



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Estudios de Postgrado

Maestría en Energía y Ambiente

**GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE UNA PLANTA DE GASIFICACIÓN
DE BIOMASA, COMO UNA ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA LA ELECTRIFICACIÓN DE
ZONAS RURALES AISLADAS**

Ing. Eduardo Alejandro Motta Porras

Asesorado por el MSc. Ing. Hugo Yovany Sánchez Ochoa

Guatemala, mayo de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE UNA PLANTA DE GASIFICACIÓN
DE BIOMASA, COMO UNA ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA LA ELECTRIFICACIÓN DE
ZONAS RURALES AISLADAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ING. EDUARDO ALEJANDRO MOTTA PORRAS
ASESORADO POR EL MSC. ING. HUGO YOVANY SÁNCHEZ OCHOA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
MAESTRO EN ENERGÍA Y AMBIENTE

GUATEMALA, MAYO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE DEFENSA

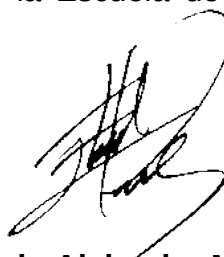
DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Edgar Dario Alvarez Cotí
EXAMINADOR	Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
EXAMINADOR	Ing. Cesar Ariel Villela Rodas
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE UNA PLANTA DE GASIFICACIÓN
DE BIOMASA, COMO UNA ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA LA ELECTRIFICACIÓN DE
ZONAS RURALES AISLADAS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 24 de septiembre 2016.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Eduardo Motta Porras', with a large, sweeping flourish at the end.

Ing. Eduardo Alejandro Motta Porras

LNG.DECANATO.OI.387.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE UNA PLANTA DE GASIFICACIÓN DE BIOMASA, COMO UNA ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA LA ELECTRIFICACIÓN DE ZONAS RURALES AISLADAS**, presentado por: **Eduardo Alejandro Motta Porras**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Energía y ambiente después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, mayo de 2022

AACE/gaoc



Guatemala, mayo de 2022

LNG.EEP.OI.387.2022

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

"GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE UNA PLANTA DE GASIFICACIÓN DE BIOMASA, COMO UNA ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA LA ELECTRIFICACIÓN DE ZONAS RURALES AISLADAS"

presentado por **Eduardo Alejandro Motta Porras** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Energía y ambiente**; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí

Director

**Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería**





Guatemala, 19 de noviembre 2021

Como coordinador de la **Maestría en Artes en Energía y Ambiente** doy el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado: **"GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE UNA PLANTA DE GASIFICACIÓN DE BIOMASA, COMO UNA ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA LA ELECTRIFICACIÓN DE ZONAS RURALES AISLADAS"** presentado por el Ingeniero Eduardo Alejandro Motta Porras quien se identifica con carné 201020844.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Mtro. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador de Maestría
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



Guatemala, octubre de 2021.

M.A. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí

Director

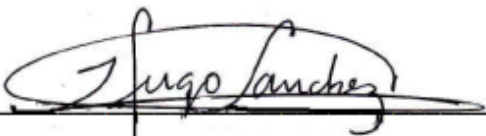
Escuela de Estudios de Postgrado

Presente

Estimado M.A. Ing. Álvarez Cotí

Por este medio informo a usted, que he revisado y aprobado el Trabajo de Graduación y el Artículo Científico: **"GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE UNA PLANTA DE GASIFICACIÓN DE BIOMASA, COMO UNA ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA LA ELECTRIFICACIÓN DE ZONAS RURALES AISLADAS"** del estudiante **Eduardo Alejandro Motta Porras** del programa de Maestría en **Energía y Ambiente**, identificado con número de carné: **201020844**.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.



MSc. Ing. Hugo Yovany Sánchez Ochoa
Colegiado No. 5515
Asesor de Tesis

Hugo Yovany Sánchez Ochoa
Ingeniero Electricista
Colegiado 5515
Msc. Formulación y Evaluación de Proyectos

ACTO QUE DEDICO A:

Mi madre

María Elizabeth Porras Carrera, por todo lo que me ha dado, que es todo lo que tengo y lo que soy. Por enseñarme a luchar por lo que se ama y amar a los que me acompañan en el camino, siendo ella un ejemplo de vida.

Mi hermana

Marcia Palacios Porras, porque sin ella no sería el humano que soy hoy en día. Por enseñarme a amar, a ser gentil, paciente y detallista.

Mi padrino

Marcio Palacios, por su apoyo, consejos y enseñanzas que me han ayudado a crecer no solo como profesional, pero como persona.

Mi abuela

Flora de Porras Carrera, por su apoyo, cariño, y sus enseñanzas de humildad y trabajo que llevaré siempre conmigo.

Mi novia

Andrea Ruano, por su invaluable apoyo en todo el proceso de crecimiento como humano, por el cariño y por darme una mano en esas largas noche de trabajo.

Mi madrina

Por ser una importante influencia en mi vida, por enseñarme a ser independiente y trabajador día a día.

AGRADECIMIENTOS A:

**La Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por abrirme las puertas como a muchos guatemaltecos a la educación superior y por la exigencia que ha culminado en formarme como un profesional autodidacta.

Mi madre

Por apoyarme en todo momento, por confiar en mí y por darme las herramientas para alcanzar mis metas.

Mi hermana

Por ser la razón que me lleva a sonreír todos los días y me impulsa a salir adelante.

Mis amigos

Por los buenos tiempos, por ser una importante influencia en mi vida y apoyarme en todo momento durante mi desarrollo académico.

Maestros

A mis maestros de vida y profesionales con los que he tenido el privilegio de convivir, por sus enseñanzas y por despertar en mí el deseo de aprender cada día más.

Asesores

A los ingenieros Hugo Sánchez y Víctor De León su invaluable apoyo como asesor y coasesor, en dar forma y mejorar el estudio.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XV
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XVII
OBJETIVOS.....	XXI
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO	XXIII
INTRODUCCIÓN	XXVII
1. MARCO REFERENCIAL	1
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Electrificación de Zonas Rurales Aisladas.....	7
2.1.1. Poca densidad de carga	7
2.1.2. Costos por conexión	7
2.1.3. Matriz Energética.....	8
2.1.3.1. Consumo de leña.....	8
2.1.3.2. Derivados de petróleo.....	9
2.1.3.3. Energía eléctrica.....	9
2.1.4. Caracterización de demanda energética	12
2.1.4.1. Demanda de Energía para usos sociales.....	13
2.1.4.2. Demanda de Energía para usos domésticos.....	16
2.1.5. Alternativas para la electrificación de ZRA	16
2.2. Gasificación de biomasa para generación de electricidad.....	17
2.2.1. Gasificación de biomasa.....	17
2.2.1.1. Proceso de gasificación.....	19

	2.2.1.2.	Parámetros de operación	20
2.2.2.		Sistema de generación de energía eléctrica	22
	2.2.2.1.	Generador Eléctrico	22
	2.2.2.2.	Subestación eléctrica	25
2.2.3.		Biomasa	26
	2.2.3.1.	Dendroenergía	28
	2.2.3.2.	Fuentes de biomasa.....	30
	2.2.3.3.	Plantaciones energéticas	31
2.2.4.		Biotecnología.....	31
	2.2.4.1.	Características de biomasa de eucalipto	32
	2.2.4.2.	Energía generada de las plantaciones energéticas.....	33
2.3.		Sostenibilidad.....	34
2.3.1.		Estudio económico	35
	2.3.1.1.	Valor Neto Actual (VAN).....	35
	2.3.1.2.	Tasa interna de retorno (TIR)	35
	2.3.1.3.	Relación beneficio/costo (B/C)	36
2.3.2.		Estudio de impacto ambiental	36
	2.3.2.1.	Huella Ecológica.....	36
	2.3.2.2.	Huella de carbono	37
	2.3.2.3.	Impacto por la producción de plantaciones energéticas.....	37
2.3.3.		Evaluación Social	38
	2.3.3.1.	Costos sociales	38
	2.3.3.2.	Indicadores de rentabilidad social	39
	2.3.3.3.	Análisis de sensibilidad	39
	2.3.3.4.	Beneficios comunitarios.....	40
	2.3.3.5.	Análisis de sostenibilidad	41

3.	PRESENTACION DE RESULTADOS	47
3.1.	Demanda energética de la comunidad	47
3.1.1.	Cálculo de la demanda de usos domésticos	48
3.1.2.	Cálculo de la demanda de usos sociales.....	49
3.1.3.	Demanda energética total de la comunidad	51
3.1.4.	Factores de corrección	52
3.1.4.1.	Factor de perdida y crecimiento de demanda.....	52
3.1.4.2.	Eficiencia de la planta de gasificación	53
3.1.5.	Demanda y potencia de diseño	54
3.2.	Potencial energético de la biomasa agroforestal	55
3.2.1.	Potencial energético de un bosque energético de <i>eucalyptus camaldulensis</i>	57
3.2.2.	Residuos de biomasa forestal.....	59
3.2.3.	Potencial energético de los residuos agrícolas.....	61
3.2.3.1.	Rendimiento de la producción agrícola.....	61
3.2.3.2.	Caracterización de los subproductos del café	62
3.2.3.3.	Potencial energético de los residuos del café	65
3.2.3.4.	Potencial energético de los residuos del maíz	67
3.2.4.	Cobertura de la demanda energética con residuos agrícolas.....	68
3.2.4.1.	Cobertura de los residuos del maíz	68
3.2.4.2.	Cobertura de los residuos del café	68
3.2.5.	Diésel como alternativa energética.....	70

