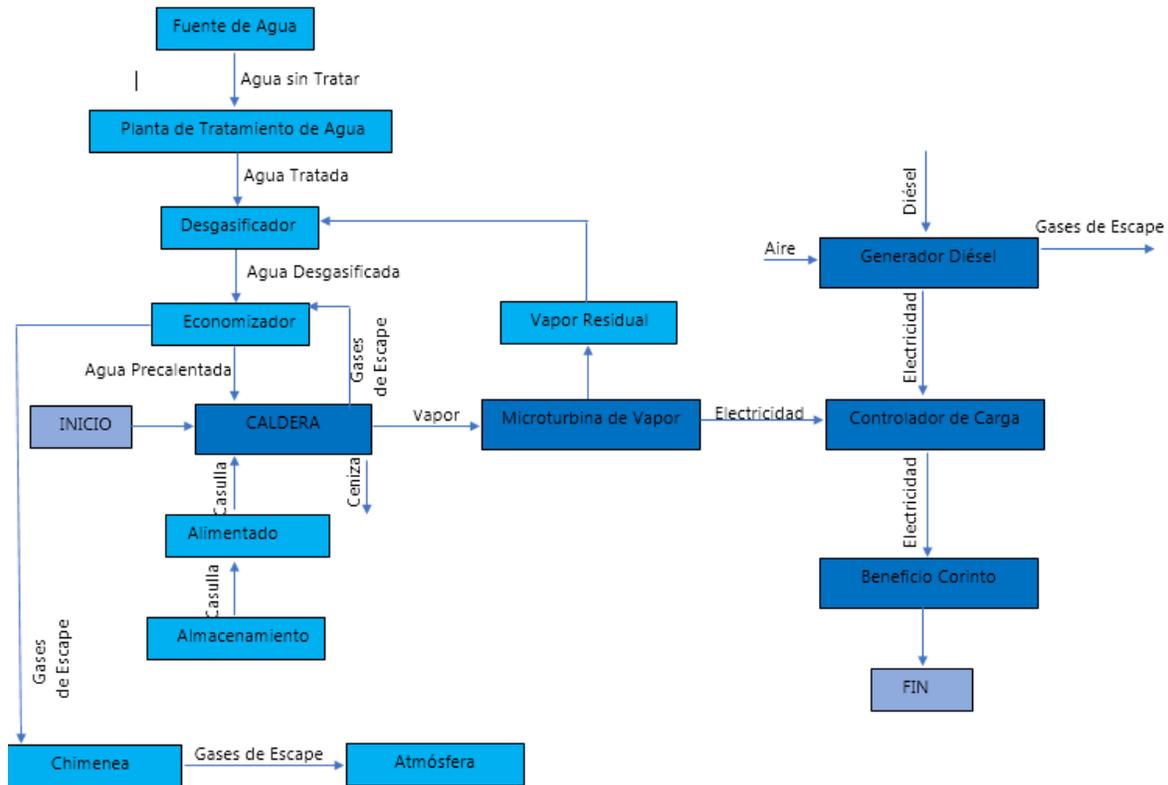


Ilustración 37: Diagrama de Procesos en la generación de energía eléctrica

Fuente: Elaboración Propia

6.6 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES DE LA CASULLA DE CAFÉ

El poder calorífico de la casulla de café que se determinó mediante cálculos resultó ser de 19,083.87 [kJ/kg] con un porcentaje de humedad correspondiente del 11.76% lo que permite su utilización de manera confiable como biomasa en la generación de energía eléctrica en el Beneficio Corinto. Aunque al realizarse esta investigación se debe advertir pa posibilidad de utilizar los otros residuos agrícolas en la producción de café como el mucílago y la pulpa en la producción de biogás para mejorar la matriz energética y obtener un mayor aprovechamiento de los residuos agrícolas.

6.7 ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA TÉRMICA

Se determinó mediante cálculos que la eficiencia térmica es de 25.53% lo que quiere decir que de toda la energía desprendida durante la combustión de la biomasa solo el 25.53% se utilizará en forma útil lo demás 74.47% se disipará en pérdidas como ser:

Tabla 19: Pérdidas asociadas a la combustión

1. Calor Sensible Gases de Escape
2. Combustible No Quemado
3. Incombustión Mecánica
4. Radiación
4. Calor Físico del Horno
5. Evaporación de humedad
6. Convección
7. Conducción

Fuente: (Madrugal, 2016)

6.8 ANÁLISIS DEL CONSUMO DE BIOMASA [CASULLA DE CAFÉ]

El consumo de casulla de café por hora es de 182.268 [kg/h] siendo un total en el primer año de operación de 167,322.80 [kg]. Con una producción promedio anual de 180,583.33 [kg] de casulla de café el beneficio puede sustentar por cuenta propia su consumo de biomasa para la generación de energía eléctrica.



Ilustración 38: Almacenamiento casulla de café beneficio Corinto

Fuente: Elaboración Propia

6.9 REDUCCIÓN EN LAS EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO

Con la implementación de una fuente renovable se ha reducido la emisión de dióxido de carbono proveniente de la utilización de combustibles fósiles como lo es el diésel. Con base en los cálculos realizados se ha determinado que con la implementación del nuevo sistema que aproveche la casulla de café como recurso energético primario las emisiones se reducirían en un 50%, es decir 30.52 [ton de CO₂] de forma anual al desplazar el 50% de la energía al generador diésel como se ilustrará en el siguiente gráfico:

Tabla 20: Emisiones de CO2

Tecnología	Energía Generada [kWh]	Factor de Emisión [Ton de CO ₂ /kWh]	Emisiones [Ton de CO ₂]
Diésel	86,338	0.000707	61.041
Biomasa	43,169		30.520

Fuente: Elaboración Propia

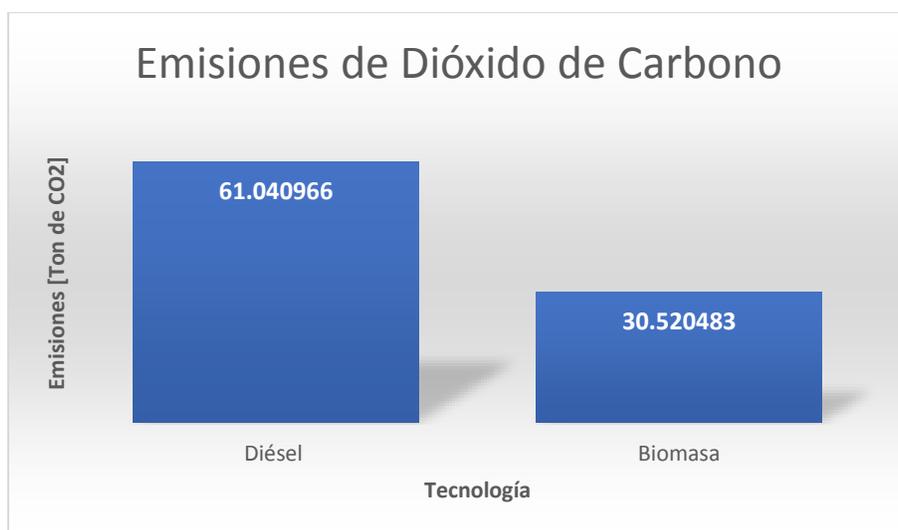


Ilustración 39: Emisiones de CO2

Fuente: Elaboración Propia

6.10 ANÁLISIS DE VARIABLES FINANCIERAS

Los valores de las variables financieras después de realizar los flujos de caja se muestran en la tabla siguiente:

Indicadores Financieros	
VAN	147,650 \$
TIR	53%
PB	2.04

Fuente: Elaboración propia

Con base en los cálculos realizados se ha determinado un VAN de \$147,650 el cual nos indica que el proyecto si generará ganancia o beneficios adicionales si se opta por la realización del proyecto. Se ha determinado una TIR del 53% lo que significa que el proyecto tendrá ese porcentaje de beneficio sobre la inversión realizada para su implementación. Se ha determinado un periodo de retorno de la inversión de 2.04 años el cual nos quiere decir que en ese tiempo se recuperará la inversión.

