



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**“ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO DEL USO DE UN SISTEMA
DE COGENERACIÓN MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE
BIOMASA EN LA EMPRESA ARBORIENTE S.A”**

Trabajo de Titulación
Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:
INGENIERO INDUSTRIAL

AUTOR:
PARDO PARDO DANNY BLADIMIR

Riobamba – Ecuador

2021



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**“ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO DEL USO DE UN SISTEMA
DE COGENERACIÓN MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE
BIOMASA EN LA EMPRESA ARBORIENTE S.A”**

Trabajo de Titulación
Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:
INGENIERO INDUSTRIAL

AUTOR: PARDO PARDO DANNY BLADIMIR
DIRECTOR: Ing. MARCELO ESTEBAN CALISPA AGUILAR MSc.

Riobamba – Ecuador

2021

©2021, Pardo Pardo Danny Bladimir

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de autor.

Yo, **Danny Bladimir Pardo Pardo**, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento provienen de otras fuentes que están debidamente citados y referenciados

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 16 de septiembre de 2021

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Danny Bladimir Pardo Pardo', with a stylized flourish at the end.

Danny Bladimir Pardo Pardo

220010430-1

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

El Tribunal de trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto de Investigación, “**ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO DEL USO DE UN SISTEMA DE COGENERACIÓN MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE BIOMASA EN LA EMPRESA ARBORIENTE S.A**”, realizado por el señor **DANNY BLADIMIR PARDO PARDO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Julio César Moyano Alulema PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	_____	2021-09-16
Ing. Marcelo Esteban Calispa Aguilar DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	2021-09-16
Ing. Alcides Napoleón García Flores MIEMBRO DE TRIBUNAL	_____	2021-09-16

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo se lo dedico principalmente al creador del universo, quien estuvo bendiciéndome y dándome fuerzas para cumplir con mi meta trazada sin desfallecer. A mi padre Octavio y a mi madre Cecilia Pardo por todo su amor, sacrificio y paciencia que me brindaron siempre para haber alcanzado este logro académico personal. ¡Sin ustedes nada de esto hubiese sido posible!, esperando retribuir de alguna forma todo ese apoyo recibido siendo servicial para la sociedad.

Danny

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi eterno agradecimiento a mis padres que son lo más importante en mi vida además porque han sabido darme su ejemplo de trabajo y honradez, a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por haberme acogido en este transcurso de mi vida especialmente a la Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Industrial por haber designado a los mejores docentes a cargo de mi instrucción académica. Un agradecimiento a los ingenieros: Marcelo Calispa, Alcides García y Juan Carlos Cayán por ser parte de este proyecto y guiarme hasta la culminación del mismo, a la empresa ARBORIENTE S.A. por abrirme las puertas y permitirme realizar todo el proceso investigativo dentro de su establecimiento, finalmente me encantaría agradecer por su amistad, consejos, apoyo ánimo y compañía a todas las personas que han formado parte de mi vida, algunas están conmigo y otras las llevo siempre en mis recuerdos, sin importar en donde estén quiero agradecerles de corazón por todo el soporte que me han proporcionado alguna vez.

Danny

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS	xvii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xviii
SIMBOLOGÍA.....	xx
RESUMEN.....	xxi
SUMMARY	xxii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. ESTADO DEL ARTE	6
1.1. Motivos de estudio.....	6
1.2. Metodología de trabajo.....	7
1.3. Descripción de la industria maderera	8
1.4. Tipos de residuos generados por el tratamiento de la madera.....	9
1.5. Defectos en la madera	10
1.5.1. <i>Defectos de crecimiento</i>	11
1.5.2. <i>Influencia del contenido de humedad</i>	11
1.5.3. <i>Degradación</i>	11
1.5.4. <i>Ataques Químicos</i>	11
1.5.5. <i>Destino final de la biomasa en el Ecuador</i>	17
1.6. Bioenergías.....	18

1.7.	Dendroenergía	19
1.8.	Biomasa	19
1.9.	Transformación de la biomasa	20
1.10.	Cadena de valor de la biomasa forestal.	23
1.11.	La biomasa forestal de uso energético	24
1.11.1.	<i>Leña</i>	26
1.11.2.	<i>Astillas</i>	27
1.11.3.	<i>Pellets</i>	28
1.11.4.	<i>Briquetas</i>	29
1.11.5.	<i>Licor negro y otros combustibles</i>	30
1.12.	Caracterización teórica de la biomasa residual forestal disponible.	34
1.13.	Marco Legal	35
1.13.1.	<i>Ambiente sano</i>	36
1.13.2.	<i>Ley de Gestión Ambiental</i>	36
1.13.3.	<i>Ley del Sector Eléctrico</i>	36
1.13.4.	<i>Políticas ambientales</i>	37
1.13.5.	<i>Políticas Energéticas</i>	38

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	38
2.1.	Tipo de estudio	38
2.1.1.	<i>Estudio exploratorio</i>	38
2.1.2.	<i>Estudio descriptivo</i>	39
2.2.	Método de estudio	39
2.2.1.	<i>Método analítico-sintético</i>	39
2.2.2.	<i>Método bibliográfico</i>	39

2.3.	Técnicas y herramientas de recopilación de información	40
2.4.	Cogeneración	40
2.4.1.	<i>Cogeneración con turbinas de vapor</i>	41
2.4.2.	<i>Intercambiadores de calor</i>	41
2.5.	Procedimiento para el desarrollo del trabajo investigativo	41
2.6.	Biomasa disponible en la empresa.	42
2.7.	Humedad de equilibrio EMC	46
2.8.	Balance de masa, flujo másico de biomasa en base seca y húmeda	48
2.9.	Poder calorífico	50
2.9.1.	<i>Poder calorífico superior</i>	50
2.9.2.	<i>Poder calorífico inferior</i>	51
2.10.	Balance de energía	52
2.11.	Calor generado por la biomasa	53
2.11.1.	<i>Calor producido por las briquetas</i>	53
2.11.2.	<i>Calor producido por las astillas</i>	53
2.11.3.	<i>Calor producido por la leña</i>	53
2.11.4.	<i>Calor total de entrada</i>	53
2.11.5.	<i>Calor por pérdidas</i>	53
2.12.	Caldero más opcionado	54
2.12.1.	<i>Parámetros del entorno de trabajo</i>	54
2.12.2.	<i>Parámetros de funcionamiento</i>	54
2.12.2.1.	<i>Calor de salida del caldero</i>	55
2.12.2.2.	<i>Rendimiento de la caldera</i>	55
2.12.3.	<i>Flujo másico de vapor</i>	55
2.13.	Ciclo Rankine	56
2.13.1.	<i>Ciclo Rankine con regeneración</i>	56
2.13.1.1.	<i>Calentador abierto de agua de alimentación</i>	56

2.13.2.	<i>Esquema del ciclo</i>	57
2.14.	Análisis de los dispositivos que intervienen en el ciclo Rankine con regeneración ...	58
2.14.1.	<i>Análisis de la bomba 1</i>	58
2.14.2.	<i>Análisis del calentador o regenerador</i>	59
2.14.3.	<i>Análisis de la bomba 2</i>	60
2.14.4.	<i>Análisis del trabajo de las bombas de entrada</i>	60
2.14.5.	<i>Análisis de la caldera</i>	61
2.14.6.	<i>Análisis de la turbina</i>	61
2.14.7.	<i>Análisis del condensador</i>	62
2.15.	Análisis del consumo energético de la planta del año 2020	63
2.16.	Financiamiento a través de la banca privada	63
2.17.	Amortización del crédito	63
2.18.	Costo de mantenimiento	64
2.19.	Depreciación del caldero	64
2.20.	Mano de obra directa	65
2.21.	Mano de obra indirecta	65
2.22.	Análisis económico del ahorro de gasto energético	65

CAPITULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	66
3.1	Cálculos de la humedad de equilibrio	66
3.2.	Cálculo del flujo másico de astillas y briquetas	69
3.2.1.	<i>Flujo másico de astillas y briquetas</i>	69
3.2.1.1.	<i>Determinación de variables</i>	69
3.3.	Determinación del poder calorífico	72
3.3.1.	<i>Cálculo del poder calorífico</i>	72

3.4.	Cálculo del Calor producido por la biomasa	74
3.4.1.	<i>Cálculos del calor producido por cada tipo de biomasa</i>	74
3.4.1.1.	<i>Cálculo del calor producido por las briquetas</i>	74
3.4.1.2.	<i>Cálculo del calor producido por las astillas</i>	75
3.4.1.3.	<i>Cálculo del calor producido por la leña</i>	75
3.4.1.4.	<i>Cálculo del calor total de entrada</i>	75
3.4.1.5.	<i>Cálculo del Calor producido por pérdidas</i>	75
3.4.1.6.	<i>Calor de salida del caldero</i>	76
3.4.1.7.	<i>Rendimiento de la caldera</i>	76
3.5.	Selección del caldero	76
3.5.1.	<i>Flujo másico de vapor</i>	77
3.6.	Cálculos del ciclo Rankine	79
3.6.1.	<i>Definición de los estados del ciclo Rankine con regeneración</i>	80
3.6.2.	<i>Trabajo de la bomba 1</i>	82
3.6.3.	<i>Entalpía en el calentador</i>	84
3.6.4.	<i>Trabajo de la bomba 2</i>	84
3.6.5.	<i>Trabajo de las bombas de entrada</i>	85
3.6.6.	<i>Trabajo de la caldera</i>	85
3.6.7.	<i>Trabajo de la turbina</i>	85
3.6.8.	<i>Calor rechazado en el condensador</i>	85
3.7.	Resultados	87
3.7.1.	<i>Variables</i>	87
3.7.2.	<i>Combustión</i>	87
3.7.3.	<i>Peso y EMC</i>	87
3.8.	Comparación del Poder Calorífico	88
3.9.	Simulación en CyclePad	88
3.10.	Comparación de estados del ciclo	89

3.11.	Generación mensual de energía con el sistema de cogeneración	93
3.12.	Estudio económico.....	95
3.12.1.	<i>Análisis del consumo energético de la planta del año 2020</i>	95
3.12.2.	<i>Comparación de energía eléctrica consumida y energía eléctrica producida</i>	98
3.13.	Análisis económico referente al gasto energético	99
3.13.1.	<i>Cálculo de la amortización del crédito</i>	99
3.14.	Cálculo del costo de mantenimiento	104
3.15.	Cálculo de Mano de obra directa.....	105
3.15.1.	<i>Cálculo de mano de obra contratada</i>	106
3.16.	Cálculo del costo de mantenimiento para cinco años.....	106
3.17.	Cálculo de Depreciación método línea recta.....	107
3.18.	Análisis del gasto energético.....	107
3.19.	Comparación de energía generada con vapor a partir de otros estudios.....	108
3.20.	Visión general de la planta de biomasa en la empresa “Arboriente S.A”	109
3.21.	Requisitos funcionales y constitutivos	112
3.22.	Análisis de métodos de implementación.....	113
CONCLUSIONES.....		114
RECOMENDACIONES.....		116
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1-1: Metodología de trabajo.....	7
Tabla 2-1: Oferta total de madera para el Ecuador.	9
Tabla 3-1: Defectos en la madera	12
Tabla 4-1: Ventajas y desventajas de la utilización de biomasa para la obtención de energía	31
Tabla 1-2: Cantidad de biomasa disponible	44
Tabla 2-2: Datos históricos del tiempo de la ciudad del puyo	48
Tabla 1-3: Flujo másico de leña.....	69
Tabla 2-3: Peso de las briquetas.....	70
Tabla 3-3: Flujo másico de astillas, briquetas y leña	72
Tabla 4-3: Poder calorífico de las especies de madera de Arboriente S.A.	73
Tabla 5-3: Resumen del poder calorífico inferior con humedad.....	74
Tabla 6-3: Descripción de elementos del caldero propuesto.....	77
Tabla 7-3: Flujo másico de vapor	78
Tabla 8-3: Estados del ciclo Rankine definidos.....	81
Tabla 9-3: Valores calculados en el ciclo con EMC = 21.8 %	86
Tabla 10-3: Comparación del poder calorífico calculado y dando en bibliografía	88
Tabla 11-3: Consumo Máximo mensual en kWh	95
Tabla 12-3: Consumo de energía del mes de septiembre para horario diferenciado	96
Tabla 13-3: Consumo mensual de energía en USD	97
Tabla 14-3: Resumen de facturación por gasto de energía eléctrica.....	98
Tabla 15-3: Comparación entre energía consumida y energía producida	99
Tabla 16-3: Valor del caldero desglosado.....	100
Tabla 17-3: Estructura de financiamiento	100
Tabla 18-3: Datos para el cálculo de la amortización.	101

Tabla 19-3:	Amortización del crédito.....	101
Tabla 20-3:	Materiales de stock de repuestos.....	104
Tabla 21-3:	Sueldos mensuales del personal de mantenimiento.....	105
Tabla 22-3:	Sueldo anual del personal de mantenimiento.....	105
Tabla 23-3:	Sueldo total de mano de obra indirecta.....	106
Tabla 24-3:	Proyección de costos para 5 años.....	107
Tabla 25-3:	Depreciación para 5 años.....	107
Tabla 26-3:	Descripción resumida de elementos del caldero propuesto.....	113

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 1-1: Intervención según los números de RUC dedicados a la extracción de madera.	8
Gráfico 2-1: Destino final de la biomasa en el Ecuador	17
Gráfico 1-2: Ingreso mensual de materia prima.....	43
Gráfico 1-3: Consumo mensual de energía eléctrica en kWh.....	96
Gráfico 2-3: Consumo mensual de energía eléctrica en USD.....	97

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1-1: Tipos de residuos generados en la industria maderera.....	10
Figura 2-1: Deformaciones de las trozas.....	14
Figura 3-1: Fisuras de trozas.....	15
Figura 4-1: Rajaduras de trozas.....	15
Figura 5-1: Trizaduras de trozas.....	15
Figura 6-1: Roturas de trozas.....	16
Figura 7-1: Huecos en las trozas.....	16
Figura 8-1: Daños por hongos y pudrición en las trozas.....	16
Figura 9-1: Formas para transformar la biomasa en energía aprovechable.....	21
Figura 10-1: Transformación específica de biomasa.....	22
Figura 11-1: Cadena de valor de la biomasa forestal.....	24
Figura 12-1: Astillas de la empresa.....	28
Figura 13-1: Residuos para convertirse en astillas.....	28
Figura 14-1: Briqueta de la empresa.....	29
Figura 1-2: Materia prima total.....	45
Figura 2-2: Biomasa excedente rechazada con humedad.....	45
Figura 3-2: Biomasa excedente de los procesos.....	46
Figura 4-2: Briquetas excedentes.....	46
Figura 5-2: Esquema de ciclo Rankine con regeneración.....	57
Figura 6-2: Representación de la bomba 1.....	58
Figura 7-2: Representación del calentador.....	59
Figura 8-2: Representación de la bomba 2.....	60

Figura 9-2:	Representación de la caldera.....	61
Figura 10-2:	Representación de la turbina.....	61
Figura 11-2:	Representación del condensador.....	62
Figura 12-2:	Mantenimiento del caldero actual.....	64
Figura 1-3:	Dimensiones de la briqueta.....	70
Figura 2-3:	Volumen de la briqueta.....	71
Figura 3-3:	Briquetas pesadas.....	71
Figura 4-3:	Entalpía del fluido de trabajo.....	78
Figura 5-3:	Diagrama T-S del ciclo Rankine con regeneración.....	79
Figura 6-3:	Definición de los estados del ciclo.....	80
Figura 7-3:	Tabla de resultados simulado.....	81
Figura 8-3:	Ecuaciones formadas en el programa.....	82
Figura 9-3:	Volumen de vapor en el estado 1.....	83
Figura 10-3:	Esquema del ciclo Rankine con regeneración simulado en Cycle Pad.....	89
Figura 11-3:	Estado 1.....	90
Figura 12-3:	Estado 2.....	90
Figura 13-3:	Estado 3.....	91
Figura 14-3:	Estado 4.....	91
Figura 15-3:	Estado 5.....	92
Figura 16-3:	Estado 6.....	92
Figura 17-3:	Estado 7.....	93
Figura 18-3:	Esquema de un sistema de generación.....	94
Figura 19-3:	Simulador de crédito online.....	103
Figura 20-3:	Residuos de madera.....	110
Figura 21-3:	Representación de una central de energía a partir de biomasa forestal.....	111
Figura 22-3:	Requisitos funcionales y constitutivos para una central eléctrica de biomasa.....	112

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** MÁQUINA BRIQUETEADORA
- ANEXO B:** ALIMENTACIÓN CON ASTILLAS DEL CALDERO EXISTENTE
- ANEXO C:** CARTA DE CONTROL DEL INGRESO DE MATERIA PRIMA MENSUAL
- ANEXO D:** OBJETIVOS DE PRODUCCIÓN MENSUAL
- ANEXO E:** ACUMULACIÓN DE BRIQUETAS EN SAQUILLOS
- ANEXO F:** MÁQUINA DE LIJADO (OBTENCIÓN DE POLVILLO PARA BRIQUETAS)
- ANEXO G:** SILO DE ALMACENAMIENTO TEMPORAL DE ASTILLAS
- ANEXO H:** BRIQUETA ACOTADA
- ANEXO I:** PLANILLA DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA
- ANEXO J:** PROFORMA DEL CALDERO DE BIOMASA
- ANEXO K:** CONDICIONES Y COSTO TOTAL DEL CRÉDITO
- ANEXO L:** TRITURADORA DE ASTILLAS

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

GEI	GASES EFECTO INVERNADERO
MTPE	MEGATONELADA EQUIVALENTE DE PETRÓLEO
CO2	DIÓXIDO DE CARBONO
RSU	RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS
UE	UNIÓN EUROPEA
PSF	PUNTO DE SATURACIÓN DE FIBRAS
EMC	HUMEDAD DE EQUILIBRIO
HR	HUMEDAD RELATIVA
CAA	CALENTADOR DE AGUA DE ALIMENTACIÓN
BHP	CABALLO DE FUERZA DE LA CALDERA Ó POTENCIA DE LA CALDERA
SBU	SALARIO BÁSICO UNIFICADO
ARCONEL	AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE ELECTRICIDAD

SIMBOLOGÍA

Hr	Fracción de la humedad relativa del ambiente
T_K	Temperatura ambiente [$^{\circ}$ K]
W, K, K_1, K_2	Constantes
$m_{entrada}$	Flujo másico de entrada al sistema [kg/s]
m_{salida}	Flujo másico de salida del sistema [kg/s]
\dot{m}	Flujo de biomasa necesario para funcionamiento de la caldera (kg/s)
\dot{v} :	Flujo volumétrico de biomasa producido por la empresa (m^3/mes)
ρ	Densidad tabulada de la madera
W_w	Peso del agua de la masa biomasa [lb]
W_d	Peso seco de la masa biomasa [lb]
W_T	Peso húmedo de la biomasa [lb]
EMC	Humedad de equilibrio [%]
X :	Variable de temperatura
X_i :	Observación número i de la variable
n :	Número de observaciones
\bar{X} :	Es la media de la variable de temperatura
C	Cantidad centesimal de carbono en peso por kilogramo combustible [%]
H	Cantidad centesimal de hidrógeno total en peso por kilogramo de combustible
O	Cantidad centesimal de oxígeno en peso por kilogramo combustible [%]
S	Cantidad centesimal de azufre en peso por kilogramo combustible [%]
h:	Porcentaje de humedad d en base seca [%]
PCS	Poder calórico superior (kcal/kg)
PCI	Poder calórico inferior (kcal/kg)
PCIH:	Poder calórico inferior en base a la Humedad [kcal/kg]
Q	Calor generado [kcal/s]
Δ	Energía del sistema [kcal/s]
W	Trabajo generado [kW]
Q	Calor producido por cada tipo de biomasa [kcal/s]
Qbriquetas	Calor producido por las briquetas [kcal/s]

$\dot{Q}_{leña}$	Calor producido por la leña [kcal/s]
$\dot{Q}_{astilla}$	Calor producido por la astilla [kcal/s]
$\dot{Q}_{TOTALentrada}$	Calor Total de entrada [kcal/s]
$Q_{pérdidas}$	Calor por pérdidas [kcal/s]
Q_{salida}	Calor de salida [kcal/s]
\dot{m}_{vapor}	Flujo másico de vapor [lb/h]
H_{vapor}	Entalpía de vapor [BTU/h]
Y	Fracción de vapor extraído en el condensador
$m_1, m_2, m_7,$	Fracción de masa de vapor en los estados 1, 2 y 7
m_T	Masa total de vapor [Kg/s]
w_{b1}	Trabajo específico de la bomba 1 [kJ/Kg]
v_1	Volumen de vapor en el estado 1 [$\frac{m^3}{kg}$]
W_{Tb1}	Trabajo real de la bomba [kJ/kg]
h_2, h_1, h_3, h_6	Entalpía específica en los estados 1, 2, 3, 6 [kJ/Kg]
m_2	Fracción de vapor extraído en el estado 2
m_6	Fracción de vapor extraído en el estado 6
m_2, m_6, m_3	Masa en los estados 2, 3 y 6 [Kg/h]
w_{b2}	Trabajo específico de la bomba 2 [kJ/Kg]
W_{Tb2}	Trabajo real de la bomba 2 [kJ/h]
h_4	Entalpía específica en el estado 4 [kJ/Kg]
$W_{Bomba,entrada}$	Trabajo de las bombas de entrada [kJ/Kg]
Q_A	Calor admitido total [kJ/h]
q_A	Calor admitido específico [kJ/Kg]
h_5	Entalpía específica en estado el 5 [kJ/Kg]
W_T	Trabajo total de la turbina [kJ/h]
w_t	Trabajo específico de la turbina [kJ/Kg]
h_7	Entalpía específica en estado el 7 [kJ/Kg]
Q_R	Calor rechazado total [kJ/h]
q_R	Calor rechazado específico [kJ/Kg]

RESUMEN

El presente trabajo de investigación consistió en estudiar técnica y económicamente el uso de un sistema de cogeneración que use combustible en base a biomasa forestal residual en Arboriente S.A. El trabajo investigativo empezó con un análisis de la situación actual de la planta describiendo así la disponibilidad y caracterización de biomasa, para de este modo determinar la composición química de Carbono Hidrógeno Oxígeno y Azufre de los diferentes tipos de madera y así mediante el método analítico se calculó el poder calorífico que sirvió para definir el calor producido por la biomasa, luego, bajo estos requerimientos se seleccionó un caldero de biomasa piro tubular de 100 BHP que se empleó en un ciclo Rankine con regeneración, el cual produce energía térmica en forma de vapor, ese vapor genera el movimiento a una turbina de vapor convirtiéndose en energía cinética rotativa que aplicada al rotor del generador trifásico generalmente síncrono produce energía eléctrica limpia y lo mejor de todo renovable. Por otro lado, se analizaron separadamente los costos de inversión y operación de la tecnología, estos escenarios fueron evaluados conjuntamente con el consumo eléctrico que se pretende reducir, para ello se examinó diferentes regulaciones y el pliego tarifario de empresas de distribución eléctrica emitido por la ARCONEL. Se concluyó que con el sistema de cogeneración se lograría cubrir el 50.22% de la demanda energética actual, lo que representa el valor de 460429.85 kWh anuales y la suma de \$35175.23 anuales de gasto energético. Se recomienda controlar la humedad de la biomasa residual, puesto que es el factor más significativo que influyó sobre la variable respuesta que en este caso es el calor generado a través de biomasa.

Palabras clave: <SISTEMA DE COGENERACIÓN> <BIOMASA FORESTAL> <PODER CALORÍFICO> <ENERGÍA RENOVABLE> <CICLO RANKINE> <INDUSTRIA MADERERA>.



2092-DBRA-UPT-2021

2021-11-12

SUMMARY

The present research consisted of a technical and economical study of the use of a cogeneration system that uses residual forest biomass fuel at Arboriente S.A. The research began with an analysis of the current situation of the plant, describing the availability and characterization of biomass in order to determine the chemical composition of Carbon, Hydrogen, Oxygen and Sulfur of the different types of wood. Through the analytical method, the calorific value was calculated, which was used to define the heat produced by the biomass. Under these requirements a 100 BHP (brake horsepower) pyro tubular biomass boiler was selected and used in a Rankine cycle with regeneration, which produces thermal energy in the form of steam. This steam generates the movement to a steam turbine turning into rotating kinetic energy that applied to the rotor of the generally synchronous three-phase generator produces clean and best of all renewable electric energy. On the other hand, the investment and operation costs of the technology were analyzed separately, these scenarios were evaluated together with the electricity consumption to be reduced, and for this purpose different regulations and the rate list of electricity distribution companies issued by ARCONEL were examined. It was concluded that the cogeneration system would cover 50.22% of the current energy demand, which represents the value of 460429.85 kw/h (kilowatt-hour(s) per year and the amount of \$35175.23 per year of energy expenditure. It is recommended to control the humidity of the residual biomass, since it is the most significant factor that influenced the response variable, which in this case is the heat generated through biomass.

Keywords: <COGENERATION SYSTEM> <FOREST BIOMASS> <CALORIFIC VALUE> < RENEWABLE ENERGY> < RANKINE CYCLE> <TIMBER INDUSTRY>

INTRODUCCIÓN

La evolución del petróleo en los últimos años y su tendencia ascendiente del precio del barril de petróleo debido a diversos factores como la creciente demanda mundial y el agotamiento de las explotaciones de este recurso permiten el desarrollo de nuevas tecnologías que nos llevan al aprovechamiento de biomasa forestal en este caso como recurso renovable (Lozano, 2009, p.91).

La principal razón del empleo de la energía renovable es que contribuye notablemente a la reducción de los gases de efecto invernadero (GEI), por lo que no afectan al cambio climático.

No cabe duda de que el acceso a la energía es cada vez más costoso y perjudicial para el planeta, la era de la energía barata está llegando a su etapa final en muchos países, es por ello que el uso eficiente de un sistema de gestión de energía beneficiará a todas las industrias sin importar si son grandes, medianas o pequeñas, a reducir costos, reducir el impacto ambiental y aumentar la competitividad (Vintimilla, 2014, pp.1-3).

Los avances tecnológicos hacen que las empresas tomen enfoques hacia la innovación para aprovechar al máximo las oportunidades en la utilización de biomasa producto de los residuos provenientes del tratamiento que sufre la materia prima para la transformación al producto final, disminuyendo la emisión de CO₂ a la atmósfera y a la vez generando una energía limpia (calor y electricidad).

Se espera que estas alternativas evolucionen con el paso del tiempo, principalmente en la producción de biocombustibles para el transporte, elaboración de productos químicos y hacia otro tipo de bioenergía como el biodiesel, bioetanol, biogás.

Como medidas alternativas de la generación de energía sostenible con el medio ambiente están aquellas producidas por la biomasa, la cual ha sido la fuente de energía más importante en el transcurso de la historia del ser humano. Hasta principios del siglo pasado el petróleo empezó a reemplazarla, especialmente en el sector del transporte. Actualmente, la biomasa sigue siendo la energía primaria más representativa con un 80% del consumo en muchos países, pero cada vez está siendo más utilizada en los países desarrollados; por ejemplo, en los países nórdicos, donde más del 20% del consumo energético proviene de dicha energía. Los ecosistemas de los continentes y océanos, en su conversión de la radiación solar en biomasa, generan un enorme potencial de energía, puesto que mediante la fotosíntesis se obtienen cerca de 220 billones de toneladas de biomasa al año. Esta cantidad convertida en energía representa unos 10800 Mtep (Cubillos et al., 2011: pp. 56-75).

Según (Galindo,2011, p36). Dice que en nuestro país tiene la mayor densidad poblacional de toda Sudamérica es decir 55.8 Hab/Km en un área territorial relativamente reducida de (283.561 km², de la cual se estima que una tercera parte está constituida por áreas no cultivables, primordialmente selva amazónica y estribaciones montañosas. Ante esta realidad, surge la posibilidad de un uso energético sustentable de la biomasa de origen forestal, que al momento no está siendo aprovechada con fines energéticos de diferente tipo y que, por otra parte, abarca una superficie muy importante del territorio nacional.

Es muy importante aclarar que la explotación no controlada de la biomasa natural de los bosques y selvas vírgenes en cantidades superiores a la capacidad de generación del ecosistema provocaría un grave daño irremediable al mundo, ya que nuestros bosques son catalogados como el pulmón del planeta.

El presente trabajo está desarrollado acorde la generación de un tipo de energía limpia amigable con el ambiente, basando el estudio desde el punto de vista de ahorro de energía primaria¹. Así mismo, se reducen las emisiones contaminantes al medioambiente por quemar menos combustibles fósiles, a diferencia de los combustibles fósiles la biomasa producto de los árboles en su composición química CHONS² no contiene tantos sulfuros como los de los combustibles fósiles por tal razón sus efectos de contaminación serán muy inferiores en este aspecto y por ende no serán imprescindibles los tratamientos en cuanto a la limpieza de los gases, por otro lado desde el punto de vista de los intereses de la industria se tienen los siguientes beneficios principales como lo son la reducción de los costes de energía, más seguridad en el suministro de energía, mejora en la calidad de la energía suministrada, la mejora medioambiental, eliminación de pérdidas por transporte y distribución de energía eléctrica y posibilita industrializar zonas alejadas de las redes de distribución eléctrica (Arroyo, 2008, p.13).

El objeto de un sistema de cogeneración principalmente es aprovechar la energía calorífica de un combustible en este caso biomasa forestal para transformarla en electricidad.

Toda instalación industrial eficiente es más costosa que una instalación convencional, siendo esta una variable que influirá en su rentabilidad, es decir las industrias idóneas para instalar plantas de cogeneración son aquellas con gran consumo térmico y muchas horas de funcionamiento siendo la industria maderera una de ellas (Ramiro, 2009, p.7).

En la actualidad el suministro de la energía mundial se enfoca en unos recursos que provienen en su mayoría de combustibles fósiles como el petróleo, carbón y gas natural, que generan un crecimiento notable de los niveles de CO₂ en la atmósfera, provocando grandes efectos medioambientales como el efecto invernadero, la lluvia ácida y el calentamiento global. Además, estos recursos son limitados,

¹ Energía primara se refiere a la energía proveniente de (petróleo, gas natural, carbón mineral,)

² CHONS Carbono, Hidrógeno, Oxígeno, Nitrógeno, Azufre

la escasez de los combustibles fósiles es ya una realidad al ritmo en que nuestra sociedad los consume. Estos efectos hacen que el sistema energético actual sea inestable y surja la necesidad de buscar una alternativa: las energías renovables (Amengual & Triguero, 2013, p. 15).

Como consecuencia de lo expuesto anteriormente se hace necesario el aprovechamiento de los recursos disponibles a través de la correcta utilización de estos, razón por la cual se plantea un análisis técnico y económico del uso de un sistema de cogeneración mediante la utilización de la biomasa el cual beneficiará directamente a la empresa Arboriente S.A. ubicada en la ciudad del Puyo.

La biomasa residual forestal primaria hace poco tiempo era clasificada como un desperdicio del que la mayoría de las veces para los jefes de planta era una complicación debido a que se tenía que deshacer de esos residuos, e incluso otras de las veces pagar para ello, a fin de reducir el riesgo de incendio dentro de la empresa y también en los lugares aledaños además de sanear y limpiar el lugar evitando la proliferación de roedores con el fin de brindar beneficios directos al trabajador en su salud y seguridad.

Con el surgimiento de mercados de procesamiento de la biomasa forestal con fines energéticos, la biomasa forestal puede dejar de ser catalogada como un residuo, pasando a conformar un nuevo recurso forestal capaz de mejorar la productividad de los bosques y de cooperar a su gestión sostenible. No obstante, para que esto sea posible, es necesario que se dinamice el mercado de la biomasa forestal con fines energéticos y que el propietario forestal tenga una participación activa en el proceso de este aprovechamiento (Galindo, 2011, p48).

Este documento realiza un análisis del potencial de biomasa residual en un sistema de cogeneración en la empresa “Arboriente S.A”, Para cada tipo de biomasa visualiza potenciales usos, desarrollando un breve análisis de sus consecuencias favorables y desfavorables, reales o no en el corto mediano y largo plazo.

Regularmente, las empresas inician su incursión en la optimización de recursos energéticos con el objetivo de cubrir sus propias necesidades de energía, sin embargo, es habitual que, a partir de grandes potencialidades de generación, se produzcan excedentes que se pueden llegar a vender a la red pública. Las tecnologías utilizadas en las plantas de generación son del tipo termoeléctrica de combustión directa y se utilizan plantas de cogeneración para aumentar la eficiencia del proceso cuando así se requiere.

En Ecuador, un país agroforestal, se producen grandes residuos a partir de empresas extractoras de árboles, de las cuales la biomasa surge como un recurso autóctono, que proporciona independencia energética e impulsa el desarrollo industrial. Al hacer referencia a la metodología para el aprovechamiento de biomasa es preciso referirse a los contenidos que menciona (Andrade et al., 2009:

pp.45-51) a) Evaluación del potencial de la biomasa con fines energéticos, b) Demandas energéticas requeridas para los fines pertinentes, c) Evaluación de la ubicación óptima del sistema de cogeneración, d) selección y validación de las mejoras tecnológicas, e) Estudio de análisis económico. Como ya se ha mencionado con anterioridad es de vital importancia cambiar la utilización de energías alternativas, dado que en la actualidad está comprobado la afectación ambiental de las fuentes de energías fósiles y su limitada utilidad dado que se está agotando gradualmente. En este contexto proyectos como el presente son de gran impacto dado que permiten la optimización de recursos, con fuentes de energía alternativa como es la cogeneración.

A continuación, en el presente proyecto de investigación se realiza un estudio técnico y económico del uso de biomasa residual forestal en la empresa “Arboriente S.A.” ubicada en la ciudad del Puyo-Ecuador, como alternativa energética renovable. Se trata de un sistema de cogeneración diseñada para producir energía eléctrica utilizando gran cantidad de biomasa que cuenta la empresa y que en la actualidad no está siendo aprovechada en su totalidad.

No obstante, aunque esta sea una tecnología en vías de desarrollo, las perspectivas de futuro son prometedoras. Por lo tanto, se han planteado las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Cuáles son los requisitos de calidad y las características específicas de los diferentes tipos de madera que se procesa en la empresa “Arboriente S.A.”?
- ¿Cómo se puede mejorar la utilización de biomasa forestal en la empresa “Arboriente S.A.”?
- ¿Qué efecto tiene para la empresa “Arboriente S.A.” la generación de energía a partir de residuos del manejo de la biomasa forestal en un sistema de cogeneración adaptado al proceso de secado de madera?
- ¿La implementación de un sistema de cogeneración a partir de biomasa forestal en la empresa “Arboriente S.A.” influye en los costos de producción de la organización?
- ¿Cómo afecta un sistema de cogeneración a partir de biomasa forestal, al gasto empresarial en la empresa “Arboriente S.A.”?
- ¿Si se aplicara un sistema de cogeneración a partir de biomasa forestal, se generaría algún tipo de impacto ambiental en el proceso de producción de la empresa “Arboriente S.A.”?

Además, para el estudio se ha planteado la siguiente hipótesis de investigación:

- El uso de un sistema de cogeneración, mediante la utilización de biomasa residual forestal, cubrirá en algún porcentaje la demanda de energía eléctrica ayudando a la situación financiera de los procesos de producción de la empresa “Arboriente S.A.”

Por consiguiente, en función con lo expuesto en los párrafos anteriores el presente estudio se ha planteado como objetivos:

OBJETIVOS

General

- Estudiar técnica y económicamente el uso de un sistema de cogeneración mediante la utilización de biomasa forestal en la empresa ARBORIENTE S.A

Específicos

- Analizar la situación energética actual de la empresa Arboriente S.A para determinar su consumo.
- Analizar la utilización de equipos de cogeneración utilizando biomasa residual para que el proceso sea más eficiente de acuerdo con las necesidades de la planta.
- Valorar la alternativa tecnológica de combustión directa mediante ciclo orgánico Rankine de manera técnica y económica.
- Realizar un análisis económico del gasto energético, en función del ahorro que generaría la implementación del sistema de cogeneración dentro de la empresa.

CAPÍTULO I

1 ESTADO DEL ARTE

1.1 Motivos de estudio

Arboriente es una sociedad anónima legalmente constituida, dedicada a la producción de tableros contrachapados de madera o también conocidos como tableros triplex, su planta industrial está ubicada en la provincia de Pastaza, ciudad del Puyo en la Av. Ceslao Marín s/n mientras que sus oficinas administrativas se encuentran ubicadas en la ciudad de Ambato, la empresa está afiliada a la Cámara de Industrias de Tungurahua desde el año de 1979.