3.3.	Estudio de factibilidad	70
3.3.1.	Estudio técnico	70
3.3.1.1.	Planta de gasificación	71
3.3.1.2.	Descripción de la planta	73
3.3.1.3.	Selección del motor-generator	76
3.3.1.4.	Viabilidad técnica	77
3.3.1.5.	Plan de mantenimiento.....	78
3.3.1.6.	Resultados del estudio técnico.....	79
3.3.2.	Viabilidad económica	80
3.3.2.1.	Presupuesto de ejecución	80
3.3.2.2.	Valor Neto Actual (VAN).....	82
3.3.2.3.	Relación Beneficio / Costo	84
3.3.2.4.	Tiempo de recuperación de la inversión	84
3.3.2.5.	Resultados de la evaluación financiera.....	87
3.4.	Viabilidad ambiental	87
3.4.1.	Huella de carbono	87
3.4.1.1.	Emisiones de CO ₂ a la atmósfera.....	88
3.4.1.2.	Reducción de emisión de metano	90
3.4.1.3.	Huella de carbono global.....	92
3.4.2.	Residuos de la gasificación	93
3.4.2.1.	Producción de cenizas y alquitranes	93
3.4.3.	Beneficios ambientales.....	95
3.5.	Evaluación como alternativa sostenible	96
3.5.1.	Análisis de sostenibilidad	96
3.5.2.	Comparación de alternativas.....	97
3.5.3.	Evaluación Social	99
3.5.3.1.	Indicadores de rentabilidad social	100

3.5.3.2.	B	Beneficios comunitarios	100
4.		DISCUSIÓN DE RESULTADOS	101
		CONCLUSIONES	109
		REOMENDACIONES	111
		REFERENCIAS	113
		APÉNDICES	121
		ANEXOS	129

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Fuentes de suministro de combustible de madera	29
2.	Capacidad calorífica de los principales subproductos del café	65
3.	Esquema de los componentes de la planta de gasificación.....	75
4.	Fotografía de los componentes de la planta de gasificación	75
5.	Motor FG Wilson P33-3	76
6.	Sistema de admisión del MCI	77
7.	Ingresos, gastos y tiempo de recuperación de la inversión	86
8.	Emisiones de CO ₂ originadas por la producción de electricidad en Guatemala (% del total de la quema de combustible)	89
9.	Emisiones de metano procedentes de la actividad agrícola	91

TABLAS

I.	Pay back, VAN y TIR de la planta en Allariz, España.....	3
II.	Potencial de generación eléctrica con fuentes renovables	11
III.	Demanda de energía para telesecundaria.....	14
IV.	Demanda de energía para centro de salud	14
V.	Demanda de energía para puesto de salud.....	15
VI.	Demanda de energía para telefonía celular.....	15
VII.	Demanda de energía domiciliar	16
VIII.	Cargas Principales.....	48
IX.	Detalle de cálculo de demanda de un hogar	49
X.	Detalle de cálculo de demanda de la escuela	50
XI.	Detalle de cálculo de demanda del Centro de Salud	50
XII.	Detalle de cálculo de demanda del salón de usos múltiples.....	51
XIII.	Detalle de cálculo de demanda para el alumbrado público	51
XIV.	Demanda Energética de la comunidad La Nueva Bendición	52
XV.	Factor de perdida y de crecimiento.....	53
XVI.	Cálculo de la potencia de diseño	53
XVII.	Potencia y demanda energética de diseño	55
XVIII.	Manejo del bosque	55
XIX.	Extensión por cultivo en La Nueva Bendición.....	56
XX.	Crecimiento de E. camaldulensis en diferentes plantaciones.....	57
XXI.	Cálculo del requerimiento de biomasa.....	58
XXII.	Especies predominantes del bosque	59
XXIII.	Potencial energético de la biomasa forestal	61
XXIV.	Rendimiento por cultivo	62
XXV.	Producción anual de café	66
XXVI.	Energía suministrada por residuos de café	66

XXVII.	Producción anual de maíz.....	67
XXVIII.	Energía suministrada por residuos de maíz.....	67
XXIX.	Especificaciones técnicas del gasificador Ankur Scientific, Modelo UFBGPP 50	72
XXX.	Plan de mantenimiento de la planta de gasificación	78
XXXI.	Datos técnicos del motor-generator FG Wilson P33-3.....	79
XXXII.	Especificaciones técnicas del gasificador Ankur Scientific, Modelo UFBGPP 50	80
XXXIII.	Costes de instalación de la planta de gasificación	81
XXXIV.	Ajuste tarifario para trimestre agosto a octubre 2017.....	82
XXXV.	Resumen del flujo de efectivo en la duración del proyecto	83
XXXVI.	Valor Actual Neto	84
XXXVII.	Indicadores económicos	84
XXXVIII.	Análisis económico de la generación de energía eléctrica.....	85
XXXIX.	Ahorro de emisiones de CO2 por la generación de energía	90
XL.	Emisión de metano a atmosfera evitada por implementación de una planta de gasificación.....	92
XLI.	Generación de alquitranes y cenizas en las plantas de lecho fluido	94
XLII.	Requerimientos para recursos energéticos en electrificación rural (1/2).....	98
XLIII.	Requerimientos para recursos energéticos en electrificación rural (2/2).....	99

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
H ₂ O	Agua
A	Amperio
Ah	Amperio-hora
H ₂	Dihidrógeno
CO ₂	Dióxido de carbono
€	Euro
GWh/año	Gigavatio-hora por año
°C/s	Grados Celsius por segundo
Ha	Hectárea
Hz	Hertz
h	Hora
kcal/kg	Kilocalorías por kilogramo
kg	Kilogramo
kJ/kg	Kilojulio por kilogramo
km	Kilometro
kPa	Kilopascal
kW	Kilovatio
kWh	Kilovatio-hora
MW	Megavatio
MJ/kg	Megajulio por kilogramo
CH ₄	Metano
m	Metro
m ³	Metro cúbico

msnm	Metros sobre el nivel del mar
mm	Milímetro
CO	Monóxido de carbono
N₂	Nitrógeno (gaseoso)
Nm³	Normal metro cúbico
p.u.	Por unidad
q	Quintal métrico
Q	Quetzales
Σ	Sumatoria
Tm/Ha	Tonelada métrica por hectárea
Tm/año	Tonelada por año
W	Vatio
Wh	Vatio-hora
V	Voltio

GLOSARIO

Bosques energéticos	Plantaciones forestales de corta duración, con alta densidad de árboles por hectárea, con el objetivo de producir biomasa para la conversión energética, ya sea térmica, eléctrica o de otro tipo.
Búnker	Combustible fósil también conocido como fuelóleo. Es una fracción del petróleo que se obtiene como residuo en la destilación fraccionada.
Chip de madera	Pequeños trozos de madera elaborados a partir de biomasa forestal que se utilizan para fabricar celulosa y para fines energéticos por su alto poder calorífico.
Dendroenergía	Energía obtenida a partir de biocombustibles sólidos, líquidos y gaseosos primarios y secundarios derivados de los bosques, árboles y otra vegetación de terrenos forestales.
Diésel	Es una fracción destilada del petróleo crudo, que se purifica especialmente para eliminar el azufre. Se usa normalmente en los motores diésel y como combustible en varios usos.
Gasificación	Proceso termoquímico en el que un sustrato carbonoso es transformado en un gas combustible

mediante una serie de reacciones que ocurren a una temperatura determinada en presencia de un agente gasificante.

Huella de carbono

Es una medida cuantificable de la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) liberadas a la atmósfera por actividades humanas.

Pay Back

Periodo medio de maduración, se trata de una técnica administrativa utilizada para hacerse una idea aproximada del tiempo que tardaran en recuperar el desembolso inicial invertido en el proceso productivo.

Sostenibilidad

Satisfacción de las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer las suyas, garantizando el equilibrio entre crecimiento económico, cuidado del medio ambiente y bienestar social.

Syngas

Combustible gaseoso (gas de síntesis) obtenido a partir de sustancias ricas en carbono sometidas a un proceso químico a alta temperatura. Puede ser utilizado para generar calor o en un motor de combustión interna.

**Zonas Rurales
Aisladas (ZRA)**

Zonas rurales de habitabilidad condicionada por factores geográficos, sociales y ausentes de infraestructura de conexión al sistema de distribución de energía eléctrica.

RESUMEN

El propósito del estudio es identificar una alternativa sostenible para la electrificación de las zonas rurales aisladas.

El objetivo general del estudio es determinar si la generación de energía eléctrica a partir de una planta de gasificación de biomasa es una alternativa sostenible para la electrificación de zonas rurales aisladas.

El problema principal radica en la falta de suministro del servicio de energía eléctrica en las zonas rurales aisladas, esto se da por la larga distancia a la que se encuentran del punto de conexión más cercano y falta de inversión en sistemas aislados de generación de energía eléctrica.

La metodología enmarca al estudio en un enfoque mixto; el alcance es descriptivo, documentado el proceso de análisis de la información. El diseño adoptado es no experimental, debido a que no se realizaron pruebas de laboratorio ni experimentos.

En el presente estudio se realizó el cálculo de una potencia de 30 kW y una demanda de 53 960 kWh/año para cubrir la demanda energética de la comunidad. El cálculo del potencial energético de los residuos agroforestales determinó que pueden cubrir el 100 % de la demanda de la planta, sin embargo, el suministro de la biomasa es inconsistente y estacional por lo que se requiere de un bosque energético para que asegure el suministro de biomasa durante el año y el proyecto sea sostenible.

La principal conclusión indica que la planta de gasificación es viable técnica, social, económica y ambientalmente, siendo esta una alternativa sostenible para la electrificación de ZRA. El proyecto presenta sostenibilidad ambiental, contando con huella de carbono positiva, presentando ahorro de emisión de CO₂ de 8.18 Tm/año y evitando introducir 3.66 Tm/año de metano.