Los indicadores financieros obtenidos son considerados aceptables para la realización de este proyecto.

VII. CONCLUSIONES

1. Los componentes necesarios para la generación de energía eléctrica utilizando la casulla de café como recurso energético primario en el beneficio Corinto principalmente son cuatro: una caldera de vapor a biomasa de 1000 kWt y una microturbina de vapor de 50 kWe, una planta de tratamiento de agua de entre 500 [lph] a 1000 [lph] y un sistema de control de carga de 200 kW para poder integrar el sistema de manera eficiente.
2. Es posible suministrar el 50% de la energía eléctrica consumida por el beneficio Corinto de manera viable económicamente debido a que este recurso energético primario no tiene actualmente ningún costo para el beneficio a diferencia de los que genera el utilizar el combustible fósil.
3. El beneficio Corinto necesita una cantidad de 167,322.80 [kg] de casulla de café anualmente para la generación del 50% de la energía eléctrica desplazada al generador diésel, cantidad que puede ser suplida en su totalidad con la producción propia del beneficio de este residuo.
4. La inversión necesaria para la realización del proyecto es de \$70,950 los cuales se obtendrían mediante financiamiento del 70% del valor de la inversión y una prima del 30%, acordando una tasa preferencial acordada entre el propietario del beneficio y una institución financiera nacional.
5. El periodo de recuperación de la inversión según los resultados obtenidos del flujo de caja es de 2.04 años.

VIII. RECOMENDACIONES

1. Realizar mantenimiento predictivo constante en el sistema eléctrico y equipos para poder mantener siempre su óptimo funcionamiento y minimización de pérdidas.
2. Mantener una limpieza adecuada de los equipos evitando siempre exponerlos al contacto de líquidos corrosivos o inflamables.
3. Almacenamiento responsable de la biomasa con el fin de evitar incendios.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. Arenas, D. (2009). *PROPUESTA DE DISEÑO DE UN PROCESO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE LOS RESIDUOS DE LA PRODUCCIÓN DE CAFÉ*. Bogotá, Colombia .
2. Bahamondes, P. (2017). *Descripción de Calderas y Generadores de Vapor*. Santiago, Chile : Asociación Chilena de Seguridad .
3. Barón, L. (2014). *EVALUACIÓN DE LA CASCARILLA DE CAFÉ COMO MATERIAL ABSORBENTE* . Bogotá, Colombia .
4. Becerra, J. (15 de Mayo de 2018). *Formación y Consultoría Industrial* . Obtenido de <https://joseangelbecerra.com/2018/05/15/como-calcular-la-potencia-de-una-caldera/>
5. Bolivar, G. (5 de Noviembre de 2018). *lifeder.com*. Obtenido de <https://www.lifeder.com/calor-especifico/>
6. Brenes, G. C. (2016). *La Situación y tendencias de la producción de café en América Latina y el Caribe* . San José, Costa Rica : Creative Commons .
7. Cáceres, C. (2 de Septiembre de 2014). *Residuos Profesional*. Obtenido de Generar energía limpia a partir de los residuos de café: <https://www.residuosprofesional.com/generan-energia-limpia-partir-de-residuos-de-la-produccion-de-cafe/>
8. Carranza, S. (4 de Mayo de 2015). *Casi el 20% de la población en Honduras depende del café*. Obtenido de La Prensa : <https://www.elheraldo.hn/economia/837183-216/casi-20-de-la-poblaci%C3%B3n-depende-del-caf%C3%A9-en-honduras>
9. Chavarría, F. (15 de Agosto de 2016). *Análisis Costo Beneficio* . Obtenido de <http://evproyec.blogspot.com/2016/08/relacion-beneficio-costos.html>

10. Cid, J. (2012). *Calderas Industriales Eficientes* . Madrid, España: Gráficas Arias Montano.
11. Connor, N. (19 de Septiembre de 2019). *Thermar Engineering* . Obtenido de ¿Cuál es el principio de funcionamiento del generador de turbina?: <https://www.thermal-engineering.org/es/cual-es-el-principio-de-funcionamiento-del-generador-de-turbina-definicion/>
12. Corvo, H. (2019). *lifeder.com*. Obtenido de Análisis de costos: cómo se hace, para qué sirve y ejemplos: <https://www.lifeder.com/analisis-de-costos/>
13. Domínguez, J. (2012). *Calderas Eficientes Industriales*. Madrid, España : Gráficas Arias Montano.
14. Fernández, A. (24 de Septiembre de 2016). *Gestión de Maquinaria Eléctrica*. Obtenido de <https://www.slideshare.net/adrianfernandez102/cursogestionmaquinariacalculoproduccionadministracionsistemascontrolcostosposesionoperacionanalisis>
15. Fernández, P. (19 de Noviembre de 2005). *Propiedades Físicas de los materiales* . Obtenido de <http://residuosuribarri.blogspot.com/2005/11/humedad.html>
16. Gonzáles, N. (18 de Febrero de 2012). *Estudio Técnico... Elemento indispensable en la evaluación de proyectos de inversión*. Obtenido de <https://www.itson.mx/publicaciones/pacioli/Documents/no56/estudiotecnico.pdf>
17. Group, C. (30 de Abril de 2018). *Grupos Electrogenos Condor* . Obtenido de <https://condorgroup.com.ar/optimizar-consumo-de-combustible-de-los-grupo-electrogenos/>
18. Gúzman, P. (17 de Agosto de 2018). *Unitips* . Obtenido de Ciclo del Carbono : <https://blog.unitips.mx/ciclo-del-carbono-tema-de-examen-uam>
19. Jimenez, C. (1997). *CALCULOS DE PROCESOS DE VAPOR EN LA INDUSTRIA TEXTIL* . Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politecnica del Litoral.