De acuerdo a las investigaciones realizadas por (Figuroa, 2014,p62 ; Reyes, 2015; Aguiar, et al., 2015; Cazares, 2001; Rodriguez, 2019) se evidencia la reducción del impacto medio ambiental, a través de la eficiencia energética por medio de la utilización de energías limpias, las cuales son obtenidas a partir de biomasa forestal para una planta de cogeneración, sirven para generar un ahorro energético del consumo de energía además de aprovechar los residuos forestales productos de la actividad industrial de cada empresa.

La energía, en todas sus formas de aprovechamiento, se ha catalogado como el motor principal de la sociedad, el uso eficiente del mismo no es una opción sino más bien un deber y su utilidad en el campo industrial no se puede desaprovechar para instaurar una economía baja en emisiones de carbono en el Ecuador.

A partir de una energía útil en forma de calor, un principio que permite incrementar la eficiencia en la generación eléctrica del sistema global de generación es un ciclo combinado, es decir utilizando o recuperado la energía residual en forma de calor proveniente de los gases de combustión para la producción de vapor y mediante una expansión en una turbina multietapa, la cual genera energía motriz para establecer energía eléctrica mediante un generador. (Barriga y Aroca, 2015: p. 15)

Por esta razón, el desarrollo del presente trabajo consiste en estudiar de manera técnica y económica el uso de un sistema de cogeneración a través de combustibles de segunda generación³. Para efecto del presente estudio se utilizará residuos orgánicos, concretamente residuos forestales, debido a que

³ Combustibles de segunda generación se refiere a que proceden de la biomasa (materia orgánica de origen vegetal o animal)

la mayoría de la biomasa que se produce tanto en los sectores agrícolas e industrias madereras no es utilizada para la generación de bioenergía, puesto que la inexistencia de estudios aplicativos a estos sectores es escasa, además, de las dificultades técnicas en la extracción de la materia prima, así como la manipulación y el envío hacen que este tipo de estudios sean limitados.

Por tal motivo, aquellas industrias generadoras de este tipo de energía dirigen la demanda interna que estas producen exclusivamente hacia los residuos generados en industrias de primera y segunda transformación, por tanto es esencial orientar al aprovechamiento de este tipo de recursos para una transformación de energía y beneficio que este tipo de energías pueden generar, de manera sostenible y sustentable porque no afecta al medio ambiente y permite aprovechar al máximo este tipo de recursos, beneficiando de manera directa a la empresa Arboriente S.A., la cual se muestra como un referente en industrias madereras a nivel del país permitiendo aprovechar estos recursos generados de la biomasa residual forestal, que es producido a causa del proceso productivo que sufre la materia prima.

1.2 Metodología de trabajo

Tabla 1-1: Metodología de trabajo

Pasos	Actividades
Recopilación bibliográfica de antecedentes	Antecedentes energéticos y medioambientales de la situación actual en Ecuador, marco legal regulatorio, incentivos de inversión, experiencias. Estudio bibliográfico para determinar la caracterización de la biomasa, el potencial y el poder calorífico de para la producción de energía.
Análisis de Antecedentes.	Análisis de tratamientos de la materia prima para la producción de bioenergía Determinación de los procesos óptimos para la transformación de la biomasa.
Descripción del impacto ambiental por combustión de biomasa	Descripción del comportamiento de la biomasa en el medio ambiente.
Evaluación técnico-económica	Análisis técnico en torno a cálculos de PCS (Poder Calorífico Superior) y PCI (Poder Calorífico Inferior), calor generado por los diferentes tipos de biomasa y determinación de estados del ciclo Rankine con regeneración para la estimación de energía eléctrica en kWh Análisis económico en relación con el ahorro de consumo de energía eléctrica.
Análisis de Resultados	Comparación entre la energía consumida por la empresa y la potencial energía a ser producida por el sistema de cogeneración. Comparación entre softwares y bibliografía para el ciclo Rankine ideal con regeneración.

Realizado por: Pardo, D, 2021.

1.3 Descripción de la industria maderera

La industria maderera surgió en el Ecuador hace aproximadamente 60 años, desde 1962 comenzaron las actividades de extracción en el país con unas pocas empresas. En la actualidad existe una gran cantidad de empresas dedicadas a la elaboración de tableros, aglomerados, molduras, puertas, muebles y otros artículos derivados de la madera considerada como materia prima. (Peralta, 2009, p11) La elaboración de tableros conforma el referente de la industria maderera en el país y es esta la que más se ha interesado en generar su propio patrimonio forestal a través de la protección de los bosques nativos con el desarrollo sustentable, así como el impulso de las plantaciones propias con el fin de asegurarse su permanencia en el tiempo. Las empresas relacionadas a esta línea de producción están vinculadas directamente con el bosque nativo y plantado razón por la cual conocen y aplican las normativas forestales existentes para el desarrollo sustentable y de esta manera tener un mejor aprovechamiento de madera. (Peralta, 2009, p.13).

Según el estudio de (Peralta, 2009 p.48), para el año 1986 en el país existían 566 aserraderos, y para -el 2020 en el país según datos de SRI existen 417 empresas dedicadas a la extracción de madera, además de estas en la Superintendencia de Compañías se registran 204 compañías a nivel nacional como grandes industrias ubicadas en Guayas, Pichincha, Manabí y Los Ríos (Sánchez, et al., 2020: p.45-63).

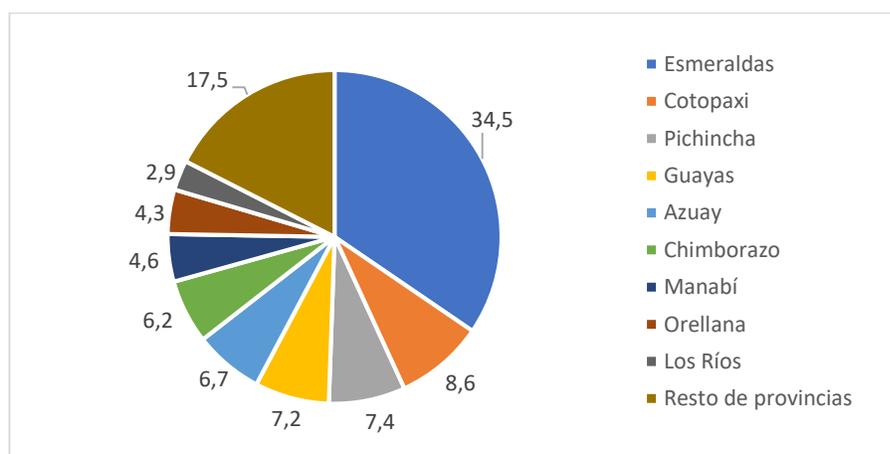


Gráfico 1-1. Intervención por provincia según los números de RUC activos dedicados a la extracción de madera. Ecuador 2019

Fuente: Sánchez, et al, 2021.

En el gráfico 1-1 muestra las ciudades dedicadas a la extracción de madera el cual indica que cerca del 82.5% se encuentran en las provincias de Esmeraldas, Cotopaxi, Pichincha, Guayas, Azuay,

Chimborazo, Manabí, Orellana y Los Ríos, mientras que el restante 17.5 % comprende el resto del país.

Según datos del Banco Central del Ecuador BCE (2017), indican un crecimiento de la industria de silvicultura, extracción de madera y actividades relacionadas a través de los años, ubicándose en el puesto 17 de 47 industrias a nivel nacional, con una contribución de \$1.364,5 millones de dólares en 2018 (1,3% del PIB) (Sánchez, et al., 2020). Además, según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO el 40% del territorio nacional está cubierto de bosques naturales en su gran mayoría en la Amazonía, y el 1% de plantaciones forestales, además, el 45% del área total del país es apto para uso forestal.

Con respecto a la base de la superficie plantada y la disponibilidad de oferta de materia prima del bosque nativo excedente, así como de la aplicación de la norma para el aprovechamiento sustentable, la oferta total de madera en el Ecuador se podría estimar como sigue en la siguiente **Tabla 2-1**.

Tabla 2-1: Oferta total de madera para el Ecuador.

Tipo de bosque	Área total (miles de ha)	Área aprovechable (miles de ha)	Rendimiento sostenible (m3/ha/año)	Oferta total Sostenible (miles m3/año)
Nativo	3.000	1.000	1,13	1.130
Plantado	160	160	15	2.400
Total	3.160	1.160		3.530

Fuente: PEIA Proyectos & Asesoría Sustentables Cía. Ltda., 2011.

Realizado por: Pardo, D, 2021.

La generación de empleo en el Ecuador, del sector forestal, madera y muebles genera alrededor de 235.000 puestos de trabajo directo y miles de puestos adicionales de trabajo indirecto para el 2004. La gran relevancia del sector es que la mayor parte de este empleo es producido a nivel rural y en ciudades pequeñas donde se concentra la actividad artesanal.

Según el Ministerio de la Producción, Ecuador registró \$15.863 millones de dólares en pérdidas acumuladas desde el 16 de marzo hasta el 31 de mayo de 2020, el promedio diario de pérdidas disminuyó de 205 a 170 millones de dólares americanos diarios. Las actividades con mayores resultados negativos fueron el comercio, servicios y manufactura, además, según el Ministerio del Trabajo 115.000 trabajadores fueron despedidos durante la emergencia (Sánchez, et al., 2020)

1.4 Tipos de residuos generados por el tratamiento de la madera

Tienen valor como combustible todos los residuos de la madera y su corteza, que se suelen denominar comúnmente aserrín basto debido al proceso de reducir el tamaño de los residuos en la máquina

trituradora, aunque se produce en la mayor gama de tamaños con diversos contenidos de humedad, como se indica en la siguiente Figura 1-1.



Figura 1-1. Tipos de residuos generados en la industria maderera.

Fuente: FAO, 1991.

Realizado por: Pardo, D, 2021.

1.5 Defectos en la madera

Los defectos son irregularidades o imperfecciones que presenta la madera, estos defectos afectan las propiedades físicas y mecánicas, para el tratamiento de estas, lo que provoca una limitación en su

uso; normalmente los defectos reducen la resistencia mecánica y la rigidez de las piezas de madera a ser procesada.

1.5.1 Defectos de crecimiento.

Los defectos de la madera, por lo general se desarrollan en el árbol durante el crecimiento, siendo los principales: nudos, inclinación del grano, fallas de compresión, perforaciones y médula excéntrica (PADT-REFORT, 1984).

1.5.2 Influencia del contenido de humedad

Es el factor más crítico en los combustibles de biomasa, porque es la variable que determina la cantidad de energía que se puede obtener durante la combustión, es decir en el proceso de combustión primero se evapora el agua que contenga la biomasa para tener disponible el calor, lo cual Burschel, et al, (2003) dedujo que la variable de la humedad es inversamente proporcional con el poder calorífico es decir mientras más humedad exista se tendrá menor poder calorífico.

La restricción fundamental es la resistencia donde la relación en cambio es a mayor humedad menor resistencia. Sin embargo, la resistencia permanece constante cuando la humedad se sitúa por encima del punto de saturación de las fibras PSF. (PADT-REFORT, 1984).

Un alto de contenido de humedad ralentiza y dificulta la combustión, ocasiona condensación y alquitrán en los canales de humo y por lo tanto disminuye su poder calorífico.

1.5.3 Degradación

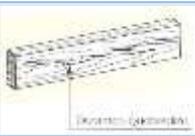
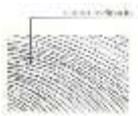
Al ser un material orgánico, la madera se degrada al ser sometida a oxígeno, humedad y temperaturas variables. La principal causa de degradación es el ataque de organismos biológicos destructores como lo son los hongos y los insectos, estos pueden destruir las células que componen la madera, afectando a sus propiedades físicas y químicas, lo que reduce drásticamente su resistencia estructural (PADT-REFORT, 1984).

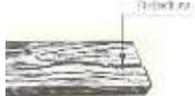
1.5.4 Ataques Químicos

Esto depende del tipo de compuesto, siendo los más dañinos el agua y el alcohol, la pérdida de las propiedades químicas es causada por el hinchamiento de la madera (PADT-REFORT, 1984).

Algunos de los defectos más comunes se clasifican en defectos anatómicos, defectos por grano, defectos por nudo, alabeos, por secado, por aserrado, biológicos, hongos y pudrición como podemos apreciar de mejor manera en la Tabla 3-1.

Tabla 3-1: Defectos en la madera

Defectos de la madera		
Clasificación	Subclasificación	Figura
Defectos anatómicos	Médula incluida	
	Duramen quebradizo	
	Bandas anchas de parénquima	
Grano	Grano recto	
	Grano inclinado	
	Grano entrecruzado	
Nudo	Nudo sano	
	Nudo hueco	
	Nudos arracimados	
Alabeos		
Defectos por secado de madera	Abarquillado	

	Arqueadura	
	Encorvadura	
	Torcedura	
Defectos por aserrado	Escamadura o acebolladura	
	Grietas	
	Rajadura	
	Arista faltante	
	Fallas de compresión	
	Defectos biológicos	Perforaciones
Perforaciones pequeñas		
Perforaciones grandes		
Hongos	Mohos	

	Manchas	
Pudrición	Pudrición clara	
	Pudrición castaña	

Fuente: NTE INEN 2 580: 2011.

Realizado por: Pardo, D, 2021.

Es importante determinar la defectología en la madera y específicamente en las trozas puesto que es un factor muy determinante para el aprovechamiento final de biomasa en las industrias, es decir cuántos menos defectos posea la madera, más será su aprovechamiento y viceversa, dado los defectos presentados en la madera se desechan grandes volúmenes de madera que puede ser claramente utilizada como biomasa para la cogeneración de energía.

Tenemos entonces deformaciones en las trozas en este primer caso mostrado a continuación en la **Figura 2-1** podemos claramente que es un trozo de madera de árbol que se ha desproporcionado, no tiene similitud en los extremos, esta se debe a problemas genéticos, estos no son útiles para su procesamiento puesto que generan una gran cantidad de desperdicio.



Figura 2-1: Deformaciones de las trozas

Realizado por: Pardo, D, 2021.

Además, las trozas presentan fisuras que son separaciones de los tejidos, estas pueden presentarse ya sea en un extremo o en los dos extremos de las trozas.



Figura 3-1. Fisuras de trozas.
Realizado por: Pardo, D, 2021.

Las rajaduras son otro tipo de defectos que presentan las trozas, esto es causado por el proceso de secado natural son de tamaño superior a 1mm e inferior a 2mm.



Figura 4-1. Rajaduras de trozas.
Realizado por: Pardo, D, 2021.

Las trizaduras son separaciones más profundas en las trozas, su longitud suele ser mayor a 300 mm, este defecto afecta a la condición mecánica de la madera.



Figura 5-1. Trizaduras de trozas.
Realizado por: Pardo, D, 2021.

Las roturas se presentan como separaciones extremadamente profundas en las trozas.



Figura 6-1. Roturas de trozas.
Realizado por: Pardo, D, 2021.

De igual forma los huecos son un gran problema en la industria forestal, este es causado por la pudrición de la médula del árbol. Estos se caracterizan por su ubicación como se presenta a continuación.



Figura 7-1. Huecos en las trozas.
Realizado por: Pardo, D, 2021.

Existe una gran cantidad de trozas que presentan defectos por pudrición, por lo general son causados por hongos.



Figura 8-1. Daños por hongos y pudrición en las trozas.
Realizado por: Pardo, D, 2021.

1.5.5 Destino final de la biomasa en el Ecuador

No queda duda a la vista de todo el mundo que el uso de la biomasa es una gran alternativa incipiente que algunos países lo han adoptado de diferentes maneras, por ejemplo exponemos el caso de Francia donde aproximadamente 6 millones de hogares utilizan madera como fuente de calor, otro caso es en Dinamarca que existen plantas de tratamiento que queman 28 mil toneladas anuales de paja para producir 13 MW de energía eléctrica lo cual representa un dato abrumador o por último el caso de un país más cercano al nuestro Brasil en donde unos 2 millones de vehículos tienen como su mayor componente de combustible el alcohol, mientras que 8 millones utilizan mezcla de gasolina y alcohol (Chanampa, 2010, p.19).

Los elementos que subyacen para el aprovechamiento de la biomasa forestal requieren del volumen de residuos que se generen y con ello la consecuencia en el resultado económico que pueda proyectarse más adelante.

Además, (PEIA Proyectos & Asesoría Sustentables Cia. Ltda., 2011) estableció un estudio en 2011 en el Ecuador donde se entrevistó a varias industrias madereras obteniendo los siguientes resultados del destino final de la biomasa generada en la industria maderera ecuatoriana.

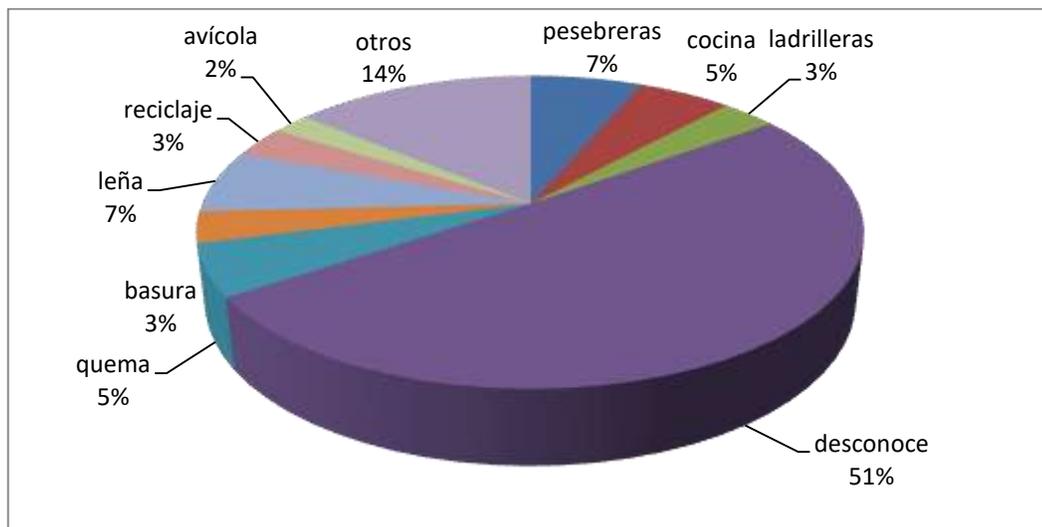


Gráfico 2-1. Destino final de la biomasa en el Ecuador

Fuente: PEIA Proyectos & Asesoría Sustentables Cia. Ltda., 2011.

De manera general mediante la Gráfica 2-1 se puede exponer que no existe un uso definido para la biomasa dentro del Ecuador, siendo así que el 51% no está siendo utilizado, desperdiciándose puesto que no está siendo aprovechada, mientras que en porcentajes menores se puede notar que en su mayoría las industrias terminan dándole otros fines como reciclaje, leña, o para alguna otra actividad, salvo del caso de las industrias madereras que la emplean como materia prima y en raros casos como fuente energética.

Por tal razón se debe señalar que las industrias de fabricación de tableros y aglomerados como ARBORIENTE S.A. son las únicas actualmente de actividad productiva que emplean la práctica sistemática y controlada para el uso de la biomasa, y a la vez se ha evidenciado que la biomasa resultante de los procesos no es un rubro valorado por lo que para ellos no es fuente de ingreso ni diversificación de sus inversiones.

1.6 Bioenergías

Se define como bioenergía a todo tipo de energía proveniente de la biomasa. La biomasa se define como el material orgánico que más ha sido empleado como combustible a lo largo de toda la historia de la humanidad. Es originada por las plantas al fijar luz, agua y dióxido de carbono mediante el proceso de fotosíntesis. La energía solar queda almacenada en enlaces químicos durante este proceso y puede ser liberada mediante los diferentes tipos de conversión como la combustión, la digestión, la descomposición o bien mediante la hidrólisis y fermentación a combustibles líquidos o gaseosos (Isaías et al., 2010, p32)

La biomasa suministra, según su procesamiento y origen, energía útil y factible de aprovechar desde el enfoque económico en las tres formas físicas: sólida, líquida y gaseosa, siendo estas las siguientes:

- Biocombustibles
- Biocarburantes
- Biogás o metano

Una de las principales ventajas que tiene el empleo de la bioenergía es que puede sustituir a los combustibles fósiles sin causar incremento de las emisiones que provocan el cambio climático, además es la única fuente de energía capaz de desafiar al petróleo en el mercado de los combustibles. Esta misma cualidad en el sector eléctrico hace que la bioenergía para la producción de electricidad sea totalmente aceptable, puesto que las plantas de bioenergía constituyen capacidades eficientes de potencia eléctrica. La bioenergía presenta nuevas opciones a la agricultura, promueve la propagación de vegetación, permitiendo de esta manera equilibrio mejorado entre desarrollo rural y urbano.

Para evitar los conflictos de uso de suelo y producción de alimentos su desarrollo debe efectuarse de una manera armonizada con el fin de rehabilitar suelos propiciando el desarrollo y la equidad social. El desarrollo tecnológico de la segunda y tercera generaciones de bioenergéticos⁴, asociado al uso eficiente de leña en zonas rurales y de plantaciones energéticas sustentables, es condición indispensable para que la bioenergía logre plenamente su potencial, contribuya al desarrollo sustentable y facilite la transición hacia una matriz basada en energías renovables (Isaías et al., 2010, p32)

1.7 Dendroenergía

Se denomina dendroenergía a la energía producida por biocombustibles sólidos como la biomasa forestal proveniente especialmente de los árboles, aunque también de otra vegetación como terrenos forestales. (Umaña, 2017).

El valor de los sistemas de dendroenergía para ocasionar beneficios e inversiones en las zonas rurales, crear empleo (especialmente en las zonas rurales o forestadas), proyectar nuevas oportunidades de mercado para los subproductos forestales y diversificar las actividades forestales contribuirá a impulsar la producción forestal y agigantar la productividad de los bosques y los árboles, lo que guiará a una gestión más adecuada y sostenible de los bosques. (Trossero, 2002).

La dendroenergía presenta una serie de desafíos, se encuentra en la mejora de los sistemas actuales y el desarrollo de nuevas tecnologías para mejorar su eficacia y su competitividad económica en relación con los combustibles fósiles que es el desafío principal de la dendroenergía. Si no se retiran de una manera adecuada los residuos forestales pueden provocar grandes problemas ambientales como graves incendios, pero si se lo hace de una manera correcta y planificada se puede beneficiar provechosamente en instalaciones para generar energía y limpiar de paso los bosques. No obstante, esta acción se debería ejecutar de forma equilibrada, puesto que la tierra en sí y los ecosistemas boscosos requieren una cierta cantidad de esos residuos para conservarse en buenas condiciones. Cabe aclarar un punto muy importante, para que la biomasa pueda ser considerada como recurso renovable, la dendroenergía tiene que utilizar madera de bosques gestionados de forma sostenible y ser eficiente en el aprovechamiento de los recursos y del potencial energético. Caso contrario, los perjuicios ambientales y económicos pueden ser mayores que sus posibles ventajas (Fernández, 2014).

1.8 Biomasa

⁴ Aquellos combustibles que comparten el intento de disminuir el calentamiento global y dependencia de los combustibles fósiles

Toda materia orgánica heterogénea originada en un proceso biológico, provocado o espontáneo, utilizable como fuente de energía”, en otras palabras, cualquier sustancia orgánica de origen animal o vegetal que pueden ser cualquier deshecho precedente de la agricultura como cáscaras de frutos secos, podas de árboles o restos de madera como aserrín, briquetas, pellets resultantes de los procesos de su transformación, la biomasa así mismo puede dividirse en tres grupos principales:

- **Biomasa natural:** Es la que se produce espontáneamente sin la intervención humana en la naturaleza.
- **Biomasa residual:** Es la que se produce con la intervención humana es decir como el resultado de cualquier proceso y las actividades de las personas que utilizan materia orgánica como por ejemplo (RSU).
- **Biomasa producida.** Son los cultivos energéticos, en otras palabras, lo campos de cultivo donde se produce un tipo de especie específico con la única finalidad de su aprovechamiento energético (Fundación Endesa, 2019)

La Directiva (UE) del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de diciembre de 2018, define la biomasa como la parte biodegradable de los diversos productos, desechos y residuos de origen biológico resultantes de actividades agrarias, incluidas las sustancias de origen animal y vegetal, de la silvicultura y de las fábricas conexas, incluidas la acuicultura y la pesca, así como la parte biodegradable de los residuos, incluidos los residuos industriales y municipales de origen biológico. (Parlamento Europeo & Consejo de la Unión Europea, 2018).

1.9 Transformación de la biomasa

Actualmente existen distintas maneras para transformar la biomasa en energía que se puede aprovechar, pero son dos de las más utilizadas.

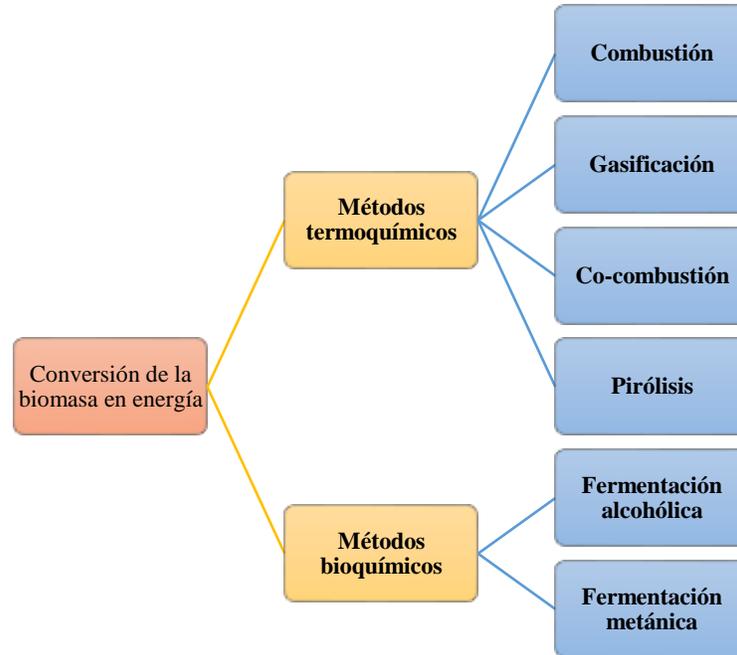


Figura 9-1. Formas para transformar la biomasa en energía aprovechable

Fuente: FAO, 1991

Realizado por: Pardo, D, 2021

El más común de los procesos de transformación de biomasa presentados en la figura 9-1 es la combustión tanto para la producción de calor, como para la generación de energía eléctrica. De una manera resumida se puede decir que la combustión consiste en la quema de un combustible, en este caso la biomasa, a partir de la cual se produce calor y vapor de agua que se inyecta en una turbina, generando de esta manera electricidad.

No obstante, no es de menospreciar la importancia de otros procesos de transformación, puesto que, debido a los avances tecnológicos, están cada vez siendo más eficientes y rentables. Los restantes procesos físicos de transformación de la biomasa utilizan fundamentalmente biomasa forestal secundaria (residuos de empresas transformadoras de la madera en su mayoría).

En cuanto tiene que ver a los procesos de transformación fisicoquímica, usan igualmente biomasa forestal secundaria y residuos agrícolas. En la conversión biológica, son empleados especialmente residuos agrícolas, cultivos energéticos herbáceos, residuos sólidos urbanos y lodos de las estaciones de depuración de aguas.

Además, si se quiere ser más específico la biomasa, a través de diferentes tipos de conversión, puede ser transformada en distintos tipos de energía, tal como se puede observar en la siguiente Figura 10-

1

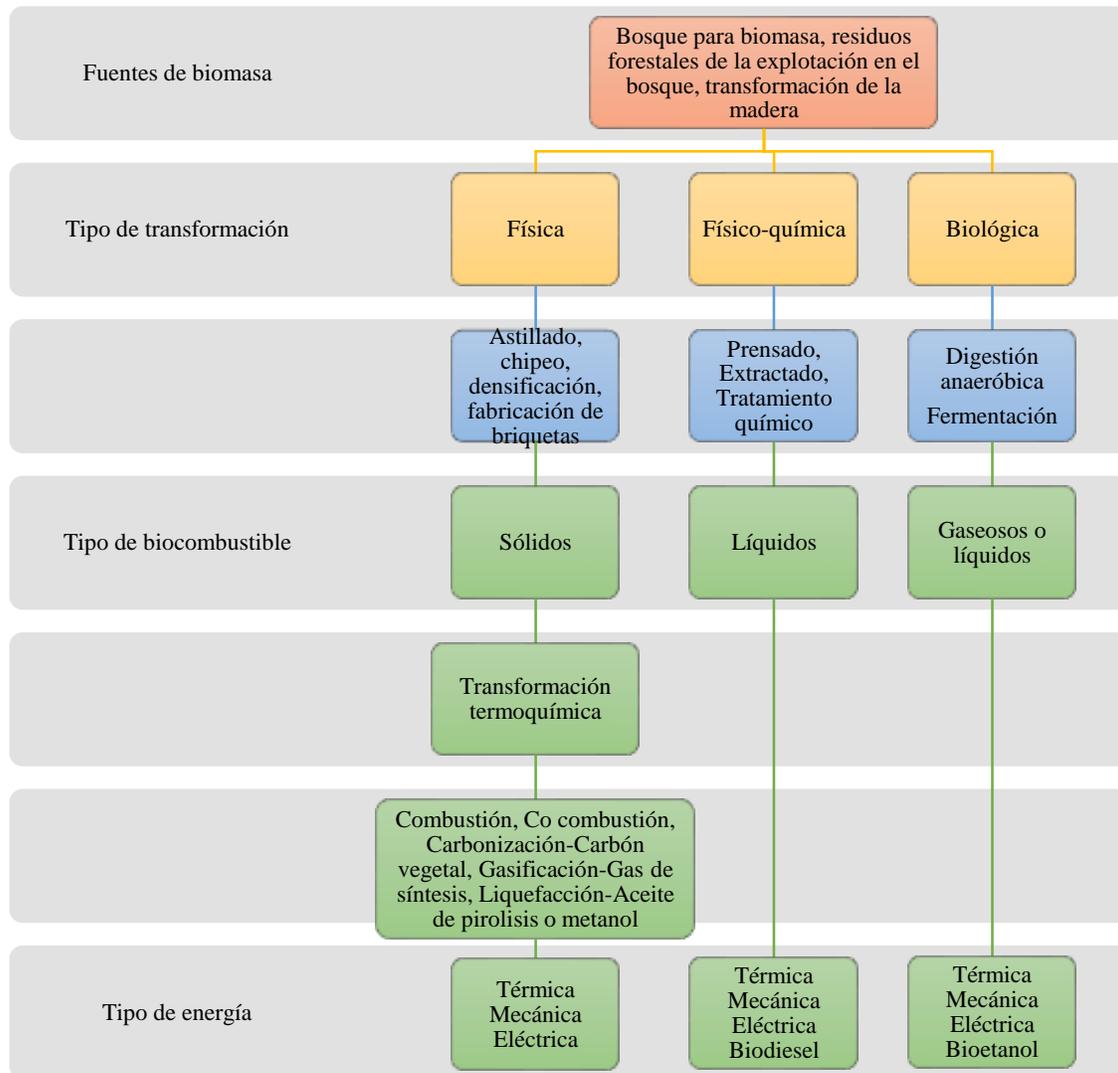


Figura 10-1. Transformación específica de biomasa

Fuente: PEIA Proyectos & Asesoría Sustentables Cia. Ltda., 2011.

Realizado por Pardo, 2021

El proceso de combustión directa es el más sencillo y más ampliamente utilizado, tanto en el pasado como en el presente, puesto que permite obtener energía térmica, ya sea para uso industrial (calor de proceso, vapor mediante una caldera o energía mecánica utilizando vapor de una máquina), o para uso doméstico como cocción y calefacción. Las tecnologías utilizadas para la combustión directa de la biomasa comprenden una extensa gama que va desde calderas de alto rendimiento utilizadas fundamentalmente en la industria hasta el sencillo fogón a fuego abierto que sigue siendo utilizado en grandes zonas rurales para la cocción de alimentos.

Por lo que concierne al sector industrial de la madera, las instalaciones industriales consumen especialmente biomasa forestal proveniente de sus propios procesos de transformación

En cuanto al sector industrial de la madera, las plantas industriales consumen principalmente su propia biomasa forestal secundaria es decir la biomasa resultante de sus procesos de transformación, el sistema de generación de energía comúnmente más utilizado es la cogeneración.

La cogeneración surge como una tecnología interesante al garantizar ingresos provenientes de la generación de energía eléctrica, mecánica y térmica dando una mayor competitividad a las empresas (Lucas et al., 2012: pp36-48). con el fin al consumo de terceros o al autoconsumo, eludiendo o mitigando el uso de equipos propios de producción de calor y la adquisición del servicio de la energía eléctrica a la red. Los sistemas de cogeneración de biomasa forestal son repetidamente empleados por las industrias ligadas a los productos forestales (tableros), puesto que de esta manera las industrias pueden revalorizar un residuo que es generado en el propio proceso industrial, transformándolo en un recurso (Sánchez, 2017).

1.10 Cadena de valor de la biomasa forestal.

Lo que verdaderamente constituye un real potencial de combustible son los volúmenes de desperdicios de biomasa forestal relacionados con los residuos de manejo forestal y de las operaciones de cosecha, existiendo hoy algo de tecnología y los medios para aprovecharlos en proyectos de generación de energía.

El progreso de la infraestructura vial, interna y externa ha reducido algunas de las principales restricciones de disponibilidad y transporte en las localidades donde se ubican las plantaciones y además existen los medios de transporte y las tecnologías para alcanzar distancias medias de carga y descarga controlando así los tiempos de entrega. (Velázquez, 2006).

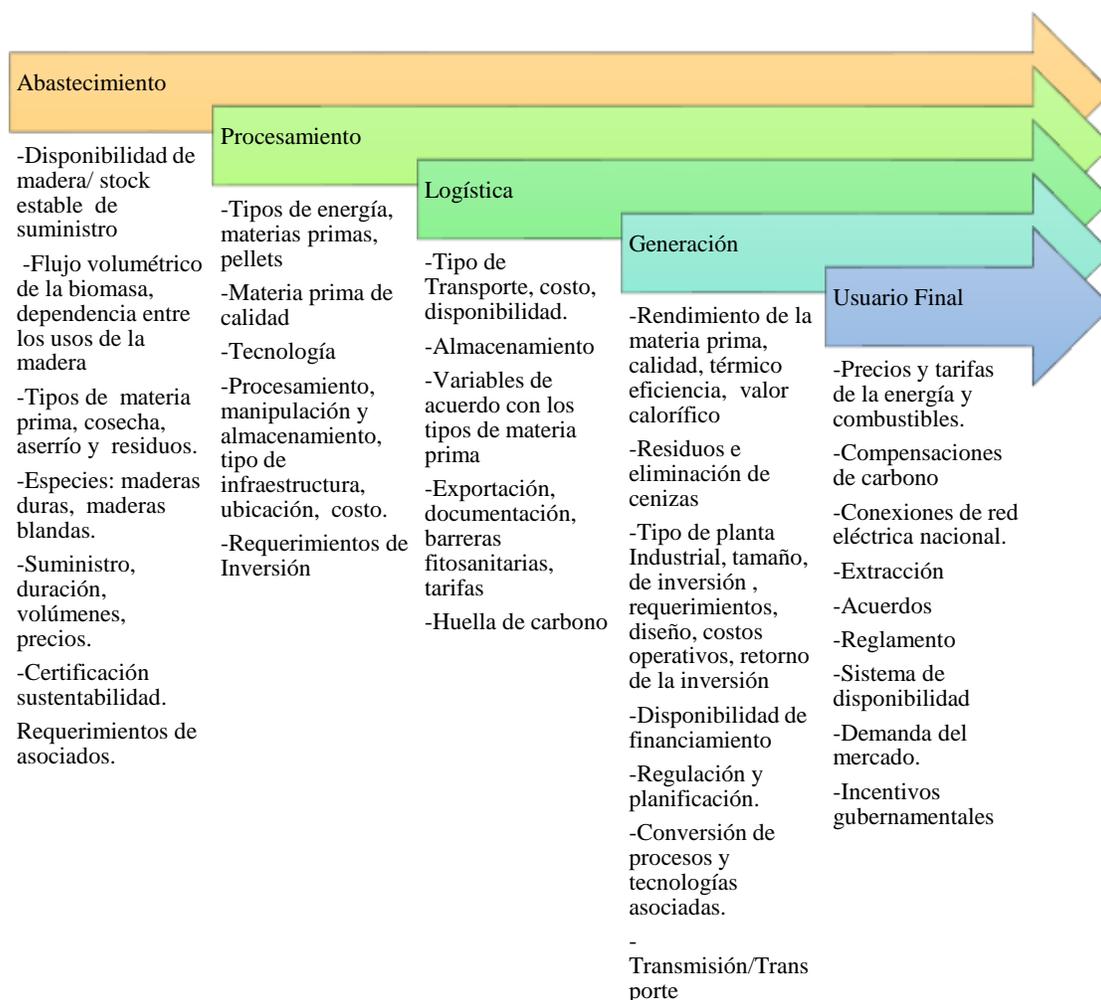


Figura 11-1. Cadena de valor de la biomasa forestal

Fuente: PEIA Proyectos & Asesoría Sustentables Cia. Ltda., 2011.