Se sugiere optar por la venta de bonos de carbono y se aconseja la producción de fertilizante en base a las cenizas que se obtienen como residuo del proceso de gasificación para fortalecer la estrategia de sustentabilidad del proyecto. Para complementar, se recomienda desarrollar un Modelo de Gestión Comunitario, en el cual se describirá el papel que tienen los habitantes de la comunidad para que el proyecto pueda ser llevado a cabo.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

- Descripción del problema

El problema radica en el acceso al servicio de energía eléctrica para las zonas rurales aisladas (ZRA), el cual tiene como causas la falta de inclusión en las decisiones políticas que influyen sobre la comunidad, el desaprovechamiento de los sistemas cercanos a las zonas y por el uso generalizado de fuentes de energía ineficientes como lo son las velas y la leña. Estas causas resultan de prácticas culturales, sin embargo, la causa principal por la que las comunidades no tienen energía eléctrica porque no hay inversión en infraestructura para generar energía eléctrica en estas zonas.

La Ley General de Electricidad obliga a la distribuidora a conectar a cualquier persona que se encuentre a 200 metros del último punto de línea, para 201 metros o más recae en el cliente pagar la extensión de línea. La Nueva Bendición se encuentra a varios kilómetros del último punto de conexión lo que implica que los costos de extensión de línea la tendrían que pagar la misma comunidad u obtener los fondos de algún otro lado.

La alternativa a estar conectado al Sistema Nacional Interconectado es contar con una generación aislada en una micro red autónoma, la cual cuente con un sistema de generación de energía eléctrica que soporte la demanda energética de las comunidades aisladas, esta demanda puede ser cubierta por medio de generación con fuentes renovables (hidráulica, solar, eólica, biomasa, geotérmica) o no renovables (hidrocarburos), o incluso una combinación de tecnologías de generación.

El desconocimiento de formas alternativas de generación de energía eléctrica, aunado al desinterés que se tiene por parte de la población de las fuentes renovables, la cual en su mayoría son las hidroeléctricas; esto se da por la conflictividad que se ha tenido por varios años con los proyectos de las hidroeléctricas que manifiestan malas prácticas que afectan o pueden afectar a las comunidades, tales como desviación de ríos, lo cual afecta directamente el desarrollo de la vida en las comunidades.

Es importante considerar que existen comunidades que se oponen a las hidroeléctricas y que no se ha cuidado por parte de las empresas el proceso que conlleva los recursos naturales de las comunidades, como medios de vida y que, como se mencionó, puede alterar su cotidianidad.

El sistema político y la desigualdad en el país, agrupadas por las causas previamente mencionadas generan y permiten el alto nivel de pobreza que se vive en las comunidades aisladas, generando un sinnúmero de problemas incluyendo el uso generalizado de fuentes de energía ineficientes y poco salubres como lo son las velas y la leña. El efecto general de la falta acceso al servicio de electricidad es un retraso económico, social y productivo en las zonas rurales aisladas.

- Delimitación del problema

La investigación se enfocará en desarrollar la planificación del desarrollo de una planta de gasificación de biomasa para la generación de energía eléctrica, de manera que se tome en cuenta el aprovechamiento de zonas deforestadas y los residuos agroforestales.

El proyecto de investigación se desarrollará en la comunidad ECA La Bendición, ubicada en el municipio de Guanagazapa, del departamento de Escuintla. La comunidad se encuentra aproximadamente a 700 msnm a 106 km de la Ciudad de Guatemala y a 49 km de la cabecera del departamento, Escuintla. Para llegar a la comunidad hay que utilizar una carretera de terracería de 12 km que se desvía de la Ruta Departamental Escuintla 14. (Fuentes, 2012).

- Formulación del problema

Pregunta central

¿Es la generación de energía eléctrica a partir de una planta de gasificación de biomasa una alternativa sostenible para la electrificación de zonas rurales aisladas?

Preguntas Auxiliares

- ¿Cuánta es la demanda energética de la comunidad, La Nueva Bendición?
- ¿Qué potencial tiene la biomasa proveniente de un bosque energético y residuos agrícolas para cubrir la demanda energética de la comunidad, La Nueva Bendición?
- ¿Es factibilidad una planta de gasificación de biomasa para la generación de energía eléctrica en la comunidad, La Nueva Bendición?

- ¿Qué beneficios ambientales tiene el implementar una planta de gasificación de biomasa para la generación de energía eléctrica?

OBJETIVOS

General

Determinar la generación de energía eléctrica a partir de una planta de gasificación de biomasa es una alternativa sostenible para la electrificación de zonas rurales aisladas.

Específicos

- Calcular la demanda energética de la comunidad, La Nueva Bendición.
- Analizar el potencial que tiene la biomasa proveniente de un bosque energético y los residuos agroforestales para cubrir la demanda de la comunidad, La Nueva Bendición.
- Evaluar la factibilidad de una planta de gasificación de biomasa para la generación de energía eléctrica en la comunidad, La Nueva Bendición.
- Establecer los beneficios ambientales que tiene la implementación de una planta de gasificación de biomasa para la generación de energía eléctrica.

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

- Características del estudio

El estudio realizado tiene un enfoque mixto por que cuenta con variables cuantitativas y cualitativas. Enfoque cuantitativo debido a que se analizó datos numéricos de la demanda energética de la comunidad en base a la población existente, caracterización del potencial calorífico de la biomasa para cubrir tal demanda, diseñando una planta de gasificación de biomasa con sus complementos determinando los impactos ambientales para la implementación de la planta y sus indicadores económicos para identificar su viabilidad. Enfoque cualitativo por que se realizó observaciones en base a las condiciones demográficas de la comunidad para la puesta en marcha del proyecto.

El alcance es descriptivo, se dejó documentado el proceso de análisis de la información, incluyendo los cálculos de las demandas, los requerimientos de la planta de generación y de los recursos de biomasa para cubrir esta demanda energética, así como sus impactos ambientales y económicos.

El diseño adoptado es no experimental, debido a que no se realizó pruebas de laboratorio ni experimentos. La información de la población de la comunidad, así como del uso de tierra fue extraído de un estudio de sistematización de experiencias en la gestión y defensa de las tierras comunales en su estado original, desarrollado en el 2012.

- Unidad de análisis

La población en estudio fueron las 52 familias que forman parte de la ECA, La Nueva Bendición, formando estos una población de 500 personas, aproximadamente. La muestra que se tomó fue el total de la población, debido a que se tomaron en cuenta todas las familias que viven en la comunidad para el dimensionamiento de la carga a cubrir, así como una estimación del crecimiento de la demanda.

- Fases de estudio

La investigación se organiza en cuatro fases en las que se desarrollaron todos los elementos necesarios para poder determinar la factibilidad, de poner en marcha esta planta de gasificación. Para poder desarrollar el proyecto de prefactibilidad fue necesario indagar en los antecedentes de la comunidad, La Nueva Bendición, tomando en cuenta su contexto histórico, geográfico, económico, infraestructural y ambiental. Se tomó en cuenta, en la investigación, los antecedentes de la electrificación rural en Guatemala, ya sea conectado a la red o desde un sistema aislado.

La primera fase del estudio gira entorno a determinar los requerimientos técnicos para el diseño de la planta de gasificación de biomasa. Esto implica que se determinó la demanda energética necesaria para cubrir las necesidades de la comunidad, en función de las viviendas. De igual manera, se realizó la caracterización de la biomasa, tanto forestal, como la de los residuos agrícolas, conociendo su poder calorífico para poder determinar cuánta energía se puede generar por unidad de masa. En esta parte se diseñó un bosque energético para cubrir la demanda energética de la comunidad.

La segunda fase del proyecto es la parte medular, ya que contempla el estudio técnico, en el que se realizó las tareas más complejas, como; el diseño de la planta de gasificación de biomasa y la generación de la energía eléctrica.

Para la tercera fase del proyecto, se determinó los beneficios ambientales, tanto por la generación de energía eléctrica como por las atribuciones del uso alternativo de los residuos agroforestales. Para esto se evaluó qué impacto se tiene por el uso más eficiente de los residuos agrícolas que se tienen de las plantaciones en la comunidad (maíz y café). El impacto que tiene la planta está directamente relacionado a la gestión del gas sintético y a los residuos que produce la gasificación. Para dar una idea general de los beneficios ambientales que se tienen de todo el proyecto, se desarrolló el cálculo de la huella ecológica y la huella de carbono.

La cuarta fase del proyecto consiste en el estudio económico y financiero del mismo. Esto implica que se calculó en base a información documental el costo total que tiene llevar a cabo el proyecto. Para esto se realiza un presupuesto de ejecución, la relación beneficio/costo del proyecto, calculando índices importantes, como son la tasa interna de retorno (TIR) y el valor actual neto (VAN).

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación se plantea como un plan piloto, buscando comprobar su factibilidad técnica, económica, ambiental y social, por lo cual es una sistematización del proceso para determinar su consideración como alternativa sostenible a la electrificación rural, deforestación y al retraso socioeconómico de las comunidades aisladas.

El problema de investigación radica en la falta de suministro del servicio de energía eléctrica en las zonas rurales aisladas, esto se da por la distancia considerable entre las comunidades y las líneas de distribución de media tensión más cercanas, de esta cuenta, algunas de estas comunidades no han sido incluidas dentro de los programas de electrificación rural o en proyectos de sistemas de electrificación aislados. El efecto principal por la falta acceso al servicio de energía eléctrica es un retraso socioeconómico y productivo en las zonas rurales aisladas, condenando a las comunidades al subdesarrollo.

Contar con un estudio que cumpla con las características antes mencionadas es importante para encontrar formas de suministrar el servicio de energía eléctrica, de una manera sostenible y renovable, para mejorar su calidad de vida y, en sí, impulsar el desarrollo general de las comunidades; además, los resultados brindan elementos para la toma de decisiones en el sector gubernamental, privado o académico, debido a que se contribuye con una alternativa más para los proyectos de electrificación rural.

La investigación aplica una metodología con enfoque mixto, incluye variables cuantitativas y cualitativas; el alcance es descriptivo, documentado el proceso de análisis de la información, incluyendo los cálculos de las demandas,

los requerimientos de la planta de generación y de los recursos de biomasa para cubrir esta demanda energética, así como sus impactos ambientales y económicos. El diseño adoptado es no experimental, debido a que no se realizó pruebas de laboratorio ni experimentos. La unidad de análisis lo conforman las 52 familias que forman parte de la ECA, La Nueva Bendición, siendo una población de 500 personas, aproximadamente.