20. Lauff, R. (14 de Diciembre de 2018). *Catracho Global*. Obtenido de El Café en Honduras: <http://catrachoglobal.com/politica/el-cafe-de-honduras/>
21. Madrugal, J. (2016). *Método para la evaluación de la eficiencia e impacto ambiental de un generador de vapor*. La Habana, Cuba : Universidad de Cienfuegos.
22. Montero, M. (16 de Noviembre de 2017). *emprendepyme.net*. Obtenido de Periodo de Recuperación de la Inversión : <https://www.emprendepyme.net/periodo-de-recuperacion-de-la-inversion.html>
23. Oelker, A. (2010). *Análisis de Eficiencia en Calderas* . Santiago, Chile : THERMAL ENGINEERING LTDA.
24. Paredes, M. (28 de Septiembre de 2018). *BID*. Obtenido de ¿Cómo calcular cuánto cuesta generar la energía eléctrica?: <https://blogs.iadb.org/bidinvest/es/como-calcular-cuanto-cuesta-generar-la-energia-electrica-2/>
25. PartesDel.com, E. d. (02 de Febrero de 2020). *PartesDel.com* . Obtenido de https://www.partesdel.com/generador_electrico.html
26. Peña, G. (2010). *Diseño de una Central de Biomasa de 2 MW*. Tarragona, España .
27. Perayá, C. (14 de Febrero de 2019). *MundoCompresor*. Obtenido de Generador eléctrico: <https://www.mundocompresor.com/diccionario-tecnico/generador-electrico>
28. Pérez, N. (2019). *Aprovechamiento de la cascarilla de café para generar energía eléctrica en la planta*. Ciclayo, Perú.
29. Posada, S. G. (13 de Noviembre de 2018). *QuéCafé.info*. Obtenido de <https://quecafe.info/mayores-productores-de-cafe-en-el-mundo/>
30. *Química Inorgánica* . (Abril de 2012). Obtenido de Densidad del Agua : <https://www.fullquimica.com/2012/04/densidad-del-agua.html>

31. Quiñones, J. C. (1 de Noviembre de 2013). *Sector Electricidad*. Obtenido de Centrales de biomasa y sus tipos: <http://www.sectorelectricidad.com/6875/como-funciona-una-central-electrica-de-biomasa/>
32. Renedo, C. (18 de Mayo de 2012). *RENEDOC*. Obtenido de Tablas termodinamicas : <https://personales.unican.es/renedoc/Traspencias%20WEB/Trasp%20Termo%20y%20MF/00%20GRADOS/Tablas%20Termo.pdf>
33. Roldán, N. (Mayo de 2017). *economipedia* . Obtenido de Análisis Financiero: <https://economipedia.com/definiciones/analisis-financiero.html>
34. Saenz, J. (25 de Mayo de 2019). *EntrePueblos* . Obtenido de TURBINA DE VAPOR » Qué es, Tipos, Funcionamiento: <https://cumbrepuebloscop20.org/energias/nuclear/turbina-vapor/>
35. Sierra, M. (1 de Octubre de 2019). *EL AUTÉNTICO CAFÉ*. Obtenido de LAS 8 ETAPAS DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL CAFÉ: <https://elautenticocafe.es/las-8-etapas-del-proceso-de-produccion-del-cafe/>
36. Sifuentes, J. (Julio de 2014). *Determinación del poder calorífico*. Obtenido de <https://www.monografias.com/trabajos-pdf5/poder-calorifco/poder-calorifco.shtml>
37. Silvia, & Cristel. (2019). *LA CASCARILLA DE CAFÉ COMO MATERIA PRIMA PARA LA ELABORACIÓN DE PAPEL* . Ciudad de México, México .
38. Strahdez, J. (2008). *SCRIBD*. Obtenido de TURBOGENERADOR O FUENTE DE GENERACIÓN PROPIA: <https://es.scribd.com/doc/68532259/TURBOGENERADOR-O-FUENTE-DE-GENERACION-PROPIA>
39. Tarradeles, J. (2020). *Bussines School*. Obtenido de Elementos claves en el estudio económico de un proyecto: <https://obsbusiness.school/es/blog-project-management/etapas-de-un-proyecto/elementos-claves-en-el-estudio-economico-de-un-proyecto>

40. Torrelavega. (16 de Marzo de 2015). *Escuela Politécnica de Ingeniería de Minas y Energía* . Obtenido de Práctica de 4 - Física I: <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/1593/course/section/2045/practica4.pdf>
41. Torres, M. (10 de Octubre de 2019). *Rankia*. Obtenido de Tasa Interna de Retorno (TIR): definición, cálculo y ejemplos: <https://www.rankia.cl/blog/mejores-opiniones-chile/3391122-tasa-interna-retorno-tir-definicion-calculo-ejemplos>
42. Valencia, N., & Zambrano, D. (2010). *LOS SUBPRODUCTOS DEL CAFÉ: FUENTE DE ENERGÍA RENOVABLE*. Chinchiná, Colombia : Programa de Investigación Científica .

X. ANEXOS

10.1 TABLAS DE FINANCIAMIENTO DEL EQUIPO DE BIOMASA

Tabla 21: Parámetros de entrada financiamiento del proyecto

FINANCIAMIENTO			
Monto a financiar	\$	49,665.00	70950
Plazo de financiamiento		10	
Tasa de Interes (%/año):		8.5%	
Pagos por año		1	
Total periodos de pago		10	
Pagos de capital	\$	4,966.50	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22: Desglose de pagos del financiamiento

Años	Monto Inicial	Intereses	Capital	Total Pago
1	\$ 49,665.00	\$ 4,221.53	\$ 4,966.50	\$ 9,188.03
2	\$ 44,698.50	\$ 3,799.37	\$ 4,966.50	\$ 8,765.87
3	\$ 39,732.00	\$ 3,377.22	\$ 4,966.50	\$ 8,343.72
4	\$ 34,765.50	\$ 2,955.07	\$ 4,966.50	\$ 7,921.57
5	\$ 29,799.00	\$ 2,532.92	\$ 4,966.50	\$ 7,499.42
6	\$ 24,832.50	\$ 2,110.76	\$ 4,966.50	\$ 7,077.26
7	\$ 19,866.00	\$ 1,688.61	\$ 4,966.50	\$ 6,655.11
8	\$ 14,899.50	\$ 1,266.46	\$ 4,966.50	\$ 6,232.96
9	\$ 9,933.00	\$ 844.31	\$ 4,966.50	\$ 5,810.81
10	\$ 4,966.50	\$ 422.15	\$ 4,966.50	\$ 5,388.65

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23: Desglose de pagos totales anuales

AÑO	INTERESES	CAPITAL	TOTAL DE PAGO
1	\$ 4,221.53	\$ 4,966.50	\$ 9,188.03
2	\$ 3,799.37	\$ 4,966.50	\$ 8,765.87
3	\$ 3,377.22	\$ 4,966.50	\$ 8,343.72
4	\$ 2,955.07	\$ 4,966.50	\$ 7,921.57
5	\$ 2,532.92	\$ 4,966.50	\$ 7,499.42
6	\$ 2,110.76	\$ 4,966.50	\$ 7,077.26
7	\$ 1,688.61	\$ 4,966.50	\$ 6,655.11
8	\$ 1,266.46	\$ 4,966.50	\$ 6,232.96
9	\$ 844.31	\$ 4,966.50	\$ 5,810.81
10	\$ 422.15	\$ 4,966.50	\$ 5,388.65
TOTAL	\$ 23,218.39	\$ 49,665.00	\$ 72,883.39

Fuente: Elaboración Propia

10.2 FICHA TÉCNICA MICROTURBINA DE VAPOR.

MICROTURBINAS DE VAPOR

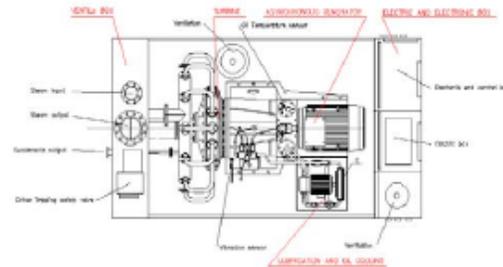
S2E 50-250 – Transformador de vapor en energía

- Módulo de microturbina de vapor y generador
- Posibilidad de operación con vapor húmedo
- Sistema *plug&play*



Características clave:

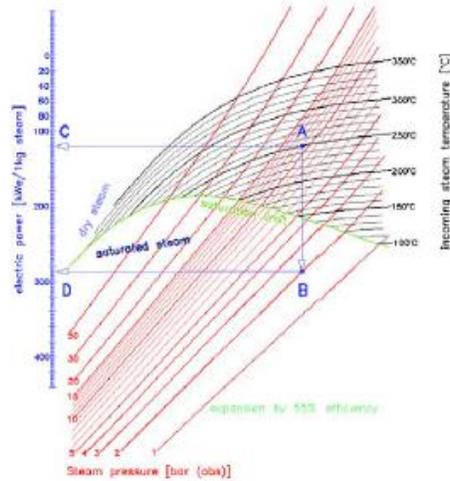
- Generador energético de alta eficiencia accionado con vapor
- Funcionamiento eficiente en condiciones de vapor húmedo
- Excelente relación potencia/ peso
- Construcción modular con instalación sencilla
- Tecnología respetuosa con el medio ambiente
- Posibilidad de aprovechamiento total del vapor saliente
- Vida útil mín. 100.000 horas
- Tiempo de subida a plena potencia: 10 min.



Parámetros técnicos		Parámetros eléctricos	
Potencia eléctrica 50 kWe, 100 kWe, 150 kWe, 200 kWe, 250 kWe	50 – 250 kWe	Tensión	230 V 480 VAC/ 400 VAC
Tª vapor entrante	mín. 130 °C, max. 350 °C	Frecuencia	50 Hz/ 60 Hz
Presión vapor entrante	mín. 4,0 bar, max. 20,0 bar	Regulación aislado de red (estado permanente)	+/- 0,50% voltaje nominal máx. +/- 0,50% frecuencia nominal
Tª vapor saliente	mín. 105 °C, max. 315 °C	Eficiencia basado en Eff1	96%
Presión vapor saliente	mín. 1,0 bar, max. 5,0 bar	Tipo de aislamiento	IP 55
Caudal vapor	mín. 1,5 tn/hora, max. 8 tn/hora		

Turbina patentada	<ul style="list-style-type: none"> - Rueda de turbina sin láminas - Turbina funcionando a bajas revoluciones (3000 rpm) - Transformación eficiente de la presión dinámica de la fuerza motriz mín. 96% - No es un depósito bajo presión
Aplicaciones	<ul style="list-style-type: none"> - Turbina de reducción/ producción energía eléctrica - Producción de energía eléctrica con vapor primario o secundario
Alta calidad de componentes	<ul style="list-style-type: none"> - Válvulas LANDIS&GYR - Armaduras TYCO
Enfocado hacia la seguridad y la fiabilidad	<ul style="list-style-type: none"> - Sensores de BALUFF - Válvulas de seguridad TYCO
Control y manejo sencillo	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema de control automático por ordenador - Pantalla táctil - Conexión Internet (opcional)
Generador	<ul style="list-style-type: none"> - Generadores SIEMENS asíncronos/ síncronos
Certificaciones	<ul style="list-style-type: none"> - Conexiones de vapor y condensados según DIN 2578 - Certificación CE del módulo S2E

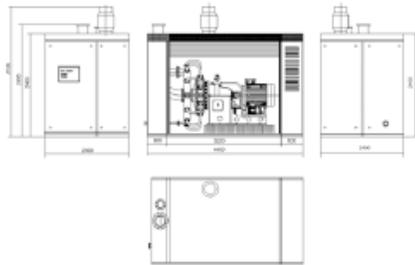
Diagrama de entalpía- entropía para agua y vapor



Cálculo de la potencia de la turbina

1. Punto "A" = intersección de las curvas:
- presión de vapor entrante +1 bar
- temperatura vapor entrante
2. Punto "B" = intersección de la línea vertical desde punto A con la curva del vapor saliente con presión +1 bar
3. Punto "C" = intersección de la línea horizontal desde punto A con el eje Y = Potencia específica P1 (kWe)
4. Punto "D" = intersección de la línea horizontal con el punto B y el eje Y = Potencia específica P2 (kWe)
5. POTENCIA DE TURBINA = (P2-P1) x Caudal de vapor (kg/seg.) (kWe)

S2E 50 - 250			
Modelo	Potencia	Entrada vapor	Salida vapor
S2E 60	65 kW	DN 40	DN 150
S2E 100	100 kW	DN 65	DN 150
S2E 150	150 kW	DN 100	DN 250
S2E 200	200 kW	DN 150	DN 250
S2E 250	250 kW	DN 150	DN 250



Nivel sonoro

Estándar	80dB
----------	------

Peso neto de la máquina con la carcasa

Máx.	3500 kg
Mín.	2900 kg

Dimensiones

Longitud	4400 mm
Anchura	2400 mm
Altura	3100 mm (El módulo 2400 mm)

Requerimientos mínimos de espacio para el mantenimiento		Intervalo de mantenimiento para cambio de rodamientos	
Vertical	2000 mm	Turbina	25.000 horas
Horizontal delante y atrás	3000 mm	Generador	25.000 horas
Horizontal izquierda o derecha	3000 mm		

La inversión en un módulo S2E permite al cliente el aprovechamiento más eficiente del vapor residual de un sistema existente.
CORTO PLAZO DE AMORTIZACIÓN DE LA INVERSIÓN
 Grupo Nova Energía le ofrece su asesoramiento técnico para hallar la mejor solución técnico-económica de su proyecto, junto con la puesta en marcha y el servicio técnico.



Vall, 57 · 08360 Canet de Mar · T. 937 943 391 · F. 937 940 867
 info@gruponovaenergia.com · www.gruponovaenergia.com

Ilustración 40: Ficha técnica microturbina de vapor

10.3 PLANO DE CALDERA

ATTSU CSPM-2500 CE - CALDERA DE VAPOR DE BIOMASA ATTSU CSPM-2500 CE - BIOMASS STEAM BOILER

GRUPO ATTSU - HEADQUARTERS
+34 972 171 738 EMAIL: attsu@attsu.com

representación en alemán / deutscher darstellung:

MADRID - ATTSU ARGONNE
+34 914 474 727 EMAIL: madrid@attsu.com

BARCELONA - ATTSU YNDUSTRIAL
+34 932 171 738 EMAIL: barcelona@attsu.com

VALLADOLID - ATTSU TEPIC
+34 981 349 822 EMAIL: tepic@attsu.com

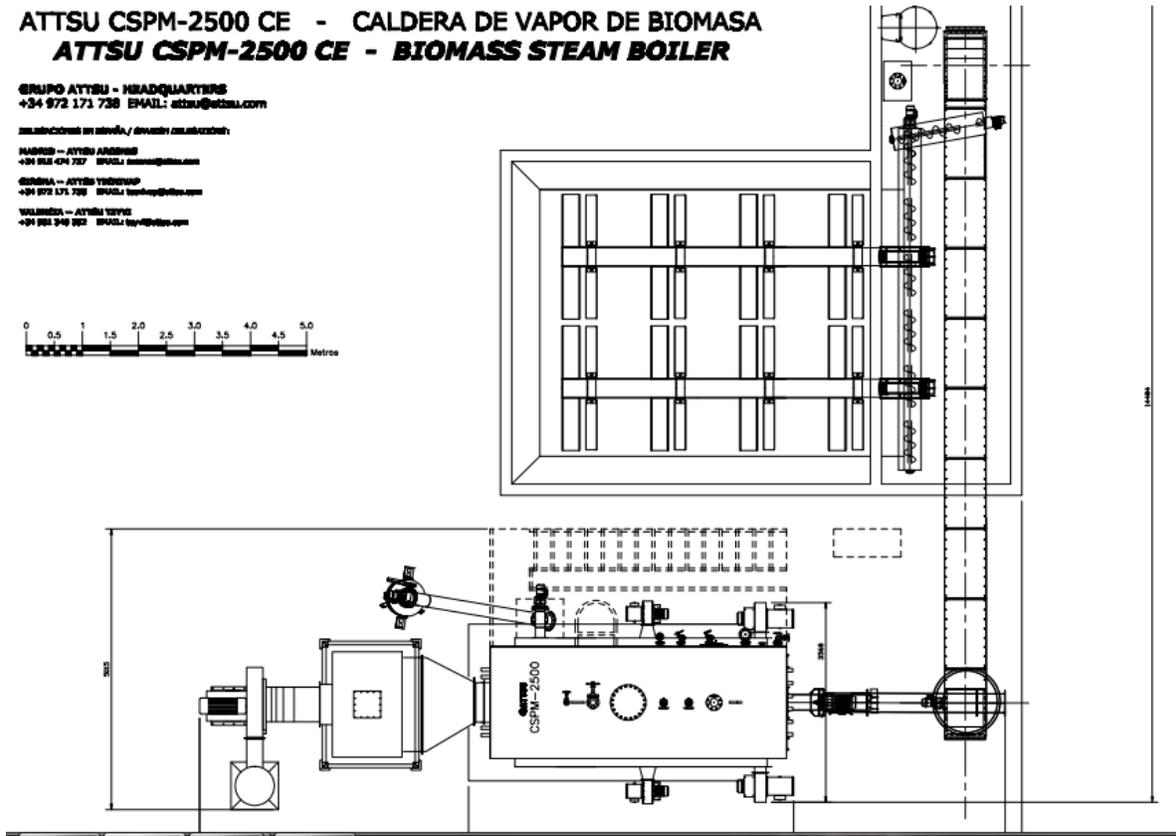


Ilustración 41: Plano de Caldera

Tabla 24: Características caldera

Tabla de Características Caldera	
Producción de Vapor	1500 [kg/h]
Potencia Térmica	1000 [kWt]
Temperatura de entrada agua	103 [C°]
Sobrepresión Hogar	4 [mbar]
Presión de Vapor saliente	8 [bar]
Peso en transporte	9 [Ton]
Modelo	ATTSU CSPM - 1000

Fuente: Elaboración propia

10.4 FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO

Tabla 25: Flujo de caja del proyecto año 1-10

Ingresos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Energía eléctrica generada [kWh]		43,168.95	43,156.00	43,143.05	43,130.11	43,117.17	43,104.24	43,091.30	43,078.38	43,065.45	43,052.53
Costo de energía ahorrado [\$/kWh]		\$ 0.4529	\$ 0.464	\$ 0.47	\$ 0.48	\$ 0.49	\$ 0.49	\$ 0.50	\$ 0.51	\$ 0.52	\$ 0.52
Ahorro de energía [\$]		\$ 19,552.51	\$ 20,035.31	\$ 20,329.74	\$ 20,628.50	\$ 20,931.64	\$ 21,239.24	\$ 21,551.37	\$ 21,868.07	\$ 22,189.44	\$ 22,515.52
Total Ingresos [\$]		\$ 19,552.51	\$ 20,035.31	\$ 20,329.74	\$ 20,628.50	\$ 20,931.64	\$ 21,239.24	\$ 21,551.37	\$ 21,868.07	\$ 22,189.44	\$ 22,515.52
Egresos											
Costo de Materia Prima [\$]											
Costos O&M [\$]		\$ 400.00	\$ 410.00	\$ 420.25	\$ 430.76	\$ 441.53	\$ 452.56	\$ 463.88	\$ 475.47	\$ 487.36	\$ 499.55
Depreciación [\$]		\$ 7,095.00	\$ 7,095.00	\$ 7,095.00	\$ 7,095.00	\$ 7,095.00	\$ 7,095.00	\$ 7,095.00	\$ 7,095.00	\$ 7,095.00	\$ 7,095.00
Total de Egresos [\$]		\$ 7,495.00	\$ 7,505.00	\$ 7,515.25	\$ 7,525.76	\$ 7,536.53	\$ 7,547.56	\$ 7,558.88	\$ 7,570.47	\$ 7,582.36	\$ 7,594.55
Utilidad Bruta [\$]		\$ 12,057.51	\$ 12,530.31	\$ 12,814.49	\$ 13,102.74	\$ 13,395.12	\$ 13,691.68	\$ 13,992.49	\$ 14,297.60	\$ 14,607.08	\$ 14,920.98
Gastos Financieros [\$]		\$ 9,188.03	\$ 8,765.87	\$ 8,343.72	\$ 7,921.57	\$ 7,499.42	\$ 7,077.26	\$ 6,655.11	\$ 6,232.96	\$ 5,810.81	\$ 5,388.65
Intereses [\$]		\$ 4,221.53	\$ 3,799.37	\$ 3,377.22	\$ 2,955.07	\$ 2,532.92	\$ 2,110.76	\$ 1,688.61	\$ 1,266.46	\$ 844.31	\$ 422.15
Pagos a Capital [\$]		\$ 4,966.50	\$ 4,966.50	\$ 4,966.50	\$ 4,966.50	\$ 4,966.50	\$ 4,966.50	\$ 4,966.50	\$ 4,966.50	\$ 4,966.50	\$ 4,966.50
Utilidad antes de ISR [\$]		\$ 7,835.99	\$ 8,730.94	\$ 9,437.27	\$ 10,147.67	\$ 10,862.20	\$ 11,580.92	\$ 12,303.88	\$ 13,031.14	\$ 13,762.77	\$ 14,498.82
ISR [30%]											
Utilidad Neta [\$]		\$ 7,835.99	\$ 8,730.94	\$ 9,437.27	\$ 10,147.67	\$ 10,862.20	\$ 11,580.92	\$ 12,303.88	\$ 13,031.14	\$ 13,762.77	\$ 14,498.82
Depreciación		\$ 7,095.00	\$ 7,095.00	\$ 7,095.00	\$ 7,095.00	\$ 7,095.00	\$ 7,095.00	\$ 7,095.00	\$ 7,095.00	\$ 7,095.00	\$ 7,095.00
Amortización de Capital		\$ 4,966.50	\$ 4,966.50	\$ 4,966.50	\$ 4,966.50	\$ 4,966.50	\$ 4,966.50	\$ 4,966.50	\$ 4,966.50	\$ 4,966.50	\$ 4,966.50
Flujo de Caja Neto	\$ (21,285.00)	\$ 9,964.49	\$ 10,859.44	\$ 11,565.77	\$ 12,276.17	\$ 12,990.70	\$ 13,709.42	\$ 14,432.38	\$ 15,159.64	\$ 15,891.27	\$ 16,627.32
Flujo de Caja Acumulado	\$ (21,285.00)	\$ -11,320.51	\$ -461.07	\$ 11,104.70	\$ 23,380.87	\$ 36,371.58	\$ 50,081.00	\$ 64,513.37	\$ 79,673.02	\$ 95,564.29	\$ 112,191.61