Realizado por: Pardo, D, 2021

1.11 La biomasa forestal de uso energético

Para el suministro de energía existen una variedad de materiales que pueden usarse, a partir del material leñoso y los residuos de la industria forestal propiamente tales⁵ que han sido la principal fuente de energía renovable utilizada por el hombre hasta la revolución industrial donde empezaron

⁵ Tales: Material leñoso (leña), procedentes de despuntes de árboles, recortes de ramas, aserrín, polvillo de lijado y otros análogos)

aparecer otras fuentes de energía como los combustibles fósiles, pero incluso en la actualidad para muchas personas especialmente en el sector rural sigue siendo la principal fuente de energía

La clasificación de los combustibles leñosos según su origen es:

- **Combustibles de madera directos (biomasa forestal primaria):** Están conformados por madera y productos leñosos extraídos directamente de las áreas forestales.
- **Combustibles de madera indirectos:** son los subproductos derivados de industrias primarias de madera en donde procesan directamente el árbol o tronco que llega del bosque como por ejemplo empresas de fabricación de tableros aserraderos, etc. Y también de industrias secundarias donde trabajan la madera ya procesada como carpinterías, ebanisterías, estos se queman directamente o se transforman en otro combustible.
- **Combustibles de madera recuperados:** son el resultado de todas las actividades sociales y económicas ajenas al sector forestal, tales como desechos de la demolición y construcción de edificios, cajas de madera, etc. (Killmann, 2002)

Los materiales vegetales fundamentales que conforman la biomasa forestal primaria son:

- **Productos derivados de tratamientos silvícolas:** Semillas y Ramas provenientes de actividades de poda.
- **Restos de cortas:** Ramas y riberones⁶ procedentes de cortas finales antes de la regeneración de los bosques y de cortas intermedias.
- **Leñas procedentes de trasmochos y de pies no maderables:** Ramas y troncos de pies mal formados.
- **Cultivos energéticos leñosos y herbáceos:** Se realizan con plantaciones de alta densidad seleccionando las especies según la cantidad de biomasa que producen. En el país los géneros más utilizados son el cedro, ceibo, copal, laurel, entre otros.
- **Desbroces de matorral:** Limpieza de matorrales leñosos arbustivos y sub-arbustivos en masas arboladas.

Estos productos regularmente se proveen a través de las empresas de obras y servicios forestales y vienen derivados de la gestión sostenible del bosque.

La gestión de la biomasa forestal, desde su recolecta hasta que se transforma en energía, es un proceso costoso que requiere una correcta planificación además el empleo de nuevas tecnologías para conseguir su máxima optimización.

⁶ Riberones: Parte superior del tronco de los árboles queda como resultado después de separarlo del resto por no tener las características requeridas.

La densidad aparente baja que tiene la biomasa forestal hace que el transporte sea complejo, de costos elevados y que su uso energético necesite inmensos espacios de almacenamiento, es por ello que se analizó brevemente el área para una posible instalación de esta magnitud con el plano de la empresa, también es necesario por tanto conseguir productos más compactos y fácilmente utilizables. La heterogeneidad de la biomasa, así como la aplicación que se la va a dar, determina el tratamiento necesario para su uso. Los procesos de pretratamiento de la biomasa en el campo como en la industria pueden ser:

- Secado: natural o artificial.
- Astillado, triturado o molienda.
- Densificación: pellets, briquetas, empaçado.

Para la fabricación de los otros combustibles que se manejan en esta sección, la leña tendrá que sufrir transformaciones fisicoquímicas de mayor relevancia. Un importante problema ecológico que plantea la extracción de la biomasa proveniente de los restos de tratamientos silvícolas o cortas es el aumento de erosión en laderas de pendiente acusada, la reducción de la fertilidad y del contenido de materia orgánica adicionalmente la posible compactación del suelo. Se debe efectuar una apropiada selección del terreno, prevenir una extracción excesiva de nutrientes, usar técnicas de aprovechamiento adecuadas apropiadamente ejecutadas y optar por los momentos adecuados para la extracción.

El uso de la biomasa forestal con propósitos energéticos necesita un tratamiento previo para lograr los productos más adecuados para su empleo como combustible.

La clasificación de los tipos de combustible según la Terminología Unificada sobre Dendroenergía (UWET, 2001) es: leña, astillas, pellets de madera, carbón vegetal, briquetas de carbón vegetal, licor negro y otros combustibles de madera.

1.11.1 Leña

La definición de leña implica a toda la madera conseguida de los bosques o de otro origen en su forma original, es la madera en bruto. La leña constituye el combustible más tradicional y se puede obtener a partir de alguna especie leñosa, tanto forestal como agrícola. La forma de la leña por lo general es cilíndrica o cónica, muy desigual en cuanto a tamaños y de baja densidad. Se acostumbra a rajar para permitir un fácil almacenamiento y mejor conservación y de este modo alcanzar las propiedades ideales de empleo.

Para llevar a la práctica un impecable aprovechamiento energético de la leña hay que pasarla por algún proceso de secado puesto que, si tiene mayor porcentaje de humedad, tendrá menor poder calorífico, influenciando también en esta última variable la especie de que se trate.

Sin embargo, cabe señalar que en este trabajo no se estudió ningún tipo de secado, para ello se determinó la humedad relativa estudiada en el próximo capítulo más adelante.

1.11.2 Astillas

Las astillas son el producto de la trituración de la madera, constituido de trozos pequeños de aspecto irregular que tienen un espesor de aproximadamente de 2cm y tamaños variables que no suelen superar los 10cm de longitud. La astilla proveniente de los restos forestales es completamente natural y no contiene ninguna clase de aditivo, conformando claramente un biocombustible limpio de cara a la emisión de gases contaminantes, además se puede decir que tiene una baja densidad y una superficie específica muy superior a la de la leña, lo que disminuye el tiempo de inicio de la combustión. El proceso de secado es caro, pero aumenta el poder calorífico, el mismo que puede oscilar entre las 3.000 y las 3.300 kcal / kg, en función de la especie utilizada astilla con un 30% de humedad sobre base húmeda (Bioenergetica Pirenaica, S.L., 2018).

Cabe recalcar que este poder calorífico se lo comparará con el poder calorífico calculado dependiendo las 13 especies de madera usados en la planta.

El porcentaje de humedad de las astillas de la empresa es el mismo que tiene el producto terminado siendo que este debe pasar por unas exigencias de calidad una de sus condiciones es que su porcentaje de humedad no exceda el 10% para salir a la venta al público, para ello las láminas húmedas de madera se secan pasando por un proceso que consiste en una gran cámara equipada con serpentines de calentamiento y ventiladores que atraviesan las láminas, es ahí donde se controla la humedad que está en un rango de 6-10% de humedad (López Silva, 2015)

Por ende, las astillas son el proceso posterior de cortes e igualaciones en tamaño por ende tendrá el mismo porcentaje de humedad, dato clave que servirá luego para poder determinar el poder calorífico y posteriormente el calor producido en base al flujo volumétrico que se tiene en la empresa.



Figura 12-1. Astillas de la empresa
Fuente: Arboriente S.A



Figura 13-1. Residuos para convertirse en astillas
Fuente: Arboriente S.A

1.11.3 *Pellets*

Los pellets son generalmente de forma cilíndrica donde la biomasa procedente de residuos forestales y desechos de origen vegetal es compactada a una presión determinada son elaborados sobre la base de astillas de madera y serrín. Representan un tamaño que varía entre 5 y 6 mm de diámetro y 2-3 cm de longitud aproximadamente. Su composición compacta y su tamaño limitado permiten la automatización del abastecimiento de las calderas de biomasa por medio de un sistema de tornillo sin fin.

Los pellets muestran una ventajosa combustión debido a su alta densidad, mejor manejo de espacio en cuanto a su almacenamiento y facilidades para su comercialización y transporte. Estas características permiten usar el pellet como una excelente alternativa al gasóleo de calefacción.

Sin embargo, en este presente trabajo no se utilizará ni serán motivos de estudio por lo que no existe la máquina peletizadora dentro de la empresa.

1.11.4 Briquetas

Las briquetas en cambio son biocombustibles procedentes de la biomasa compactada, formados de residuos de madera (polvillo de lijado), aunque pueden estar formadas por otros productos como por ejemplo el carbón vegetal. Su constitución compacta y uniforme propone grandes ventajas respecto a la leña tradicional como son la limpieza, transporte facilidad de almacenamiento y facilidad de utilización. El modo de empleo de las briquetas es similar al de la leña tradicional, pudiéndose usar de cualquier manera para la combustión.

La forma de las briquetas es muy variable puede abarcar varias formas dependiendo de la máquina briquetadora que se tenga (ANEXO A), por ejemplo, cilíndrico prisma hexagonal, prisma rectangular, prisma cuadrado-comido en las esquinas prisma octogonal etc., en la empresa evidenciamos que trabajan con briquetas de tipo cilíndrica prisma hexagonal como podemos ver en la Figura 14-1. Además, cabe mencionar que el estudio se concentra una parte en analizar el poder calorífico de las briquetas mediante bibliografía para de esta manera poder determinar calor generado a partir del flujo volumétrico que se tiene en la empresa.



Figura 14-1. Briqueta de la empresa

Fuente: Arboriente S.A.

La densidad aparente en la biomasa específicamente en las briquetas depende de la porosidad y de su composición química utilizada además de otra característica como es la presión ejercida por cualquier

dispositivo en el proceso de fabricación, se puede determinar su densidad mediante un ensayo sencillo, además de ser un ensayo no destructivo, la cual representa una gran ventaja porque permite obtener varias mediciones en las distintas probetas y tener como resultado final valores más precisos, según un trabajo teórico experimental se determinó que las briquetas de madera su poder calorífico oscila en un rango mayor a las 4200 kcal/kg dependiendo también de las variables antes mencionadas (Díaz Artigas, et al., 2020: pp25-47).

1.11.5 *Licor negro y otros combustibles.*

Este tipo de biocombustible no son nada más que subproductos que se obtienen durante los procesos de descomposición química de la madera en las industrias específicamente que se fabrican pasta de papel. Dado que esto actualmente no se produce en Ecuador, solamente se menciona.

Es importante recalcar que los tipos de combustibles utilizado en este proyecto son las astillas, las briquetas y la leña ya que son las que actualmente cuenta la empresa y son motivo de estudio.

No es ninguna novedad que en la industria maderera como en otras industrias traten de optimizar los procesos de producción al máximo y recurran a aprovechar al máximo la materia prima a través de biomasa en este caso, bajo este contexto se presenta la siguiente Tabla 4-1 donde se muestra las principales ventajas y desventajas de la utilización de biomasa para la obtención de energía.

Tabla 4-1: Ventajas y desventajas de la utilización de biomasa para la obtención de energía

Ventajas		
Desde un punto de vista económico	Desde una perspectiva social	Desde una óptica medioambiental
Mejora de la garantía de suministro ya que es un combustible local.	Genera puestos de trabajo en el medio rural en mayor medida que cualquier otro combustible alternativo.	Reducción de emisiones de CO2: mitigación del cambio climático.
Disminuye los costos de suministro energético respecto a combustibles de importación.	Genera puestos de trabajo en actividades de mantenimiento de forma mayor que los combustibles fósiles, pero de manera competitiva por el menor costo de la biomasa sobre los combustibles alternativos.	Disminución del impacto ambiental
Mayor estabilidad de precios.	Avanza hacia una economía libre en carbono sin afectar la calidad de vida, ya que es básicamente la energía renovable gestionable.	Mayor eficiencia energética desde el momento que una parte significativa de la biomasa se pudre o quema en las cunetas para su destrucción.
Mejora de la rentabilidad de la industria que genera subproductos biomásicos aumentando su competitividad.	Promoción del desarrollo rural, de la creación de empleo y de la economía local/regional	Es una energía renovable indefinida, totalmente compatible con la protección del entorno.
Disminución del déficit en balanza exterior a nivel nacional	Favorece la generación de puestos de trabajo: la biomasa crea empleos directos e indirectos, en toda la cadena de gestión y producción, con ventajas como los altos índices trabajo-capital.	Pone en valor amplias superficies agrícolas y forestales marginales que actualmente están sumidas en el abandono

Diversificación del suministro de energía, reducción de la muy alta dependencia del exterior y ruptura de la tendencia alcista de los precios de los combustibles fósiles.	Reactiva el desarrollo de actividad industrial en zonas rurales.	Facilita la recogida de restos del cultivo agrícola.
Permite un ahorro en la factura energética. Actualmente, es más barata que los combustibles fósiles y pueden obtenerse ahorros superiores al 50%.	Tiene un amplio campo de innovación tecnológica	Disminuye los riesgos de incendio mejorando por tanto a largo plazo la biodiversidad.
		Mejora el estado fitosanitario de los bosques reduciendo el riesgo de plagas.
Desventajas		
Desde un punto de vista económico y operacional	Desde una perspectiva social	Desde una óptica medioambiental
La incineración puede resultar peligrosa, si no se hace un diseño de instalación adecuado	La deforestación puede impactar zonas de cultivo	Cultivos destinados a biomasa, Riesgo de deforestación
Se generan cenizas. La quema de los residuos genera cenizas, incrementando los costes operacionales. .	No existen demasiados lugares idóneos para su aprovechamiento ventajoso.	Un mal uso de la biomasa puede promover la deforestación de los bosques y la destrucción de los hábitats naturales.
Las medidas de seguridad en la incineración deben ser elevadas, tanto por la temperatura como por la emisión de gases		Dificultad en el procesamiento y manejo

<p>Se necesita una zona de almacenamiento. -Para la caldera - Para residuos que se deben utilizar para generar energía</p> <p>Por ende, requieren grandes espacios y planificación adecuada</p>	<p>Poca o nula información sobre tecnologías disponibles</p>	<p>Falta de conciencia sobre la conservación de la Pachamama</p>
<p>Mantenimiento específico y especializado para mantener, en buen estado, las instalaciones de biomasa.</p>	<p>Posee una menor densidad energética que los combustibles fósiles, por tanto, se necesita mayor concentración de biomasa para obtener la misma porción de energía.</p>	
<p>En ocasiones, la biomasa contiene mucha humedad, que hay que eliminar, lo que conlleva una etapa más y un consumo de energía previo.</p>		
<p>Cuando existen dificultades para mantener el transporte y almacenamiento de la biomasa sólida, se incrementan los costos.</p>		
<p>Al ser un recurso de uso reciente, las redes y canales de distribución de los mismos no se encuentran tan desarrollados como los de los combustibles líquidos y/o sólidos.</p>		

Fuente: (Eficiencia, 2020)
Realizado por: Pardo, D,2021

1.12 Caracterización teórica de la biomasa residual forestal disponible.

Es preciso analizar la caracterización de la biomasa, para ello se ha elaborado La Tabla 5-1 completa producto de una investigación bibliográfica meticulosa donde se menciona los diferentes tipos de madera que utiliza la empresa para sus respectivos procesos de producción, así como su nombre científico la familia a la que pertenece esta especie la densidad en kg/m^3 y lo más imprescindible que es la composición de CHONS ya que de esto básicamente depende el poder calorífico y posteriormente el calor que se pueda generar.

Tabla 5-1: Caracterización completa de la biomasa

N°	Nombre común	Nombre científico	Familia	densidad kg/m ³	TIPO	COMPOSICIÓN				
						H	C	N	O	S
1	Tamburo	<i>Nectandra lineatifolia</i>	LAURACEAE	640	duro	6,1	50,2	0,55	41,1	0,05
2	Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	MELIACEAE	540	duro	6,1	50,2	0,55	41,1	0,05
3	Ceibo	<i>Ceiba pentandra (L.) Gaert</i>	BOMBACACEAE	330	suave	6,1	51,8	0,27	39,7	0,03
4	Chuncho	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	FABACEAE	690	duro	6,1	50,2	0,55	41,1	0,05
5	Copal	<i>Protium spp.</i>	BURSERACEAE	640	duro	6,1	50,2	0,55	41,1	0,05
6	Cuero de sapo	<i>Parinari rodolphii</i>	CHRYSOBALANACEAE	880	duro	6,1	50,2	0,55	41,1	0,05
7	Guarango	<i>Parkia multijuga</i>	FABACEAE	480	suave	6,1	51,8	0,27	39,7	0,03
8	Laurel	<i>Cordia alliodora (Ruiz & Pav.)</i>	BORAGINACEAE	460	suave	6,1	51,8	0,27	39,7	0,03
9	Mascarey	<i>Hieronyma alchorneoides</i>	PHYLLANTHACEAE	740	duro	6,1	50,2	0,55	41,1	0,05
10	Pachaco	<i>Schizolobium parahybum</i>	CAESALPINACEAE	410	suave	6,1	51,8	0,27	39,7	0,03
11	sangre de gallina	<i>Virola reidii</i>	MYRISTICACEAE	420	suave	6,1	51,8	0,27	39,7	0,03
12	Tamburo	<i>Vochysia lequiana</i>	VOCHYSIACEAE	430	suave	6,1	51,8	0,27	39,7	0,03
13	coco	<i>Roupala montana</i>	PROTEACEAE	500	duro	6,1	50,2	0,55	41,1	0,05
Densidad Promedio				550,77		6,1	50,9385	0,4208	40,454	0,04077
Desviación estándar				150,82		0	0,83	0,15	0,73	0,01

Fuente: (Forestal, 2013) & (Timber Organization, 2021)

Realizado por: Pardo, D, 2021

Las consideraciones que se necesitan para la utilización de la biomasa como combustible, según Loaiza (2015) son:

- Poder Calorífico
- Contenido de humedad
- Rango de calidad del combustible (sustancias que pueden dañar a los equipos de generación).

Es común que la biomasa pierda humedad con el paso del tiempo luego de la poda si se mantiene en condiciones ambientales secas caso contrario aumenta su porcentaje de humedad, dado que para los combustibles de biomasa este es el factor más crítico, puesto que determina la cantidad de energía que se pueda generar por medio de la combustión, para la utilización de la biomasa residual forestal como fuente de energía.

Que pierde humedad se debe a que la madera viene siendo un material higroscópico con la capacidad de intercambiar humedad con el aire circundante, produciéndose así la humedad de equilibrio en el cual la madera logra un equilibrio con las condiciones ambientales del área geográfica donde se encuentre. Este estado es influenciado por los cambios de humedad relativa HR y temperatura del medio. Ninguna madera se encuentra en equilibrio estable debido a que las condiciones climáticas tienden a variar continuamente y su contenido de humedad sigue las fluctuaciones que las condiciona el lugar en que permanece. (Siau, 1984); (Skaar, 1988)

1.13 Marco Legal

El artículo 86 de la sección segunda de la constitución del Ecuador establece que el Estado protegerá el derecho de la población a vivir en un medio ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice un desarrollo sustentable. Velará por que este derecho no sea afectado y garantizará la preservación de la naturaleza, además declara de interés público

El artículo 89 de la sección segunda de la constitución del Ecuador menciona que el Estado tomará medidas orientadas a la consecución de los siguientes objetivos:

1. Promover en el sector público y privado el uso de tecnologías ambientales limpias y de energías no contaminantes.
2. Establecer estímulos tributarios para quienes realicen acciones ambientales sanas.
3. Regular bajo estrictas normas de bioseguridad, la propagación en el medio ambiente, la experimentación, el uso, la comercialización y la importación de organismos genéticamente modificados. (Constituyente, 2008)

Según el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, la Constitución Política del Ecuador considera:

Sección segunda

1.13.1 *Ambiente sano*

Art.14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*; y declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la recuperación de los espacios naturales degradados (Constituyente, 2008).

Art.414.-El Estado adoptará medidas adecuadas y transversales para la mitigación del cambio climático, mediante la limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero, de la deforestación y de la contaminación atmosférica; tomará medidas para la conservación de los bosques y la vegetación, y protegerá a la población en riesgo (Constituyente, 2008).

Art.415.-El Estado Central y los Gobiernos Autónomos descentralizados adoptarán políticas integrales y participativas de ordenamiento territorial urbano de uso del suelo. Los gobiernos autónomos descentralizados desarrollarán programas de uso racional de agua y de reducción, reciclaje y tratamiento adecuado de desechos sólidos y líquidos (Constituyente, 2008).

Las Leyes que operan:

1.13.2 *Ley de Gestión Ambiental*

Establece los principios y directrices de la política ambiental; determina las obligaciones, responsabilidades, niveles de participación de los sectores público y privado en la gestión ambiental y señala los límites permisibles, controles y sanciones en esta materia (Congreso Nacional, 2004).

1.13.3 *Ley del Sector Eléctrico*

Establecer los principios y directrices de la política energética del sector eléctrico, energías renovables (entre ellas biocombustibles) y eficiencia energética, este contexto cabe señalar los reglamentos vigentes como se presenta a continuación (Agencia de Regulación y Control de Electricidad, 2020).

- Reglamento General de la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica
- Reglamento General de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico
- Reglamento de Garantías para compraventa de energía
- Reglamento de Tarifas
- Reformas al Reglamento Ambiental para Actividades Eléctricas
- Reglamento Ambiental para Actividades Eléctricas
- Reglamento Sustitutivo al Reglamento para el Funcionamiento del Mercado Eléctrico Mayorista
- Reglamento para Transacciones Internacionales de Electricidad
- Reglamento Para El Libre Acceso A Los Sistemas De Transmisión Y Distribución
- Reglamento de Despacho y Operación del Sistema Nacional Interconectado

1.13.4 *Políticas ambientales*

Art. 395.- La Constitución reconoce los siguientes principios ambientales:

1. El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras.
2. Las políticas de gestión ambiental se aplicarán de manera transversal y serán de obligatorio cumplimiento por parte del Estado en todos sus niveles y por todas las personas naturales o jurídicas en el territorio nacional.
3. El Estado garantizará la participación activa y permanente de las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades afectadas, en la planificación, ejecución y control de toda actividad que genere impactos ambientales.
4. En caso de duda sobre el alcance de las disposiciones legales en materia ambiental, éstas se aplicarán en el sentido más favorable a protección de la naturaleza. (Constituyente, 2008)

1.13.5 Políticas Energéticas

Promover el desarrollo sustentable de los recursos energéticos e impulsar proyectos con fuentes de generación renovable (SENPLADES, 2012).

Implementar tecnologías de uso eficiente de la energía, desarrollar planes de reducción de pérdidas y promover el uso racional y eficiente de la energía en la población. (SENPLADES, 2017)

CAPÍTULO II

2 MARCO METODOLÓGICO.

2.1 Tipo de estudio

La investigación descriptiva se desarrolla en base a realidades de un hecho y su principal característica es la de presentar una correcta interpretación, es por ello por lo que se puede incluir los estudios exploratorios y descriptivos, la cual nos sirve para más adelante poder exponer los resultados de forma clara y precisa para que al momento de hacer un análisis sea entendible para el lector (Cabezas et al., 2018: pp.12-35)

2.1.1 Estudio exploratorio

A través de la exploración, en la presente investigación se determina aquellos defectos en la madera, que dan lugar a la generación a la biomasa residual en la empresa “Arborient S.A.”. Esta biomasa residual ya sea briquetas, astillas, servirá para alimentar el hogar de caldero ya existente, el cual se utiliza específicamente para proceso de secado y prensado del producto, quedando un excedente el cual se analizará más adelante. Ver ANEXO B

En la empresa se genera una oportunidad de mejora, mediante un sistema de cogeneración, esto debido al tipo de proceso de la empresa y a la gran cantidad de generación de biomasa residual forestal, para ello es factible partir de la identificación de la situación actual de la planta de

procesamiento y del consumo de energía de la empresa, además, esto presenta un gran potencial de desarrollo de un sistema de cogeneración en la empresa. Entonces como menciona (Pérez, 2013) mediante un análisis de los temas importantes de las variables de investigación como la cantidad de biomasa disponible, se logra conseguir suficiente información empírica, además de la teórica, para analizar y contrastar de manera exploratoria algunas de las distintas preguntas de investigación del estudio y los primeros planteamientos básicos (Pérez, 2013 pág. 112).

2.1.2 *Estudio descriptivo*

Por medio de este estudio se “consideran al fenómeno estudiado y sus componentes, se miden conceptos y se definen variables” (Hernández, et al, 2014, pág. 89). Y gracias a la observación directa se ha de evaluar los potenciales y costos asociados a los sistemas de operación e inversión de las tecnologías seleccionadas para el diseño del sistema de cogeneración en la empresa “Arboriente S.A.”, para ello se procederá a analizar de manera separada los potenciales energéticos, y de conversión, dado que se estiman los volúmenes de biomasa tanto en astillas, briquetas y leña generados en la empresa para la posterior alimentación de la caldera y la generación de energía eléctrica.

2.2 *Método de estudio*

Para conocer en profundidad la situación de la investigación y extraer información fiable y válida para actuar sobre ella, es necesario iniciar aplicando un correcto método de estudio como se describe en los párrafos subsecuentes. La propuesta del sistema de cogeneración de la investigación dispondrá de una planificación minuciosa, permitiendo identificar y anticipar aspectos que puedan afectar a la intervención y toma de decisiones a lo largo del trabajo del investigador (Navarro, et al, 2017).

2.2.1 *Método analítico-sintético*

Gracias a este método se permite efectuar un análisis y síntesis de la información recopilada sobre las características fisicoquímicas como el poder calorífico y el calor generado por cada uno de los diferentes tipos de biomasa residual que cuenta la empresa, es decir descomponer un todo en sus partes y cualidades en sus diversas relaciones, propiedades y composición.

2.2.2 *Método bibliográfico*

Teniendo en cuenta que por medio de este método se resuelven algunas de las interrogantes más importantes de la investigación dado que a través de fuentes bibliográficas, se ha obtenido una gran cantidad de información que aporta favorablemente al sustento científico desde el inicio del proyecto hasta la finalización de este.

Además, permite hacer una comparación en cuanto a resultados en los cálculos tanto del potencial calorífico de la biomasa y para el ciclo Rankine ideal con regeneración en cuanto los estados en comparación con las tablas de propiedades de agua saturada, vapor saturado etc.

2.3 Técnicas y herramientas de recopilación de información

Aquella información que no se pueda recopilar por medio de la observación, se la adquirirá mediante la revisión de la literatura y el análisis de datos para los cálculos con ayuda de dos softwares (CyclePad y EES) que sirven para la simulación del ciclo Rankine con regeneración analizado más adelante.

2.4 Cogeneración

“Cogeneración es el proceso de producción simultánea de energía térmica (calor útil) y energía eléctrica y/o mecánica, que hace parte integrante de una actividad productiva destinada a procesos industriales o comerciales” (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2013)

Es la generación simultánea de energía eléctrica y térmica, dada desde un proceso de consumo primario, al ser la biomasa utilizada como combustible se reducen los costos de producción que representa un retorno de inversión a favor de la industria, así como la reducción del impacto ambiental, al ser un proceso que emplea turbinas se puede aumentar la confiabilidad de la energía, disminuir los tiempos de parada imprevistos entre procesos, vender los excedentes de energía. (Navalia Energía, 2019)

Principalmente los sistemas de cogeneración abarcan:

- plantas con motores alternativos
- plantas con turbinas de gas
- plantas con turbinas de vapor

Siendo este último el que se pretende llevar a efecto dentro de esta investigación.

2.4.1 Cogeneración con turbinas de vapor

El proceso consiste en una caldera alimentada por biomasa que genera vapor de alta presión, este fluido pasa a través de una turbina chocando con sus álabes y esto a su vez provoca una expansión de vapor que dará lugar a la energía mecánica, en la segunda parte está el generador acoplado con un eje en común a la turbina en consecuencia se genera energía eléctrica a partir de la energía mecánica.

Se puede también ampliar la cogeneración mediante un ciclo combinado en el cual se le hace un sangrado a la turbina de multietapa para obtener vapor, que puede aprovecharse para otros consumos de equipos industriales dentro de la misma empresa o para mejorar la eficiencia del ciclo termodinámico a lo que se conoce como regeneración de calor.

En su gran mayoría las turbinas utilizan la regeneración de calor para reducir la cantidad de combustible en este caso biomasa que debe agregarse a la caldera.

2.4.2 Intercambiadores de calor

Son los dispositivos capaces de reducir la temperatura de un fluido mediante otro fluido con menor temperatura lo que pasa en los condensadores comúnmente, es decir condensar un fluido en estado gaseoso por medio de un fluido frío, en el presente trabajo se pretende usar un condensador en el ciclo Rankine con regeneración.

2.5 Procedimiento para el desarrollo del trabajo investigativo

Para esta sección he planteado una secuencia de pasos ordenada a seguir con la finalidad que se pueda tener un mayor entendimiento de este y se los plantea a continuación.

1. Se determina la biomasa disponible en la empresa con su respectivo análisis
2. Se caracteriza la biomasa
3. Análisis de la humedad de equilibrio
4. Balance de masa, flujo másico de biomasa para funcionamiento de la caldera
5. Cálculo del poder calorífico (superior e inferior)
6. Balance de energía
7. Calor producido por la biomasa

8. Selección del caldero
9. Flujo másico de vapor
10. Determinación de estados del proceso mediante el ciclo Rankine con regeneración con ayuda del software EES / CyclePad
11. Comparación entre softwares y tablas de vapor
12. Análisis de todos los dispositivos que intervienen en el ciclo Rankine con regeneración
13. Cálculo de energía producida mediante ecuaciones generadas en el punto anterior
14. Análisis de la situación actual de la planta en consumo de energía
15. Propuesta de financiamiento a través de la banca privada
16. Cálculo del costo de mantenimiento a través de bibliografía
17. Mano de obra directa
18. Mano de obra indirecta o contratada
19. Análisis económico en función del ahorro del gasto energético

Se debe mencionar que a cada paso le corresponde una serie subprocesos que intervienen para llegar al resultado esperado y además que la determinación de los cálculos será analizada en el siguiente capítulo.

El software CyclePad es totalmente gratuito creado por Qualitative Resoning Group que permite a los estudiantes construir y analizar una extensa variedad de ciclos termodinámicos, CyclePad en la actualidad se está ensayando sobre el terreno en las clases de pregrado de ingeniería de la universidad Northwestern y la universidad de Oxford. (Castillo, 2012)

El software EES por sus siglas en inglés Engineering Equation Solver es un programa que viene con la versión demo que se usa en este caso para la resolución de las propiedades termodinámicas en función a las tablas de vapor y no necesita de licencia, fue desarrollado en la Universidad de Wisconsin-Madison. (F Chart, 2011)

2.6 Biomasa disponible en la empresa.

Tiene mucha relevancia la cantidad de biomasa disponible ya que es un factor que influye sobre la cantidad de energía que se quiere generar, se podría decir que una relación es a mayor biomasa disponible mayor energía generada.

La cantidad de madera disponible en la empresa para la producción de tableros contrachapados se mide en volumen es decir en m^3 , gracias a las cartas de control que no son más que indicadores de calidad que la empresa proporcionó ANEXO C, se pudo determinar que el promedio de ingreso mensual de materia prima es de $1207.95 m^3$ de igual manera se determinó los meses en la que la producción fue normal y no se vio afectada por la pandemia.

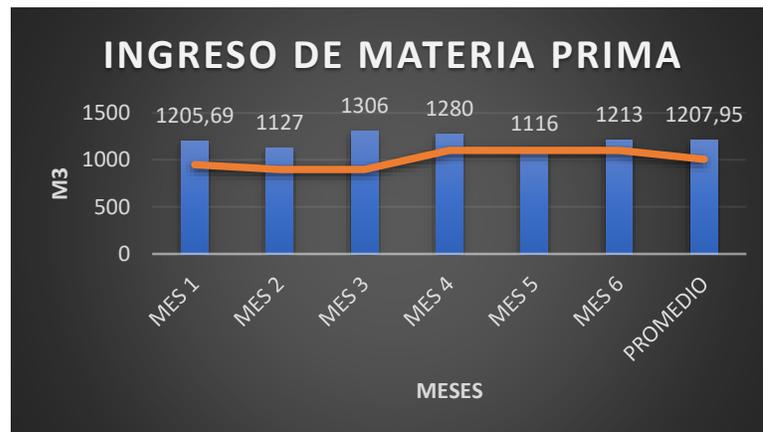


Gráfico 1-2. Ingreso mensual de materia prima

Fuente: Arboriente S.A.

Realizado por: Pardo, D, 2021

No obstante, esta es el total de cantidad de materia prima de la cual se obtiene el 55% de aprovechamiento de la materia prima total en promedio es decir $1207.95 m^3/mes$ ANEXO D para el proceso de elaboración de los tableros contrachapados lo que correspondería a la cantidad de $664.37 m^3/mes$,

Como la empresa necesita satisfacer la demanda de biomasa de un caldero ya existente para la generación de vapor, se ha determinado por el departamento de producción de la empresa que utiliza la mitad de la biomasa residual es decir la mitad del 45% excedente teniendo la cantidad de $271.8m^3/mes$ esta cantidad representa al 22.5% de la materia prima total, estas cantidades anteriormente mencionadas no fueron motivos de estudio en los cálculos puesto que la empresa necesita eso como mínimo para su proceso de producción de trabajo normalmente.

Resultando de esta manera el 22.5 % de biomasa residual forestal para cogeneración, de los cuales el 20% es leña húmeda desechada quedando el restante del 2.5% entre briquetas y astillas que posee la empresa, para saber el porcentaje que le pertenece a cada una se tiene el registro que la máquina

briquetadora que menciona que la briquetadora tiene la capacidad de producir 10 m³/mes lo cual representa el 0.82% de la materia prima total quedando la diferencia de 1.68% para lo que serían las astillas valores que los podemos apreciar más claramente en la Tabla 1-2.

Tabla 1-2: Cantidad de biomasa disponible

REGISTRO MENSUAL ARBORIENTE S. A.		
	CANTIDAD	UNIDADES
MATERIA PRIMA TOTAL	1207,95	m ³ /mes
PRODUCCION	664,37 55%	m ³ /mes %
BIOMASA USADO PARA EL CALDERO EXISTENTE		
Consumo de astillas y Briquetas	271,8 22,50	m ³ /mes %
BIOMASA EXCEDENTE PARA COGENERACIÓN		
ASTILLAS	20,29 1,68%	m ³ /mes %
BRIQUETAS	10 0,82%	m ³ /mes %
LEÑA (exceso de humedad)	241,6 20%	m ³ /mes %
Total de biomasa disponible	271,88	m ³ /mes

Fuente: Cartas de control de la empresa Arboriente S.A.

Realizado por: Pardo, D, 2021

La biomasa excedente se divide en 3 tipos:

1. Astillas resultantes del proceso de cortado e igualado de la materia prima final.
2. Briquetas producto del polvillo ocasionado por el proceso del lijado. (ANEXO E)
3. Leña producto de la eliminación de cortezas y torneado.

Como podemos evidenciar en la Figura 1-2 están las trozas de la materia prima total que ingresa mensualmente a la empresa



Figura 1-2. Materia prima total

Fuente: Arboriente S.A.

Realizado por: Pardo,D,2021

En la Figura 2-2 tenemos la biomasa excedente que es totalmente rechazada por su exceso de humedad y la cual en el presente estudio la hemos denominado leña.



Figura 2-2. Biomasa excedente rechazada con humedad

Fuente: Arboriente S.A.

Realizado por: Pardo,D,2021

En la Figura 3-2 nos encontramos con la biomasa excedente de los procesos de cortado e igualado de los tableros contrachapados



Figura 3-2. Biomasa excedente de los procesos

Fuente: Arboriente S.A.

Realizado por: Pardo,D,2021

Y como último tenemos la Figura 4-2 donde se evidencia las briquetas excedentes que son fabricadas en la máquina briquetadora de la empresa y utiliza polvillo de los diferentes tipos de madera como su principal componente y resultan del producto del lijado de los tableros contrachapados. Ver ANEXO F.



Figura 4-2. Briquetas excedentes

Fuente: Arboriente S.A.