El principal aporte y beneficio de la presente investigación es la determinación de una alternativa sostenible para la electrificación de zonas rurales aisladas, con características distintas a las comúnmente implementadas, con mayor vida útil y con involucración directa de la comunidad para su operación, así como, un aprovechamiento de los recursos de biomasa encontrados en la misma comunidad.

Para solventar la problemática, se plantea un proyecto de investigación que funcione como plan piloto para la electrificación de zonas rurales aisladas, a través de una planta de gasificación de biomasa. Esto implicó el cálculo de la demanda eléctrica necesaria para cubrir los requerimientos energéticos de la comunidad. Consecuentemente, se realizó la caracterización de la biomasa agroforestal, con el fin de conocer el poder calorífico y determinar cuánta energía se puede generar por unidad de masa; con esta información, se procede con el diseño de la planta de gasificación.

Posteriormente, se realizó un estudio de los impactos ambientales, tanto por la generación de energía eléctrica como por el uso de la biomasa agroforestal, se desarrolló el cálculo de la huella ecológica y la huella de carbono. Para concluir, se procede con el estudio económico y financiero del mismo, para esto se realiza un presupuesto de ejecución, la relación beneficio/costo del proyecto, la tasa interna de retorno (TIR) y el valor actual neto (VAN).

El desarrollo y la conclusión del estudio fue factible porque se contó con la información de la población y del uso de tierra de la comunidad, así como con las herramientas y los recursos necesarios para llevar a cabo la presente investigación.

La investigación se organiza en cuatro capítulos en las que se desarrollaron todos los elementos necesarios para poder determinar la factibilidad de poner en marcha esta planta de gasificación como una alternativa sostenible para la electrificación rural.

El primer capítulo indaga en el marco referencial para delimitar y describir los pasos a seguir, incluyendo los múltiples estudios realizados a temas similares a nivel académico y científico.

El segundo capítulo incluye la información documental que forma el marco teórico requerida para el estudio y los fundamentos teóricos para llevar a cabo la investigación.

El tercer capítulo presenta los resultados obtenidos por medio de las diversas fases de la investigación, esto incluye, los cálculos de demanda energética y los recursos de biomasa agroforestales para suplir tal demanda; una evaluación ambiental, económica y social; un análisis comparativo con otras alternativas y un análisis de sostenibilidad.

El cuarto capítulo es una discusión de los resultados que expone de manera crítica la interpretación de estos, se realizó un análisis interno y externo de la investigación. Se complementa el estudio con conclusiones, recomendaciones y la bibliografía utilizada.

1. MARCO REFERENCIAL

Respecto a la Comunidad La Bendición: En el año 1997 se organiza un grupo de campesinos de diferentes lugares cercanos al Municipio de Nuevo Progreso San Marcos, estos refugiados en México por el conflicto armado interno, retornaban a Guatemala. Debido a que no contaban con empleo, los refugiados decidieron gestionar un proyecto, a través del Fondo de Tierras (FONTIERRAS) para poder reubicarse en el país.

Estos, ya ubicados en la finca, por falta de recursos, realizaron una alianza con otro grupo de Todo Santos Cuchumatanes, los cuales luchaban por la misma causa. Tiempo después, en una asamblea en Quetzaltenango, se logran unificar estos dos grupos. (Fuentes, 2012)

El 7 de junio del 2001 se logra la negociación de la finca Obscuros Guatalones, actualmente La Nueva Bendición. Se forma la Empresa Campesina Asociativa, La Bendición que contaría con un total de 177 beneficiados, en una extensión de 12,5 caballerías de tierra. Actualmente, debido a deserciones, por condiciones adversas en el terreno, únicamente quedan 52 socios. (Fuentes, 2012)

Las Empresas Campesinas Asociativas –ECA- son aquellas formadas por grupos de campesinos que se benefician de un proceso de transformación agrario, constituidos en una colectividad, bajo una gestión común, para explotar directa y personalmente la tierra, en forma eficiente y racional, aportando su trabajo, servicios u otros bienes con el fin de mejorar los sistemas de producción en el campo y satisfacer sus propias necesidades. (Fuentes, 2012)

La ECA, se caracteriza por su naturaleza de propiedad social, la que se entiende como copropiedad indivisible entre sus miembros de la tierra y de todos los bienes que forman el patrimonio de la empresa. Las personas que tienen derechos sobre la tierra y los recursos naturales son los 52 socios que forman parte de la ECA, formando estos una población de 500 personas, aproximadamente. (Fuentes, 2012)

Se han llevado a cabo varios proyectos en Europa, Asia y Latinoamérica de generación de energía eléctrica a partir de biomasa forestal, con diferentes enfoques o formas de adquisición de la biomasa forestal; entre las que se puede mencionar, la planta termoeléctrica ubicada en el Parque Empresarial de Chorente situado en el municipio de Allariz, España. Esta planta propone la construcción de una central que tiene como fin el aprovechamiento de la biomasa obtenida en las labores de poda forestal para ser transformada en energía eléctrica, siendo el combustible principal los subproductos forestales proveniente de la limpieza de montes. La energía generada será vendida a la red eléctrica y también aportará la energía necesaria para el autoconsumo de la planta. Como resultado se tiene un ahorro energético y, consecuentemente, un abaratamiento del proceso productivo. (Alonso, 2014, p. 3)

Alonso (2014) desarrolla en su tesis Viabilidad de una Planta de Biomasa Forestal para la Producción de Energía Eléctrica, 2014, que este proceso tiene una “alta viabilidad económica resultante de la construcción de la central termoeléctrica estudiada”. Se remarca que, “en un escenario con condiciones un tanto optimistas, el proyecto resulta totalmente fiable” (p. 93).

Argumentándose que se tiene un Valor Actual Neto (VAN) positivo y un periodo de retorno de la inversión muy alto, resultado en amplias ganancias, las que son destinadas al crecimiento del negocio y una ampliación de mercados en los cuales invertir. De esta experiencia será interesante realizar una comparación con el presente estudio y validar las diferencias entre el uso de la biomasa en una planta termoeléctrica y una de gasificación como es el caso de la presente investigación.

Tabla I. ***Pay back, VAN y TIR de la planta en Allariz, España***

PAY-BACK	VAN	TIR
2.1 años	14 021 827	46.26 %

Fuente: Alonso (2014, p. 93). *Viabilidad de una Planta de Biomasa Forestal para la Producción de Energía Eléctrica*

Según la tesis de Juan Sebastián de León (2010) la industria azucarera ha sido pionera en producir energía eléctrica en Guatemala por medio de madera desfibrada de eucalipto, y han sido los líderes en proponer alternativas en la producción de energía a bajo costo, sustituyendo a otros combustibles con altos precios en el mercado.

De León (2010) argumentan que a partir del cultivo de eucalipto se crearon bosques energéticos, con el fin de suministrar madera a la industria azucarera para la producción de energía constante y ser un pulmón de oxígeno para Guatemala. Este proyecto se planteaba bajo un porcentaje de puestos operativos en época de no zafra, manteniendo la mano de obra calificada y favoreciendo a la industria azucarera en invertir menos en capacitación para el aprendizaje de operación de las máquinas.

El valor esperado del valor presente neto del proyecto en período de 5 años y la tasa de retorno requerida, indica en el resultado del análisis económico que el proyecto es rentable para la industria azucarera. El área de energía, juntamente con el área de campo, mantienen una logística para mantener operando la caldera, demostrando que el proyecto abarca una buena comunicación entre el área de campo y la fábrica, cumpliendo con todas las metas propuestas para mantener una operación eficaz y continua de energía eléctrica. (De León, 2010, p. 87)

En el desarrollo de la tesis de Juan Sebastián de León (2010) se realizó una comparación entre el uso de biomasa forestal y *búnker* como combustible para una planta de generación, y se visualiza que el costo con *búnker* es mayor que el costo con *chip* de madera, el cual es una alternativa para reducir costos y tener mayores ganancias. Al no ser el caso directamente comparativo como es el de la tesis con diésel, este referente de comparación es muy importante al ser el *búnker* el de mayor uso para la generación de energía eléctrica a fuentes no renovables en Guatemala. Los resultados de esta investigación nos serán de utilidad para analizar el impacto de los bosques energéticos en el territorio guatemalteco.

Para el tema de la caracterización de la demanda de energía en Zonas Rurales Aisladas en Guatemala, La Universidad Rafael Landívar y Fundación Solar (2008) realizaron un informe en conjunto con la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo correspondiente a este tema. En este estudio se determinan el número de centros poblados que no está prevista su conexión al Sistema Nacional en los próximos 10 años y se presentan datos cuantitativos de estimación de demanda para las ZRA. Este estudio será de utilidad como referencia para el cálculo de la demanda energética para la comunidad La Nueva Bendición.

Con el fin de conocer casos de implementación de proyectos de gasificación de biomasa, Bueno (2006) presentó un estudio de alternativas para la electrificación rural en la zona de selva del Perú, el cual plantea la problemática de falta de acceso a energía en este país. Como solución a esta situación se plantean varias alternativas para dotar de servicios energéticos a estas comunidades.

De entre todas ellas, la más adecuada teniendo en cuenta aspectos económicos, medioambientales, culturales y de independencia en el suministro energético, así como de que se trata de una zona rural aislada y alejada de la red eléctrica, ha sido la gasificación con biomasa. El presente informe será de gran utilidad para indagar en la experiencia de implementación de un caso muy similar a nuestro trabajo de investigación en otro país con condiciones muy similares al nuestro en Latinoamérica.