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 26: Flujo de caja del proyecto año 10-25

10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
43,052.53	43,039.62	43,026.71	43,013.80	43,000.89	42,987.99	42,975.10	42,962.20	42,949.32	42,936.43	42,923.55	42,910.67	42,897.80	42,884.93	42,872.07	42,859.20
\$ 0.52	\$ 0.53	\$ 0.54	\$ 0.55	\$ 0.56	\$ 0.56	\$ 0.57	\$ 0.58	\$ 0.59	\$ 0.60	\$ 0.61	\$ 0.62	\$ 0.63	\$ 0.63	\$ 0.64	\$ 0.65
\$ 22,515.52	\$ 22,846.40	\$ 23,182.14	\$ 23,522.81	\$ 23,868.49	\$ 24,219.25	\$ 24,575.16	\$ 24,936.31	\$ 25,302.76	\$ 25,674.60	\$ 26,051.90	\$ 26,434.74	\$ 26,823.21	\$ 27,217.39	\$ 27,617.37	\$ 28,023.22
\$ 22,515.52	\$ 22,846.40	\$ 23,182.14	\$ 23,522.81	\$ 23,868.49	\$ 24,219.25	\$ 24,575.16	\$ 24,936.31	\$ 25,302.76	\$ 25,674.60	\$ 26,051.90	\$ 26,434.74	\$ 26,823.21	\$ 27,217.39	\$ 27,617.37	\$ 28,023.22
\$ 499.55	\$ 512.03	\$ 524.83	\$ 537.96	\$ 551.40	\$ 565.19	\$ 579.32	\$ 593.80	\$ 608.65	\$ 623.86	\$ 639.46	\$ 655.45	\$ 671.83	\$ 688.63	\$ 705.84	\$ 723.49
\$ 7,095.00															
\$ 7,594.55	\$ 512.03	\$ 524.83	\$ 537.96	\$ 551.40	\$ 565.19	\$ 579.32	\$ 593.80	\$ 608.65	\$ 623.86	\$ 639.46	\$ 655.45	\$ 671.83	\$ 688.63	\$ 705.84	\$ 723.49
\$ 14,920.98	\$ 22,334.36	\$ 22,657.30	\$ 22,984.85	\$ 23,317.09	\$ 23,654.06	\$ 23,995.84	\$ 24,342.51	\$ 24,694.11	\$ 25,050.73	\$ 25,412.44	\$ 25,779.30	\$ 26,151.38	\$ 26,528.77	\$ 26,911.52	\$ 27,299.73
\$ 5,388.65															
\$ 422.15															
\$ 4,966.50															
\$ 14,498.82	\$ 22,334.36	\$ 22,657.30	\$ 22,984.85	\$ 23,317.09	\$ 23,654.06	\$ 23,995.84	\$ 24,342.51	\$ 24,694.11	\$ 25,050.73	\$ 25,412.44	\$ 25,779.30	\$ 26,151.38	\$ 26,528.77	\$ 26,911.52	\$ 27,299.73
	\$ 6,700.31	\$ 6,797.19	\$ 6,895.46	\$ 6,995.13	\$ 7,096.22	\$ 7,198.75	\$ 7,302.75	\$ 7,408.23	\$ 7,515.22	\$ 7,623.73	\$ 7,733.79	\$ 7,845.41	\$ 7,958.63	\$ 8,073.46	\$ 8,189.92
\$ 14,498.82	\$ 15,634.05	\$ 15,860.11	\$ 16,089.40	\$ 16,321.96	\$ 16,557.84	\$ 16,797.09	\$ 17,039.75	\$ 17,285.88	\$ 17,535.51	\$ 17,788.71	\$ 18,045.51	\$ 18,305.97	\$ 18,570.14	\$ 18,838.07	\$ 19,109.81
\$ 7,095.00															
\$ 4,966.50															
\$ 16,627.32	\$ 15,634.05	\$ 15,860.11	\$ 16,089.40	\$ 16,321.96	\$ 16,557.84	\$ 16,797.09	\$ 17,039.75	\$ 17,285.88	\$ 17,535.51	\$ 17,788.71	\$ 18,045.51	\$ 18,305.97	\$ 18,570.14	\$ 18,838.07	\$ 19,109.81
\$ 112,191.61	\$ 127,825.67	\$ 143,685.78	\$ 159,775.18	\$ 176,097.14	\$ 192,654.98	\$ 209,452.07	\$ 226,491.82	\$ 243,777.70	\$ 261,313.21	\$ 279,101.92	\$ 297,147.43	\$ 315,453.39	\$ 334,023.53	\$ 352,861.60	\$ 371,971.41

Fuente: Elaboración Propia

10.5 FICHA TÉCNICA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA

Condition:	New	Applicable Industr...	Building Material Shops, Manufacturing Plant, Food & Beve...
Place of Origin:	China	Brand Name:	Santai
Material:	Wooden	Weight:	180kg
Size:	OEM	Power:	1.5KW
Warranty:	3 years	After-sales Servic...	Video technical support, Field installation, commissioning ...
Product name:	Reverse Osmosis Water Filter System	Usage:	Pure Water Process
Function:	Reverse Osmosis Water Purification	Desalting Rate:	99%
Capacity:	Customized	Cost:	Low
Manpower:	Save	Efficiency:	High
Control:	PLC microcomputer monitoring	Original water:	tap-water or river water

Ilustración 42: Datos planta de tratamiento de agua

Fuente: Página Oficial Santai

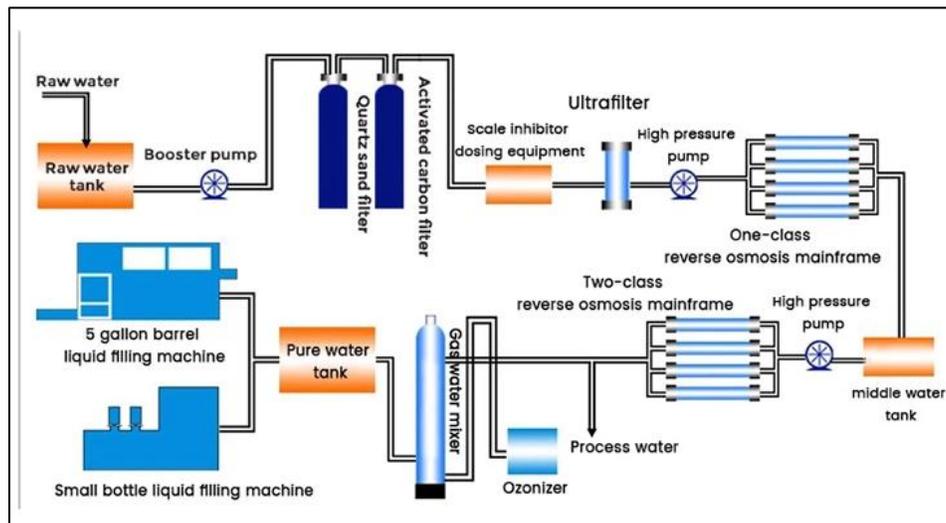


Ilustración 43: Diagrama de funcionamiento planta de tratamiento de agua

Fuente: Página oficial Santai

10.6 FICHA TÉCNICA CONTROLADOR DE CARGA



ePowerControl
MCO1

Hybrid Microgrid Controller



Product description

The eLum MCO1 is a cross platform power control and monitoring system dedicated to islanded and poor-grid hybrid energy systems integrating PV inverters, diesel generators and battery storage systems. The MCO1 uses advanced model predictive control algorithms to manage genset start and stop and battery charging strategy in order to maximize PV penetration, genset and battery bank life, so as to optimize the cost effectiveness of your hybrid energy systems.