Realizado por: Pardo,D,2021

2.7 Humedad de equilibrio EMC

El contenido de humedad de equilibrio de la madera en este caso la leña está relacionado con la temperatura del aire y la humedad relativa del ambiente y se define cuando un sólido húmedo en este caso la biomasa se pone en contacto con aire de temperatura y humedad determinadas y estas alcanzan las mismas condiciones de equilibrio es decir cuando la presión parcial del agua que acompaña al sólido húmedo es igual a la presión de vapor del agua en el aire. (Bonsfills Pedrós et al., 2011)

Puesto que la biomasa forestal residual de madera es higroscópica es decir que absorbe el agua libremente, se tiene que las propiedades de una biomasa específica, la temperatura y la humedad relativa del ambiente determinan la concentración de humedad de la biomasa en equilibrio con su entorno. Durante el almacenamiento, el contenido de la humedad no tiende a cambiar instantáneamente, esto depende también del tipo de biomasa a tratar, la forma del pilote, presencia de corteza etc.

Ver ANEXO G, donde se tiene un silo de almacenamiento temporal para astillas.

Alcanzar la EMC puede requerir desde horas hasta meses, peor aún en un ambiente no controlado.

La ecuación (1) se usa para determinar el EMC para la biomasa, y corresponde al libro del *Technical Manual for the SAM Biomass Power Generation Model* (Jorgenson, 2011)

$$EMC = \frac{1,800}{W} \left[\frac{K*Hr}{(1 - K*Hr)} + \frac{K_1 K * Hr + 2K_1 K_2 K^2 Hr^2}{1 + K_1 K * Hr + K_1 K_2 K^2 Hr^2} \right] \quad \text{Ec. 1}$$

$$W = 330 - 0.452 T_K + 0.00415 T_K^2 \quad \text{Ec. 2}$$

$$K = 0.791 + 0.000463 T_K + 0.0000000844 T_K^2 \quad \text{Ec. 3}$$

$$K_1 = 6.34 + 0.000775 T_K - 0.0000935 T_K^2 \quad \text{Ec. 4}$$

$$K_2 = 1.09 + 0.0284 T_K - 0.0000904 T_K^2 \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

Hr Fracción de la humedad relativa del ambiente

T_K Temperatura ambiente [$^{\circ}$ K]

W, K, K_1, K_2 Constantes

Las variables de la temperatura y humedad relativa se tomó los datos históricos del tiempo de la ciudad del puyo en donde se encuentra ubicada la empresa y están detallados en la Tabla 2-2

Tabla 2-2: Datos históricos del tiempo de la ciudad del puyo

MES	Temperatura min. (°C)	Temperatura máx. (°C)	Temperatura media (°C)	Humedad %
Enero	17	24,6	20,5	84
Febrero	17,2	24,8	20,6	84
Marzo	17,2	24,6	20,5	86
Abril	17,2	24,4	20,4	86
Mayo	16,9	23,7	20	88
Junio	16	22,7	19,1	88
Julio	15,5	22,6	18,8	87
Agosto	15,4	23,9	19,4	83
Septiembre	15,7	25	20,1	81
Octubre	16,5	25	20,5	84
Noviembre	17	24,7	20,5	86
Diciembre	17,1	24,6	20,5	85
Promedio anual	17	24	20	85
Desviación	0,71	0,83	0,63	2,08

Fuente: Clima Date,2020

Realizado por: Pardo, Danny,2021

El cálculo de la desviación estándar se utiliza como una medida estadística, que indica que tan lejos están en promedio los valores medidos individuales del valor esperado o valor medio, que nos sirven de esta manera para poder trabajar con el límite inferior o superior dependiendo del caso.

DESVIACIÓN ESTANDAR

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^n (X_i - \bar{X})^2}{n}} \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

X : Variable de temperatura

X_i : Observación número i de la variable

n : número de observaciones

\bar{X} : es la media de la variable de temperatura

2.8 Balance de masa, flujo másico de biomasa en base seca y húmeda

El balance de masa se fundamenta en la Ley de la conservación de masa mencionada por Lavoisier: en cada proceso hay exactamente la misma cantidad de sustancia presente antes y después de que el proceso se haya realizado.

$$\sum \dot{m}_{entrada} = \sum \dot{m}_{salida} \quad \text{Ec. 7}$$

Donde:

$m_{entrada} = \text{flujo másico de entrada al sistema } \left(\frac{kg}{s}\right)$

$\dot{m}_{salida} = \text{flujo másico de salida del sistema } \left(\frac{kg}{s}\right)$

Para poder determinar el flujo másico primero debemos saber una de las propiedades fundamentales del material como es la densidad.

FLUJO MÁSIICO EN FUNCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA

$$\dot{m} = \frac{\dot{v}\rho}{T} \quad \text{Ec. 8}$$

Donde:

\dot{m} : flujo de biomasa necesario para funcionamiento de la caldera $\left(\frac{kg}{s}\right)$

\dot{v} : Flujo volumétrico de biomasa producido por la empresa (m^3/mes)

ρ : Densidad tabulada de la madera $\frac{kg}{m^3}$

T: como es el ingreso mensual es decir 30 días, si lo multiplicamos por 24 horas que tiene el día y los 3600 segundos que tiene cada hora obtenemos el tiempo en segundos, eso para obtener nuestro flujo másico en las unidades de (kg/s)

30 días * 24 Horas * 3600s = 2592000 s

Para el caso de la industria celulósica y de elaboración de tableros se puede usar la siguiente ecuación en base al contenido de humedad en función del peso húmedo. (IRAM, 1963; citado en Spavento et.,2008)

$$EMC = \frac{W_T - W_d}{W_T} * 100 \quad \text{Ec. 9}$$

$$W_w = W_T - W_d \quad \text{Ec. 10}$$

Donde:

W_w	Peso del agua de la masa biomasa [lb]
W_d	Peso seco de la biomasa [lb]
W_T	Peso húmedo de la biomasa [lb]
EMC	Humedad de equilibrio [%]
M_{wb}	Relación del contenido de humedad del agua en la biomasa
M_{db}	Relación del contenido de humedad en la biomasa seca

2.9 Poder calorífico

“La cantidad de calor liberado cuando un combustible se quema por completo en un proceso de flujo estacionario y los productos vuelven al estado de los reactivos. En otras palabras, el poder calorífico de un combustible es igual al valor absoluto de la entalpía de combustión del combustible”. (Cengel, 2012)

El poder calorífico de un combustible de cualquier tipo para este caso biomasa es la cantidad de energía desprendida en la reacción de la combustión donde interviene la composición química del material, en este estudio de Carbono Hidrógeno, Oxígeno y Sulfuro que son los que particularmente encontramos en la composición de la madera.

También se podría decir que es el total de calor que entrega un kilogramo o un metro cúbico de combustible al oxidarse en su totalidad.

2.9.1 Poder calorífico superior

Es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de 1 Kg de combustible cuando el vapor de agua originado en la combustión está condensado y se contabiliza, por consiguiente, el calor desprendido en este cambio de fase. (Botta, 2018)

El poder calorífico superior se determina según los químicos franceses Pierre Louis Dulong y Alexis Therese Petit, considerando que todos los elementos de conforman la combustión, es decir el combustible y el aire son tomados a 0°C y los productos como los gases de combustión son llevados también a 0°C después de la combustión, por lo que el vapor de agua se encontrará completamente condensado, la ley establece la relación clásica para la capacidad calorífica (Dulong et al., 1819).

LEY DE DULONG PODER CALORIFICO SUPERIOR DE UN COMBUSTIBLE SECO

$$PCS = 8140 * C + 34400 * \left(H - \frac{O}{8}\right) + 2220 * S \quad \text{Ec. 11}$$

Donde:

C: cantidad centesimal de carbono en peso por kilogramo combustible en [%]

H: cantidad centesimal de hidrógeno total en peso por kilogramo de combustible en [%]

O: cantidad centesimal de oxígeno en peso por kilogramo combustible en [%]

S: cantidad centesimal de azufre en peso por kilogramo combustible en [%]

$\frac{O}{8}$: cantidad centesimal de hidrógeno en peso que se encuentra combinado con el oxígeno del mismo combustible dando "agua de combinación" en [%]

$\left(H - \frac{O}{8}\right)$: cantidad centesimal de "hidrógeno disponible", en peso realmente disponible para que se oxide con el oxígeno del aire, dando "agua de formación" en [%]

El porcentaje de composición química de los diferentes elementos se los encuentra en la Tabla 5-1 de la caracterización de la biomasa

2.9.2 Poder calorífico inferior

“Es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de 1 kg de combustible sin contar la parte correspondiente al calor latente del vapor de agua de la combustión, ya que no se produce cambio de fase, y se expulsa como vapor”. (Fernández, 2018)

FORMULA DE DULONG PODER CALORÍFICO INFERIOR DE UN COMBUSTIBLE SECO

$$PCI = 8100 * C + 34000 * \left(H - \frac{O}{8}\right) + 2500 * S \quad \text{Ec. 12}$$

Donde:

C: cantidad centesimal de carbono en peso por kilogramo combustible en [%]

H: cantidad centesimal de hidrógeno total en peso por kilogramo de combustible en [%]

O: cantidad centesimal de oxígeno en peso por kilogramo combustible en [%]

S: cantidad centesimal de azufre en peso por kilogramo combustible en [%]

$\frac{O}{8}$: cantidad centesimal de hidrógeno en peso que se encuentra combinado con el oxígeno del mismo combustible dando "agua de combinación" en [%]

$\left(H - \frac{O}{8}\right)$: cantidad centesimal de "hidrógeno disponible", en peso realmente disponible para que se oxide con el oxígeno del aire, dando "agua de formación" en [%]

El porcentaje de composición química de los diferentes elementos se los encuentra en la Tabla 5-1 de la caracterización de la biomasa

FÓRMULA DE ELVIRA Y MARCOS PARA BIOCOMBUSTIBLES SÓLIDOS HÚMEDOS EN BASE SECA (Biomasa, 2013)

$$PCI_H = PCS * \left(\frac{1}{1+h}\right) - 665 \left(\frac{0.54+h}{1+h}\right) \quad \text{Ec. 13}$$

Donde:

h: % porcentaje de humedad d en base seca

PCS: poder calórico superior (kcal/kg)

2.10 Balance de energía

Basado en el principio de **Antoine Lavoisier** de la Ley de conservación de la masa para sistemas aislados, el cual se define como: “*La masa no se crea ni se destruye, solo se transforma*”, se puede definir al balance de masas como la sumatoria de las masas que entran y salen en un proceso físico o químico. (Galindez, 2019)

Los balances son empleados para dimensionar equipos y evaluar costos.

$$Q = \Delta E + W \quad \text{Ec. 14}$$

Donde:

Q= calor generado [kcal/s]

Δ = *Energía del sistema* [kcal/s]

W= *Trabajo generado* [kW]

En el balance térmico energético para una caldera se considera dos aspectos claves el primero la energía que proviene del combustible y el segundo las pérdidas generadas durante la oxidación.

Los generadores de vapor para este caso se consideran estacionarios por lo que su energía potencial y su energía cinética son despreciables, además que en los calderos los dispositivos a volumen constante como las bombas, generan un trabajo mínimo que puede ser despreciable, dicho esto tenemos la siguiente fórmula que me permitirá calcular el calor generado dependiendo el flujo másico y el poder calorífico de cada tipo de biomasa.

Fórmula obtenida de (Arroyo Vinuesa, 2016).

$$Q = \dot{m} * PCIh \quad \text{Ec. 15}$$

Donde:

Q = Calor producido por cada tipo de biomasa [kcal/s]

m = flujo másico de cada tipo de biomasa [kg/s]

PCIh= poder calorífico de cada tipo de biomasa [kcal/kg]

Es fundamental recalcar que los diferentes tipos de energía que se desarrollen en un sistema deben ser analizados por separado, puesto que para cada biomasa le corresponde una energía en forma de calor diferente por las mismas capacidades caloríficas del material y además por su flujo volumétrico que tiene que agregarse al sistema.

2.11 Calor generado por la biomasa

2.11.1 Calor producido por las briquetas

$$\dot{Q}_{briquetas} = m * \dot{P}CIH_n$$

Donde:

$\dot{Q}_{briquetas}$ = Calor producido por las briquetas [kcal/s]

m = flujo másico de las briquetas [kg/s]

PCHI n= poder calorífico de (n material que se vaya a calcular, leña, astilla o briquea [kcal/kg])

2.11.2 Calor producido por las astillas

$$\dot{Q}_{astillas} = m * \dot{P}CIH_n$$

Donde:

$\dot{Q}_{astillas}$ = Calor producido por las astillas [kcal/s]

m = flujo másico de astillas [kg/s]

PCHI= poder calorífico de astillas [kcal/kg]

2.11.3 Calor producido por la leña

$$\dot{Q}_{leña} = m * \dot{P}CIH_n$$

Donde:

$\dot{Q}_{leña}$ = Calor producido por la leña [kcal/s]

m = flujo másico de la leña [kg/s]

PCHI= poder calorífico de la leña [kcal/kg]

2.11.4 Calor total de entrada

$$\dot{Q}_{TOTALentrada} = \dot{Q}_{briqueta} + \dot{Q}_{astillas} + \dot{Q}_{leña}$$

2.11.5 Calor por pérdidas

El porcentaje de pérdidas por el calor sensible de los gases que se ocasionan en todo el sistema de horno-caldera ya sea por radiación-convección, por combustiones incompletas, por purgas entre otras es del 23% según Echeverría & López (2010) y (Aguinaga, 2010)

$$\sum Q_{p\acute{e}rdidas} = 0.23 * Q_{TOTALentrada} \quad \text{Ec. 16}$$

2.12 Caldero más ocionado

Luego de una revisión bibliográfica se definieron unos parámetros que se dividen en 2 grupos que son los parámetros del entorno de trabajo y parámetros de funcionamiento, que no son nada más que condiciones o lineamientos que se deben tener en cuenta a la hora de elegir un caldero para que cumpla con las expectativas y opere de la mejor manera. (Osejo, 2017)

2.12.1 *Parámetros del entorno de trabajo*

Estos parámetros hacen referencia a las condiciones a las que el equipo debe afrontar en el lugar de trabajo como:

- La presión atmosférica local
- La temperatura del aire
- Humedad relativa del aire
- La densidad del aire
- Calidad del agua de alimentación
- La temperatura del agua de alimentación

2.12.2 *Parámetros de funcionamiento*

Los parámetros de funcionamiento hacen referencia a cada una de las condiciones de desempeño que debe ejecutar el equipo según (Shield, 1986) se tiene los siguientes:

- Cantidad de vapor requerido
- Presión y temperatura de trabajo o tipo de vapor requerido
- Combustible disponible
- Espacio disponible

Según (Shield, 1986) los factores más determinantes para seleccionar una caldera están la cantidad de vapor producido, tipo de combustible y la cantidad de combustible, es por ello que el presente trabajo se hace una aproximación a la selección tomando en cuenta solo estas variables, que luego de un análisis termodinámico se pueden calcular.

2.12.2.1 Calor de salida del caldero

$$Q_{salida} = Q_{entrada} - \sum Q_{pérdidas} \quad \text{Ec. 17}$$

2.12.2.2 Rendimiento de la caldera

El rendimiento de la caldera no es nada más que el calor de salida dividido para el calor de entrada generado en este caldero.

$$\text{Rendimiento} = \frac{Q_{salida}}{Q_{entrada}} \quad \text{Ec. 18}$$

Para la selección de caldero se usa el calor que se puede generar con los diferentes tipos de biomasa existentes en la empresa Arboriente S.A y de acuerdo con esto se compara con los calderos disponibles actualmente en el mercado para buscar al que más se ajuste a esos requerimientos

2.12.3 Flujo másico de vapor

Se puede definir también como caudal másico que representa la cantidad de fluido en este caso vapor que circula a través de la tubería de vapor del sistema del ciclo Rankine con regeneración y se expresa en la siguiente ecuación: (Arroyo Vinuesa, 2016)

$$\dot{m}_{vapor} = \frac{\dot{Q}}{H_{vapor}} \quad \text{Ec. 19}$$

Donde

\dot{m}_{vapor} = flujo másico de vapor [lb/h]

\dot{Q} = calor de salida [BTU/h]

H_{vapor} = entalpia de vapor [BTU/h]

2.13 CICLO RANKINE

El vapor es el principal fluido de operación dentro del ciclo Rankine, este ciclo es usado para la generación de energía térmica y eléctrica. El agua es calentada en la caldera hasta ser evaporada y elevar su presión de salida como vapor, el cual se dirige a la turbina donde pierde presión al expandirse produciendo energía cinética. En la etapa final, el vapor restante es conducido a un condensador y pasa a un estado líquido para ingresar a la bomba, la cual eleva la presión del fluido para que ingrese nuevamente a la caldera e iniciar nuevamente el ciclo. (Helvia, 2019)

2.13.1 *Ciclo Rankine con regeneración*

Para conseguir una mayor eficiencia térmica dentro del ciclo Rankine se puede optar por dos vías:

1. Se debe sobrecalentar el vapor antes que ingrese a la turbina a temperaturas muy altas, pero esta no es una respuesta favorable porque la temperatura promedio también se incrementaría y llevaría la temperatura del vapor hasta niveles metalúrgicamente inseguros, causando inestabilidad en el ciclo.
2. Para ello la segunda opción es la que se ha aplicado dentro del presente trabajo que consiste en extraer o drenar el vapor de la turbina en un punto específico, este vapor se utiliza para calentar el agua de alimentación que viene del condensador y mediante un dispositivo llamado regenerador o calentador de agua de alimentación (CAA)

Al eliminar el aire que se filtra en el condensador mediante el (CAA) mejora notablemente la eficiencia del ciclo y también evita la corrosión en la caldera.

Es por esta razón que la regeneración se emplea en todas las centrales eléctricas de vapor modernas.

2.13.1.1 *Calentador abierto de agua de alimentación*

Es simplemente una cámara de mezclado en la que el vapor que se extrae de la turbina ingresa y se combina con el agua de alimentación que sale de la bomba, como resultado de este proceso sale

idealmente un líquido saturado a la presión del calentador, que posteriormente pasará por una bomba que elevará la presión a la presión de trabajo de la caldera.

2.13.2 Esquema del ciclo

Para la elaboración del esquema del ciclo se usó el programa online “diagram editor” que es un programa libre que nos permite esquematizar este ciclo Rankine con regeneración los elementos o dispositivos de flujo estacionario que conforman el ciclo son:

1. Caldera de biomasa
2. Dos bombas
3. La turbina multietapa
4. El condensador
5. Una cámara de mezclador abierta

Por ende, los procesos efectuados dentro del ciclo serán analizados como procesos de flujo estacionario.

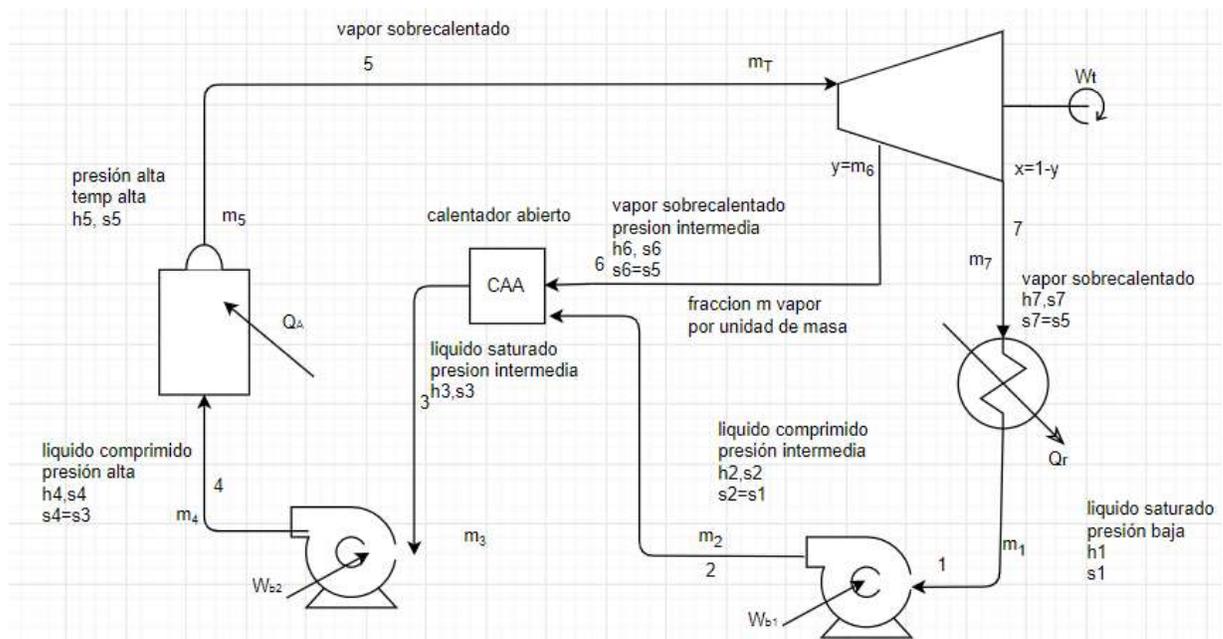


Figura 5-2. Esquema de ciclo Rankine con regeneración
Realizado por: Pardo, D, 2021

2.14 Análisis de los dispositivos que intervienen en el ciclo Rankine con regeneración

Analizando las centrales eléctricas de vapor es más oportuno trabajar con cantidades expresadas por unidad de masa del fluido que recorre por la caldera en este caso vapor de agua, es decir por cada kilogramo de vapor que sale de la caldera se extraerá una fracción en la turbina de alta presión (y) Por consiguiente, los flujos máscicos son diferentes en los distintos componentes por eso que es preciso analizar independientemente, cada uno se determina con las ecuaciones de (Cengel, 2012)

Para el análisis del sistema primero se toma como referencia el esquema de la Figura 5-2 donde se halla detallado todos los dispositivos que intervienen en el proceso, los cambios de la energía tanto potencial como energía cinética son insignificantes, las bombas y la turbina son isentrópicas es decir las entropías son iguales, no hay caídas de presión en el condensador ni en la caldera y mucho menos en el calentador de agua de alimentación abierto y como último el vapor sale del condensador y del calentador como un líquido saturado con esto se procede a analizar los dispositivos a continuación.

2.14.1 Análisis de la bomba 1

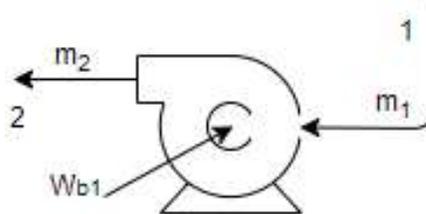


Figura 6-2. Representación de la bomba 1

Realizado por: Pardo, D, 2021

$$y = \frac{h_3 - h_2}{h_6 - h_2}$$

$$x = 1 - y$$

$$m_1 = m_2 = m_7 = x$$

$$m_7 = \frac{h_3 - h_2}{h_6 - h_2}$$

Ec. 20

Ec. 21

$$W_{b1} = v_1(P_2 - P_1)$$

$$W_{b1}T = W_{b1} * m_T$$

Donde:

y	Fracción de vapor extraído en el condensador
$m_1, m_2, m_7,$	Fracción de masa de vapor en los estados 1, 2 y 7
m_T	Masa total de vapor [Kg/s]
w_{b1}	Trabajo específico de la bomba 1 [kJ/Kg]
v_1	Volumen de vapor en el estado 1 [$\frac{m^3}{kg}$]
W_{Tb1}	Trabajo real de la bomba [kJ/kg]
h_2, h_1, h_3, h_6	Entalpía específica en los estados 1, 2, 3, 6 [kJ/Kg]

2.14.2 Análisis del calentador o regenerador

El análisis de los calentadores abiertos como en este caso es igual al de las cámaras de mezclado, los calentadores de agua abiertos regularmente están bien aislados $Q=0$ y no involucran ninguna interacción de trabajo $w=0$.

La gran mayoría de las centrales que operan actualmente utilizan hasta 8, 10 calentadores de agua de alimentación, este número óptimo de calentadores será en base a las consideraciones económicas de la planta y la eficiencia que se requiera obtener.

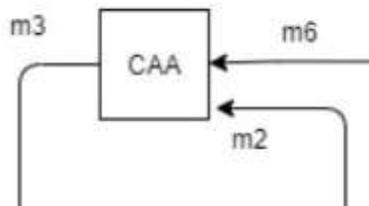


Figura 7-2. Representación del calentador

Realizado por: Pardo, D, 2021

$$m_3 = m_2 + m_6 = m_T$$

$$m_2 h_2 + m_6 h_6 = m_3 h_3$$

$$m_3 h_3 = m_2 h_2 + m_6 h_6$$

$$h_3 = h_2 + m_6(h_6 - h_2)$$

Esta entalpía del calentador también se la puede obtener mediante la **Tabla 7-3**

Donde:

m_2	Fracción de vapor extraído en el estado 2
m_6	Fracción de vapor extraído en el estado 6

m_2, m_6, m_3	Masa en los estados 2, 3 y 6 [Kg/h]
m_T	Masa total del vapor [Kg/h]
h_3, h_6	Entalpía específica en los estados 3 y 6 [kJ/Kg]

Por consiguiente, se puede decir que:

$$Q_{entrada} = h_5 - h_4$$

$$Q_{salida} = (1 - y)(h_7 - h_1)$$

Teniendo de esta manera la eficiencia térmica mediante:

$$\eta = 1 - \frac{Q_{salida}}{Q_{entrada}}$$

2.14.3 Análisis de la bomba 2

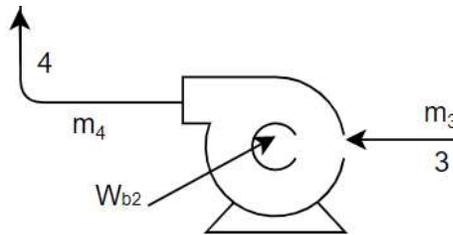


Figura 8-2. Representación de la bomba 2
Realizado por: Pardo, D, 2021

$$m_3 = m_4 = m_T$$

$$W_{b2} + m_3 h_3 = m_4 h_4$$

$$w_{b2} = (h_4 - h_3)$$

$$W_{TB2} = m_T (h_4 - h_3)$$

Donde:

w_{b2}	Trabajo específico de la bomba 2 [kJ/Kg]
W_{TB2}	Trabajo real de la bomba 2 [kJ/h]
h_4	Entalpía específica en el estado 4 [kJ/Kg]

2.14.4 Análisis del trabajo de las bombas de entrada

El trabajo de las bombas de entrada será la fracción de vapor que circula por el estado 1 que pertenece a la bomba 1 sumado al trabajo de la bomba 2 representado de la siguiente manera:

$$W_{bomba,entrada} = (1 - y)W_{bomba 1} + W_{bomba2}$$

2.14.5 Análisis de la caldera

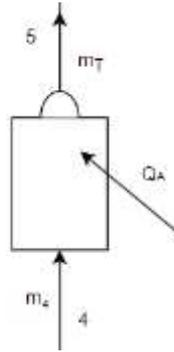


Figura 9-2. Representación de la caldera
Realizado por: Pardo, D, 2021

$$m_4 = m_5 = m_T$$

$$Q_A + m_4 h_4 = m_5 h_5$$

$$Q_A = m_5 h_5 - m_4 h_4$$

$$Q_A = m_T (h_5 - h_4)$$

$$q_A = (h_5 - h_4)$$

Donde:

Q_A	Calor admitido total [kJ/h]
q_A	Calor admitido específico [kJ/Kg]
h_5	Entalpía específica en estado el 5 [kJ/Kg]

2.14.6 Análisis de la turbina

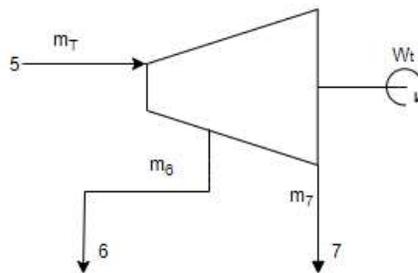


Figura 10-2. Representación de la turbina
Realizado por: Pardo, D, 2021

$$m_T = m_6 + m_7$$

$$m_T h_5 = m_6 h_6 + m_7 h_7 + W_t$$

$$w_t = (h_5 - h_6) - m_7 (h_6 - h_7)$$

$$W_T = m_T (w_t)$$

Donde:

W_T	Trabajo total de la turbina [kJ/h]
w_t	Trabajo específico de la turbina [kJ/Kg]
h_7	Entalpía específica en estado el 7 [kJ/Kg]

Análisis del condensador

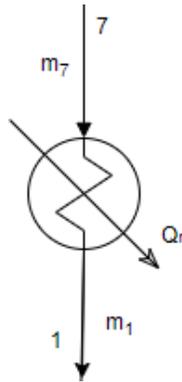


Figura 11-2. Representación del condensador
Realizado por: Pardo, D, 2021

$$m_7 = m_1 = x$$

$$q_R + m_1 h_1 = m_7 h_7$$

$$q_R = m_7 h_7 - m_1 h_1$$

$$q_R = m_7 (h_7 - h_1)$$

$$Q_R = q_r * m_T$$

Donde:

Q_R	Calor rechazado total [kJ/h]
q_R	Calor rechazado específico [kJ/Kg]
m_T	Masa total de vapor [Kg/s]

Estas últimas ecuaciones nos permiten en el próximo capítulo determinar el calor rechazado que se produce en el sistema por medio del condensador que a su vez su función principal es reducir la temperatura del fluido de trabajo hasta volverlo líquido, al ceder calor por la presión y temperatura el fluido de trabajo desciende al punto de saturación donde se condensa cambiando a su fase líquida,

2.15 Análisis del consumo energético de la planta del año 2020

Se tiene en base a una planilla de consumo de la empresa ARBORIENTE S.A. los valores exactos de consumo de todos los meses del año 2020, algo muy importante de recalcar es que no se consideró los meses donde hubo el brote de COVID-19 en Ecuador que fueron los meses de marzo, abril y mayo, puesto que la empresa se vio obligada a paralizar la producción y por ende los valores que nos arrojaba la cartilla de luz estaban totalmente fuera de rango para el respectivo análisis.

En relación a sus valores en dólares de consumo la ARCONEL mediante Resolución Nro.ARCONEL-035/19 dispone de un pliego tarifario para las empresas eléctrica de distribución la cual se basa en categorías tarifarias como tarifas de bajo voltaje, de medio voltaje alto voltaje para residencial, general de medio voltaje para sistemas de bombeo de agua potables sin fines de lucro y para usos agrícolas, entre otras tarifas, el que concierne a este trabajo es de la sección de voltaje medio con horario diferenciado para las industrias la cual será analizado en el siguiente capítulo.

2.16 Financiamiento a través de la banca privada

Consiste en la gestión profundamente profesionalizada y global del patrimonio del cliente, donde se trata de satisfacer las necesidades de inversión económicas, planificación patrimonial, financiera y fiscal de tal modo que le permitan a la empresa desarrollar su potencial de creación de riqueza en el sector productivo que le puede beneficiar con grandes ventajas al contar con financiamiento que vaya de la mano con el trabajo coordinado.

Se hace un hipotético préstamo al Banco de Pichincha, en este caso se encontró que realiza préstamos empresariales de inversión a un interés considerable a comparación de otros.

De los datos se obtuvo una tasa de interés nominal: 9.76% anual para un tiempo de 5 años (60 meses) que fueron las variables de entrada para hacer más adelante en el capítulo 3 una tabla de amortización e intereses y se determinó la cuota mensual y se compara con el simulador de créditos online del Banco del Pichincha.

2.17 Amortización del crédito

La amortización del crédito es un proceso en el cual se distribuyen gradualmente los valores económicos de una deuda efectuada, estos pagos o cuotas como se les llama servirán para cancelar los intereses del crédito realizado mediante pagos periódicos

El valor de inversión para la amortización solo se consideró el costo del caldero de biomasa cotizado, bajo el sistema de amortización del método francés y una frecuencia de pago mensual.

2.18 Costo de mantenimiento

Se considera mantenimiento a la actividad que permite optimizar la productividad del equipo o maquinaria, la condicionante es que el mantenimiento preventivo se realiza antes de que ocurra el fallo, entre tantas ventajas que tiene este tipo de mantenimiento es que reduce notablemente los tiempos de espera por las diversas reparaciones que se puedan dar y aumentar la vida útil de los equipos y repuestos.

Para este apartado se hizo un plan de costo de mantenimiento preventivo según bibliografía específica para este equipo (caldero) (Duchi Sanchez, y otros, 2015) estimando así todos sus valores, en la figura 12-2 podemos apreciar el mantenimiento preventivo del caldero existente en la empresa.



Figura 12-2. Mantenimiento del caldero actual

Fuente: Arboriente S.A

Realizado por: Pardo, D, 2021

2.19 Depreciación del caldero

Se considera como el mecanismo a través del cual se diferencia el desgaste y pérdida de valor que sufre el caldero por la misma utilización que se le realice a través de un determinado tiempo, para este caso específico se empleó el método de línea recta donde el cargo anual será el mismo para los 5 años que hemos programado, según bibliografía la depreciación del caldero y sus accesorios es del 5% (Paredes et al., 2019: pp.11-29)

2.20 Mano de obra directa

En términos de economía la mano de obra directa es el esfuerzo físico y mental llevado a cabo por uno o más trabajadores para fabricar, reparar o en este caso mantener un bien, es decir mano de obra directa que estaría involucrada en los costos de mantenimiento.

2.21 Mano de obra indirecta

Es el conjunto de trabajadores extra que no están siendo considerados dentro de la empresa, si no que acompañan o prestan sus servicios para cualquier requerimiento en este caso específico para el mantenimiento de caldero serían las empresas de tratamiento de aguas y alguna empresa de ventilación para el caldero.

2.22 Análisis económico del ahorro de gasto energético

Se refiere a los valores económicos que se puede desglosar mensuales y anuales que se ahorraría la empresa tras la implementación de un sistema de cogeneración mediante el ciclo Rankine con regeneración.

Tras el consumo excesivo de energía eléctrica en la planta para la producción habitual se ve la necesidad de reducir este consumo o en este caso cogenerar una energía eléctrica propia que cubra la mayor parte de la planta industrial esto se vería claramente reflejado en los costos de producción aumentando así la rentabilidad de la empresa.

CAPITULO III

3 MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En base a los datos obtenidos y las ecuaciones planteadas en el capítulo anterior se procede hacer los respectivos cálculos para el presente trabajo, primero se empieza con analizar el balance de masas, es decir el flujo volumétrico que maneja la empresa mensualmente, pero aquí primeramente es válido aclarar que se tienen 3 tipos de biomasa que son, astillas, briquetas y leña como han sido analizados en el capítulo anterior y a cada uno le corresponde un flujo volumétrico y por ende con respecto a su densidad un flujo másico, debido a que las briquetas y las astillas contienen un porcentaje de humedad menor al 10% no es preciso analizar el secado, lo que es todo lo contrario para el caso de las leñas que tiene un porcentaje de humedad considerable y que tiene que ser analizado para determinar el flujo de masa en base húmeda y en base seca para ello se debe determinar la humedad de equilibrio planteado a continuación.

3.1 CÁLCULOS DE LA HUMEDAD DE EQUILIBRIO

Se tomó los datos de la **Tabla 2-2** la temperatura promedio de 20° C, pero en la **Ecuación 1** se debe trabajar con grados kelvin que corresponde a 294° K y para la humedad relativa se tomó el 85% considerando el 2% de desviación estándar, tomando así su límite superior para casos extremos del tiempo, es decir para el cálculo se usó 87% de HR humedad relativa del ambiente.

Calculando se tiene:

$$W = 330 - 0.452 (294.00) + 0.00415 (294.00)^2$$

$$W = 330 - 0.452 (294.384) + 0.00415 (86661.93946)$$

$$W = 555.821$$

$$K = 0.791 + 0.000463 (294.00) + 0.0000000844 (294.00)^2$$

$$K = 0.791 + 0.000463 (294.384) + 0.0000000844 (86436)$$

$$K = 0.9344$$

$$K_1 = 6.34 + 0.000775 (294.00) - 0.0000935 (294.00)^2$$

$$K_1 = 6.34 + 0.000775 (294.00) - 0.0000935 (86436)$$

$$K_1 = -1.5139$$

$$K_2 = 1.09 + 0.0284 (294.00) - 0.0000904 (294.00)^2$$

$$K_2 = 1.09 + 0.0284 (294.00) - 0.0000904 (86436)$$

$$K_2 = 1.6258$$

$$EMC = \frac{1,800}{W} \left[\frac{(0.9344 * 0.87)}{(1 - (0.9344 * 0.87))} + \frac{2K_1K_2K^2r^2}{1 + K_1Kr + K_1K_2K^2r^2} \right]$$

$$EMC = \frac{1,800}{555.8214} \left[\frac{0.8225}{(1 - 0.8225)} + \frac{-3.3559}{1 - 1.2623 - 1.6779} \right]$$

$$EMC_{teórica} = 21.89 [\%]$$

El porcentaje de humedad teórica es de 21, 89%, es decir la leña almacenada en los patios de la empresa tendría este porcentaje de humedad, pero en la realidad con las condiciones climáticas (lluvia) y siendo que la madera es un material higroscópico lo que quiere decir que absorbe agua con facilidad puede llegar alcanzar a obtener elevados porcentajes de contenido de humedad hasta el 200% es por ello que se debe controlar el secado de la madera, pero que en este estudio no está contemplado dentro de los objetivos.