Con el fin de indagar sobre las mejores opciones de tecnologías de gasificación, se consulta el estudio comparativo presentado por Vargas (2012), en el cual se realiza una comparación experimental entre las tecnologías de gasificación *downdraft* y lecho fluido burbujeante para la generación de energía eléctrica en aplicaciones de baja potencia, con resultados guiados por la viabilidad técnica, económica y medioambiental entre ambas tecnologías. El presente informe será de gran aporte para realizar una indagación entre la tecnología más apta para nuestra necesidad en base a nuestros requerimientos de demanda energética.

En búsqueda de estudios de caso, la publicación de la Dirección General de Energía de la Comisión Europea (1995) presenta descripciones del uso de la biomasa con fines energéticos en combustión y gasificación, así como las diferentes tecnologías y estudios de caso aplicados en diferentes países de la

Unión Europea. De estas experiencias será interesante evaluar los casos de aplicación ejercidos en otros países en diferentes circunstancias.

Con el fin de realizar un estudio íntegro destinado a la electrificación rural, se referenciará la guía la identificación, formulación y evaluación social de proyectos de electrificación rural de La Dirección General de Política de Inversiones del Ministerio de Economía y Finanzas de Perú (2011) la cual tiene el propósito de presentar, en forma simplificada, los contenidos que deben tenerse en cuenta durante la elaboración de un estudio de preinversión, a nivel de perfil, para un Proyecto de Inversión Pública (PIP) de electrificación rural para Perú. La presente guía contiene métodos de identificación, formulación y evaluación acordes a la presente investigación para comparar y validar los pasos para una correcta implementación del proyecto a presentar.

2. MARCO TEÓRICO

El marco teórico que se presentado a continuación permitirá conocer los conceptos básicos necesarios para la comprensión y desarrollo del presente estudio, así como la interpretación de los resultados.

2.1. Electrificación de Zonas Rurales Aisladas

La electrificación de las zonas rurales aisladas en Guatemala tiene las siguientes características:

2.1.1. Poca densidad de carga

El número de compuestos de kilómetro de línea media tensión es baja, ya que la electrificación en áreas rurales se da en grandes extensiones en territorios con hábitat variado.

La magnitud de la carga por cada conexión y el factor de carga de cada consumidor suelen ser pequeños en comparación a los de áreas urbanas. Esto se da debido a que el consumo energético es bajo ya que los ingresos medios de una familia en las zonas rurales aisladas son por lo general más bajos que la media, adicional a la influencia en la carga por el estilo de vida. (Guerra, 2000, p. 1)

2.1.2. Costos por conexión

Los costos de la conexión son ascendentes en relación con el aumento de los puntos por conectar.

Los costos de mantenimiento y operación son más altos por la razón previamente descrita. Los costos de instalación, la densidad de carga, y la normativa correspondiente al mantenimiento, se traducen en largos períodos de retorno de la inversión, poco rentable para las compañías de distribución. Esta condición genera falta de interés para las compañías eléctricas, ya que, por razones sociales y de normativa, deberán suministrar una calidad de servicio semejante al de zonas urbanas. (Guerra, 2000, p. 1)

2.1.3. Matriz Energética

La matriz energética es una representación cuantitativa de la energía disponible y consumida, en una región, país, o continente, para ser consumida en los diversos procesos. En el caso de Guatemala, la información destacada en el último balance energético (2016), elaborado por el Ministerio de Energía y Minas (MEM), muestra la alta dependencia y consumo que se tiene con la leña como fuente primaria de energía en el país, representando el 55.53 %, seguido de los derivados del petróleo (35.62 %) y la energía eléctrica (8.85 %).

2.1.3.1. Consumo de leña

Según la Política Energética (2013-2027) la fuente de energía de mayor utilización en el país es la leña, siendo uso principal, la cocción de alimentos en las áreas rurales del país. Este es un dato de consumo energético de gran relevancia, al tener un 55.53 % del consumo en la matriz energética del país (ver tabla 2). La quema de leña carece de control y frecuentemente se realiza en áreas cerradas con generación de humos (CO_2) que representan un riesgo para la salud y causan enfermedades respiratorias a los seres humanos, en especial de las mujeres y niños.

Desde el punto de vista ambiental, cuando la adquisición de madera no se realiza de una forma sostenible, esta actividad contribuye a la degradación forestal, a la erosión de los suelos y a las emisiones de gases de efecto invernadero. (OLADE, 2013).

2.1.3.2. Derivados de petróleo

Según el Consejo Nacional de Energía del Salvador el petróleo se define como la mezcla de hidrocarburos de diferente peso molecular en la cual existe una fracción pequeña de compuestos de nitrógeno y azufre. El petróleo crudo es procesado para obtener los diferentes derivados que son consumidos día a día en la sociedad.

En Guatemala, el consumo de productos derivados del petróleo se debe principalmente al sector transporte y al sector industrial, para la generación de calor en sus procesos productivos. El consumo de productos derivados del petróleo ha mostrado un alza promedio de 1.38 % anual para el 2012 y ha continuado al alza al tener la reducción de precios en desde el año 2015. El consumo de estos productos está influenciado por factores externos como el precio internacional del barril de petróleo, la situación económica a nivel mundial, así como la cantidad de generación de energía eléctrica a partir de derivados de petróleo en las centrales termoeléctricas. (Política Energética 2013-2027)

2.1.3.3. Energía eléctrica

La energía eléctrica es la energía asociada con el flujo o acumulación de electrones. La forma transicional de energía eléctrica es el flujo de electrones, usualmente a través de un conductor. Es la forma de energía que se da debido a la diferencia de potencial energético entre dos puntos, permitiendo establecer

una corriente eléctrica entre ambos, cuando se los pone en contacto mediante un conductor eléctrico.

Para el 2016, la demanda de potencia eléctrica reportaba valores cercanos a los 1 668 MW mensuales, mientras que el parque generador de Guatemala posee una capacidad instalada cercana a los 4 206 MW (MEM, 2017).

La energía eléctrica puede ser generada a partir de los recursos energéticos primarios, estos son encontrados en la naturaleza en diferentes fuentes, en un sistema de generación a nivel nación se busca versatilidad de conversión de energía eléctrica por medio del uso de tecnologías innovadoras.

Los recursos de energía primaria se pueden clasificar en recursos renovables y no renovables.

- Recursos renovables

Son todos los recursos que aportan una fuente de energía que tiene un proceso natural para renovarse. También son intervenidos por acciones humanas con el uso de tecnologías que permiten alcanzar dicho proceso sin ser afectado dicho recurso natural renovable.

En su mayoría, las principales fuentes de energía surgen por la participación natural del sol, es decir la energía solar da vida en general a todas estas fuentes de energía. Debido a esto, generar a partir de recursos naturales disminuye considerablemente el desgaste del medio ambiente y contribuye en la disminución en el avance del cambio climático. (Beljansky, 2012)

Según información del Ministerio de Energía y Minas (MEM), Guatemala posee un gran potencial para generación de energía eléctrica a partir de energías renovables. A continuación, se presentan los recursos renovables para la generación de energía:

- Biomasa
- Solar
- Eólico
- Geotérmico
- Hidroelectricidad

Tabla II. **Potencial de generación eléctrica con fuentes renovables**

Generación eléctrica		Utilizado		Disponible	
Fuente	Potencial	Cantidad	Porcentaje	Cantidad	Porcentaje
Hidráulica	5 000 MW	853.0 MW	17 %	4 147.0 MW	83 %
Geotermia	1 000 MW	49.2 MW	5 %	950.8 MW	95 %
Biomasa	700 MW	381.0 MW	54 %	319.0 MW	46 %
Solar	10 446 GWh/año	52.2 GWh/año	1 %	10 394.1 GWh/año	100 %
Eólica	7 800 MW	0.1 MW	0 %	7 799.9	100 %

Fuente: Ministerio de Energía y Minas. <http://www.mem.gob.gt/energia/electricidad/> [Consulta: 10 de febrero de 2021]

- Recursos no renovables

Son los recursos que aportan una fuente de energía que no posee un proceso natural para renovarse, producirse o regenerarse. Su existencia es

limitada en cantidades fijas, y su consumo es superior a la capacidad de la naturaleza en recrearlos.

Estos se obtienen al ser extraídos de reservas que pueden hallarse en pequeñas o grandes cantidades. Su precio varía y depende del tamaño del yacimiento, localización y del tipo de explotación. Este tipo de recurso es limitado y se puede agotar. Además, su uso produce gases que contribuyen a la contaminación del medio ambiente y generan gases tóxicos. (Beljansky, 2012)

Se pueden mencionar los siguientes recursos no renovables:

- Metales
- Petróleo
- Gas natural
- Minerales
- Diésel

2.1.4. Caracterización de demanda energética

La estimación de la demanda en zonas rurales aisladas que posteriormente se interconecten al sistema se puede adquirir por medio de la estimación de los consumos de energía, en base a las experiencias de conexión de los Planes de Electrificación Rural implementados en el Guatemala, se incluye desviación por las características de las diferentes regiones del país.

Una consideración muy importante para este caso es que las ZRA se mantendrán así hasta que se implemente un programa nacional que subsidie el acceso a la energía a estos centros poblados, de lo contrario nunca serán atractivos para los prestadores. (URL y fundación Solar, 2008)

La estimación de demanda que se presenta se calcula en base al previo enunciado en el cual las zonas rurales aisladas se interconectarán al SNI, y no se hará la integración a un programa de uso eficiente de la energía que conlleva la instalación de luminarias eficientes.

Conforme las experiencias de trabajo de Fundación Solar, ENRECA y otras organizaciones especializadas en provisión de energía a zonas rurales; se ha estimado que la demanda de energía en ZRA, que posteriormente tienen acceso al SNI en los primeros dos años, la demanda máxima es de 20 kWh mes por usuario, pudiendo alcanzar hasta 27 kWh mes luego de transcurrido ese periodo. (Bueno, 2006)

Cuando se ha dado seguimiento a la interconexión de la comunidad al SIN, existe implementación de un programa de usos productivos de energía, el cual influye en la demanda. Tomando como referencia el número de comunidades que se encuentran en ZRA y el número de usuarios respectivos, dadas las características de las ZRA en Guatemala se proyecta como máximo que un 60 % de estas se conectarían al SIN. (URL y fundación Solar, 2008)

2.1.4.1. Demanda de Energía para usos sociales

La demanda energética para una comunidad se puede dividir entre usos sociales y particulares, en esta sección se presentan tablas de referencia para estimar la demanda energética que cubra los requerimientos de escuelas, torre de telefonía, centro y puesto de salud.