Product Benefits

- **Top Energy Efficiency** : Every liter of fuel is worth the effort
- **Plug & Play deployment and configuration** : No need for a trained electrician and remote configuration by eLum team
- **Extended compatibility** : Compatible with the widest range of PV inverters, battery chargers, genset controllers and third party sensors
- **Uninterruptible service** : resilient to harsh communication environment

Features

Smart Energy Management

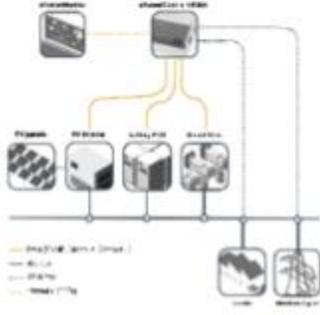
- Optimal genset start/stop planning to maximize system efficiency and PV penetration
- Advanced Lead-Acid and Li-Ion cycling algorithms to maximize battery bank life
- Automated load and PV profile analysis to adapt to changes in weather or consumption regimes

Smart Power Management

- Genset idling management
- Genset reverse power protection
- Reactive power management

- Remote black start
- **Remote performance assessment**
- Genset and inverter efficiency estimation and comparison to nominal values
- Battery state of health estimation
- **Troubleshooting interface**
- Web & Mail notifications in case of failure events (hardware alarms)
- Configurable site performance reports
- Password protected and user rights configuration system
- Full data history with an up to 1 minute resolution (event logging)
- Custom KPI configuration
- **Multi-site interface**
- Global performance assessments in site subsets
- Failure statistics to identify weak points in your power system design

Application overview



The diagram illustrates the MCO1 controller at the top, which manages a hybrid system. It is connected to a 'Generator' and a 'PV Array'. Below these, there are four 'Energy Storage' units (batteries) and a 'Load' block. The controller also manages a 'Microgrid' which includes 'PV Array', 'Generator', and 'Energy Storage'. The system is connected to a 'Grid' and a 'Microgrid'.

Ilustración 44: Controlador de carga eLUM

Fuente: Página oficial eLUM

10.7 Diagrama Unifilar Beneficio Corinto

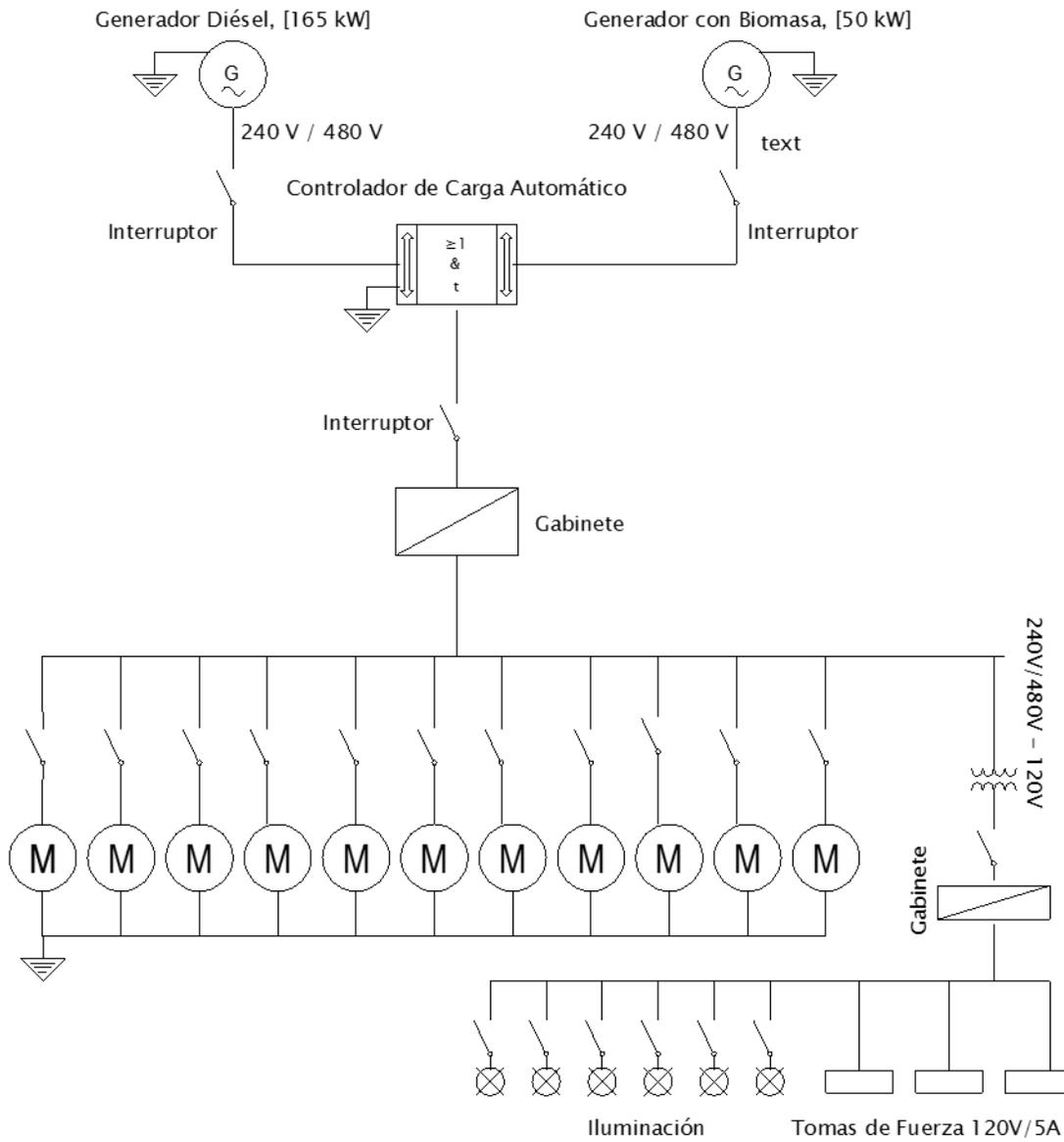


Ilustración 45: Diagrama Unifilar Beneficio Corinto

Fuente: Elaboración Propia

**Nota: Se ha utilizado el software profiCAD para la realización de este diagrama.

10.8 FICHA TÉCNICA GERADOR CUMMINS

Grupos Geradores acionados por Motor Diesel



C170D6



Nossa energia trabalhando por você.™

Características do Grupo Gerador

Motor Diesel Cummins arrefecido a água.
Filtro de óleo e de combustível com separador de água e válvula de dreno do óleo lubrificante incorporados.
Motor de partida elétrico e alternador em 12 Voc.
Governador mecânico.
Filtro de ar para trabalhos normais.
Alternador com enrolamento único.
Bateria montada na base do grupo gerador.
Motor, Alternador, Chassis e Painel de Comando na cor: Verde Mansoll Jade.
Radiador e Proteção na cor: Preto.
Embalagem em filme plástico retrátil.
Manual de Operação e Manutenção.
Etiqueta Padrão.
Tanque incorporado na base do grupo gerador.