Puesto que en la **Tabla 5-1** donde se caracterizó la biomasa se tiene la densidad promedio de la madera es de 550.77 kg/m³ y el volumen total lo obtenemos de la **Tabla 1-2**, que resultó ser de 241.6 por mes.

Para el caso específico de la leña se analiza su flujo másico de la manera siguiente:

De la ecuación de:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Despejando m se tiene:

$$\rho * v = m$$

$$m = 550.77 \frac{Kg}{m^3} * (241.6) m^3$$

$$m = 133066.032 \text{ kg}$$

si a esto dividimos para 30 días tendremos el flujo másico diario es decir 4434.9 kg/día y así sucesivamente las otras transformaciones.

Para el siguiente análisis es necesario trabajar en lb/h, para ello transformamos el anterior valor quedando: 4434.9 kg/día = 407.68 lb/h

Con todas las variables bien definidas procedemos ahora sí al cálculo del flujo másico de la biomasa seca con las **Ecuaciones 9 y 10**, se obtuvo:

$$EMC = \frac{W_T - W_d}{W_T} * 100$$

$$W_w = W_T - W_d$$

$$EMC = 21.89 \%$$

$$W_T = 407.68 \text{ lb/h}$$

$$W_d = W_T - \frac{EMC * W_T}{100}$$

$$W_d = 407.68 \frac{\text{lb}}{\text{h}} - \frac{21.89 * 407.68 \text{ lb/h}}{100}$$

$$W_d = 318.45 \text{ lb/h}$$

$$W_w = 407.68 \frac{\text{lb}}{\text{h}} - 318.45 \text{ lb/h}$$

$$W_w = 89.23 \text{ [lb/h]}$$

Sustituyendo se tiene la siguiente **Tabla 1-3** que adicionalmente se ha transformado a todas las unidades posibles para su posterior análisis, se tiene en primera instancia el valor de la leña húmeda al cual se le resta el peso del agua para obtener el flujo másico en base seca para la leña y estos están representados en la parte derecha de la tabla y que además son los valores con los cuales se desarrolla el estudio

Tabla 1-3: Flujo másico de leña

	leña húmeda	leña seca
Material (m³)	241,59	188,71
Kg / día	4435,35	3464,45
Kg / h	184,81	144,35
Tn / día	4,44	3,46
Tn / h	0,18	0,14
lb / h	407,68	318,44
flujo másico (kg /s)	0,05	0,04

Realizado por: Pardo, D, 2021

3.2 CÁLCULO DEL FLUJO MÁSIKO DE ASTILLAS Y BRIQUETAS

3.2.1 Flujo másico de astillas y briquetas

3.2.1.1 Determinación de variables

Los datos del volumen de biomasa disponible los encontramos en la **Tabla 1-2**

Los datos tanto de la densidad de la leña y astillas los ubicamos en la **Tabla 5-1** anteriormente determinados.

El presente trabajo se basó en la norma American Society Of Agricultural And Biological Engineers (ASABE s269.4), de modo que nos indica diversos métodos para determinar la densidad de las briquetas o pellets, en este caso para la briqueta se empleó el método directo o método estereométrico, que consiste en hacer mediciones directas, es decir medir el volumen de cada briqueta y pesarla en una balanza digital, para de esta manera obtener la densidad aparente como el cociente entre la masa y el volumen, la norma menciona que deben realizarse por lo menos 3 mediciones, sin embargo para este caso se usaron 10 mediciones.

Para obtener el dato de la densidad de las briquetas se procedió a calcular experimentalmente puesto que la fórmula viene dada por:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Donde:

ρ = densidad de la briqueta (kg/m³)

m = masa de la briqueta (kg)

v = volumen de la briqueta (m³)

Se pesó experimentalmente 10 briquetas tomadas al azar de la empresa ARBORIENTE S.A. en una balanza electrónica digital para determinar el promedio de la masa y esto nos dio como resultado la siguiente tabla:

Tabla 2-3: Peso de las briquetas

BRIQUETA	N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Prom
	PESO en (g)	190	220	350	190	190	350	220	190	350	190	244 g

Fuente: Arboriente S.A.

Realizado por: Pardo, D, 2021

Una vez obtenida la masa la única variable que nos faltaría de calcular para obtener la densidad de las briquetas sería el volumen de esta, para lo cual calculamos el volumen de acuerdo con sus medidas ver ANEXO H y con ayuda de AutoCAD se determinó rápidamente el volumen cuyo resultado fue de 0.000447 m^3

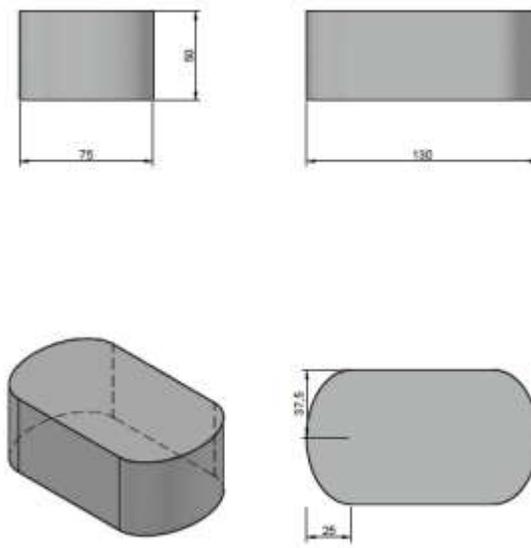


Figura 1-3: Dimensiones de la briqueta

Fuente: Arboriente S.A.

Realizado por: Pardo, D, 2021

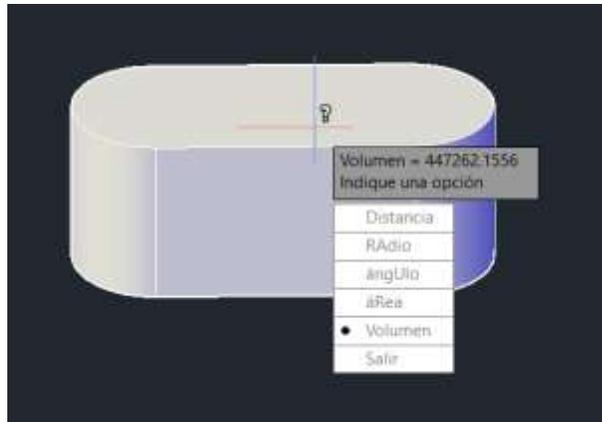


Figura 2-3. Volumen de la briqueta

Fuente: Arboriente S.A.

Realizado por: Pardo,D,2021



Figura 3-3. Briquetas pesadas

Fuente: Arboriente S.A.

Realizado por: Pardo,D,2021

Obteniendo de esta manera todas las variables para el cálculo de la densidad de las briquetas cuyo resultado resultando valores se tiene que:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$\rho = \frac{0.244 \text{ kg}}{0.000447 \text{ m}^3}$$

$$\rho = 545.54 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Ahora sí, determinadas cada una de las variables, se procedió a calcular el flujo másico para cada tipo de biomasa con la **Ecuación 8** cuyos resultados fueron los presentados en la **Tabla3-3**

$$\dot{m} = \frac{V\rho}{T}$$

Tabla 3-3: Flujo másico de astillas, briquetas y leña

Flujo Másico de Astillas		
v=	20,29	(m3) /mes
d=	550,77	(kg/m3)
t=	2592000	(s)
m	0,00431214	(kg/s)
Flujo másico de Briquetas		
v=	10	(m3)/mes
d=	545	(kg/m3)
t=	2592000	(s)
m	0,00210262	(kg/s)
Flujo másico de Leña húmeda		
v=	241,60	(m3)/mes
d=	550,77	(kg/m3)
T=	2592000	(s)
m=	0,05133713	(kg/s)
m=	407.68	lb/h
Flujo másico de Leña seca		
m=	318,45	lb/h
m=	0,04009783	(kg/s)

Fuente: Arboriente S.A.

Realizado por: Pardo, D, 2021

Para una mejor representación de valores se ha elaborado la Tabla 3-3 donde se observa el flujo volumétrico, la densidad, y el tiempo de todos los tipos de biomasa organizado, además se ha añadido el flujo másico de leña calculado anteriormente, con esto se dispone de todos los flujos másicos que ingresarían al caldero de cada tipo de biomasa para posteriormente analizar cuanta energía aporta cada una de ellas.

3.3 Determinación del poder calorífico

3.3.1 Cálculo del poder calorífico

En esta sección se calculó el poder calorífico superior **Ecuación 11** y el poder calorífico inferior **Ecuación 12** en base a la fórmula de Dulong para combustibles sólidos y los porcentajes de Carbono, Hidrógeno, Oxígeno y Azufre los sacamos de la **Tabla 7-1** donde se caracteriza la biomasa

$$PCS = 8140 * C + 34400 * \left(H - \frac{O}{8} \right) + 2220 * S$$

$$PCI = 8100 * C + 34000 * \left(H - \frac{O}{8} \right) + 2500 * S$$

Para el análisis por lo general siempre se trabaja con el poder calorífico inferior y en este caso para combustibles sólidos húmedos en base seca, se emplea la fórmula de Elvira y Marcos para biocombustibles sólidos en base seca.

Ecuación 13

$$PCI_H = PCS * \left(\frac{1}{1+h} \right) - 665 \left(\frac{0.54+h}{1+h} \right)$$

Lo que quiere decir que tenemos que considerar el porcentaje de humedad de la madera tanto de la leña como el de las astillas es por eso por lo que en este punto se encuentra un parámetro muy importante que es el porcentaje de humedad que fue calculado anteriormente con la **Ecuación 1** . Cuyo resultado fue de 21.89 % para la leña y para las astillas como está analizado en el capítulo anterior donde se menciona que el porcentaje de humedad de las astillas es menor al 10% en este caso se tomó el 9%

Simplemente reemplazando valores se tiene el poder calorífico superior, el poder calorífico inferior y el poder calorífico inferior en base seca de las 13 especies de madera que trabaja la empresa, como lo podemos expresar en la siguiente Tabla 4-3

Tabla 4-3: Poder calorífico de las especies de madera de Arboriente S.A.

ESPECIE N°	PCS _i	PCI _i	PCI _{i,H=9%}	PCI _{i,H=21%}	Unidades
1.	4418.49	4394.70	3669,30	3213,80	kcal/kg
2	4418.49	4394.70	3669,30	3213,80	kcal/kg
3	4608.49	4583.30	3843,61	3369,79	kcal/kg
4	4418.49	4394.70	3669,30	3213,80	kcal/kg
5	4418.49	4394.70	3669,30	3213,80	kcal/kg
6	4418.49	4394.70	3669,30	3213,80	kcal/kg
7	4608.49	4583.30	3843,61	3369,79	kcal/kg
8	4608.49	4583.30	3843,61	3369,79	kcal/kg
9	4418.49	4394.70	3669,30	3213,80	kcal/kg
10	4608.49	4583.30	3843,61	3369,79	kcal/kg
11	4608.49	4583.30	3843,61	3369,79	kcal/kg
12	4608.49	4583.30	3843,61	3369,79	kcal/kg
13	4418.49	4394.70	3669,30	3213,80	kcal/kg
PROMEDIO	4506.18	4481.75	3749.75	3285,80	kcal/kg
DESVIA.STD	98.58	97.86	90,44	80.94	kcal/kg
Lim Inferior	4407.59	4383.86	3659.31	3204.86	kcal/kg

Fuente: Arboriente S.A.

Realizado por: Pardo, D, 2021

Para el poder calorífico de las briquetas se usó bibliografía mencionado en el capítulo 1 donde se tiene que el poder calorífico de madera oscila en un rango mayor a las 4200 kcal/kg puesto que no se puede calcular mediante el método analítico, se deben hacer pruebas experimentales considerando todos los factores que más influyen sobre la variable respuesta, para este caso hemos usado el valor de 4500kcal/kg

Teniendo en conclusión que los valores de poder calorífico son los siguientes, asegurando que cumplan con los parámetros mínimos impuestos para el diseño, considerando el promedio menos la desviación estándar, es decir el límite inferior por lo que tenemos que:

Tabla 5-3: Resumen del poder calorífico inferior con humedad

PCIH LEÑA (21,8%)	3204.86 Kcal/kg
PCIH ASTILLAS (9 %)	3659,31 Kcal/kg
PCIH BRIQUETAS (9 %)	4500 Kcal/kg

Fuente: Arboriente S.A.

Realizado por: Pardo, D, 2021

3.4 Cálculo del Calor producido por la biomasa

En base al análisis del balance de energía en el capítulo anterior se tiene que:

$$Q = \dot{m} * PCI$$

Con esta ecuación se determina finalmente el calor generado por la biomasa, pero es importante mencionar que cada tipo de biomasa debe ser analizado por separado, puesto que cada tipo de biomasa en relación con su flujo másico y a su poder calorífico generará un calor diferente al otro.

3.4.1 Cálculos del calor producido por cada tipo de biomasa

En esta fórmula se necesitan los datos calculados con anterioridad y de los cuales se toman de la **Tabla 3-3**, y de la **Tabla 5-3** y con un simple remplazo de valores se obtuvo el calor producido por los diferentes tipos de biomasa que estos a la vez sumados nos darían el calor de entrada del caldero.

3.4.1.1 Cálculo del calor producido por las briquetas

$$\dot{Q}_{briquetas} = \dot{m} * PCIH_n$$

$$\dot{Q}_{briquetas} = 0.0021026 \text{ kg/s} * 4500 \text{ kcal/kg}$$

$$\dot{Q}_{briquetas} = 9.46 \text{ kcal/s}$$

3.4.1.2 Cálculo del calor producido por las astillas

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{astillas} &= m * \dot{P}CIH_n \\ \dot{Q}_{astillas} &= 0.00431214 \text{ kg/s} * 3659.31 \text{ kcal/kg} \\ \dot{Q}_{astillas} &= 15.78 \text{ kcal/s}\end{aligned}$$

3.4.1.3 Cálculo del calor producido por la leña

Se considera el flujo másico en base seca para este cálculo obtenido de la **Tabla 1-3** y el poder calorífico de la **Tabla 5-3**

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{leña} &= m * \dot{P}CIH_n \\ \dot{Q}_{leña} &= 0.0400978 \text{ kg/s} * 3204.8657 \text{ kcal/kg} \\ \dot{Q}_{leña} &= 128.51 \text{ kcal/s}\end{aligned}$$

3.4.1.4 Cálculo del calor total de entrada

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{TOTALentrada} &= \dot{Q}_{briqueta} + \dot{Q}_{astillas} + \dot{Q}_{leña} \\ \dot{Q}_{TOTALentrada} &= 9.46 \frac{\text{kcal}}{\text{s}} + 15.78 \frac{\text{kcal}}{\text{s}} + 128.51 \frac{\text{kcal}}{\text{s}} \\ \dot{Q}_{TOTAL entrada} &= 153.74 \text{ kcal/s}\end{aligned}$$

3.4.1.5 Cálculo del Calor producido por pérdidas

Para ello se toma en cuenta el 23% del calor total analizado en el capítulo anterior en la **Ecuación 16**

$$\begin{aligned}\sum Q_{pérdidas} &= 0.23 * \dot{Q}_{TOTALentrada} \\ \sum Q_{pérdidas} &= 0.23 * 153.74 \text{ kcal/s} \\ \sum Q_{pérdidas} &= 35.36 \text{ kcal/s}\end{aligned}$$

3.4.1.6 Calor de salida del caldero

$$Q_{salida} = Q_{entrada} - \sum Q_{pérdidas}$$
$$Q_{salida} = 153.74 \frac{kcal}{s} - 35.36 \frac{kcal}{s}$$

$$Q_{salida} = 118.38 \text{ kcal/s}$$

Este calor de salida sería lo que se alcanzaría en la empresa Arboriente S.A. bajo las condiciones antes analizadas de cantidad de biomasa disponible y bajo esa humedad de equilibrio, nuevamente cabe recalcar que el presente trabajo no se analizó el proceso de secado ni almacenamiento de la biomasa.

3.4.1.7 Rendimiento de la caldera

El rendimiento de la caldera no es nada más que el calor de salida dividido para el calor de entrada generado en este caldero.

$$Rendimiento = \frac{Q_{salida}}{Q_{entrada}} = \frac{118.38 \text{ kcal/s}}{153.74 \text{ kcal/s}} = 77\%$$

3.5 Selección del caldero

Para la selección de caldero se usó el calor que se puede generar con los diferentes tipos de biomasa existentes en la empresa Arboriente S.A y se obtuvo en el capítulo anterior que es de 118.38 kcal/s esto transformado a MW se tiene un resultado de 0.5 MW aproximadamente y el más cercano disponible actualmente en el mercado de Ecuador que se realizó la cotización tiene 0.9 MW.

Para la evaluación en cuanto a calderos se refiere se consideraron varios factores como precio, forma de pago, tipo de caldera, vapor generado en este, tiempo de entrega, garantía, stock de repuestos, validez de la oferta y se detalla a continuación en la Tabla 6-3

Tabla 6-3: Descripción de elementos del caldero propuesto

Alternativas	Caldero 100 BHP	Caldero de 200 BHP	Caldero de 300 BHP
variables			
costos	\$ 165.760,00	\$ 246.400,00	\$ 358.400,00
producción máxima de vapor	3450 lb/h	6 900 lb/h	10 350 lb/h
Potencia máxima	0,98 MW	1,9 MW	2,9 MW
presión de operación	150 psi	200 psi	300 psi
peso con agua	9 ton	10,3 ton	18,96 ton
peso sin agua	5,9 ton	7,3 ton	11,67 ton
tiempo de entrega	8 semanas	10 semanas	12 semanas
forma de pago	60% anticipo	50% anticipo	60% anticipo
garantía	24 meses	12 meses	24 meses
stock de repuestos	permanente	permanente	permanente
validez de la oferta	30 días	45 días	30 días

Fuente: Energy Company

Realizado por: Pardo, D, 2021

Como podemos ver las 3 cotizaciones hechas muestran las variables correspondientes a cada tipo de caldero, pero la variable más significativa que influye sobre la variable respuesta es la potencia del mismo, ya que en nuestros cálculos se obtuvo una potencia de 0.5 MW y el caldero que más se aproxima es el caldero de 100 ⁷BHP con una potencia de 0.9 MW además que su costo es relativamente bajo en cuanto a sus competidores, las otras variables no influyen tanto sobre la selección del caldero.

Cabe recalcar que la potencia del caldero calculado puede subir debido a que la empresa se está fortaleciendo y cada vez alcanzando mejores metas mediante la mejora continua, y esto influiría notablemente en la potencia de caldero, y se debe tener un rango máximo y estar dentro de ese rango no sobrepasarnos porque caso contrario tendríamos que elegir otro caldero con más potencia.

Además de los datos del fabricante de la caldera se pudo obtener que la presión de operación de 150 psi y la producción máxima de vapor 3450lb/h, temperatura de salida 250°C

3.5.1 Flujo másico de vapor

En base a todos los datos proporcionados se puede determinar el flujo másico de vapor con la **Ecuación 19** siguiente:

⁷ BHP es la capacidad de una caldera para transmitir 8.435Kcal en 1 hora a 15.69kg de agua a 100°C y a presión de 1 atmósfera estándar

$$\dot{m}_{vapor} = \frac{\dot{Q}}{H_{vapor}}$$

Donde el Qsalida total de 118.38 kcal/s calculado anteriormente se transforma a [BTU/h] para trabajar con las mismas unidades

\dot{m}_{vapor} = flujo másico de vapor [lb/h]

\dot{Q} = calor de salida [BTU/h]

H_{vapor} = entalpía de vapor [Btu/h]

La variable faltante para obtener nuestro caudal másico de vapor es la entalpía del vapor, pero una vez obtenido los datos tanto de presión y temperatura podemos buscar en tablas de vapor saturado o introducimos en el software EES transformado sus unidades de la presión a que trabaja el caldero es decir 150 psi transformado sería 1034 kPa y la temperatura es de 250 °C



Figura 4-3: entalpía del fluido de trabajo
Realizado por: Pardo, D, 2021

De modo que la fórmula menciona trabajar en [Btu/lb] transformamos 2941 kJ/kg dando como resultado 1264.40 [Btu/lb], de igual manera el calor de salida resultante del proceso se debe transformar a [Btu/h] y se tiene que 118.387 kcal/s equivale a 1691272.041 [Btu/h]

Tabla 7-3: Flujo másico de vapor

Calor [Btu/h]	1691272.041
H.vapor [Btu/lb]	1264,402408
Masa vapor [lb/h]	1337.605

Realizado por; Pardo, D, 2021

Reemplazando estos valores en la fórmula

$$\dot{m}_{\text{vapor}} = \frac{1691272.041 \text{ Btu/h}}{1264.40 \text{ lb/h}}$$

$$\dot{m}_{\text{vapor}} = 1337.6 \text{ lb/h}$$

Transformando a kg/s tenemos:

$$\dot{m}_{\text{vapor}} = 0.1685 \text{ kg/s}$$

3.6 CALCULOS DEL CICLO RANKINE

A través del análisis se puede determinar también la gráfica Temperatura vs Entropía del ciclo Rankine ideal con regeneración

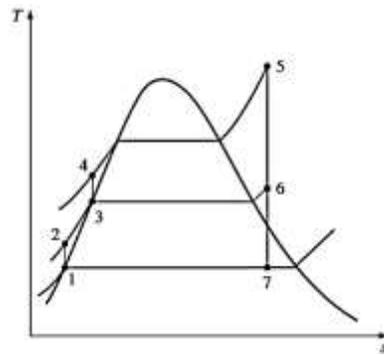


Figura 5-3. Diagrama T-S del ciclo Rankine con regeneración
Fuente: (Cengel, 2012)

3.6.1 Definición de los estados del ciclo Rankine con regeneración



Figura 6-3. Definición de los estados del ciclo

Fuente: (Cengel, 2012)

Una vez determinados todos los estados del ciclo mostrado en la **Figura 6-3**, se realiza el balance de masas en cada uno de los elementos por separado para determinar sus respectivas masas de vapor que circulan por todos los dispositivos, las ecuaciones que nos ayudan para este análisis se encuentran en el **Cap. 2.14**

Existen diversas maneras para encontrar los datos de entalpías, entropías, temperatura y presión, pero en este caso se usa el software EES Profesional, CyclePad, y Tablas de vapor para luego hacer una comparación y se tuvo los mismos resultados ver Tabla 8-3

Tabla 8-3: Estados del ciclo Rankine definidos

Estados	P (kPa)	T (°C)	H	S	x	y
1	5	32,88	137,7	0,4761	-	1
2	100	32,88	137,8	0,4761	-	-
3	100	120,2	417,5	1,303	-	1
4	1034	99,7	418,5	1,303	-	-
5	1034	250	2941	6,906	1	-
6	100	99,63	2506	6,906	0,9252	0,0748
7	5	32,88	2106	6,906	0,8122	0,1878

Realizado por: Pardo, D, 2021

Sort	1	2	3	4	5
	h_i [kJ/kg]	P_i	s_i [kJ/kg-K]	T_i [C]	x_i
[1]	137,7	5	0,4761	32,88	0
[2]	137,8	100	0,4761	32,88	-100
[3]	417,5	100	1,303	99,63	0
[4]	418,5	1034	1,303	99,7	-100
[5]	2941	1034	6,906	250	100
[6]	2506	100	6,906	99,63	0,9252
[7]	2106	5	6,906	32,88	0,8122

Figura 7-3. Tabla de resultados simulado

Fuente: EES

Realizado por: Pardo, D, 2021

```

Formatted Equations

Estado 5 Salida caldera
P5 = 1034 Kpa
T5 = 250 °C
h5 = h ( Steam ; T = T5 ; P = P5 ) kJ/kg
s5 = s ( Steam ; T = T5 ; P = P5 ) kJ/Kg-K
x5 = x ( Steam ; P = P5 ; T = T5 )

Estado 6 Toma de la turbina
P6 = 100 Kpa
s6 = s5 kJ/Kg-K
h6 = h ( Steam ; P = P6 ; s = s6 ) kJ/kg
x6 = x ( Steam ; P = P6 ; s = s6 )
T6 = T ( Steam ; P = P6 ; s = s6 ) °C

Estado 7 Salida turbina
P7 = 5 Kpa
s7 = s6 kJ/Kg-K
h7 = h ( Steam ; P = P7 ; s = s7 ) kJ/kg
x7 = x ( Steam ; P = P7 ; s = s7 )
T7 = T ( Steam ; P = P7 ; s = s7 ) °C

Estado 1 Salida condensador
P1 = 5 Kpa
x1 = 0
h1 = h ( Steam ; P = P1 ; x = x1 ) kJ/kg
s1 = s ( Steam ; P = P1 ; x = x1 ) kJ/Kg-K
T1 = T ( Steam ; P = P1 ; x = x1 ) °C

```

Figura 8-3. Ecuaciones formadas en el programa

Fuente: EES

Realizado por: Pardo, D, 2021

Una vez determinado todas las variables a analizar en la Tabla 7-3 se procede a reemplazar en las fórmulas analizadas en el capítulo anterior (**Cap. 2.14**)

3.6.2 Trabajo de la bomba 1

Por la bomba 1 circula una fracción de vapor que sale del condensador m_1 y es la misma que m_2 de modo que a través de la bomba elevará la presión del fluido a una presión intermedia para que pueda mezclarse con el otro fluido extraído de la turbina de modo que a la salida de esta bomba se encontraría líquido comprimido.

$$\begin{aligned}
 m_1 &= m_2 = m_7 = y \\
 y &= \frac{h_3 - h_2}{h_6 - h_2} \\
 y &= \frac{417.5 - 137.8}{2506 - 137.8} \\
 y &= 0.118
 \end{aligned}$$

La fracción de vapor que circula por Y sería de 0.0118 mientras que la fracción de vapor que circula por el estado 7 sería de 0.081

$$x = 1 - y$$

$$x = 1 - 0.118$$

$$x = 0.881$$

Para calcular el trabajo específico de la bomba 1 es necesario determinar el volumen de vapor que pasa por el estado 1 hacia la bomba para ello el software EES nos proporciona la simulación para encontrar los valores con los datos de entrada que son la presión y la temperatura en el estado 1 obtenidos de la **Tabla 8-3**

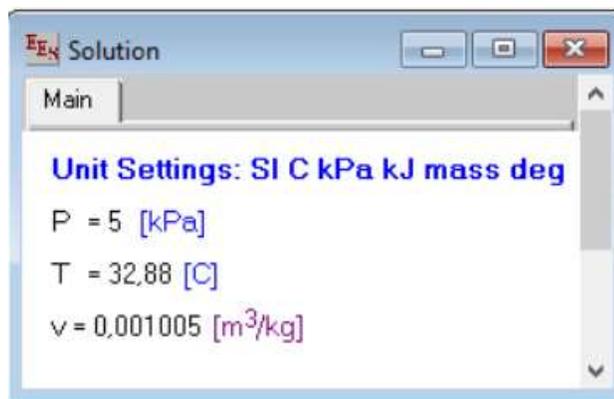


Figura 9-3. Volumen de vapor en el estado 1

Fuente: EES

Realizado por: Pardo, D, 2021

$$W_{b1} = v_1(P_2 - P_1)$$

$$W_{b1} = 0.001005(100 - 5)$$

$$W_{b1} = 0.0955 \text{ KJ/Kg}$$

Para el trabajo total de la bomba 1 se multiplica se multiplica el trabajo específico por la masa total de vapor que calculamos anteriormente cuyo resultado fue $\dot{m}_{\text{vapor}} = 0.01685 \text{ kg/s}$

$$W_{b1}T = W_{b1} * m_T$$

$$W_{b1}T = 0.0955 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} * 0.01685 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$W_{b1}T = 0.016090 \text{ kJ/s}$$

3.6.3 Entalpía en el calentador

En el calentador se tiene que asegurar que la mezcla de los fluidos extraídos en sus fracciones sea una mezcla líquido saturado para que al momento de entrar a la bomba no exista vapor que pueda generar cavitaciones en la bomba y reducir su tiempo de vida útil.

$$\begin{aligned}h_3 &= h_2 + m_6(h_6 - h_2) \\h_3 &= 137.8 + m_6(2506 - 137.8) \\h_3 &= 137.8 + 0.1181(2368.2) \\h_3 &= 417.5 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q_{entrada} &= h_5 - h_4 \\Q_{entrada} &= 2941 - 418.5 \\Q_{entrada} &= 2522.5 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q_{salida} &= (1 - y)(h_7 - h_1) \\Q_{salida} &= 0.88189(2106 - 137.7) \\Q_{salida} &= 1735.82 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\eta &= 1 - \frac{Q_{salida}}{Q_{entrada}} \\ \eta &= 1 - \frac{1735.82 \text{ kJ/kg}}{2522.5 \text{ kJ/kg}} \\ \eta &= 0.31 \text{ ó } 31\%\end{aligned}$$

3.6.4 Trabajo de la bomba 2

En la bomba 2 si observamos la **Figura 5-2** la m^3 que circula a través de los conductos es la masa total, y por ende el trabajo de la bomba 2 solo sería la diferencia de sus entalpías que pasan por ese mismo punto.

$$\begin{aligned}w_{b2} &= (h_4 - h_3) \\w_{b2} &= (418.5 - 417.5) \\w_{b2} &= 1 \text{ kJ/kg} \\W_{Tb2} &= W_{b2} * m_T \\W_{Tb2} &= \frac{1 \text{ kJ}}{\text{kg}} * 0.1685 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \\W_{Tb2} &= 0.1685 \text{ kW}\end{aligned}$$

3.6.5 Trabajo de las bombas de entrada

$$W_{bomba,entrada} = (1 - y)W_{bomba 1} + W_{bomba2}$$

$$W_{bomba,entrada} = 0.8819 (0.0955) + 1$$

$$W_{bomba,entrada} = 1.08 \text{ kJ/kg}$$

3.6.6 Trabajo de la caldera

A la caldera ingresa liquido comprimido a la presión alta de trabajo obteniendo el calor de entrada de la siguiente manera

$$Q_A = (h_5 - h_4)$$

$$Q_A = (2941 - 418.5)$$

$$Q_A = 2522.5 \text{ kJ/kg}$$

3.6.7 Trabajo de la turbina

Reemplazando valores se tiene que:

$$w_t = (h_5 - h_6) + x(h_6 - h_7)$$

$$w_t = (2941 - 2506) + 0.8819 (2506 - 2106)$$

$$w_t = 787.76 \text{ kJ/kg}$$

Para el trabajo total que produce la turbina lo multiplicamos por la masa total que circula por el sistema teniendo lo siguiente:

$$w_T = W_t * m_T$$

$$w_T = 787.76 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} * 0.1685 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$w_T = 132.766 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

Si bien se sabe que 1 kJ/s equivale a 1 kW tendríamos 132.77 kW de energía.

3.6.8 Calor rechazado en el condensador

$$q_R = x(h_7 - h_1)$$

$$q_R = 0.8819 (2106 - 137.7)$$

$$q_R = 1735.84 \text{ kJ/kg}$$

Del mismo modo para obtener el calor rechazado total del sistema se multiplica por su masa total.

$$Q_r = q_R * m_T$$

$$Q_r = 1735.84 \frac{kJ}{kg} * 0.1685 \frac{kg}{s}$$

$$Q_r = 292.55 Kw$$

Una vez obtenidas todas nuestros valores de los trabajos producidos por cada uno de los dispositivos del sistema se debe tener en cuenta también el rendimiento tanto de la turbina como del generador, que finalmente serían los que entregarían la energía total, para ello se considera el 85% de eficiencia para estos dispositivos según el informe de evaluación de necesidades tecnológicas ante el cambio climático (PNUMA, y otros, 2013) lo que daría como resultado una eficiencia de salida igual a 72.25% por lo que se muestra los valores resumidos en la siguiente Tabla 9-3:

Tabla 9-3: Valores calculados en el ciclo con EMC = 21.8 %

<i>Fracción de la masa total</i>		
	Cantidad	Unidad
M_T	0.168	Kg/s
m_6	0.118	[-]
m_2	0.882	[-]
m_1	0.882	[-]
m_7	0.882	[-]
<i>Trabajo y calor rechazado específicos</i>		
q_R	1735.83	[KJ/Kg]
w_{b1}	0.095	[KJ/Kg]
w_{b2}	1.000	[KJ/Kg]
w_t	787.757	[KJ/Kg]
<i>Trabajo y calor rechazado Total</i>		
Q_R	292.55	[KW]
W_{b1}	0.016	[KW]
W_{b2}	0.17	[KW]
W_t	132.77	[KW]
<i>Rendimientos</i>		
$\eta_{turbina}$	0.85	[-]
$\eta_{generador}$	0.85	[-]
η_{salida}	0.72	[-]
<i>Energía producida</i>		
W_E	95.92	[kJ/s] ó [kW]

Realizado por: Pardo, D, 2021

3.7 Resultados

3.7.1 Variables

Para la generación de energía mediante el proceso de combustión de biomasa en la empresa ARBOREINTE S.A. se consideran como variables independientes la humedad, la temperatura y el flujo volumétrico de los desechos. Las variables dependientes son el EMC, el caudal de vapor, la cantidad de energía producida y el poder calorífico. Las cuales se determinaron en lo absoluto.

3.7.2 Combustión

La empresa ARBORIENTE S.A. produce 543.58 m³ de biomasa (desechos sólidos, briquetas, astillas y leñas) cada mes, la presente investigación se enfocó en el análisis de un volumen mensual de 271.88 m³ excedentes entre briquetas, astillas y leña para el diseño de un sistema de generación de vapor y energía eléctrica, no obstante se debe mencionar que se hizo un análisis específico para cada tipo de biomasa puesto que a cada una le corresponde una combustión diferente y por ende un flujo másico diferente, los valores los podemos hallar fácilmente de forma resumida en la **Tabla 3-3**

3.7.3 Peso y EMC

El porcentaje de EMC se obtiene con la aplicación de las ecuaciones (1), (2), (3), (4) y (5) donde intervienen T_k y H_r , dando como resultado un valor real de $EMC=21.89\%$ de humedad en la masa total del combustible (biomasa), sin embargo, el valor óptimo es de $EMC= 10\%$. Que es la humedad de las briquetas y las astillas que atraviesan un proceso previo de secado.

La determinación del peso en seco de la biomasa se realizó con la finalidad de conocer su relación con el valor del ECM, a mayor porcentaje de EMC menor es el peso, el valor ideal de EMC para maximizar el aprovechamiento de la producción es del 21.89 %.

El estudio se hizo bajo estas consideraciones de humedad de equilibrio, puesto que, si cambia alguna variable, nuestro caudal o flujo másicos de biomasa en base leña seca puede ser tanto mayor como menor afectando notablemente en la cogeneración de energía al final del proceso.

El total del flujo másico de la leña húmeda dio como resultado 407.68 lb/h que se había planteado en un principio, pero para el análisis del flujo másico de la leña húmeda se le restó el peso del agua dando como resultado 318.44 lb/h, valor a partir del cual se hicieron todos los cálculos.

3.8 Comparación del Poder Calorífico

La transformación de la energía depende del poder calorífico de los elementos utilizados como combustible, en este caso la biomasa, la cual está conformada por briquetas, astillas y madera con defectos (desechos sólidos), estos valores se determinaron mediante la aplicación de las ecuaciones (11), (12) y (13) para PCS, PCI., PCIHúmedo

Los valores para el poder calorífico superior e inferior calculados se presentan en la **Tabla 10-3**:

Tabla 10-3: Comparación del poder calorífico calculado y dando en bibliografía

Poder calorífico kcal/kg			
Calculado		Bibliografía	
Inferior	Superior	Inferior	Superior
3653.52 kcal/kg	4407.59 kcal/kg	3587.87 kcal/kg	4448.98 kcal/kg

Fuente: (Arroyo Vinuesa, 2016) pág. 25-27

Realizado por: Pardo, D, 2021

Los valores obtenidos de la parte izquierda fueron calculados en la sección 3.3 y se hizo una comparativa con bibliografía por lo cual se nota claramente una pequeña diferencia, esa pequeña diferencia se debe a que la bibliografía comparada usa madera de pino y eucalipto para el estudio, mientras que en nuestro estudio usas diferentes especies que a su vez tienen diversas composiciones de CHONS.