Tabla III. Demanda de energía para telesecundaria

Cálculo de la demanda telesecundaria				
aparato	número	potencia unitaria	uso diario	demanda
Lámpara	4	11 W	4 h	176 Wh
Computadora portátil	2	30 W	8 h	480 Wh
impresora	1	30 W	1 h	30 Wh
Radiograbadora	1	3 W	3 h	9 Wh
Televisor + videograbadora	3	90 W	3 h	810 Wh
Total				1505 Wh
Diseño del arreglo fotovoltaico				
Demanda neta	1,505 Wh/día			
Eficiencia del sistema	65 %			
Reserva	25 %			
Demanda bruta	2,894 Wh/día			
Irradiación	5.0 horas sol eq.			
Potencia unitaria del panel	100 W			
Número de paneles	6			
Potencia fotovoltaica a instalar	600 W			
Energía disponible	3000 Wh por día			
Diseño del banco de baterías				
Carga total diaria	2,894 Wh			
Voltaje del sistema	12 V			
Corriente máxima	75 A			
Días de autonomía	2 días			
Profundidad de descarga	33 %			
Capacidad del banco de baterías	1,463 Ah			
Capacidad unitaria de la batería	220 Ah			
Voltaje batería	6 V			
Número de baterías	14			

Fuente: URL y Fundación Solar (2008, p. 23). *Caracterización de la Demanda de Energía en Zonas Rurales Aisladas de Guatemala.*

Tabla IV. Demanda de energía para centro de salud

Cálculo de la demanda Centro de salud				
aparato	número	potencia unitaria	uso diario	demanda
Lámpara	4	11 W	4 h	176 Wh
Computadora portátil	1	30 W	4 h	120 Wh
Radiotransmisor	1	30 W	1 h	30 Wh
	1	2 W	24 h	48 Wh
Equipo dental	1	50 W	1 h	50 Wh
Televisor b/n	1	15 W	2 h	30 Wh
Radiograbadora	1	10 W	4 h	40 Wh
Total				494 Wh
Diseño del arreglo fotovoltaico				
Demanda neta	494 Wh/día			
Eficiencia del sistema	70 %			
Reserva	25 %			
Demanda bruta	882 Wh/día			
Irradiación	5.0 horas sol eq.			
Potencia unitaria del panel	100 W			
Número de paneles	2			
Potencia fotovoltaica a instalar	200 W			
Energía disponible	1000 Wh por día			
Diseño del banco de baterías				
Carga total diaria	882 Wh			
Voltaje del sistema	12 V			
Corriente máxima	25 A			
Días de autonomía	2 días			
Profundidad de descarga	30 %			
Capacidad del banco de baterías	491 Ah			
Capacidad unitaria de la batería	220 Ah			
Voltaje batería	6 V			
Número de baterías	5			

Fuente: URL y Fundación Solar (2008, p. 24). *Caracterización de la Demanda de Energía en Zonas Rurales Aisladas de Guatemala.*

Tabla V. Demanda de energía para puesto de salud

Cálculo de la demanda Puesto de salud				
aparato	número	potencia unitaria	uso diario	demanda
Lámpara	3	7 W	3 h	63 Wh
Radiotransmisor	1	30 W	1 h	30 Wh
	1	2 W	24 h	48 Wh
Total				141 Wh
Diseño del arreglo fotovoltaico				
Demanda neta	141 Wh/día			
Eficiencia del sistema	70 %			
Reserva	10 %			
Demanda bruta	222 Wh/día			
Irradiación	5.0 horas sol eq.			
Potencia unitaria del panel	50 W			
Número de paneles	1			
Potencia fotovoltaica a instalar	50 W			
Energía disponible	250 Wh por día			
Diseño del banco de baterías				
Carga total diaria	222 Wh			
Voltaje del sistema	12 V			
Corriente máxima	6 A			
Días de autonomía	1.5 días			
Profundidad de descarga	30 %			
Capacidad del banco de baterías	93 Ah			
Capacidad unitaria de la batería	105 Ah			
Voltaje batería	12 V			
Número de baterías	1			

Fuente: URL y Fundación Solar (2008, p. 25) *Caracterización de la Demanda de Energía en Zonas Rurales Aisladas de Guatemala.*

Tabla VI. Demanda de energía para telefonía celular

Cálculo de la demanda de energía				
aparato	número	potencia unitaria	uso diario	demanda
Lámpara	3	9 W	4 h	108 Wh
Teléfono celular	1	5 W	12 h	60 Wh
Total				168 Wh
Diseño del arreglo fotovoltaico				
Demanda neta	168 Wh/día			
Eficiencia del sistema	70 %			
Reserva	50 %			
Demanda bruta	360 Wh/día			
Irradiación	5.0 horas sol eq.			
Potencia unitaria del panel	100 W			
Número de paneles	1			
Potencia fotovoltaica a instalar	100 W			
Energía disponible	500 Wh por día			
Diseño del banco de baterías				
Carga total diaria	360 Wh			
Voltaje del sistema	12 V			
Corriente máxima	13 A			
Autonomía	2 días			
Profundidad de descarga	30 %			
Capacidad del banco de baterías	200 Ah			
Capacidad unitaria de la batería	220 Ah			
Voltaje batería	6 V			
Número de baterías	2			

Fuente: URL y Fundación Solar (2008, p. 26) *Caracterización de la Demanda de Energía en Zonas Rurales Aisladas de Guatemala.*

2.1.4.2. Demanda de Energía para usos domésticos

La demanda energética para usos domésticos detalla el consumo que tiene un hogar promedio cuando tiene suministro de energía eléctrica por primera vez, esta información es clave para la determinación de la demanda energética de la totalidad de la comunidad.

Tabla VII. Demanda de energía domiciliar

Cálculo de la demanda	número	potencia unitaria	uso diario	demanda
aparato				
Lámpara	120	7 W	3.5 h	2940 Wh
Radio	40	3 W	3.5 h	420 Wh
Total				3360 Wh
Diseño del arreglo fotovoltaico				
Demanda neta	3,360 Wh/día			
Eficiencia del sistema	70 %			
Reserva	25 %			
Demanda bruta	6,000 Wh/día			
Irradiación	5.0 horas sol eq.			
Potencia unitaria del panel	100 W			
Número de paneles	12			
Potencia fotovoltaica a instalar	1,200 W			
Energía disponible	6000 Wh por día			
Diseño del banco de baterías				
Carga total diaria	6,000 Wh			
Voltaje del sistema	48 V			
Corriente máxima	38 A			
Días de autonomía	5 días			
Profundidad de descarga	50 %			
Capacidad del banco de baterías	1,250 Ah			
Capacidad unitaria de la batería	100 Ah			
Voltaje batería	12 V			
Número de baterías	50 máximo que se puede usar			

Fuente: URL y Fundación Solar (2008, p. 28). *Caracterización de la Demanda de Energía en Zonas Rurales Aisladas de Guatemala.*

2.1.5. Alternativas para la electrificación de ZRA

Esta sección es el resultado de un análisis de las diversas alternativas tecnológicas para la electrificación, detallando por que el sistema de biomasa ha sido seleccionado como una solución al problema.

Las distintas opciones que se han tenido en cuenta son las siguientes:

- Extensión de línea de la red de distribución.
- Placas fotovoltaicas.
- Biodigestor.
- Motor diésel.
- Gasificador de biomasa.
- Centrales micro hidráulicas.

Cabe señalar que, si se toma la decisión, se considera la solución más adecuada de un punto de desarrollo humano. Por esta razón, es importante que el proyecto no incluya una carga económica para la comunidad y mejora la capacidad de la comunidad.

Por esta razón, se debe considerar que el suministro de energía, que mejora las condiciones de vida de la comunidad, debe dar la participación de la comunidad durante el proceso. Esta participación debe administrarse en todas las fases de la misma manera: diseño, implementación y gestión del sistema energético. (Bueno, 2006)

2.2. Gasificación de biomasa para generación de electricidad

La gasificación es una tecnología renovable en la cual se basará esta investigación por lo que, se realizará una revisión de las aristas mas importantes para la comprensión del proceso de conversión de la biomasa ha energía eléctrica.

2.2.1. Gasificación de biomasa

Según Nolberto Gonzáles y Vladimir Quintanilla (2008):

La gasificación es un proceso termoquímico en el que un sustrato carbonoso (residuo orgánico) es transformado en un gas combustible de bajo poder calorífico mediante una serie de reacciones que ocurren a una temperatura determinada en presencia de un agente gasificante (aire, oxígeno y/o vapor de agua) (p. 20).

La elección del método para llevar a cabo la gasificación depende de factores como el tamaño y la forma del residuo a utilizar, el aprovechamiento de la energía del gas producido y los condicionantes económicos, ambientales y técnicos. La utilización energética de este gas pobre puede hacerse quemándolo en una cámara de combustión, introduciéndolo en una turbina de gas o un motor de combustión interna. Como agente gasificante se puede usar aire, oxígeno, aire enriquecido con oxígeno, vapor de agua o hidrógeno; por lo que se pueden obtener diferentes mezclas de gases que pueden tener diversas utilidades. (Dirección General de Energía de la Comisión Europea, 1995)

Tipos de gasificadores:

- Gasificadores en contracorriente (*Updraft*)
- Gasificadores en corriente directa (*Downdraft*)
- Gasificadores de lecho fluidizado

La selección del tipo de gasificador a utilizar dependerá de la potencia requerida y de la biomasa que se empleará.