Opcional

PMG (Gerador Imã Permanente)

Fornece energia ao regulador eletrônico de tensão independente da tensão de saída do alternador. Permite com isso melhor desempenho na partida de motores e melhor efeito de harmônicas induzidas por cargas não lineares.

Performance do Grupo Gerador

Regulação de Tensão

Tensão de saída com variação de $\pm 1,0\%$ será mantida nas seguintes condições:

1. Fator de potência entre 0,8 e 1,0.
2. Com qualquer nível de carga entre vazio e plena carga.
3. Com queda de rotação de até 4,5%.

Regulagem de Frequência

Isócrona sob cargas variáveis entre vazio e plena carga quando o governador eletrônico é incorporado.

Variação Aleatória de Frequência

Não deve exceder a $\pm 0,25\%$ do seu valor nominal para cargas constantes entre vazio e plena carga.

Conforme Normas

To BS4999/5000 pt 99,
VDE 0530, UTE5100,
NEMA MG1-22, CEMA,
IEC 34, CSA A22.2,
AS1359, BSS 5514,
ISO 3046 e ISO 3049

Especificações do Alternador

Tipo

Rolamento único, sem escovas, campo rotativo, 4 pólos, tala de proteção a prova de gotejamento.
Classe de Isolação H, Grau de Proteção IP 23
Impregnação a vácuo.
Sistema de Arrefecimento IC 01.
Enrolamento do amortecimento totalmente interconectado.
Excitatriz de CA e unidade retificadora rotativa.
Enrolamento do estator com revestimento Epoxy.
Rotor e excitatriz impregnados com resina de poliéster adequada ao clima tropical, resistente a óleo e ácidos.
Rotor balanceado dinamicamente BS 5625 grau 2,5.
Rotor enrolado em camadas e com cunha mecânica.
Rolamento blindado, com lubrificante permanente.

Excitatriz

Submersão tripla em variz de poliéster resistente a óleo e revestido com variz anti-rastão.

Enrolamento

Enrolamento principal com passo de 2/3 para minimizar os harmônicos e melhorar a capacidade do paralelismo.

Opções do Grupo Gerador

Escapamento

Silencioso - Industrial 9 dB(A)
Silencioso - Hospitalar 29 dB(A)

Garantia

Garantia estendida de 5 anos (Standby).
Garantia estendida de 2 anos ou 6000 horas (Prime)

Opcionais

Pré-Aquecimento.
Carregador de Baterias.
Chave de Transferência - GTEC.
Carregagem Silenciada e Super Silenciada
Tanque Externo
Filtro Heavy Duty
Governador Eletrônico

Conexões de Tensão - 60Hz

480/277 V 380/220 V 220/127 V
440/254 V 240/139 V 208/120 V
416/240 V

Consumo de Combustível

Potência Nominal	Standby				Prime			
	212 kVA		170 kW		206 kVA		165 kW	
Carga Aplicada	Full	3/4	1/2	1/4	Full	3/4	1/2	1/4
Consumo (Litros / Hora)	50	36	25	14	45	33	23	13

Observação:

O motor acima foi testado de acordo com a ISO-3046 nas seguintes condições abaixo:

Pressão Barométrica = 100 kPa (29.53 in Hg)
Altitude acima do nível do mar = 110 m (316 ft)

Temperatura ambiente = 25° C (77° F)
Umidade relativa = 30%

Ilustración 46: Ficha Técnica Generador Cummins 1

Dados Técnicos

Modelo	C170D6	Alternador - Regulação de voltagem	± 1,0%
Potência em Standby	212 kVA / 170 kW	Alternador - Classe de isolamento	H
Potência em Prime	206 kVA / 165 kW	Grau de Proteção	IP 23
Fabricante do Motor	Cummins	Consumo de Combustível a 100% de carga (Standby)	50 l/h
Modelo do Motor	6CTA 8.3-G2	Consumo de Combustível a 100% de carga (Prime)	45 l/h
Cilindros	6 cilindros	Capacidade de óleo lubrificante	23,8 litros
Construção do motor	em linha	Capacidade de líquido de arrefecimento (somente o motor)	12,3 litros
Regulador de Velocidade/Classe	Mecânico	Capacidade de líquido de arrefecimento (motor + radiador)	35,6 litros
Aspiração e pós-arrefecimento	Turbinado	Temperatura de escape (Prime)	513°C
Diâmetro e Curso	114 mm x 135 mm	Vazão de gases de escape (Prime)	660 l/s
Taxa de Compressão	16,8 : 1	Contra pressão máxima de escape	76 mm Hg
Cilindrada	8,3 litros	Vazão de ar do radiador	4,7 m³/s
Arranque / Min °C	Não Auxiliada / -12°C	Consumo de ar para combustão	255 l/s
Capacidade da Bateria	150 A/h	Mínima abert. de entrada ar na sala	1,06 m²
Potência Bruta do Motor - Standby	207 kWm	Mínima abert. de saída de ar na sala	0,71 m²
Potência Bruta do Motor - Prime	188 kWm	Calor irradiado pelo motor (Prime)	29 kWm
Rotação	1800 rpm	Capacidade do tanque da base	360 litros

STANDBY POWER

Potência de emergência (standby) é a potência máxima que um grupo gerador é capaz de fornecer, para cargas variáveis, durante o período de interrupção do fornecimento de energia da concessionária, por um período de até 200 h por ano, conforme ISO8528.

PRIME POWER

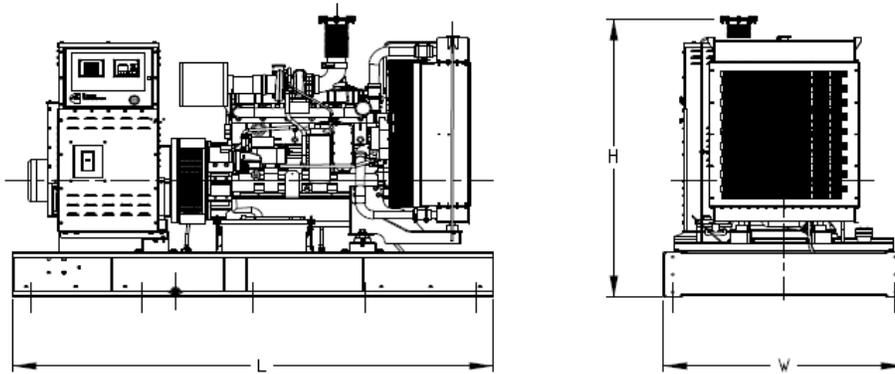
Prime power está disponível para um número ilimitado de horas anuais sob condições de carga variável, de acordo com ISO8528-1. É permitida uma capacidade de sobrecarga de 10% 1 hora a cada 12 horas de operação.

Todas as potências dos Grupos Geradores são baseadas nas seguintes condições de referência:

- Temperatura ambiente: 27°C

- Altitude acima do nível do mar: 150 metros

- Umidade relativa: 60%



Desenho meramente ilustrativo. Não utilizar para lay-out de sala

Dimensões e Pesos

Grupo Gerador	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Altura Máxima (mm)	Grupo Gerador Seco (kg)	Grupo Gerador Úmido ¹ (kg)
	L	W	H		
Aberto	2700	1360	1763	1859	2201
Carenagem - F187	3896	1380	2325	2708	3069
Carenagem - F188	3900	1360	2455	3846	4188

¹ Peso úmido inclui o peso total do conjunto com óleo, líquido de arrefecimento e combustível.

Ilustración 47: Ficha técnica generador cummins 2