3.9 Simulación en CyclePad

Se pudo simular el proceso gracias al software CyclePad donde además de determinarnos todos los estados nos permite una mejor esquematización para el entendimiento, en el cual tenemos un flujo de vapor que pasa a través de los componentes básicos que lo conforman (la caldera, la turbina multietapa, dos bombas una que eleva la presión hacia la cámara de mezclado y la otra que eleva la presión a la requerida en el caldero y el condensador que es un intercambiador de calor, además en

este caso para mejorar la eficiencia dentro del ciclo se ha usado también una cámara de calentador abierta que no es nada más que un mezclador donde el fluido intercambia temperaturas.

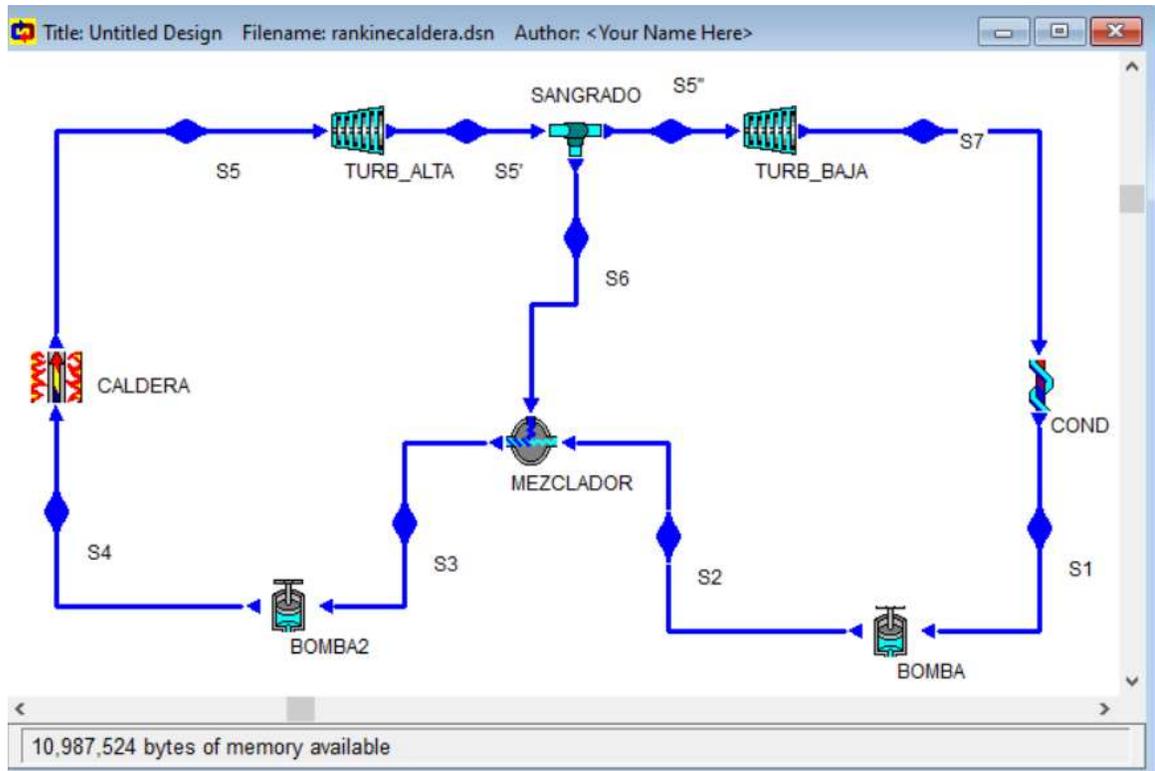


Figura 10-3. Esquema del ciclo Rankine con regeneración simulado en Cycle Pad

Fuente: CyclePad

Realizado por: Pardo, D, 2021

3.10 Comparación de estados del ciclo

Como podemos ver nos arrojan los mismos valores que los mencionados en la **Tabla 8-3**, lo que quiere decir que el ciclo Rankine con regeneración estaría con todos sus estados correctamente definidos.

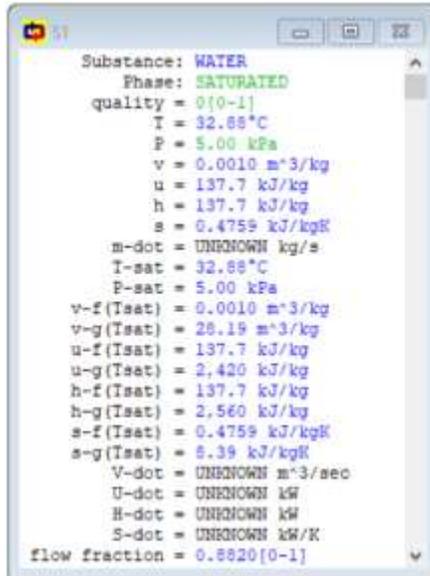


Figura 11-3. Estado 1

Fuente: CyclePad

Realizado por: Pardo, D, 2021

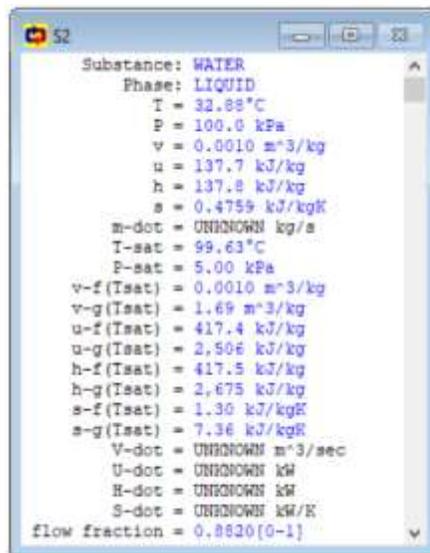


Figura 12-3. Estado 2

Fuente: CyclePad

Realizado por: Pardo, D, 2021

```

S3
Substance: WATER
Phase: SATURATED
quality = 0[0-1]
T = 99.63°C
P = 100.0 kPa
v = 0.0010 m³/kg
u = 417.4 kJ/kg
h = 417.5 kJ/kg
s = 1.30 kJ/kgK
m-dot = UNKNOWN kg/s
T-sat = 99.63°C
P-sat = 100.0 kPa
v-f(Tsat) = 0.0010 m³/kg
v-g(Tsat) = 1.69 m³/kg
u-f(Tsat) = 417.4 kJ/kg
u-g(Tsat) = 2,506 kJ/kg
h-f(Tsat) = 417.5 kJ/kg
h-g(Tsat) = 2,675 kJ/kg
s-f(Tsat) = 1.30 kJ/kgK
s-g(Tsat) = 7.36 kJ/kgK
V-dot = UNKNOWN m³/sec
U-dot = UNKNOWN kW
H-dot = UNKNOWN kW
S-dot = UNKNOWN kW/K
flow fraction = 1.0000[0-1]

```

Figura 13-3. Estado 3

Fuente: CyclePad

Realizado por: Pardo, D, 2021

```

S4
Substance: WATER
Phase: LIQUID
T = 99.70°C
P = 1,034 kPa
v = 0.0010 m³/kg
u = 417.4 kJ/kg
h = 418.5 kJ/kg
s = 1.30 kJ/kgK
m-dot = UNKNOWN kg/s
T-sat = 181.4°C
P-sat = 100.2 kPa
v-f(Tsat) = 0.0011 m³/kg
v-g(Tsat) = 0.1884 m³/kg
u-f(Tsat) = 768.1 kJ/kg
u-g(Tsat) = 2,584 kJ/kg
h-f(Tsat) = 769.3 kJ/kg
h-g(Tsat) = 2,779 kJ/kg
s-f(Tsat) = 2.15 kJ/kgK
s-g(Tsat) = 6.57 kJ/kgK
V-dot = UNKNOWN m³/sec
U-dot = UNKNOWN kW
H-dot = UNKNOWN kW
S-dot = UNKNOWN kW/K
flow fraction = 1.0000[0-1]

```

Figura 14-3. Estado 4

Fuente: CyclePad

Realizado por: Pardo, D, 2021

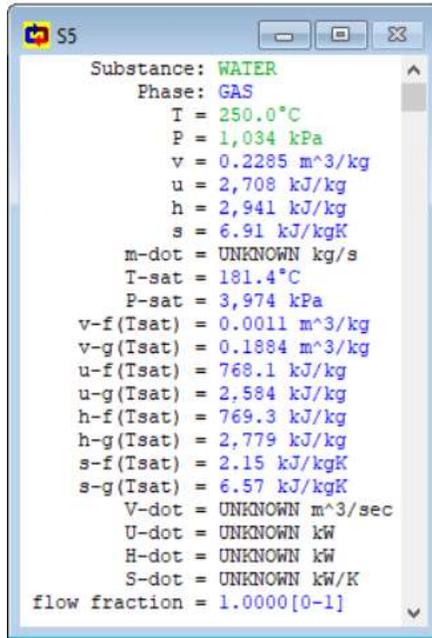


Figura 15-3. Estado 5

Fuente: CyclePad

Realizado por: Pardo, D, 2021

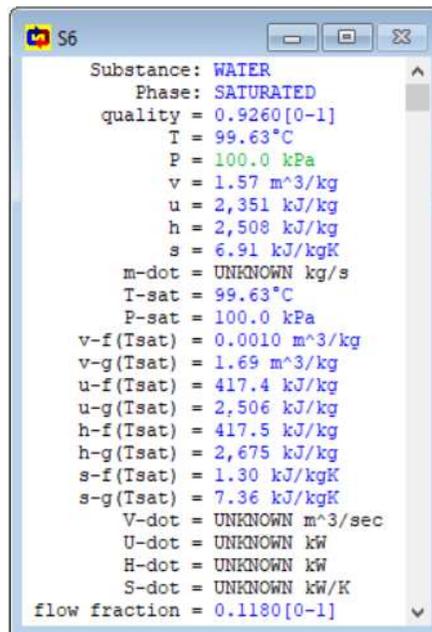


Figura 16-3. Estado 6

Fuente: CyclePad

Realizado por: Pardo, D, 2021

```
S7
Substance: WATER
Phase: SATURATED
quality = 0.8128[0-1]
T = 32.88°C
P = 5.00 kPa
v = 22.91 m^3/kg
u = 1,992 kJ/kg
h = 2,107 kJ/kg
s = 6.91 kJ/kgK
m-dot = UNKNOWN kg/s
T-sat = 32.88°C
P-sat = 5.00 kPa
v-f(Tsat) = 0.0010 m^3/kg
v-g(Tsat) = 28.19 m^3/kg
u-f(Tsat) = 137.7 kJ/kg
u-g(Tsat) = 2,420 kJ/kg
h-f(Tsat) = 137.7 kJ/kg
h-g(Tsat) = 2,560 kJ/kg
s-f(Tsat) = 0.4759 kJ/kgK
s-g(Tsat) = 8.39 kJ/kgK
V-dot = UNKNOWN m^3/sec
U-dot = UNKNOWN kW
H-dot = UNKNOWN kW
S-dot = UNKNOWN kW/K
flow fraction = 0.8820[0-1]
```

Figura 17-3. Estado 7

Fuente: CyclePad

Realizado por: Pardo, D, 2021

3.11 Generación mensual de energía con el sistema de cogeneración

El estudio técnico y económico realizado en la empresa ARBORIENTE S.A. se realizó con la intención de implementar a futuro un sistema de cogeneración mediante la utilización de biomasa. Se presenta como alternativa viable un sistema de generación mediante caldero de biomasa de 0.9 MW de potencia, aprovechando al máximo los recursos destinados para la combustión.

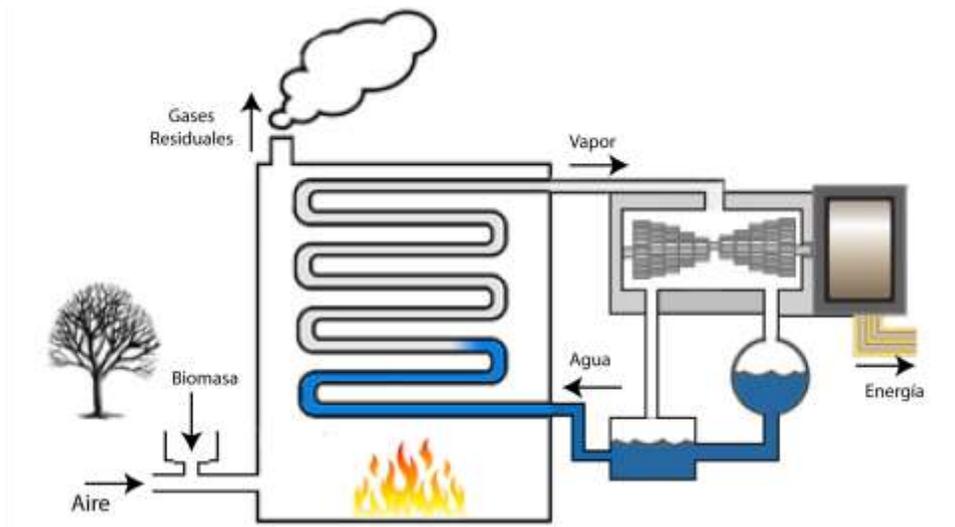


Figura 18-3. Esquema de un sistema de generación de doble etapa

Realizado por: Pardo, D, 2021

Analizando esquemáticamente el sistema se daría de la manera como indica la figura 18-3 donde como primer proceso la biomasa de leña, astillas y briquetas procedente de las trozas de diferente tipo de madera que ingresan a la empresa son quemadas por medio de un caldero piro tubular, el cual desprende calor calentando el fluido en este caso agua a una presión y temperatura determinada que ingresaría a la turbina de multietapa en el cual el vapor se expande y produce el movimiento de la misma que a su vez estará conectado por un eje en común a un generador eléctrico el cual finalmente generará energía eléctrica renovable.

La planta opera de lunes a sábado en dos turnos de 8 horas y se detiene por 2 semanas al año por mantenimiento y vacaciones es decir aproximadamente 25 días al mes con un total de 4784 horas al año, la generación mensual de energía eléctrica mediante la implementación de un sistema de cogeneración se calcula en base al trabajo que genera la turbina que fue calculado con anterioridad y el resultado fue de 95,92 kW trabajando a 16 horas de funcionamiento al día y los 25 días al mes para obtener la energía eléctrica en kWh por cada mes se obtiene:

$$W_{Et} = 95,92 [kW] * 16 [h/día] * 25 [días/mes]$$

$$W_{Et} = 38369,15 [kWh/mes]$$

3.12 Estudio económico

3.12.1 Análisis del consumo energético de la planta del año 2020

Teniendo en cuenta una factura de consumo en kWh de servicio eléctrico, ANEXO I, el valor promedio de consumo al año es aproximadamente 76 398 kWh sin tomar en cuenta los meses de marzo, abril, y mayo del 2020 que fueron los que la empresa no trabajó normalmente a consecuencias de la pandemia del COVID-19 y por ende esos valores quedaban fuera de rango lo cual representa estadísticamente que estos datos quedaban muy dispersos de la realidad, dicho esto se tiene la siguiente Tabla 11-3., la cual nos indica que tenemos un consumo máximo de 84456 kWh mensuales y un consumo mínimo de 72420 kWh el cual se analiza para posteriormente reducir.

Tabla 11-3: Consumo Máximo mensual en kWh

MESES	CONSUMO kWh	UNIDADES
ENERO	73236	Kwh
FEBRERO	72624	Kwh
JUNIO	72420	Kwh
JULIO	75480	Kwh
AGOSTO	80172	Kwh
SEPTIEMBRE	84456	Kwh
Promedio	76398	Kwh
Desv.Est.	4900,67	Kwh
Consumo Máximo	84456	Kwh
Consumo Mínimo	72420	Kwh

Fuente: Arboriente S.A

Realizado por: Pardo, D, 2021

Analizando el diagrama de barras presentado a continuación en el Gráfico 1-3 se puede tener una mayor apreciación de estos valores, además ve claramente que el mes de septiembre tuvo un mayor consumo energético en vista que la empresa trabajó horas extras, Si hacemos un análisis en base al valor promedio y a este lo multiplicamos por los 12 meses del año tenemos un consumo de 916776 kWh anuales que es una cifra bastante significativa en relación a los valores que se paga actualmente.

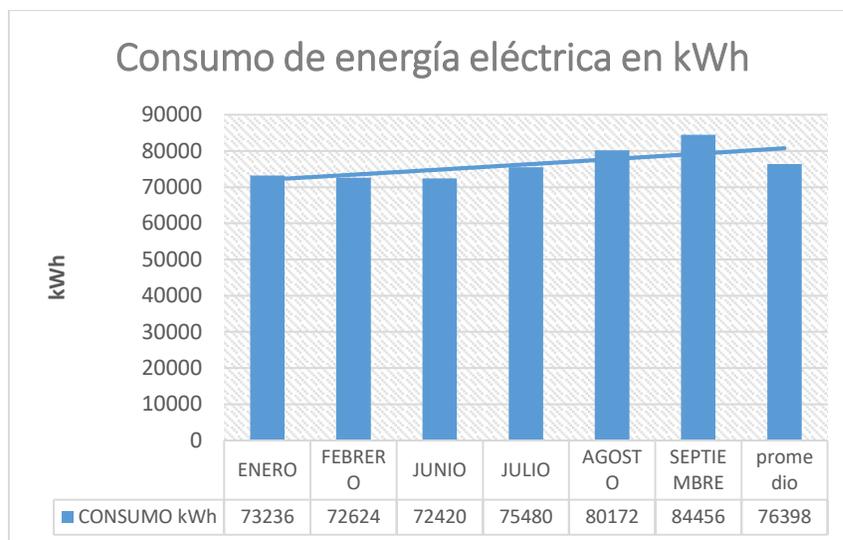


Gráfico 1-3. Consumo mensual de energía eléctrica en kWh

Fuente: Planilla de luz de la empresa Arboriente S.A.

Realizado por: Pardo, D, 2021

En relación a sus valores en dólares de consumo la ARCONEL mediante Resolución Nro.ARCONEL-035/19 dispone de un pliego tarifario para las empresas eléctrica de distribución la cual se basa en categorías tarifarias entre las cuales tenemos tarifas de bajo voltaje, de medio voltaje alto voltaje para residencial, general de medio voltaje para sistemas de bombeo de agua potables sin fines de lucro y para usos agrícolas, entre otras tarifas, el que concierne a este trabajo es de la sección de voltaje medio con horario diferenciado para las industrias la cual se detalla en la siguiente Tabla 12-3.

Tabla 12-3: Consumo de energía del mes de septiembre para horario diferenciado

DIAS	HORARIO	TARIFA	CONSUMO	UND	VALOR USD
L-V	08H00- 18H00	0,0875	42432	kWh	\$ 3.712,80
L-V	18H00 - 22H00	0,1015	12648	kWh	\$ 1.283,77
LVSDF	22H00 - 08H00	0,0491	29172	kWh	\$ 1.432,35
SDF	18H00 - 22H00	0,0875	408	kWh	\$ 35,70
TOTAL			84660	kWh	6464,6172

Fuente: Planilla de luz de la empresa Arboriente S.A.

Realizado por: Pardo, D,2021

Dado los valores del consumo de energía por cada mes de la Tabla 11-3 y el precio establecido por cada kilowatt hora en relación al pliego tarifario de la Tabla 12-3 se puede obtener el consumo mensual en dólares de todos los meses en relación a su consumo en la siguiente Tabla 13-3:

Tabla 13-3: Consumo mensual de energía en USD

MESES	CONSUMO	UNIDADES
ENERO	5592,28	USD
FEBRERO	5545,55	USD
JUNIO	5529,97	USD
JULIO	5763,63	USD
AGOSTO	6121,91	USD
SEPTIEMBRE	6464,61	USD
PROMEDIO	5836,32	USD

Fuente: Planilla de luz de la empresa Arboriente S.A.

Realizado por: Pardo, D,2021

Los valores pueden diferenciar levemente debido a las pérdidas internas del transformador y para el valor de la planilla total no se tomó en cuenta el subsidio del gobierno para este tipo de empresa, es decir se analiza el valor neto de consumo, del mismo modo se hizo un diagrama de barras representado en el Gráfico 2-3 para una mejor interpretación de datos donde se evidencia claramente que el mes de mayor consumo fue el mes de septiembre

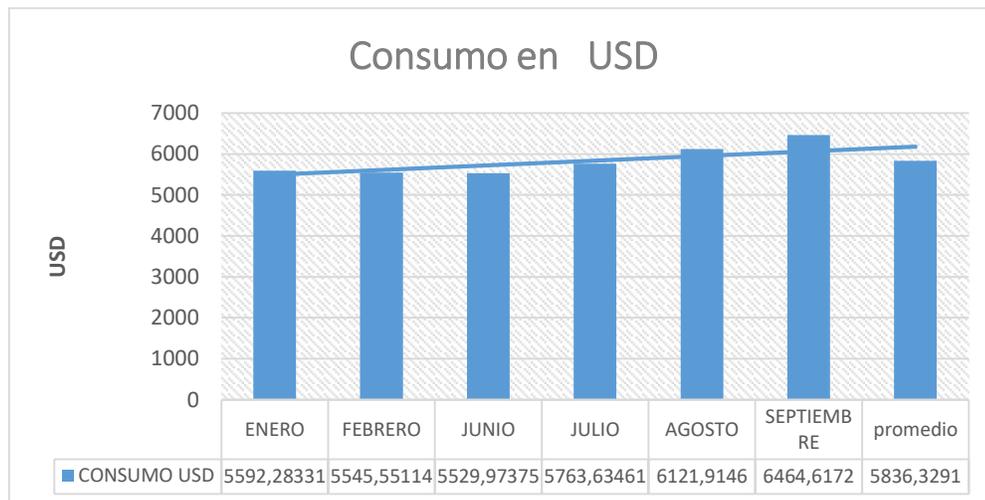


Gráfico 2-3. Consumo mensual de energía eléctrica en USD

Fuente: Planilla de luz de la empresa Arboriente S.A.

Realizado por: Pardo, D, 2021

Por medio de la planilla de luz, se pudo obtener los valores en dólares de consumo de energía eléctrica desglosando el sistema tarifario de la **Tabla 11-3**, cabe recalcar nuevamente que no se tomó en cuenta los meses de marzo, abril y mayo del 2020, cuyos meses se vieron afectados negativamente por la pandemia del COVID-19 viéndose obligada a paralizar las operaciones, puesto que estos datos estadísticamente nos iban arrojar resultados muy dispersos porque estaban fuera de rango. En efecto se trabajó con los meses que la empresa regularmente trabaja en condiciones normales de producción, obteniendo un promedio de 5.836,33 dólares mensuales de consumo en energía eléctrica de esta manera este valor se multiplicó por los 12 meses para tener un promedio anual obteniendo así la siguiente tabla resumida de facturación por gasto de energía eléctrica. Tabla 14-3

Tabla 14-3: Resumen de facturación por gasto de energía eléctrica

FACTURACIÓN POR VENTA DE ENERGÍA		
	kWh	USD
MENSUAL	76398	\$ 5.836,33
ANUAL	916776	\$ 70.035,95

Fuente: Planilla de luz de la empresa Arboriente S.A.

Realizado por: Pardo, D,2021

Con los valores que se obtuvieron a través del análisis del consumo energético del año 2020 en el capítulo 3.12.1 se puede determinar que el costo anual de la energía eléctrica es de 70 035.95 dólares lo cual representa valores importantes que se analizaron en profundidad en la Tabla 12-3 del sistema tarifario para uso de consumo industrial de medio voltaje con horario diferenciado, que es la que está estipulada para la empresa ARBORIENTE S.A.

3.12.2 Comparación de energía eléctrica consumida y energía eléctrica producida.

Al hacer un análisis para los meses de consumo de energía eléctrica de la empresa se obtuvo un promedio de 76 398 kWh mensuales, y se determinó mediante cálculos, que el trabajo de la turbina puede generar hasta una producción de 38369,15 kWh por cada mes lo que en pocas palabras significaría que cubriría el 50.22% de la demanda energética de la empresa que representa una cifra muy favorable que traería buenos beneficios a futuro.

Se debe recalcar que para que esto se cumpla se tiene que tener muy en cuenta todas las variables establecidas en el presente estudio entre la más influyente que es: trabajar con un porcentaje de humedad de la madera no mayor al 22% , si se logra reducir este porcentaje de humedad a través de los distintos tipos de secado que existen actualmente sería mejor porque influiría sobre la variable

respuesta que es el calor generado y a la vez incide en la energía eléctrica total producida por el sistema de cogeneración mediante el ciclo Rankine.

Para su mayor entendimiento se ha realizado una Tabla 15-3 donde se puede apreciar de una mejor manera una comparación entre la energía consumida por la planta y la energía producida a partir de la biomasa residual forestal dicha comparación se hace tanto en kWh y en los costos en dólares que implicarían mensual y anualmente.

Tabla 15-3: Comparación entre energía consumida y energía producida

COMPARACIÓN DE ENERGÍA				
	CONSUMIDO		PRODUCIDO	
	KWh	USD	KWh	USD
MENSUAL	76398	\$ 5.836,33	38369,15	\$ 2.931,16
ANUAL	916776	\$ 70.035,96	460429,85	\$ 35.173,96

Realizado por: Pardo, D,2021

3.13 Análisis económico referente al gasto energético

Se pretende reducir los costos variables de la empresa con la disminución de gasto energético que tiene la empresa y con una proyección de mantenimiento preventivo del caldero para 5 años que se analiza a detalle en el Cap. 3.16, considerando que esto evitará que se tienda a gastar más en mantenimiento correctivo además de evitar las paradas innecesarias en la producción, es fundamental mencionar además que para la inversión se procede a calcular sin el aporte del capital de los socios es decir el 100% de la inversión lo cubriría el crédito bancario.

3.13.1 Cálculo de la amortización del crédito

Para el cálculo de la amortización del crédito es indispensable conocer el valor de inversión del caldero detallado que lo representamos en la Tabla 16-3

Tabla 16-3: Valor del caldero desglosado

ITEM	CANT	DESCRIPCIÓN	V. Unitario	V. Total
1	1	Caldera de biomasa de 100 BHP horizontal	\$ 130.000,00	\$ 130.000,00
2	1	MONTAJE CUARTO DE MÁQUINAS		
		Caldera hogar	\$ 18.000,00	\$ 18.000,00
		Chimenea		
		Tubería de vapor sch 40:3"		
		Red de alimentación de agua		
		Accesorios hn sch 40; soldables		
		Línea de vapor con aislamiento térmico		
		lana mineral vestida con aluminio de 0,5mm espesor		
Subtotal				
IVA 12%			\$ 17.760,00	
TOTAL			\$ 165.760,00	

Fuente: Energy Company

Realizado por: Pardo, D, 2021

Adicional cuenta con garantía de 24 meses contra defectos de fabricación del caldero y stock de repuestos permanentes, excepto por falla de voltajes ANEXO J, una vez establecido el valor final procedemos a realizar la estructura de financiamiento mostrado en la Tabla 17-3

Tabla 17-3: Estructura de financiamiento

Financiamiento	Monto	Porcentaje
Capital socios	0,00	0%
Banco	165.760,00	100%
Otros		0%
Total (dólares)	165.760,00	100%

Fuente: Banco Pichincha

Realizado por: Pardo, D, 2021

El monto de la inversión total se basa en la cotización del caldero de biomasa realizada en el **Capítulo 3.5** en donde se menciona más detalles del mismo.

Tabla 18-3: Datos para el cálculo de la amortización.

Cronograma de Pago por Préstamo	
Tasa interés nominal	9.76%
Meses	60
Préstamo	165.760,00
Producto	Empresarial
Frecuencia de pago	mensual

Fuente: Banco Pichincha

Realizado por: Pardo, D, 2021

Tabla 19-3: Amortización del crédito.

Meses	Saldo Inicial \$\$	Intereses	Amortización	Cuota mensual	Saldo Final
1	165.760,00	1.351,33	2.152,89	3.504,22	163.607,11
2	163.607,11	1.333,78	2.170,44	3.504,22	161.436,67
3	161.436,67	1.316,08	2.188,14	3.504,22	159.248,53
4	159.248,53	1.298,24	2.205,98	3.504,22	157.042,55
5	157.042,55	1.280,26	2.223,96	3.504,22	154.818,60
6	154.818,60	1.262,13	2.242,09	3.504,22	152.576,51
7	152.576,51	1.243,85	2.260,37	3.504,22	150.316,14
8	150.316,14	1.225,43	2.278,79	3.504,22	148.037,34
9	148.037,34	1.206,85	2.297,37	3.504,22	145.739,97
10	145.739,97	1.188,12	2.316,10	3.504,22	143.423,87
11	143.423,87	1.169,24	2.334,98	3.504,22	141.088,89
12	141.088,89	1.150,20	2.354,02	3.504,22	138.734,87
13	138.734,87	1.131,01	2.373,21	3.504,22	136.361,66
14	136.361,66	1.111,66	2.392,56	3.504,22	133.969,10
15	133.969,10	1.092,16	2.412,06	3.504,22	131.557,04
16	131.557,04	1.072,50	2.431,72	3.504,22	129.125,32
17	129.125,32	1.052,67	2.451,55	3.504,22	126.673,77
18	126.673,77	1.032,69	2.471,53	3.504,22	124.202,23
19	124.202,23	1.012,54	2.491,68	3.504,22	121.710,55
20	121.710,55	992,22	2.512,00	3.504,22	119.198,55
21	119.198,55	971,74	2.532,48	3.504,22	116.666,08
22	116.666,08	951,10	2.553,12	3.504,22	114.112,96
23	114.112,96	930,29	2.573,93	3.504,22	111.539,02
24	111.539,02	909,30	2.594,92	3.504,22	108.944,11

25	108.944,11	888,15	2.616,07	3.504,22	106.328,03
26	106.328,03	866,82	2.637,40	3.504,22	103.690,63
27	103.690,63	845,32	2.658,90	3.504,22	101.031,73
28	101.031,73	823,64	2.680,58	3.504,22	98.351,15
29	98.351,15	801,79	2.702,43	3.504,22	95.648,72
30	95.648,72	779,76	2.724,46	3.504,22	92.924,26
31	92.924,26	757,55	2.746,67	3.504,22	90.177,59
32	90.177,59	735,16	2.769,06	3.504,22	87.408,53
33	87.408,53	712,58	2.791,64	3.504,22	84.616,89
34	84.616,89	689,82	2.814,40	3.504,22	81.802,49
35	81.802,49	666,88	2.837,34	3.504,22	78.965,15
36	78.965,15	643,75	2.860,47	3.504,22	76.104,68
37	76.104,68	620,43	2.883,79	3.504,22	73.220,89
38	73.220,89	596,92	2.907,30	3.504,22	70.313,59
39	70.313,59	573,22	2.931,00	3.504,22	67.382,59
40	67.382,59	549,32	2.954,90	3.504,22	64.427,70
41	64.427,70	525,24	2.978,98	3.504,22	61.448,71
42	61.448,71	500,95	3.003,27	3.504,22	58.445,44
43	58.445,44	476,47	3.027,75	3.504,22	55.417,69
44	55.417,69	451,78	3.052,44	3.504,22	52.365,25
45	52.365,25	426,90	3.077,32	3.504,22	49.287,93
46	49.287,93	401,81	3.102,41	3.504,22	46.185,52
47	46.185,52	376,52	3.127,70	3.504,22	43.057,82
48	43.057,82	351,02	3.153,20	3.504,22	39.904,62
49	39.904,62	325,32	3.178,90	3.504,22	36.725,72
50	36.725,72	299,40	3.204,82	3.504,22	33.520,90
51	33.520,90	273,27	3.230,95	3.504,22	30.289,95
52	30.289,95	246,93	3.257,29	3.504,22	27.032,66
53	27.032,66	220,38	3.283,84	3.504,22	23.748,82
54	23.748,82	193,61	3.310,61	3.504,22	20.438,21
55	20.438,21	166,62	3.337,60	3.504,22	17.100,61
56	17.100,61	139,41	3.364,81	3.504,22	13.735,80
57	13.735,80	111,98	3.392,24	3.504,22	10.343,56
58	10.343,56	84,32	3.419,90	3.504,22	6.923,66
59	6.923,66	56,44	3.447,78	3.504,22	3.475,88
60	3.475,88	28,34	3.475,88	3.504,22	0,00
Total Intereses		S/. 44.493,20	S/. 165.760,00	S/. 210.253,20	

Fuente: Banco Pichincha

Realizado por: Pardo, D, 2021

El banco a través de su sistema de banca electrónica facilita las opciones de realizar desde transferencias, consultas de saldos, realizar pagos de factura y una de las aplicaciones permite realizar consultas de créditos usando el simulador de Banco de Pichincha, debido a eso se ha usado un simulador de crédito, en donde además de comparar la amortización hecha en la Tabla 18-3 se espera revisar todos los términos y condiciones del préstamo impuesto por la entidad financiera, como las cuotas mensuales del préstamo, el seguro de desgravamen etc. Ver ANEXO K

Se procedió acceder al simulador de créditos online del Banco de Pichincha donde se escoge el tipo de persona jurídica para un préstamo comercial de capital de trabajo mediante el método francés de sistema de amortización lo cual se presenta en la Figura 19-3

Condiciones y costo total del crédito

Fecha:	28/04/2021	Producto:	Empresarial
Plazo (meses):	60	Frecuencia de pago:	Mensual
Tasa interés nominal:	9,76%	Tipo de tasa:	Reajutable
Tipo de sistema de amortización:	Francés	Tasa contribución Solca:	0,5 %
Valor bien/vehículo:	N/A		

Datos financiamiento	Valores	Periodicidad	Explicación
Monto solicitado (USD)	165760		Valor solicitado por el cliente.
Monto líquido (USD)	164931.2		Monto acreditado en la cuenta
Cuota financiera (USD)	3457.25	Mensual	Valor correspondiente al capital e interés
Cuota total (USD)	3567.76	Mensual	Valor cuota financiera
Plazo / número de cuotas	60	Mensual	Número de cuotas a pagar en todo el plazo del crédito
Tasa interés nominal (%)	9.76	Anual	Es la tasa de interés anual.
Tasa de interés activa efectiva referencial para el segmento (%)	9.64	Anual	Es la tasa activa referencial del segmento, permitida por el Banco Central del Ecuador.
Tasa interés efectiva anual (%)	10,21	Anual	(TEA) Es igual al interés anual efectivo, dividido para el capital inicial. Las tasas de interés nominal y efectiva difieren cuando el período de capitalización es distinto de un año. La tasa de interés efectiva es más alta mientras más corto es el período de capitalización
Suma de cuotas (USD)	214065.48		Es la sumatoria de las cuotas a pagar en todo el plazo del crédito.
Carga financiera (USD)	44645.91		Es la diferencia entre la sumatoria de intereses, primas menos el monto líquido que recibe el cliente en la concesión. Incluye intereses y primas de seguro obligatorias
Relación entre el valor total y monto de capital solicitado	1,29		Resultado de la división, de la suma total de cuotas para el monto financiado.
Tasa efectiva anual del costo del financiamiento	11,39		Es la tasa efectiva anual de interés más los valores correspondientes a impuestos de ley, seguros obligatorios (desgravamen e incendios) y gastos directos e indirectos.

Figura 19-3. Simulador de crédito online

Fuente: Banco Pichincha, (2021)

Realizado por; Pardo, D, 2021.

3.14 Cálculo del costo de mantenimiento

A continuación, se presenta en la Tabla 20-3 la lista de los materiales que deben estar disponibles en stock de repuestos para darle mantenimiento preventivo al caldero, encontramos la suma total de \$ 40.141,74 anuales, que representa según (Duchi Sanchez, y otros, 2015) la cantidad que se deber invertir para tener un stock de repuestos completo para garantizar la disponibilidad, confiabilidad y accesibilidad de todas las piezas, partes y repuestos necesarios para la ejecución efectiva y oportuna, disminuyendo así tiempos de parada por el tema de fallos inesperadas

Tabla 20-3: Materiales de stock de repuestos.