2.2.1.1. Proceso de gasificación

Los procesos de gasificación de biomasa constituyen una tecnología prometedora en el aprovechamiento de desechos agrícolas con, fines energéticos; aportando con la disminución de las emisiones de CO₂ a la atmósfera. La gasificación se basa en la conversión de biomasa para crear un gas sintético por medio de un proceso termoquímico, que pueda utilizarse para la producción de hidrógeno y como combustible. La gasificación consta de tres etapas primordiales: el secado, la pirólisis y la gasificación.

En el proceso de gasificación tienen lugar una gran cantidad de reacciones cuyo orden e importancia dependen de las condiciones de operación y del agente gasificante utilizado, pero que pueden agruparse en tres etapas en las que conceptualmente se puede dividir el proceso de gasificación en pirólisis, oxidación y gasificación. Varios autores incluyen el secado, ya que es un elemento clave tener la biomasa en las condiciones ideales de humedad. (González y Quintanilla, 2008)

- Pirólisis

Mediante el uso de calor el sólido original se descompone en una mezcla sólido, líquido y gas, al sólido originado en esta etapa se le denomina *char* y a los líquidos *tar* debido a la presencia mayoritaria de alquitranes y vapores considerables. Puede incluirse aquí el proceso de secado que tiene lugar al ingresar la biomasa al gasificador, aunque este proceso no implica ninguna reacción química. (Vargas, 2012)

- Oxidación

Se lleva a cabo cuando el agente gasificante es un oxidante como oxígeno o aire e implica el conjunto de reacciones de oxidación, tanto homogéneas como heterogéneas, fundamentalmente exotérmicas, mediante las que se genera calor necesario para que el proceso se mantenga. (Dirección General de Energía de la Comisión Europea, 1995)

- Gasificación

Está constituida por las reacciones mediante las que el sólido remanente se convierte en gas, se trata de reacciones fundamentalmente endotérmicas, que tienen lugar en muy poca extensión o solo se dan en determinadas condiciones, como ocurre con algunas reacciones de hidrogenación y/o reformado. Las etapas de oxidación y reducción pueden considerarse conjuntamente en una sola etapa de gasificación en la que tienen lugar todo tipo de reacciones posibles entre el *char* y la mezcla gaseosa presente. Existe una serie de factores que influyen en el proceso de gasificación, pudiendo distinguirse los factores que se refieren al modo de operación y al sólido gasificado y los que son inherentes al diseño del gasificador y de los equipos utilizados. (Vargas, 2012)

2.2.1.2. Parámetros de operación

Los parámetros de operación son las variables por tomar en cuenta para la correcta operación de una planta de gasificación de biomasa, a continuación, se presenta información resumida de los principales parámetros a considerar:

- Temperatura

Es un parámetro importante en todas las etapas y por ende en el rendimiento final del proceso. Las proporciones entre *char*, *tar* y gas en los productos de pirólisis dependen estrechamente de la velocidad de calentamiento y de la temperatura final alcanzada. Generalmente puede decirse que a altas velocidades de calentamiento y alta temperatura final se produce mayoritariamente gas, mientras que a temperaturas finales y velocidades de calentamiento menores se produce mayoritariamente líquidos o sólidos. (Dirección General de Energía de la Comisión Europea, 1995)

En los gasificadores de lecho fluidizado se tiene normalmente velocidades de calentamiento altas (hasta de miles de °C/s), en los reactores de lecho móvil las velocidades de calentamiento suelen ser moderadas (de 0,2 – 0,5 °C/s). (Vargas, 2012)

En la etapa de gasificación, dada la reversibilidad de la mayoría de las reacciones, la temperatura influye en los equilibrios de reacción. En general para distintos combustibles puede decirse que el aumento de temperatura favorece el aumento del contenido en el gas producto de H₂ y CO en detrimento del CH₄ y del H₂O. (González y Quintanilla, 2008)

- Presión

En términos generales, el aumento de la presión no favorece la reacción de gasificación, aumenta las proporciones de alquitranes e hidrocarburos. Los gasificadores de lecho móvil suelen trabajar a presión atmosférica y los de lecho fluidizado suelen trabajar a presión, alcanzando los 30 bares en algunos casos. (Vargas, 2012)

- Relación agente gasificante/ residuo

Es uno de los parámetros más importantes en la gasificación, especialmente cuando esta se autoabastece energéticamente mediante la oxidación parcial, con aire u oxígeno del residuo tratado. Valores excesivamente bajos de este parámetro pueden no generar la cantidad suficiente de energía para mantener el proceso en las condiciones adecuadas, produciéndose una disminución del rendimiento. Cuando el agente gasificante es aire, existe además un efecto de dilución por parte del N₂. (Dirección General de Energía de la Comisión Europea, 1995)

Existe un valor óptimo de la relación gasificante/residuo para cada proceso, este valor depende de la composición del residuo gasificado. Por ejemplo, cuando se trata de biomasa forestal la relación óptima en peso de aire/biomasa se ha comprobado que esta entre 0,5 y 1,6 para los gasificadores de lecho fluido y de 1,5 para los gasificadores de lecho móvil. (Gonzáles y Quintanilla, 2008)

2.2.2. Sistema de generación de energía eléctrica

Para lograr el objetivo de suministrar energía eléctrica a través de una planta de gasificación de biomasa, se requiere realizar la conversión de la energía electromecánica a energía eléctrica en corriente alterna, para esto, se presenta alternativas para la conversión y gestión de la energía.

2.2.2.1. Generador Eléctrico

Es una máquina rotativa que transforma energía mecánica transmitida a su eje en energía eléctrica de corriente alterna. Un generador eléctrico funciona con el principio de inducción electromagnética. (Carta González, et al., 2009, p. 457)

Los dos tipos de generadores de corriente alterna son generador síncrono y asíncrono. (Fitzgerald, et al., 1992, p. 178)

- Generador Síncrono

Puede ser llamado generador síncrono o sincrónico. En un generador sincrónico se aplica una corriente continua al devanado del rotor, la cual produce un campo magnético. Entonces el rotor del generador gira mediante un motor primario y produce un campo magnético rotacional dentro de la máquina. Este campo magnético rotacional induce un grupo trifásico de voltajes en los devanados del estator del generador. (Chapman, 2012, p. 147)

El generador síncrono es una máquina síncrona de corriente alterna cuya velocidad en régimen permanente es proporcional a la frecuencia de la corriente que alimenta su inducido. A la velocidad de sincronismo en el campo magnético giratorio creado por la corriente en el inducido, gira a la misma velocidad que el creado por la corriente de excitación, resultando así un par constante. (Fitzgerald, et al., 1992, p. 178)

Dos términos muy utilizados para describir los devanados de una máquina son devanados de campo y devanados de armadura. En general, el término devanados de campo se aplica a los devanados que producen el campo magnético principal en la máquina, y el término devanados de armadura se aplica a los devanados donde se induce el voltaje principal. En las máquinas sincrónicas, los devanados de campo están sobre el rotor, de modo que los términos devanados del rotor y devanados de campo y devanados de armadura.

En esencia, el rotor de un generador sincrónico es un gran electroimán. Los polos magnéticos del rotor pueden ser contruidos salientes o no salientes. El término saliente significa proyectado hacia fuera o prominente; un polo saliente es un polo magnético que se proyecta hacia fuera de la superficie del rotor. Por otro lado, un polo no saliente es un polo magnético contruido al mismo nivel de la superficie del rotor. (Chapman, 2012, p. 147)

Básicamente, la corriente continua puede ser suministrada por tres mecanismos de excitación: autoexcitación, excitación auxiliar y excitación sin escobillas.

La excitación auxiliar consiste en alimentar el devanado inductor mediante la corriente continua generada por una dinamo auxiliar, regulada por un reóstato y montada sobre el árbol del generador sincrónico.

La autoexcitación consiste en tomar la corriente desde los terminales del generador, transformarla mediante un transformador de excitación, rectificarla mediante un sistema electrónico estático e inyectarla en el devanado inductor. Esto mediante un dispositivo de escobillas y anillos rozantes que rodean a árbol de la máquina, pero aislados del mismo árbol. (Carta González, et al., 2009, p. 457)

- Generador Asíncrono

También conocido como generador de inducción. La mayor desventaja de los generadores asíncronos es que necesitan de una batería de condensadores conectada a la salida, la cual compense la energía reactiva generada. Para la creación del campo magnético, el generador asíncrono debe estar conectado a la red y tomar de ella la corriente reactiva necesaria. Cuando la turbina hidráulica

incrementa la potencia se produce un incremento en el deslizamiento. Ya que la red eléctrica es la que fija la frecuencia no se precisa que la turbina disponga de un regulador de velocidad.

Para llevar a cabo el arranque del generador asíncrono, se actúa sobre la admisión de agua en la turbina; de tal manera que se vaya acelerando hasta que el generador se aproxime a su velocidad de sincronismo, instante en el que se cierra el interruptor automático de línea. (Carta González, et al., 2009, p. 457)

2.2.2.2. Subestación eléctrica

Una subestación eléctrica es la exteriorización física de un nodo de un sistema eléctrico de potencia, en el cual la energía se transforma a niveles adecuados de tensión para su transporte, distribución o consumo, con determinados requisitos de calidad. Está conformada por un conjunto de equipos utilizados para controlar el flujo de energía y garantizar la seguridad del sistema por medio de dispositivos automáticos de protección. (Ramírez, 1991, p. 1)

Según Ramírez (1991):

Una subestación está asociada con una central generadora, controlando directamente el flujo de potencia al sistema, con transformadores de potencia, convirtiendo la tensión de suministro a niveles más altos o bajos, o puede conectar diferentes rutas de flujo al mismo nivel de tensión. Algunas veces, una subestación desempeña dos o más de estas funciones. (p. 1)

Básicamente una subestación consiste en un número de circuitos de entrada y salida, contado a un punto común, barraje de la subestación, siendo el interruptor el principal componente de un circuito y complementándose con los transformadores de instrumentación, seccionadores, pararrayo, en lo correspondiente a equipo de alta tensión, y con sistemas secundarios como son los de control, protección, comunicaciones y servicios auxiliares. (Ramírez, 1991)

Los elementos principales que se tomarán en cuenta en el diseño de la subestación que por su importancia cabe mencionar son:

- Transformador de potencia
- Seccionadores
- Pararrayos
- Sistemas de control, comunicación y protección.
- Red de distribución de tierras

2.2.3. Biomasa

Se comprende por biomasa el conjunto de materia orgánica renovable de origen animal, vegetal o procedente de la transformación natural o artificial de la misma. La energía proveniente de la biomasa es la energía que se puede obtener de la biomasa, ya sea a través de la quema de esta o mediante algún proceso para conseguir otro tipo de biocombustible, como puede ser el biogás, el gas sintético o los biocombustibles líquidos.