Descripción	cantidad	unidad	Precio Unitario	Precio Total
Manómetro 1/4" de 0 a 150 psi	2	u	\$ 95,80	\$ 191,60
Plancha de empaque de Chesterton 354	1	u	\$ 1.000,00	\$ 1.000,00
Válvula de purga de fondo 2"	2	u	\$ 1.340,00	\$ 2.680,00
Cordón de manta cerámica de 1 1/4"	20	m	\$ 15,00	\$ 300,00
Visor de nivel de agua Pn-4022	2	u	\$ 3.126,64	\$ 6.253,28
Pasta de esmeril para asentamiento de válvulas	1	u	\$ 4,50	\$ 4,50
Empaque Oval Gasket 320	4	u	\$ 348,82	\$ 1.395,28
Empaque Oval Gasket 220	4	u	\$ 209,29	\$ 837,16
Cable de encendido de las bujías de ignición	2	u	\$ 138,00	\$ 276,00
Rodamiento 6314 - C3	4	u	\$ 430,67	\$ 1.722,68
Plancha de empaque de Chesterton 1/64"	1	u	\$ 83,74	\$ 83,74
Cold solvent limpiador de bobinado de motor	4	gal	\$ 26,24	\$ 104,96
Rodamiento 6306-2Z	4	u	\$ 32,28	\$ 129,12
Rodamiento 6202-2 RS	4	u	\$ 11,88	\$ 47,52
Manómetro de 2 1/2" 3000 psi 1/4"	4	u	\$ 95,00	\$ 380,00
Electrodo de nivel de agua	2	u	\$ 1.170,22	\$ 2.340,44
Válvula de seguridad del caldero DN65 PN40	2	u	\$ 3.230,65	\$ 6.461,30
Empaque Fibre glass tape 15x2	4	u	\$ 29,45	\$ 117,80
rodamiento 6203-2Z	4	u	\$ 2,92	\$ 11,68
Precalentador de combustible	2	u	\$ 7.195,66	\$ 14.391,32
Pintura anticorrosivo Apexior	5	gal	\$ 276,16	\$ 1.380,80
Brocha de 4"	2	u	\$ 4,28	\$ 8,56
Válvula de bola 1/2" 300psi	2	u	\$ 12,00	\$ 24,00
			TOTAL	\$ 40.141,74

Fuente: (Duchi Sanchez, y otros, 2015)

Realizado por: Pardo, D, 2021

3.15 Cálculo de Mano de obra directa

Para un análisis de mantenimiento se debe determinar el costo de mano de obra directa con salarios mensuales, con el décimo cuarto sueldo, décimo tercer sueldo, se tomó valores según (Ministerio del Trabajo de Ecuador, 2020)

Sueldo mensual: Para el cálculo no se ha considerado las horas extras de trabajo dentro de este rubro si no el Salario Básico unificado de Ecuador actualmente que es de \$ 400.00

Aporte patronal IESS: Es un aporte efectuado por la persona jurídica, la empresa o persona natural en razón a los ciudadanos que están trabajando cuyo porcentaje corresponde al 11.15% del sueldo total.

Aporte personal IESS: Este aporte en cambio es realizado por el trabajador que está afiliado al Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social, cuyo porcentaje corresponde al 9.45% del valor total recibido por concepto del sueldo.

Décimo cuarto sueldo: es un beneficio que establece el pago de un SBU conocida también como bono escolar, que se calcula dividiendo $1 \text{ SBU} / 360 = 1.11$ por día de trabajo como trabaja el mes completo sería por 30 días

Décimo tercer sueldo: se consideró el 12% del sueldo mensual

Gerente de mantenimiento: se consideró el 80% del sueldo del mismo, porque se debe a que el 80% de su trabajo está enfocado en mantenimiento y el 20% en otras áreas dentro de la empresa.

Tabla 21-3: Sueldos mensuales del personal de mantenimiento

DESCRIPCIÓN	Mecánico	Gte. Mantenimiento
Sueldo mensual	\$ 640,00	\$ 1.200,00
Aporte patronal IESS	\$ 71,36	\$ 145,80
Aporte personal IESS	\$ 60,48	\$ 113,40
Décimo cuarto sueldo	\$ 29,50	\$ 29,50
Décimo tercer sueldo	\$ 76,80	\$ 144,00
Vacaciones	\$ 50,00	\$ 50,00
Sueldo total mensual	\$ 928,14	\$ 1.670,70

Fuente: (Duchi Sanchez, y otros, 2015)

Realizado por: Pardo, D, 2021

Tabla 22-3: Sueldo anual del personal de mantenimiento

Cargo	sueldo mensual	sueldo anual
Gerente de mantenimiento	\$ 1.670,70	\$ 20.048,40
Mecánico	\$ 928,14	\$ 11.137,68
Total	\$ 2.598,84	\$ 31.186,08

Fuente: (Duchi Sanchez, y otros, 2015)

Realizado por: Pardo, D, 2021

3.15.1 Cálculo de mano de obra contratada

Se consideró una empresa de tratamiento de aguas y una empresa de ventilación como se expresó en el **Cap. 2.21** que resultó ser la cantidad de \$5.700 que representa el costo anual del personal que respalda el proceso de mantenimiento, este personal pertenece a otras empresas pero prestan diferentes tipos de servicios que hacen que la producción del caldero sea más eficiente, y así mismo alargan la vida útil de la maquinaria.

Tabla 23-3 Sueldo total de mano de obra indirecta

Empresa	Descripción	Mano de obra	Material	Total
Trata-aguas	Inspección y limpieza de los tubos internos por el lado de fuego-lado de agua-economizador-chimeneas	\$ 2.000,00	\$ 1.200,00	\$ 3.200,00
Empresa de Ventilación	Ventiladores de aire de combustión	\$ 2.000,00	\$ 500,00	\$ 2.500,00
Total				\$ 5.700,00

Fuente: (Duchi Sanchez, y otros, 2015)

Realizado por: Pardo, D, 2021

3.16 Cálculo del costo de mantenimiento para cinco años

Para este análisis se realiza la estimación en el primer año de la suma de los valores de (stock de repuestos +mano de obra directa+ mano de obra contratada obtenidos de la **Tabla 20-3**, **Tabla 22-3**, **Tabla 23-3** para los resultantes 4 años se tuvo la misma consideración y se evalúa con el 5% de la inflación anual para cada uno de los rubros, obteniendo la Tabla 23-3.

Tabla 24-3: Proyección de costos para 5 años

Descripción	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5
Mano de obra directa	\$ 31.186,08	\$ 32.745,38	\$ 34.382,65	\$ 36.101,79	\$ 37.906,88
Mano de obra contratada	\$ 5.700,00	\$ 5.985,00	\$ 6.284,25	\$ 6.598,46	\$ 6.928,39
repuestos	\$ 40.141,74	\$ 42.148,83	\$ 44.256,27	\$ 46.469,08	\$ 48.792,54
Total Anual	\$ 77.027,82	\$ 80.879,21	\$ 84.923,17	\$ 89.169,33	\$ 93.627,80

Realizado por: Pardo, D, 2021

Mediante el plan de mantenimiento preventivo de esta manera incluye sólo los costos de mantenimiento preventivo que tiene el caldero analizados en profundidad anteriormente, puesto que al realizar este tipo de mantenimiento disminuye la necesidad de realizar posteriormente los mantenimientos correctivos al dar seguimiento constantemente a las condiciones reales de funcionamiento de la maquinaria y de esta manera prevenir paros inesperados.

No obstante, los costos por mantenimiento se elevan 5% de su valor total cada año respecto al anterior.

3.17 Cálculo de Depreciación método línea recta

En base al **Capítulo 2.19** donde se menciona que el caldero sufre una depreciación del 5% de su valor inicial y mediante el método línea recta se determinó el mismo valor para todos los años se obtuvo la siguiente Tabla 25-3 de depreciación.

Tabla 25-3: Depreciación para 5 años

RUBRO											
	Año 0 (\$)	Año 1 (\$)		Año 2 (\$)		Año 3 (\$)		Año 4 (\$)		Año 5 (\$)	
INVERSIÓN	165.760,00										
DEPRECIACIÓN		5%	157.472,00	5%	149.184,00	5%	140.896,00	5%	132.608,00	5%	124.320,00

Realizado por: Pardo, D, 2021

3.18 Análisis del gasto energético

Para el análisis del gasto energético de la empresa lo que se convertiría más adelante un ahorro energético se debe acudir nuevamente a los valores de la energía consumida actualmente por la planta, a la energía cogenerada en función de la demanda de la empresa y al pliego del sistema tarifario emitido por la ARCONEL que representan \$ 70 035.96 anuales de los cuales analizando la Tabla 15-3 se podría cubrir con el sistema de cogeneración la suma de \$ 35 173, 96 anuales que representa cerca del 50.22% de gasto energético dentro de la planta, asimismo se reduciría el consumo mensual de un promedio de \$ 5836.33 a la cantidad de \$ 2931,16 por cada mes.

Las cantidades extras de gastos asumidos en la planilla que corresponden a pérdidas internas por el transformador, valor de comercialización, demanda facturable, alumbrado público, IVA y subsidios por el gobierno no son considerados puesto que son valores establecidos por la empresa eléctrica, el estudio se concentra específicamente en el gasto energético neto en kW/h.

No obstante, se tiene más costos aparte del costo inicial de inversión de la compra del caldera, que inciden de cierta manera en los costos totales de inversión del proyecto, tales como costos por mantenimiento, depreciación, interés, amortización, los cuales representan los egresos que ocuparía esta implementación dejando afuera el costo de puesta en marcha del sistema eléctrico que incluye otros equipos como el turbo grupo de turbina-generator, los transformadores, líneas de transporte de energía y todo lo que implica ese sistema, además el sitio de almacenamiento de la biomasa residual forestal que debe de ser controlado bajo las condiciones señaladas con anterioridad.

3.19 Comparación de energía generada con vapor a partir de otros estudios.

En los últimos años los sistemas de cogeneración se han convertido en una alternativa fundamental de generación de energía, una de las ventajas más importantes es la generación simultánea de energía eléctrica y térmica a partir de la biomasa forestal, es por ello que, en un estudio de la universidad de Antioquía, Colombia hace referencia a estos tipos de sistema bajo diferentes metodologías seleccionando la tecnología más adecuada en función del potencial de la biomasa forestal empleada. Se describen la gasificación y el ciclo orgánico Rankine como las diferentes tecnologías de mayor uso en la cual explica que para potencias medias hasta 5 MW destaca el uso de la gasificación porque presenta menores costos de inversión, operación y mantenimiento, en cambio para potencias menores hasta 2.4 MW el ciclo orgánico Rankine es totalmente viable técnica y económicamente puesto que presenta menores costos de operación, mantenimiento y que además es más aplicable para industrias como es el caso de este estudio, en vista que el método de gasificación se ha visto empleado para el

aprovechamiento de la biomasa forestal en zonas rurales donde podrían contribuir al desarrollo beneficiando a toda la comunidad. (Saldarriaga Loaiza, y otros, 2019)

Continuando con la investigación se pudo encontrar un análisis técnico-económico de un sistema que utiliza un sistema de turbina de molinos para la obtención de energía en El Ingenio de la Troncal, que entregaba sus excedentes de energía eléctrica al Mercado Eléctrico Mayorista, lo cual representaba ingresos económicos para la empresa. Con la finalidad de aumentar dichos excedentes de energía plantearon hacer un cambio importante dentro de la planta y se trata de sustituir las turbinas de molinos por turbinas de generadores las cuales elevarían la producción de energía, esto se alcanza debido a que la eficiencia de la turbina de vapor impulsora de molino es de 65% mientras que la de turbogenerador es de 80%. (Cueva et al., 2009)

Ellos establecen que la turbina genera 120 ton de vapor por cada hora y la cual por medio del generador la convierte en 16.8 MWh, haciendo esta comparación con la cantidad de vapor entregado por nuestro sistema que es 0.6 ton de vapor por hora nuestro sistema debería entregar aproximadamente 0.08 MWh y según el cálculo hecho por este estudio se determinó con el flujo másico de vapor de 0.6 Ton de vapor por hora el sistema entrega la cantidad de 0.09 MW.

Se puede concluir en esta parte que, usando el mismo sistema de cogeneración mediante ciclo orgánico Rankine en conjunto con el turbo grupo de turbina-generador se puede alcanzar las cantidades anteriormente mencionadas, puesto que hay otros estudios que demuestran que lo han logrado.

3.20 Visión general de la planta de biomasa en la empresa “Arboriente S.A”

En el transcurso de los años la empresa “ARBORIENTE S.A” ha realizado sus actividades operativas con un alto consumo de energía eléctrica, pero ahora en función de las necesidades de optimización de recursos energéticos se ha planteado la necesidad de realizar un estudio acerca de la viabilidad técnico-económica de la generación eléctrica a partir de biomasa y más específicamente de los recursos energéticos asociados al material que se desperdicia en el proceso de elaboración de tableros contrachapados.

Como podemos ver en la figura 20-3 en el proceso de fabricación de tableros contrachapados hay un excedente de residuo de madera que por condiciones de calidad no aprueban los respectivos estándares de calidad, por lo que son desechados sin algún fin, salvo el 22.5 % que es reutilizado para

la alimentación de un caldero ya existente para la generación solamente de vapor y el resto de biomasa es desechado o procesado en la máquina trituradora ver ANEXO L



Figura 20-3. Residuos de madera

Fuente: Arboriente S.A.

Realizado por: Pardo, D, 2021

Varios factores han influenciado para que con anterioridad la empresa no concretara este tipo de proyectos, siendo uno de ellos, la falta de investigación y apoyo a la innovación tecnológica además de la rentabilidad, siendo este un proyecto innovador por tal razón los costos de elaboración son relativamente elevados.

Actualmente la realidad global, regional y local ha registrado importantes cambios, es por ello por lo que, para definir los componentes que forman el sistema de cogeneración mediante la utilización de biomasa en la empresa “ARBORIENTE S.A.”, se procede a realizar un planteamiento general de las partes y del funcionamiento, de una central de biomasa forestal para la producción de energía eléctrica.

Se presenta en la Figura 21-3 la representación de una central de biomasa donde se puede apreciar cada uno de los componentes que estarían involucrados dentro del sistema con el fin de establecer los requisitos de diseño que se deben estudiar en la presente investigación.



Figura 21-3. Representación de una central generadora de energía eléctrica a partir de biomasa forestal.

Fuente: (Aldomá, 2010)

3.21 Requisitos funcionales y constitutivos

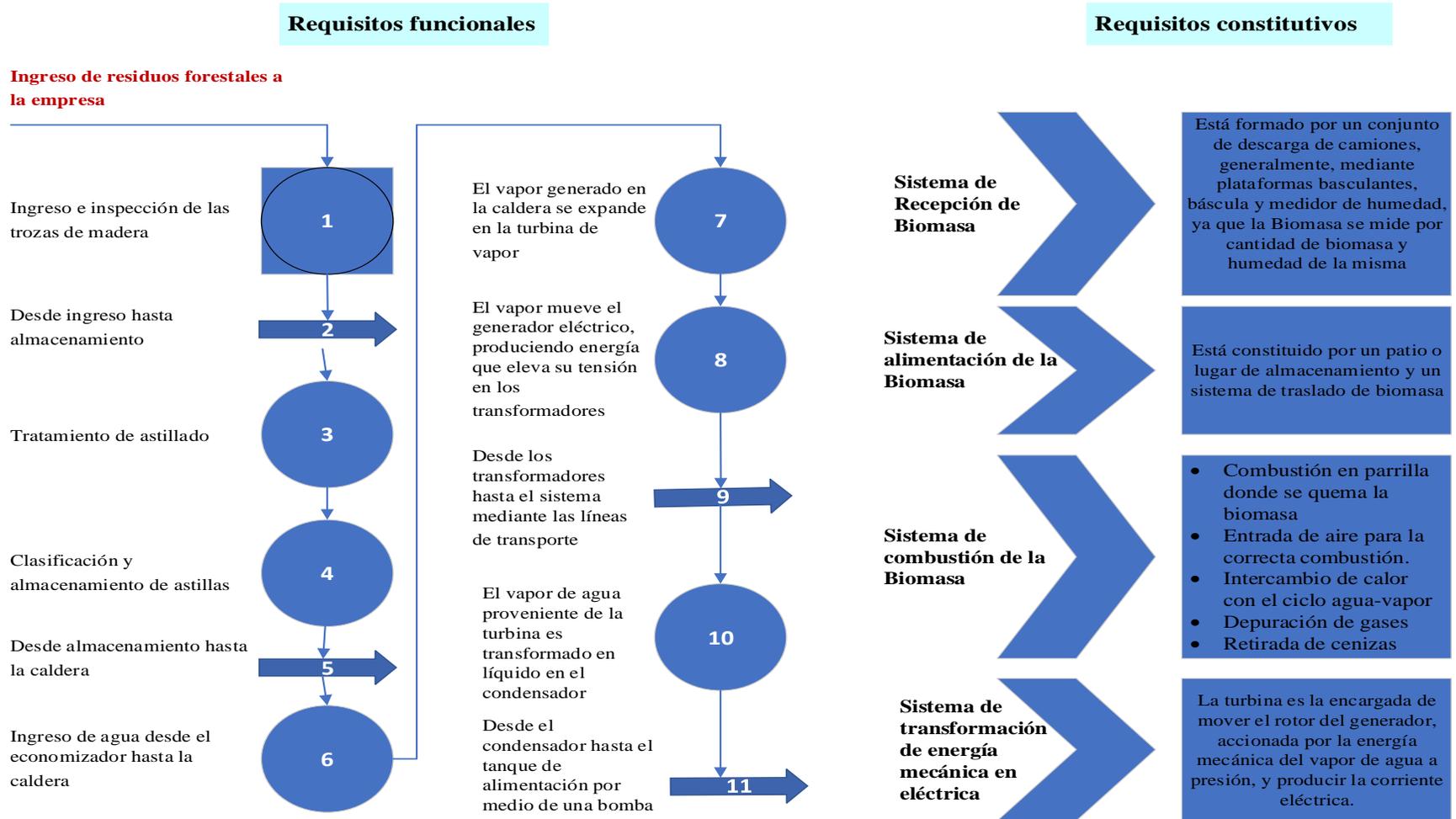


Figura 22-3. Requisitos funcionales y constitutivos para una central eléctrica de biomasa

Fuente: (Aldomá, 2010)

Realizado por: Pardo, D, 2021

3.22 Análisis de métodos de implementación

Para el presente proyecto de la central de biomasa, la electricidad es generada utilizando el vapor formado en una caldera que opera mediante ciclo Rankine a través de un Turbo grupo; (turbina unida por un rotor a un alternador que, al girar, produce energía eléctrica),

Características

- “En la condensación del vapor se pierde una parte importante de la energía que llevaba el vapor inicial, lo que condiciona el rendimiento general del sistema.
- Las Turbinas utilizadas son de condensación, en las que la entalpía del vapor se aprovecha al máximo en la turbina.
- Este tipo de turbinas funcionan mediante un ciclo de Rankine” (Aldomá, 2010 pág. 19)

Tabla 26-3: Descripción resumida de elementos del caldero propuesto

Nº	Descripción de elementos
1	caldera piro tubular
2	control de presión
3	Control de nivel
4	válvulas de seguridad
5	Tablero de control automático
6	válvula de purga automática de fondo
7	Hogar de hormigón refractario, cámara post combustión, limpieza automática
8	Chimenea
9	Tubería de vapor sch 40;3"
10	Red de alimentación de agua
11	Accesorios hn sch; 40 soldables
12	línea de vapor con aislamiento térmico
13	lana mineral vestida con aluminio de 0,5 mm de espesor

Fuente: Energy Company 2021

Realizado por: Pardo, D, 2021

CONCLUSIONES:

- Se estudió técnicamente con éxito el uso de un sistema de cogeneración mediante la utilización de biomasa residual forestal en la empresa ARBORIENTE S.A, donde se pudo demostrar que con la cantidad existente de biomasa se puede generar hasta 38 369,15 kWh de energía por mes, cubriendo cerca del 50.22 % de la demanda actual del consumo de energía eléctrica de la empresa, reduciendo notablemente el consumo actual que en promedio es de 76 398 kWh mensual, del mismo modo se reduciría el consumo promedio anual de 916 776 kWh a 456346.15 kWh en un año.
- Se analizó el consumo energético actual de la planta, a través de la disgregación de los elementos de una planilla de consumo y se encontró que los valores incurren en costos elevados que abarcan un promedio anual de 916 776 kWh, lo cual representa la cantidad de 70 035.96 dólares anuales. Esta cantidad incide directamente en el incremento de gastos del funcionamiento de la empresa, que aplicando el sistema de cogeneración se reduce a la suma de \$ 34862 anuales
- Se valoró técnicamente la alternativa tecnológica del ciclo orgánico Rankine y los equipos integrados en las centrales térmicas en este caso las calderas. Al realizar los cálculos termodinámicos mediante el Ciclo Rankine con Regeneración, se determinaron las cantidades requeridas en cuanto a presión 150 psi, temperatura 250°C, flujo másico de vapor 1337.6 lb/h, flujo volumétrico de leña 241.6 m^3/mes , de briquetas m^3/mes , y de astillas 20.29 m^3/mes dando un total de 271.88 m^3/mes de biomasa disponible para la cogeneración, adicionalmente se analizó el trabajo de los diferentes dispositivos como bombas, caldera y turbina que se requieren para la transformación de la biomasa en forma de energía eléctrica. Se concluye que, mediante el estudio adecuado y preciso, se permitió la especificación de las características técnicas del sistema de cogeneración.
- Se analizó la adquisición de equipos para la cogeneración de la planta, presentando la cotización del caldero de 100 BHP que resultó más favorable, mediante un estudio de mercado sobre las proformas presentadas. La empresa que presentó la mejor cotización,

cumpliendo con los parámetros requeridos, fue Energy Company que incluía el montaje de equipos.

- Se realizó un análisis económico, en relación al gasto energético, proponiendo un préstamo para la compra del caldero de Biomasa con un costo total de 165 760.00 dólares, a través del Banco de Pichincha para cinco años con un interés nominal anual del 9.76%, evaluando la amortización del crédito la cuota mensual fue 3567,76 dólares. El costo total del proyecto considerando otros egresos como los intereses, y el costo de mantenimiento preventivo representan un valor aproximado de \$ 635.880,53 de inversión eso sin incluir los costos de la instalación eléctrica, construcción civil, costos por el secado de la madera entre otros.
- Por tanto, la gestión de costos del proyecto comprende todo su ciclo vital o sea desde la planificación inicial hasta la entrega definitiva pasando por los diversos análisis más detallados como el estudio del estado de pérdidas y ganancias de la empresa conjuntamente con el flujo de caja de efectivo donde se denotan los ingresos por ventas que a su vez nos permite evaluar los diferentes indicadores financieros para posteriormente concluir si el proyecto es factible o no, en tal punto que el análisis económico de este estudio no tuvo hasta dicho alcance sin embargo se puede decir que el ahorro energético que tendría la empresa ARBORIENTE S.A. sería de 35173,96 dólares anuales, lo cual representa un valor considerable que influenciaría sobre la utilidad total..

RECOMENDACIONES:

- Se recomienda mantener los parámetros fijados en el presente estudio en especial el porcentaje de humedad, se debe controlar la humedad de la biomasa forestal residual procedente de la leña, puesto que a través de este proyecto investigativo se llegó a determinar que el porcentaje de humedad es el factor más significativo sobre la variable respuesta que en este caso el calor generado a través de la biomasa.
- Si se quiere aumentar aún más la eficiencia del ciclo Rankine, se aconseja usar más recalentadores 3, 4 o los que se consideren necesarios de esta manera se obtendrá más sangrados en la turbina multietapa, la cual precalentará el fluido de trabajo mejorando el ciclo.
- Para una posterior implementación considerar otros costos, como costos del sistema de instalación eléctrica, construcción civil costos de almacenamiento y tratado de la biomasa de la planta entre otros que no se consideraron en el presente trabajo por no ser objeto de estudio.
- Los gases de escape producto de la combustión del caldero existente y del caldero propuesto pueden ser aprovechados para el proceso de secado de la biomasa con la finalidad de reducir el porcentaje de humedad en los desechos de materia prima y mejorar la eficiencia del sistema propuesto, con esto ya no solo se estaría haciendo cogeneración si no tri-generación de energía.
- Es relevante promover el uso de nuevos sistemas alternos de generación de energía eléctrica para poder satisfacer la demanda de la empresa y porque no decirlo de la sociedad que lo requieran para de esta manera disminuir notablemente el uso de combustibles fósiles que tanto daño hacen provocando impacto ambiental.

BIBLIOGRAFÍA

AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE ELECTRICIDAD. *Reglamentos.* Quito, Ecuador: s.n., agosto de 2020.

AGUINAGA, A. *Seminarios Industriales de Generación de vapor.* Quito: EPN, 2010.

ALBORNOZ VINTIMILLA; & ESTEBAN. *Guía para la implementación de un sistema de gestión de la energía.* Ecuador: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2014. pp. 1-3.

ALDOMÁ, GERARD. *Diseño de una central de biomasa de 1MW ampliable a 2MW.* Tarragona: Universitat Rovira i Virgili, 2010. Tesis de postgrado.

ANDRADE, M; et al. *Metodología para el aprovechamiento energético de biomasa en Cuba.* 2009. pp. 40-50, V Seminario Euro Latinoamericano de Sistemas de Ingeniería (FIEE).

ARROYO VINUEZA; & JUAN SEBASTIÁN. *Aprovechamiento del recurso biomasa a partir de los desechos de madera para una caldera de vapor.* Quito: Universidad Politécnica Salesiana, 2016. pp. 25-27.

ARROYO, MERCEDES. *Nuevas fuentes de energía para un futuro sostenible ¿petróleo caro o protección del medio?* Universidad de Barcelona. Barcelona: s.n., 2008. X Coloquio Internacional de Geocrítica.

ASABE. CUBES, *Pellets, and Cumbles Definitions and Methods for Determining Density, Durability and Moisture Content.* [ed.] Niles Road St. Joseph. s.l.: s269.4, 2007.

BANCO CENTRAL DEL ECUADOR BCE. *Análisis de la economía ecuatoriana 2007 Y 2014 SD.* Subgerencia De Programación Y Regulación, Dirección Nacional de Síntesis Macroeconómica. Quito: República del Ecuador, 2017. Cuadernos de Trabajo Nro. 137. ISSN: 1390-0404.

BARRIGA, ALFREDO; et al. *Cogeneración de electricidad para autoconsumo en industrias extractoras de aceite de palmito en base a biomasa residual del proceso: perspectiva y factibilidad técnica y económica.* Guayaquil: s.n., 2015.

BIOENERGETICA PIRENAICA, S.L. *biomassenergetic.com. Residuo de la serradura o del corte de madera.* [En línea] 2018. [Citado el: 2 de diciembre de 2020.] <https://biomassenergetic.com/es/project/astillas/#:~:text=La%20astilla%20forestal%20tiene%20un,que%20400%20litros%20de%20gas%C3%B3leo..>

BIOMASA, ENERGÍA TÉRMICA. *Generación de energía térmica con biomasa: equipos e instalaciones.* 2013.

BONSFILLS PEDRÓS, ET AL. *Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Manresa.* [En línea] 2 de 10 de 2011. <http://epsem.upc.edu/~assecadordesolids/castella/fonaments%20materia.html>.

BOTTA, NÉSTOR ADOLFO. *Red proteger.* [En línea] 25 de 05 de 2018. https://www.redproteger.com.ar/poder_calorifico.htm.

BURSCHEL, H; et al. *Una fuente energética renovable para Chile.* Chile: Universitaria, 2003. P.171.

Cabezas, Edison, Naranjo, Diego y Torres, Johana. *Introducción a la metodología de la investigación científica.* Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, 2018. ISBN: 978-9942-765-44-4.

CASTILLO, RICARDO ARMANDO. *Termodinámica para ingeniería química.* [En línea] 16 de 5 de 2012. <http://termodinamicaparaiaq.blogspot.com/p/cyclepad.html>.

CAZARES, WALTER ANTONIO. *Estudio de cogeneración en la Industria Maderera Endesa.* Escuela de Ingeniería, Escuela Politécnica Nacional. Quito: s.n., 2001.

CENGEL, YUNUS. *Mezclas de gas vapor y acondicionamiento de aire.* Termodinámica. Séptima. México: McgrawHill, 2012, Vol. 1. P.784.

CHANAMPA, CARLOS NICOLÁS QUISPE. *Análisis energético de un sistema de cogeneración con ciclo combinado y gasificación para la industria azucarera.* Piura: s.n., 2010.

CHATELUS, MICHAEL. *Petróleo y desarrollo: la trampa de la renta en el medio oriente.* s.l.: l'Encyclopédie de l'Energie., 27 de enero de 2020.

CONGRESO NACIONAL. *Ley de gestión ambiental, codificación.* Quito: República del Ecuador, 2004. Codificación 19-Registro Oficial Suplemento 418.

CONSTITUCIÓN DEL ECUADOR. Quito: República del Ecuador, 2008.

CUBILLOS, ADELA; & ESTENSSORO, FERNANDO. *Energía y medio ambiente. Una ecuación difícil para América Latina: los desafíos del crecimiento y desarrollo en el contexto del cambio climático.* Santiago de Chile Lugar: IDEA-USACH, 2011. P. 56. ISBN: 978-956-303-118-8.

CUEVA, ÁLVARO; et al. *Análisis Técnico-Económico del cambio de turbinas de vapor por motores eléctricos en tandem de molinos del ingenio La Troncal.* [ed.] Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2009.

DATE, CLIMA. *Clima data.* [En línea] OpenStreetMap, 2020. <https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador/provincia-de-pastaza/puyo-2971/>.

DÍAZ ARTIGAS; et al. *Briquetas energéticas con aserrín y corteza de pino.* La Habana: s.n., 2020. 1815-5901.

DUCHI SANCHEZ; et al. *Propuesta para el desarrollo de un plan de mantenimiento para los calderos viessmann de la empresa Continental tire Andina.* Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana, 2015. P.127.

DULONG, PIERRE LOUIS; & PETIT, ALEXIS THERESE. *Recherches sur quelques points importants de la théorie de la Chaleur.* s.l.: Annales de Chimie et de Physique, 1819. 395-413.

ECHEVERRÍA, M; & LÓPEZ, O. *Caracterización energética de la cascarilla de arroz para su aplicación en la generación de energía termoeléctrica.* Quito: EPN, 2010.

EFICIENCIA, ENERGÉTICA. *enviracorporate*. [En línea] Ingenieros Asesores, 25 de 03 de 2020. <https://ingenierosasesores.com/actualidad/energia-biomasa-ventajas-y-desventajas-como-fuente-de-energia/>.

F CHART, SOFTWARE. *Engineering Equation Solver*. [En línea] 21 de 06 de 2011. <http://fchart.com/ees/demo-file.php>.

FERNÁNDEZ, ALEX. *Dendroenergía: la energía renovable de los bosques*. s.l., España: Fundación EROSKI, 10 de noviembre de 2014.

FERNÁNDEZ, JORGE FELIX. *Máquinas térmicas ingeniería electromecánica*. Buenos Aires: Universitaria, 2018.

FERNÁNDEZ. *slideshare.net*. [En línea] 17 de abril de 2016. [Citado el: 23 de enero de 2021.] <https://www.slideshare.net/monicagarrido75/central-de-biomasa-61006507>.

FIGUEROA, ENRIQUE. *Estudio técnico-económico para la implantación de una planta de generación de energía eléctrica a partir de biomasa en andalucía*. Escuela Superior de Ingenieros, Universidad de Sevilla. Sevilla: s.n., 2014. Tesis de grado.

FORESTAL, ECUADOR. *Ecuador Forestal. legislación Forestal*. [En línea] 2013. <https://ecuadorforestal.org/category/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/>.

FUNDACIÓN ENDESA. *Centrales de biomasa y sus tipos*. Loira, Madrid: s.n., 2019.

GALINDEZ, MARÍA. *Procesos Químicos Industriales*. [En línea] 3 de enero de 2019. [Citado el: 5 de febrero de 2021.] <https://procesosquimicosindustrialesmkk.blogspot.com/>.

GALINDO, RENÉ. *Elaboración de la propuesta para la recuperación industrial de la biomasa residual del aprovechamiento forestal*. s.l.: PEIA, 2011, Informe final. P.36.

HELVIA. [En línea] septiembre de 2019. [Citado el: 5 de febrero de 2021.] <http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centros-tic/21700290/helvia/aula/archivos/repositorio/0/44/html/rankine.html>.

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. *Sistema de clasificación y calificación de madera aserrada proveniente de bosques húmedos tropicales.* Quito: República del Ecuador, 2011. Norma Técnica Ecuatoriana Nte Inen 2580:2011.

IRAM. *Método de determinación de humedad.* Argentina: Instituto de Racionalización de materiales, 1963. P. 14.

ISLAS, JORGE; & MARTÍNEZ, ALFREDO. *Bioenergía.* 2010. pp. 30-39.

JORGENSON, JENNIE. *nrel.gov.* [En línea] septiembre de 2011. [Citado el: 2 de febrero de 2021.] <https://www.nrel.gov/docs/fy11osti/52688.pdf>.

KILLMANN, WULF. *Guía para encuestas de demanda, oferta y abastecimiento de combustibles de madera. Programa de manejo forestal sostenible.* Departamento de Montes: Programa de asociación comunidad europea, 2002.

LOAIZA, MITZI ANDREA. *Modelo de generación de energía a partir de biomasa forestal.* Departamento de ingeniería civil, Universidad de Chile. Santiago de Chile: s.n., 2015. Tesis de grado.

LÓPEZ SILVA, MARIELA LILIANA. *Examen de auditoría integral de producción de la empresa ARBORIENTE S.A.* [ed.] Titulación de Magíster en auditoría integral. Trabajo de fin de Maestría. Loja: Universidad Técnica Particular de Loja, 2015. P. 38.

LUCAS, ANA; et al. *Biomasa, Biocombustibles y Sostenibilidad.* Madrid: Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario ITAGRA.CT, 2012. ISBN: 978-84-931891-5-0.

MARTÍNEZ LOZANO, SERGIO. *Evaluación de la Biomasa como recurso energético renovable en Cataluña.* Cataluña: Universitat de Girona, 2009. P. 91. ISBN: 978-84-692-5161-4.

MINISTERIO DE ELÉCTRICIDAD Y ENERGÍA RENOVABLE. *programas y servicios de Cogeneración.* [En línea] 2013. <http://historico.energia.gob.ec/coogeneracion/>.

MINISTERIO DEL TRABAJO DE ECUADOR. *Acuerdo Ministerial Nro. 394 Norma para fijar el sueldo básico unificado.* Quito: s.n., 2020.

NAVALIA ENERGÍA. *Navalia energía.* [En línea] 30 de septiembre de 2019. [Citado el: 30 de febrero de 2021.] <https://nabiliaenergia.com/que-es-la-cogeneracion-y-como-funciona/>.

OSEJO, DAVID ERNESTO. *Diseño de una caldera de generación de vapor pirotubular de 10 bhp expandible a 25 bhp mediante módulos.* Bogotá D.C.: Fundación Universidad de América, 2017.

PADT-REFORT. *Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino.* Lima: Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984. Proyectos Andinos de Desarrollo tecnológico en el área de los recursos forestales tropicales.

PAREDES TERÁN; et al. *Ingeniería básica y de detalle de una caldera pirotubular para calentamiento de 5 galones de agua por minuto con quemador para combustible a diésel, para la empresa Servicios Industriales Integrales.* Quito: Escuela Politécnica del ejército, 2019.

PARLAMENTO EUROPEO & CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA. *Diario Oficial de la Unión Europea.* 2018. Directiva (ue) 2018/2001 del parlamento europeo y del consejo.

PEIA PROYECTOS & ASESORÍA SUSTENTABLES CIA. LTDA. *Elaboración de la propuesta para la recuperación industrial de la biomasa residual del aprovechamiento forestal.* Quito: s.n., 2011. Estudio técnico.

PERALTA, NANCY. *La industria maderera nacional, incidencia tributaria en su proceso productivo y de comercialización hasta el año 2009.* Área de Derecho, Universidad Andina Simón Bolívar. Quito: s.n., 2009. Tesis de maestría.

PÉREZ, ALFONSO. *Un modelo explicativo procesual de la pobreza desde la psicología social comunitaria y el enfoque de los ddhh.* Facultad de psicología, Universidad Complutense De Madrid. Madrid: s.n., 2013. Tesis doctoral.

PICHINCHA, BANCO. *Banco pichincha.* [En línea] 2021. <https://www.pichincha.com/portal/simuladores/simulador-de-creditos>.

PNUMA, ENT & UNEP-RISOE CENTRE. *Evaluación de necesidades tecnológicas ante el cambio Climático.* Argentina: Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación Productivo, 2013.

RAMIRO, FERNANDO. *Estudio de viabilidad y diseño de una planta de cogeneración para una industria cárnica.* Departamento de ingeniería térmica y de fluidos, universidad carlos iii de madrid. Madrid: s.n., 2009. P. 7, Tesis de fin de grado.

REYES, CARMEN MARÍA. *Estudio técnico-económico y análisis de ciclo de vida de la producción de etanol a partir de biomasa lignocelulósica por la vía termoquímica.* Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Universidad de Sevilla. Sevilla: s.n., 2015. Tesis Doctoral.

RODRÍGUEZ, EDISON FERNANDO. *Diseño de un sistema de cogeneración asociado a la central de generación eléctrica del bloque 18 de PETROAMAZONAS EP.* Facultad De Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Nacional. Quito: s.n., 2019. Tesis de grado.

SALDARRIAGA LOAIZA; et al. *Análisis de costos nivelados de electricidad de plantas de cogeneración usando Biomasa Forestal en el departamento de Antioquía, Colombia.* [ed.] Facultad de Ingeniería. Antioquia: Universidad de Antioquia, 2019.

SÁNCHEZ, ALEJANDRO. *Diseño de una planta de gasificación con cogeneración para el aprovechamiento energético de la cascarilla de arroz en un proceso industrial.* Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial, Universidad Politécnica de Madrid. Madrid: s.n., 2017. Tesis de maestría.

SÁNCHEZ, ANA; et al. *Sector maderero ecuador.* Observatorio Económico y Social de Tungurahua. [En línea] 2020. <https://blogs.cedia.org.ec/obest/wp-content/uploads/sites/7/2020/06/Sector-maderero-Ecuador-aprobado.pdf>.

SENPLADES. *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021-Toda una Vida.* Quito: República del Ecuador, 2017.

SENPLADES. *Transformación de la Matriz Productiva Revolución productiva a través del conocimiento y el talento humano.* Quito: República del Ecuador, 2012.

SHIELD, CARL D. *Calderas tipos, y sus funciones*. México: Compañía editorial Continental, 1986.

SIAU, J. *Transport processes in wood*. [ed.] Springer-Verlag. New York: Berling Heidelberg, 1984. p. 245.

Skaar, C. *wood-water relations*. [ed.] Berlín Heidelberg. New York: Springer-Verlag, 1988. P. 238.

SPAVENTO, ELEANA; et al. *Propiedades físicas de la madera*. [ed.] Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal. Buenos aires: Universidad Nacional de la plata, 2008. P. 4.

TIMBER ORGANIZATION, IITO. *Tropical Timber*. [En línea] 2021. <http://www.tropicaltimber.info>.

TROSSERO, MIGUEL. *Dendroenergía: perspectivas de futuro*. 2002. pp. 3-12.

UMAÑA, JOHAN. *¿Qué es la dendroenergía? La oportunidad para consolidar una nueva fuente de energía renovable*. s.l., Costa Rica: www.tec.ac.cr, 28 de julio de 2017.

UWET. *Terminología Unificada sobre Dendroenergía*. 2001.

VELÁZQUEZ, B. *Situación de los sistemas de aprovechamiento de los residuos forestales para su utilización energética*. s.l.: Universidad Politécnica de Valencia, 2006. pp. 77-86.

VENEGAS, IGNACIO. *Diseño y selección de componentes de una máquina briqueteadora de mediana capacidad*". Departamento De Ingeniería Mecánica. Valparaíso: Universidad Técnica Federico Santa María, 2017. Tesis de grado.

ANEXOS:

ANEXO A: MÁQUINA BRIQUETEADORA



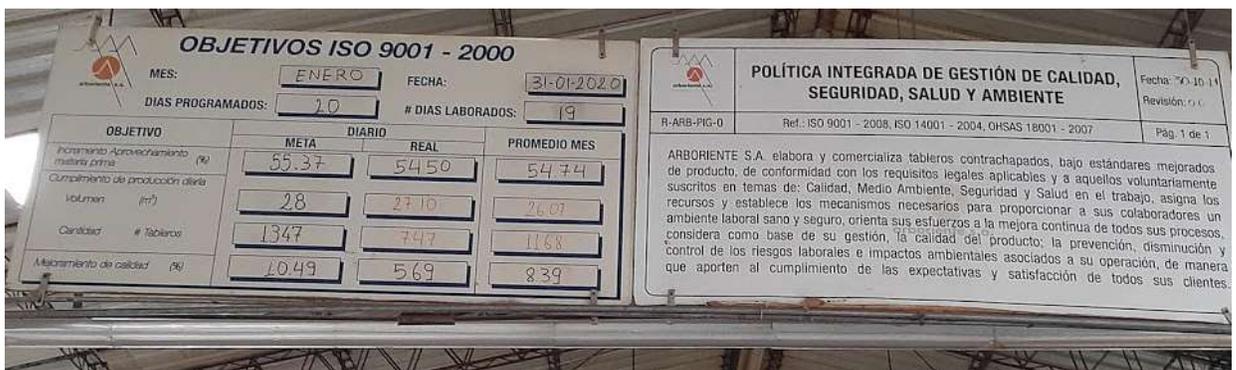
ANEXO B: ALIMENTACIÓN CON ASTILLAS DEL CALDERO EXISTENTE.



ANEXO C: CARTA DE CONTROL DEL INGRESO DE MATERIA PRIMA MENSUAL



ANEXO D: OBJETIVOS DE PRODUCCIÓN MENSUAL



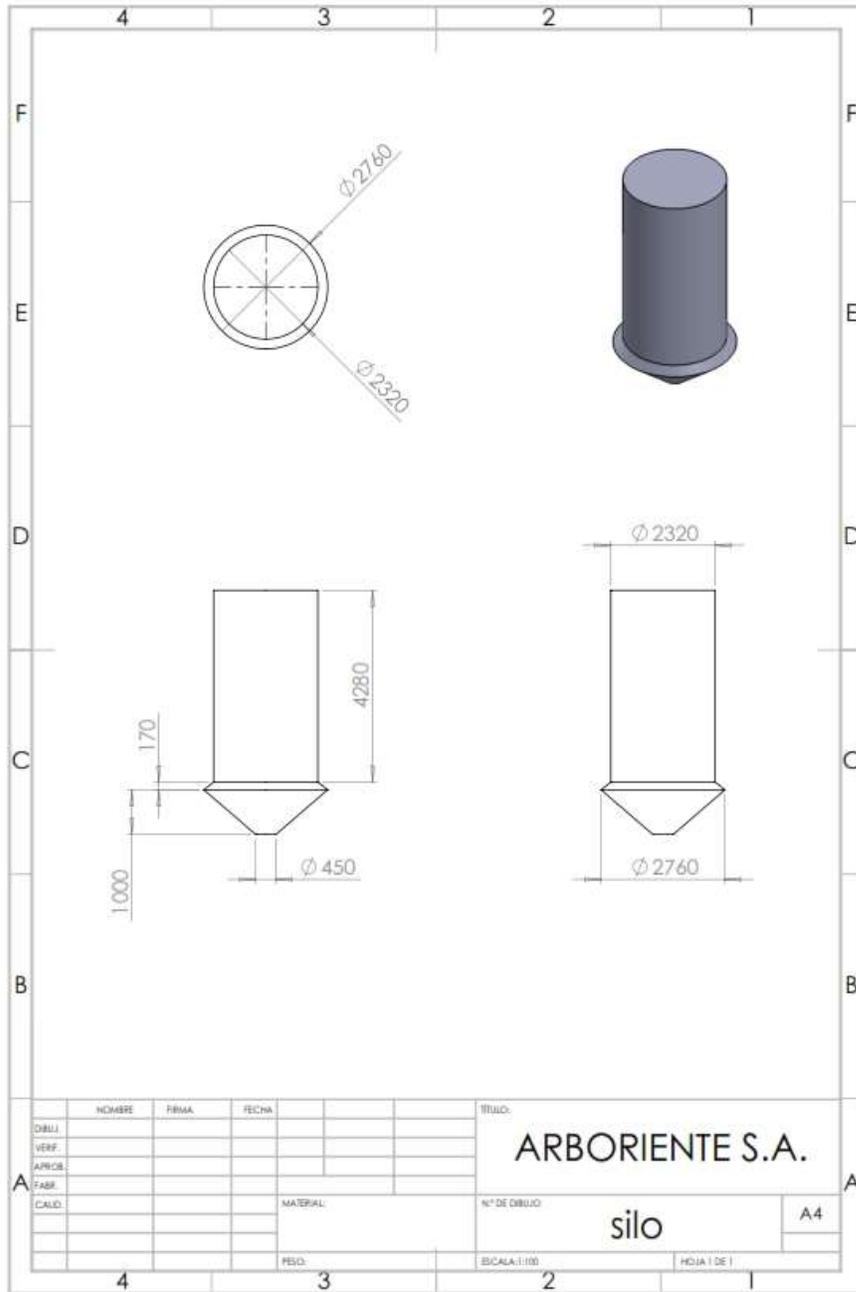
ANEXO E: ACUMULACIÓN DE BRIQUETAS EN SAQUILLOS



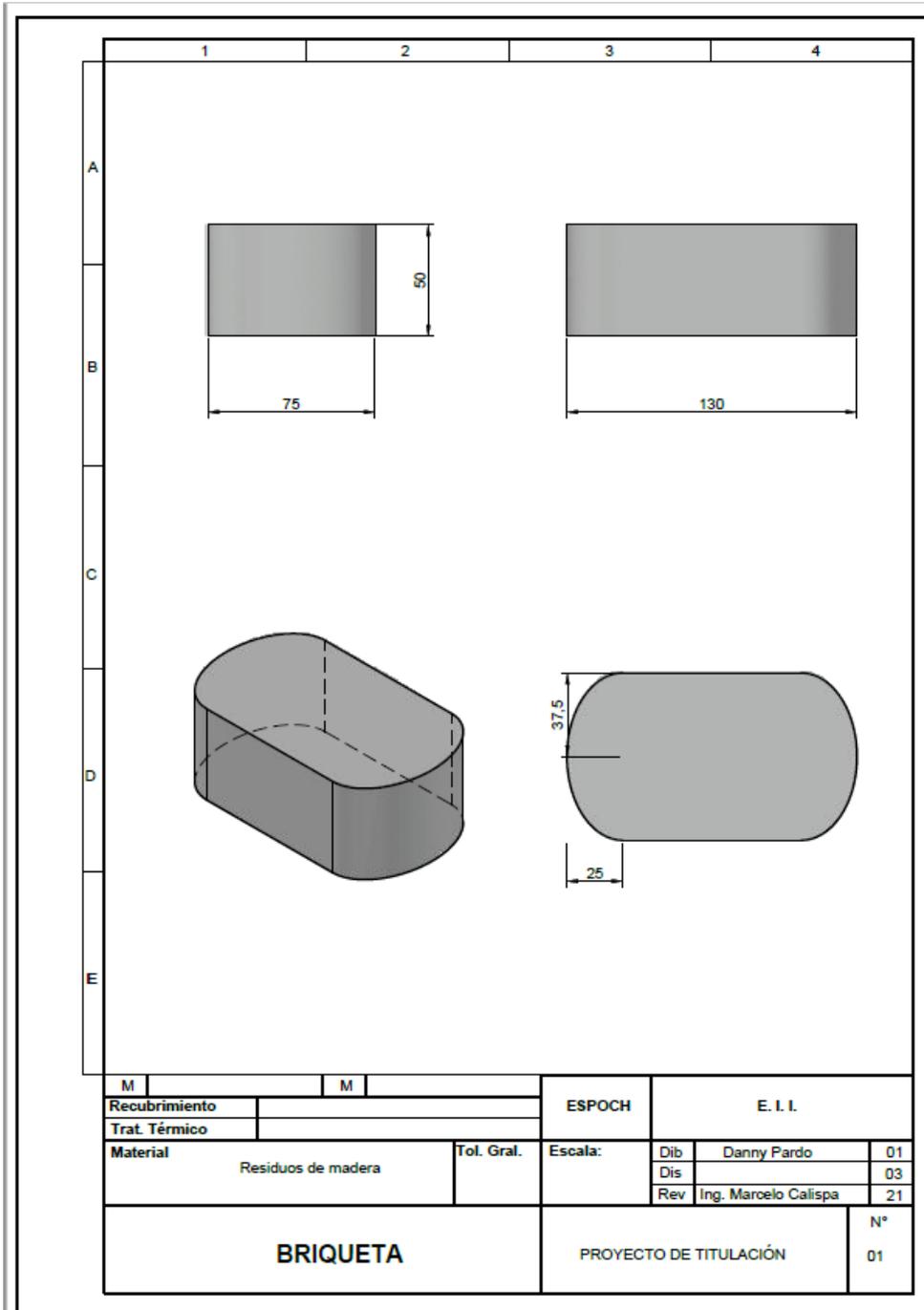
ANEXO F: MÁQUINA DE LIJADO (OBTENCIÓN DE POLVILLO PARA BRIQUETAS)



ANEXO G: SILO DE ALMACENAMIENTO TEMPORAL DE ASTILLAS



ANEXO H: BRIQUETA ACOTADA



ANEXO I: PLANILLA DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA



EMPRESA ELECTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A.
R.U.C. 1890001439001 CONTRIBUYENTE ESPECIAL RESOLUCION 5368 DEL 2 DE JUNIO DE 1995
 ANL del S.R.L. 0310202001189000143900120020050021790750217907511 Fecha ANL: 2020-08-05T14:38:39-05:00
 Dirección: 27 de Febrero s/n y Atahualpa
 Teléfono: 03-2988600

Factura No.002005 - 002179075 Valor a Pagar: **8,059.89**

INFORMACIÓN DEL CONSUMIDOR

Fecha Emisión: 07-Oct-2020
 Vinculación: 14-Oct-2020
 Mes Consumo: Septiembre-2020
 Bloque Facturación: 1

Nombre: **ARBORIENTE**
 Dirección del Servicio: **PUYUBAJEN**
 Provincia / Cantón / Parroquia: **INSTAZA (DFO) - INSTAZA**
 Tipo de Servicio: **INDUSTRIAL COP DEMANDA**
 Medidor Número: **4201213**
 Lectura Desde: **31-08-2020**
 Factor Potencia: **0.95022**

CC-BIN: **14900013000**
 Bito: **15 - 81 - 27**
 Código Único Eléctrico Nacional: **0100050831**
 Facto Multiplicación: **204.00**
 Lectura Hasta: **30-09-2020**
 Día Facturado: **30**
 Factor Corrección: **0.7648**

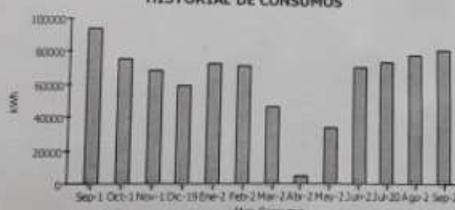
1 FACTURACION SERVICIO ELECTRICO Y ALUMBRADO PUBLICO

Descripción	Actual	Anterior	Consumo	Unid
Activa	125541	123127	84436	kWh
Dem Máxima	1.2	1	244.8	kW
Dem Pico	0.99	1	201.96	kW
08h00-18h00 L-V	88562	88334	42432	kWh
18h00-22h00 L-V	6742	6660	17648	kWh
22h-08h LVSDP	29833	29692	29172	kWh
18h00-22h00SDP	400	398	408	kWh
Reactiva	33078	32956	24888	kVArh

Concepto	Valor USD
Valor Consumo	8,436.14
Valor Comercialización	1.43
Pérdidas Intima Transformador	148.52
Demanda Facturable	839.98
Subtotal Servicio Eléctrico (SE)	7,474.05
Alumbrado Público	105.55
Subtotal Alumbrado Público (APG)	185.60

Mes Consumo	Consumo kWh	Valor USD
Sep-18	84288	8,462.78
Oct-19	75684	8,897.83
Nov-19	69160	8,308.02
Dic-19	60180	5,738.02
Ene-20	73236	8,911.41
Feb-20	72824	8,690.64
Mar-20	44970	4,508.91
Abr-20	4264	325.03
May-20	34476	3,833.42
Jun-20	72320	8,887.43
Jul-20	75480	7,408.23
Ago-20	80172	7,888.83
Sep-20	84436	8,059.89

HISTORIAL DE CONSUMOS



Concepto	Valor USD
Total IVA 12%	
Total IVA 0%	7,579.60
IVA 12%	
IVA 0%	0.00
TOTAL SE y APG (1)	7,579.60

SUBSIDIO DEL GOBIERNO	
Subsidio Tarifa Eléctrica	866.94
TOTAL SUBSIDIOS	866.94

TOTAL	
Total Servicio Eléctrico (1)	7,579.60
Valores Pendientes (2)	0.00
Recaudación Terceros (3)	
TOTAL (1)+(2)+(3) Sector Eléctrico	7,579.60

EL GOBIERNO SUBSIDIA ESTE SERVICIO



Clave Acceso: 0310202001189000143900120020050021790750217907511

ANEXO J: PROFORMA DEL CALDERO DE BIOMASA

	PROFORMA No. 210203	
	Código: PM-PRF-01	Rev: 0
	Pág.: 1 de 1	

Institución:	ARBORIENTE S.A.		
Dirección:	RIOBAMBA		
RUC:			
Contacto:	Sr. Danny Pardo	Telf. / email:	
Fecha visita EC:	09/02/2021	Técnico(s) EC:	Ing. Lluquay K
Equipo(s):	Cuarto de máquinas – caldero		

Riobamba, 17 de febrero de 2021

Estimados Sr.

Danny Pardo

Presente,

CALDERA DE BIOMASA DE 100 BHP

Fabricado localmente para garantizar un producto de altísima calidad cumpliendo normas internacionales ASME Sección I Parte PG, PW, PFT.

CARACTERISTICAS:

POTENCIA:	3347500 BTU/H
PRESION DE OPERACIÓN:	150 PSIG
PRODUCCION DE VAPOR:	3450 .00 LBS/H
TIPO DE CALDERA:	HORIZONTAL
ARREGLO DE TUBOS:	PIROTUBULAR
PASOS:	3
COMBUSTIBLE:	PALLETS VIRUTA O RESTOS DE MADERA(50% DE HUMEDAD)
PESO SIN AGUA:	5926.00 kg
PESO CON AGUA:	9000.00 kg
EQUIPO INCLUIDO	
CONTROL DE PRESION HONEYWELL	
CONTROL DE NIVEL MC DONNELL MILLER	
VÁLVULAS DE SEGURIDAD KUNCLE	
TABLERO DE CONTROL AUTOMÁTICO	
VÁLVULA DE PURGA AUTOMÁTICA DE FONDO.	
CONJUNTO PRE-MONTADO BAJO SKID.	
EL HOGAR ESTÁ HECHO DE HORMIGÓN REFRACTARIO, CÁMARA DE POST COMBUSTIÓN, AIRE TERCIARIO, ANTEHOGAR DE TUBOS DE AGUA CON RECUPERACIÓN DE VAPOR, DEPÓSITOS DE LIMPIEZA AUTOMÁTICA, UN PLANO DE AGUA (LIMITE AGUA/VAPOR) Y SONDA DE NIVEL DE AGUA.	

Innovando Soluciones para el Sector Energético y Metalmeccánico

Dirección: Eduardo Kingman y Av. Saint Amand Montrond, Casa #14

Teléfono: 032 561 096 – 0983140078- 0959977729

Correo: energycompany.ec@gmail.com

	PROFORMA No. 210203	
	Código: PM-PRF-01	Rev: 0
	Pág.: 1 de 1	

ITEM	CANT	DESCRIPCIÓN	V.U	V.T
1	1	CALDERA DE BIOMASA DE 100 BHP HORIZONTAL	130.000.00	130.000.00
2	1	Montaje cuarto de máquinas - Caldera - Hogar - Chimenea - Tubería de vapor sch 40; 3" - Red de alimentación de agua. - Accesorios hn sch 40; soldables - Línea de vapor con aislamiento térmico, lana mineral vestida con aluminio de 0, 5 mm de espesor.	18.000.000	18.000.000
SUBTOTAL				148.000.00
IVA 12%				17.760.00
TOTAL				165.760.00

GARANTÍA:

- 24 meses contra defectos de fabricación del Caldero.
- Stock de repuestos permanentes durante el tiempo de garantía, excepto por falla de voltajes.

FORMA DE PAGO:

- 60 % anticipo.
- 40 % contra entrega.

TIEMPO DE ENTREGA:

- 8 - 10 semanas, previo anticipo que se haga efectivo

VALIDEZ DE LA OFERTA:

- 30 días.



Ina. Lluquay Klever
Dpto. Técnico Energy Co.
095 997 7729

Innovando Soluciones para el Sector Energético y Metalmeccánico

Dirección: Eduardo Kingman y Av. Saint Amand Montrond, Casa #14

Teléfono: 032 561 096 – 0983140078- 0959977729

Correo: energycompany.ec@gmail.com

ANEXO K: CONDICIONES Y COSTO TOTAL DEL CRÉDITO



Condiciones y costo total del crédito

Fecha:	28/04/2021	Producto:	Empresarial
Plazo (meses):	60	Frecuencia de pago:	Mensual
Tasa interés nominal:	9.76%	Tipo de tasa:	Reajutable
Tipo de sistema de amortización:	Francés	Tasa contribución Solca:	0,5 %
Valor bien/vehículo:	N/A		

Datos financiamiento	Valores	Periodicidad	Explicación
Monto solicitado (USD)	165760		Valor solicitado por el cliente.
Monto líquido (USD)	164931.2		Monto acreditado en la cuenta
Cuota financiera (USD)	3457.25	Mensual	Valor correspondiente al capital e interés
Cuota total (USD)	3567.76	Mensual	Valor cuota financiera
Plazo / número de cuotas	60	Mensual	Número de cuotas a pagar en todo el plazo del crédito
Tasa interés nominal (%)	9.76	Anual	Es la tasa de interés anual.
Tasa de interés activa efectiva referencial para el segmento (%)	9.64	Anual	Es la tasa activa referencial del segmento, permitida por el Banco Central del Ecuador.
Tasa interés efectiva anual (%)	10,21	Anual	(TEA) Es igual al interés anual efectivo, dividido para el capital inicial. Las tasas de interés nominal y efectiva difieren cuando el período de capitalización es distinto de un año. La tasa de interés efectiva es más alta mientras más corto es el período de capitalización
Suma de cuotas (USD)	214065.48		Es la sumatoria de las cuotas a pagar en todo el plazo del crédito.
Carga financiera (USD)	44645.91		Es la diferencia entre la sumatoria de intereses, primas menos el monto líquido que recibe el cliente en la concesión. Incluye intereses y primas de seguro obligatorias

Datos financiamiento	Valores	Periodicidad	Explicación
Relación entre el valor total y monto de capital solicitado	1,29		Resultado de la división, de la suma total de cuotas para el monto financiado.
Tasa efectiva anual del costo del financiamiento	11,39		Es la tasa efectiva anual de interés más los valores correspondientes a impuestos de ley, seguros obligatorios (desgravamen e incendios) y gastos directos e indirectos.

Seguros obligatorio	Gasto	Periodicidad	Justificación
Desgravamen (USD)	110.51	Mensual	Valor que se cobra para cubrir la muerte o incapacidad del deudor de acuerdo al tipo de póliza contratada.
Incendio (USD)	0.0	Mensual	Valor que se cobra para cubrir siniestro de incendio de la garantía real de acuerdo al tipo de póliza contratada.
Seguro Vehicular (USD)	{SeguroVehicular}		Valor que se cobra para cubrir siniestro de vehículo.

Gastos por cuenta de terceros	Valor en USD	Periodicidad	Explicación
Legalización de prenda	{LegalizacionPrenda}		

Contribución obligatoria	Costo	Periodicidad	Justificación
Contribución atención integral del cáncer (USD)	828.8	Única	Es la contribución para la atención integral del cáncer ordenada en la disposición general Décimo Cuarta del Código Orgánico monetario y financiero

Explicaciones	
Tipo de tasa: fija / reajutable	La tasa de interés fija es aquella que permanece igual durante la vigencia del préstamo en tanto la tasa de interés reajutable puede fluctuar durante la vigencia del mismo.
Tipo de tabla de amortización	<u>Francés</u> o dividendos iguales: Aquel que genera dividendos de pagos periódicos iguales, cuyos valores de amortización del capital son crecientes en cada período, y los valores de intereses sobre el capital adeudado son decrecientes. <u>Alemán</u> o cuotas de capital iguales: Aquel que genera dividendos de pago periódicos decrecientes, cuyos valores de amortización del capital son iguales para cada período y los valores de intereses sobre el capital adeudado son decrecientes.

Tabla tasa mora (de acuerdo con la normativa vigente del sistema de Tasas de Interés y Tarifas del Banco Central del Ecuador)

Tabla servicios financieros diferenciados por gastos de gestión de cobranza extrajudicial

Rango de cuotas (#)	DIAS DE MORA				
	1 a 30 días	31 a 60 días	61 a 90 días	91 a 120 días	> a 120 días

Días de morosidad	Recargo por morosidad hasta
0	0.0%
1-15	5.0%
16-30	7.0%
31-60	9.0%
61-999999	10.0%

		DIAS DE MORA				
Rango de cuotas (#)		1 a 30 días	31 a 60 días	61 a 90 días	91 a 120 días	> a 120 días
<	\$100	\$6.38	\$16.23	\$23.17	\$25.56	\$25.56
>	\$100 <= \$199	\$7.35	\$16.46	\$23.85	\$26.64	\$26.64
>	\$200 <= \$299	\$7.92	\$17.83	\$25.27	\$29.03	\$29.03
>	\$300 <= \$499	\$8.32	\$20.34	\$27.43	\$32.72	\$32.72
>	\$500 <= \$999	\$8.63	\$23.99	\$30.34	\$37.70	\$37.70
>	\$1000 <= \$4999	\$8.88	\$28.78	\$34.01	\$43.99	\$43.99
>	\$5000	\$8.88	\$28.78	\$34.01	\$43.99	\$43.99

Notas:

1. La información que consta en el presente documento es referencial y tiene un período de validez de 5 días, excepto cuando dentro de este período la Junta de Política y Regulación Monetaria y Financiera modifique la tasa activa máxima referencial.
2. Los resultados que el simulador estime son de carácter informativo y no constituye una pre aprobación del crédito.
3. Los valores de cobranza extrajudicial se cobrarán de acuerdo a la tabla correspondiente.
4. Los valores por seguro de desgravamen podrían variar en caso de existir codeudores adicionales.
5. El cliente podría contratar la compañía de seguros, a su elección.

Tabla de honorarios profesionales para avalúos, análisis e inspecciones de bienes muebles e inmuebles:

1. Honorarios profesionales avalúos

Avalúos/re avalúos bienes inmuebles, maquinarias y equipos

Desde	Hasta	Honorario	IVA	Total
\$10.000,00	\$20.000,00	\$72,00	\$8,64	\$80,64
\$20.001,00	\$40.000,00	\$84,00	\$10,08	\$94,08
\$40.001,00	\$60.000,00	\$106,80	\$12,82	\$119,62
\$60.001,00	\$80.000,00	\$135,60	\$16,27	\$151,87
\$80.000,01	\$100.000,00	\$151,20	\$18,14	\$169,34
\$100.001,00	\$150.000,00	\$166,80	\$20,02	\$186,82
\$150.001,00	\$200.000,00	\$184,80	\$22,18	\$206,98
\$200.001,00	\$400.000,00	\$232,80	\$27,94	\$260,74
\$400.001,00	\$800.000,00	\$340,80	\$40,90	\$381,70
\$800.001,00	\$1.000.000,00	\$448,80	\$53,86	\$502,66
\$1.000.001,00	en adelante	0.44880 x mil		

* Si el requerimiento corresponde a un terreno urbano se descontará el 30% del honorario(en ningún caso será menor a \$72 + impuestos).

2. Habitar construir individual

Tipo	Monto presupuesto	Valor	IVA	Total
Avalúo habitar construir hasta	\$50.000	\$117,00	\$14,04	\$131,04
Avalúo habitar construir mayor a	\$50.001	\$140,40	\$16,85	\$157,25
Inspección habitar construir	-	\$72,00	\$8,64	\$80,64

3. Avalúos/reavalúos vehículos

Tipo	TON	Valor	IVA	Total
Vehículos livianos hasta	3.5	\$35,00	\$4,20	\$39,20
Vehículos pesados mayor a	3.5	\$55,00	\$6,60	\$61,60

4. Inspecciones para constatación de existencias (sin valoración)

Tipo	Monto	Valor	IVA	Total
------	-------	-------	-----	-------

Tipo	Monto	Valor	IVA	Total
Bienes inmuebles	\$15 la hora + IVA - Mínimo \$30			
Vehículos livianos y pesados				
Maquinaria y equipos				

5. Informes especiales (construir constructor)

Tipo	Mínimo	Máximo	%	Total(1)
Análisis del proyecto	-	1.000.000	0,05%	500
	1.000.001	2.000.000	0,05%	900
	2.000.001	3.000.000	0,05%	1350
	3.000.001	3.500.000	0,04%	1400
	3.500.001	4.500.000	0,032%	1440
	4.500.001	5.500.000	0,030%	1650
	5.500.001	6.500.000	0,028%	1820
	6.500.001	7.500.000	0,028%	2100
	7.500.001	9.000.000	0,028%	2380
	>9.000.00			2500
(1)Valor no incluye IVA				
Inspecciones de avance de obra	0.015% sobre crédito aprobado + IVA (mínimo \$72,00 + IVA)			

- Si el bien inmueble está ubicado en el oriente se incrementa mas 20% al honorario.
- Si el requerimiento es un TERRENO URBANO EN EL ORIENTE aplican los dos criterios anteriores(en ningún caso será menor a USD \$72 + impuestos.)
- Los gastos de movilización, estadía y alimentación serán cubiertos por el cliente en la factura.
- El costo por movilización para bienes fuera del límite urbano \$ 0.30 por Km. recorrido.
- La inspección fallida por inasistencia del cliente dentro del perímetro urbano se cobrará \$ 18
- La inspección fallida por inasistencia del cliente fuera del perímetro urbano se cobrará la movilización que corresponda. Mínimo \$ 18.
- La inspección realizada sin emisión de informe de avalúo se cobrará \$ 72 + IVA.

Tabla de amortización

Cuota	Fecha de pago	Capital	Interés	Seguro desg.	Seguro incendio/vehículo	Interés gracia	Valor cuota	Saldo
0	28-abr-2021	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	165760.0	
1	28-may-2021	2109.07	1348.18	110.51	0.0	3567.76	163650.93	
2	28-jun-2021	2127.63	1331.03	109.1	0.0	3567.76	161523.3	
3	28-jul-2021	2146.35	1313.72	107.68	0.0	3567.75	159376.95	
4	28-ago-2021	2165.24	1296.27	106.25	0.0	3567.76	157211.71	
5	28-sep-2021	2184.3	1278.66	104.8	0.0	3567.76	155027.41	

Cuota	Fecha de pago	Capital	Interés	Seguro desg.	Seguro incendio/vehículo	Interés gracia	Valor cuota	Saldo
6	28-oct-2021	2203.52	1260.89	103.35	0.0	3567.76	152823.89	
7	28-nov-2021	2222.91	1242.97	101.88	0.0	3567.76	150600.98	
8	28-dic-2021	2242.47	1224.89	100.4	0.0	3567.76	148358.51	
9	28-ene-2022	2262.21	1206.65	98.9	0.0	3567.76	146096.3	
10	28-feb-2022	2282.11	1188.25	97.4	0.0	3567.76	143814.19	
11	28-mar-2022	2302.2	1169.69	95.87	0.0	3567.76	141511.99	
12	28-abr-2022	2322.45	1150.96	94.35	0.0	3567.76	139189.54	
13	28-may-2022	2342.89	1132.07	92.8	0.0	3567.76	136846.65	
14	28-jun-2022	2363.51	1113.02	91.23	0.0	3567.76	134483.14	
15	28-jul-2022	2384.31	1093.8	89.65	0.0	3567.76	132098.83	
16	28-ago-2022	2405.29	1074.4	88.07	0.0	3567.76	129693.54	
17	28-sep-2022	2426.46	1054.84	86.46	0.0	3567.76	127267.08	
18	28-oct-2022	2447.81	1035.11	84.84	0.0	3567.76	124819.27	
19	28-nov-2022	2469.35	1015.2	83.21	0.0	3567.76	122349.92	
20	28-dic-2022	2491.08	995.11	81.57	0.0	3567.76	119858.84	
21	28-ene-2023	2513.0	974.85	79.91	0.0	3567.76	117345.84	
22	28-feb-2023	2535.12	954.41	78.23	0.0	3567.76	114810.72	
23	28-mar-2023	2557.43	933.79	76.54	0.0	3567.76	112253.29	
24	28-abr-2023	2579.93	912.99	74.84	0.0	3567.76	109673.36	
25	28-may-2023	2602.63	892.01	73.12	0.0	3567.76	107070.73	
26	28-jun-2023	2625.54	870.84	71.38	0.0	3567.76	104445.19	

Cuota	Fecha de pago	Capital	Interés	Seguro desg.	Seguro incendio/vehículo	Interés gracia	Valor cuota	Saldo
27	28-jul-2023	2648.64	849.49	69.63	0.0	3567.76	101796.55	
28	28-ago-2023	2671.95	827.95	67.86	0.0	3567.76	99124.6	
29	28-sep-2023	2695.46	806.21	66.09	0.0	3567.76	96429.14	
30	28-oct-2023	2719.18	784.29	64.29	0.0	3567.76	93709.96	
31	28-nov-2023	2743.11	762.17	62.48	0.0	3567.76	90968.85	
32	28-dic-2023	2767.25	739.86	60.65	0.0	3567.76	88199.6	
33	28-ene-2024	2791.6	717.36	58.8	0.0	3567.76	85408.0	
34	28-feb-2024	2816.17	694.65	56.94	0.0	3567.76	82591.83	
35	28-mar-2024	2840.95	671.75	55.06	0.0	3567.76	79750.88	
36	28-abr-2024	2865.95	648.64	53.17	0.0	3567.76	76884.93	
37	28-may-2024	2891.17	625.33	51.26	0.0	3567.76	73993.76	
38	28-jun-2024	2916.61	601.82	49.33	0.0	3567.76	71077.15	
39	28-jul-2024	2942.28	578.09	47.39	0.0	3567.76	68134.87	
40	28-ago-2024	2968.17	554.16	45.43	0.0	3567.76	65166.7	
41	28-sep-2024	2994.29	530.02	43.45	0.0	3567.76	62172.41	
42	28-oct-2024	3020.64	505.67	41.45	0.0	3567.76	59151.77	
43	28-nov-2024	3047.22	481.1	39.44	0.0	3567.76	56104.55	
44	28-dic-2024	3074.04	456.32	37.4	0.0	3567.76	53030.51	
45	28-ene-2025	3101.09	431.31	35.36	0.0	3567.76	49929.42	
46	28-feb-2025	3128.38	406.09	33.29	0.0	3567.76	46801.04	
47	28-mar-2025	3155.91	380.65	31.2	0.0	3567.76	43645.13	

Cuota	Fecha de pago	Capital	Interés	Seguro desg.	Seguro incendio/vehículo	Interés gracia	Valor cuota	Saldo
48	28-abr-2025	3183.68	354.98	29.1	0.0	3567.76	40461.45	
49	28-may-2025	3211.7	329.09	26.97	0.0	3567.76	37249.75	
50	28-jun-2025	3239.96	302.96	24.84	0.0	3567.76	34009.79	
51	28-jul-2025	3268.47	276.61	22.68	0.0	3567.76	30741.32	
52	28-ago-2025	3297.24	250.03	20.49	0.0	3567.76	27444.08	
53	28-sep-2025	3326.25	223.21	18.3	0.0	3567.76	24117.83	
54	28-oct-2025	3355.52	196.16	16.08	0.0	3567.76	20762.31	
55	28-nov-2025	3385.05	168.87	13.84	0.0	3567.76	17377.26	
56	28-dic-2025	3414.84	141.33	11.59	0.0	3567.76	13962.42	
57	28-ene-2026	3444.89	113.56	9.31	0.0	3567.76	10517.53	
58	28-feb-2026	3475.21	85.54	7.01	0.0	3567.76	7042.32	
59	28-mar-2026	3505.79	57.28	4.69	0.0	3567.76	3536.53	
60	28-abr-2026	3536.53	28.76	2.36	0.0	3567.65	0.0	

Pasos para obtener un crédito:

1. Acérquese a la agencia más cercana.
2. Recopile los requisitos solicitados y diríjalos al Oficial de Negocios.
3. Una vez analizada su información se le comunicará el resultado.

ANEXO L: TRITURADORA DE ASTILLAS





**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**



**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL
APRENDIZAJE**

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 18 / 11 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: DANNY BLADIMIR PARDO PARDO
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: MECÁNICA
Carrera: INDUSTRIAL
Título a optar: INGENIERO INDUSTRIAL
f. Analista de Biblioteca responsable: Lcdo. Holger Ramos, MSc.



2092-DBRA-UPT-2021