La energía de la biomasa proviene en sí del sol; a través la fotosíntesis la materia orgánica vegetal absorbe y almacena una parte de la energía del sol que impacta la tierra: las células vegetales utilizan esta radiación solar para crear

sustancias orgánicas a partir del dióxido de carbono (CO₂) presente en el aire y en sustancias simples. (Ministerio de Energía del Gobierno de Chile, 2013)

La biomasa es una de las fuentes renovables para la producción energética que procede de una transformación natural o artificial y que puede estar sujeta a un aprovechamiento energético bajo condiciones específicas. Por lo tanto, enmarca todas las formas de energía de origen orgánico y sus derivados (Rincón Martínez y Silva Lora, 2014, p. 22).

La tendencia del uso de fuentes de energía renovables para la generación de energía a nivel mundial se mantendrá casi constante, mientras se espera que el uso de la biomasa disminuya en países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). Sin embargo, los países en vías de desarrollo dependerán de la biomasa, la calefacción y cocción de los alimentos mediante el uso de combustibles renovables durante los próximos 25 años.

Las fuentes renovables para la generación de energía, incluida la biomasa tradicional, representa en los países en desarrollo, la proporción total de los suministros de energía, que en los países desarrollados. Se estima que el 75 % de las fuentes renovables se consume en países en vías de desarrollo, y la mayor parte de esta energía se basa en el uso tradicional de la biomasa y la energía hidroeléctrica, en contraste con los países industrializados que utilizan el 23 % de energía renovable como biomasa tradicional. Se estima un aumento aproximado de cuatro veces para el año 2030 en el uso de productos biomásicos de desechos de la agroindustria y la ganadería, así como de bosques energéticos, manejo de silvicultura y dendroenergía. (FAO, 2008, p. 12)

2.2.3.1. Dendroenergía

La madera es considerada la primera fuente de energía de la humanidad. En la actualidad sigue siendo la fuente de energía renovable de mayor importancia que, por sí sola, proporciona más del 6 % del suministro total de energía primaria a nivel mundial. (FAO, s.f.)

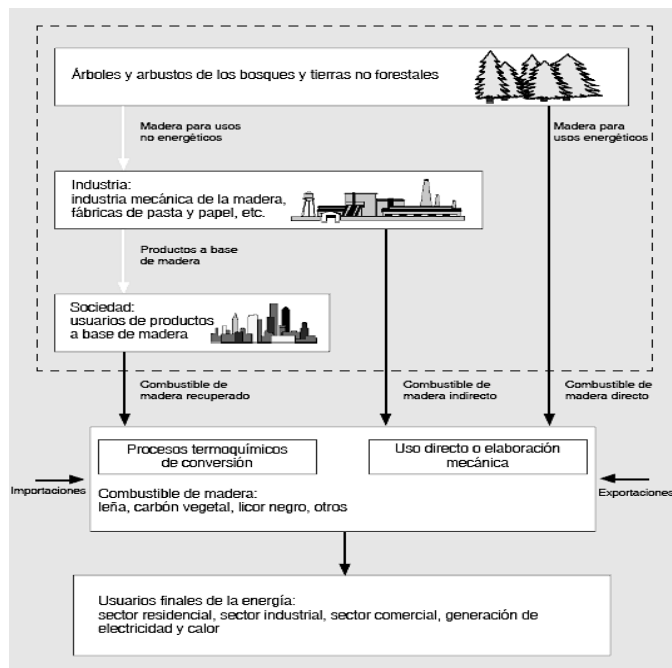
Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2008), en los países en vía de desarrollo la dendroenergía juega un papel clave para más de 2 000 millones de personas que dependen de ella para cocinar y/o calentarse en sus hogares, siendo este tipo de energía la única fuente disponible a nivel nacional y en muchos casos sin restricciones ni control. La madera es considerada como la energía más descentralizada del mundo, al tener un uso como combustible en los hogares privados para la calefacción y la cocción de alimentos, siendo esta, responsable de alrededor de un tercio del consumo mundial de energía renovable.

La biomasa utilizada como combustible proviene principalmente de los bosques, pero también de varios tipos de fuentes como son otros tipos de áreas forestales e incluso de árboles fuera de los bosques. También puede ser adquirido de subproductos de la elaboración maderera, dendro-combustibles elaborados y de la madera recuperada después de su uso.

La dendroenergía es una clase de energía de tan fácil acceso y uso, que es un combustible auxiliar en casos de emergencia. La sociedad, sin importar el nivel socioeconómico, al encontrarse con dificultades económicas, situaciones de conflicto, desastres naturales o escasez del suministro de las fuentes de energía no renovable como son los hidrocarburos, vuelven a utilizar fácilmente la

dendroenergía como una de las primeras opciones para estabilizar sus necesidades energéticas. (FAO, s.f.)

Figura 1. **Fuentes de suministro de combustible de madera**



Fuente: FAO (2002, p. 8). *Dendroenergía: perspectivas de futuro*.

Actualmente, debido a las preocupaciones relativas a la seguridad energética y al cambio climático, la dendroenergía se ha encontrado en una nueva etapa de visibilidad y de gran importancia.

Si se cumplen las condiciones presentadas a continuación, la dendroenergía puede ser considerarse como una fuente de energía renovable, la cual puede llegar a ser socialmente viable y sin efectos sobre el ambiente (FAO, s.f.):

- Gestión sostenible de madera procedente de bosques, árboles fuera de los bosques, etc.
- Cuando se tienen los parámetros adecuados para ser utilizado como combustible, entre estos se puede mencionar el valor calorífico, la forma, el contenido de agua, etc.
- Minimización de las emisiones exteriores e interiores a través de incineración o gasificación controlada y eficiente.
- De manera que se favorezca el empleo y su reutilización, implementar el uso en cascada de las fibras de madera.
- Reciclado de las fibras de la madera previo a su uso para generar energía.

2.2.3.2. Fuentes de biomasa

Para la producción de energía existen varias fuentes de biomasa que pueden ser utilizadas, las cuales cubren un amplio rango de diferentes materiales y fuentes: se puede mencionar los residuos de la agricultura, de la industria forestal, las plantaciones energéticas y los desechos urbanos. Las plantaciones energéticas usualmente se involucran en procesos modernos de conversión que pueden involucrar la generación de energía a gran escala, buscando la sustitución de los combustibles fósiles. (De León, 2010, p. 3)

La fuente de biomasa se puede clasificar según su origen:

- Residuos forestales
- Residuos agrícolas
- Residuos de la industria agrícola
- Desechos urbanos

2.2.3.3. Plantaciones energéticas

Las plantaciones energéticas son grandes extensiones de plantaciones de árboles o de plantas cultivadas, con el fin específico de producir energía. Para esto se pasa por un proceso de selección del tipo de árbol o planta que tenga un crecimiento rápido y que involucre un mantenimiento bajo; las cuales, por lo regular, se cultivan en tierras con poca producción agrícola para que puedan tener un aprovechamiento de estas. Usualmente el periodo de cosecha tiene una variación de tres a diez años. (De León, 2010, p. 4)

2.2.4. Biotecnología

La biotecnología puede describirse como "toda aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos, organismos vivos o sus derivados para la creación o modificación de productos o procesos para usos específicos". (Naciones Unidas, 1992, p. 3)

Esto puede abarcar una extensa variedad de técnicas, pero las tres áreas principales del sector forestal que serán probablemente importantes son: 1) el uso de métodos de propagación vegetativa, 2) el uso de marcadores genéticos moleculares, y 3) la producción de árboles genéticamente modificados. (Yanchuk, 2003)

La propagación vegetativa comprende una amplia variedad de técnicas que incluyen la manipulación de los tejidos vegetales (secciones de tallos, hojas, raíces, semillas o incluso cultivos celulares), lo que en definitiva permite una "propagación" vegetativa completa de toda la planta, es decir, la producción de "variedades" clonales o líneas. La modificación genética de las plantas suele

incluir la introducción artificial de genes bien caracterizados procedentes de otras especies en un nuevo genoma vegetal, que se expresará después como un carácter novedoso. (Yanchuk, 2003)

2.2.4.1. Características de biomasa de eucalipto

Existen fuentes de energía renovable como la madera, que provee un alto porcentaje de la energía consumida en el mundo, teniendo un potencial para suplir volúmenes de energía de combustión directa a gran escala. El árbol de eucalipto, entre otras especies forestales, posee un alto valor calorífico; siendo esta una opción factible en poder desarrollar proyectos de generación de energía eléctrica y programas de conformación de bosques de eucalipto para uso energético como una GDR. (De León, 2010, p. 7)

La principal característica de utilizar biomasa de eucalipto (especie eucalipto camaldulenses) es su alto valor energético y resaltar su facultad para brotar vigorosamente de cepa, es decir que es un árbol de crecimiento rápido y bajo mantenimiento, como lo requerido en este tipo de plantaciones energéticas. En general es un árbol de climas secos, cálidos (desde el nivel del mar, hasta 1 200 metros), con pluviosidad entre 200 y 1 250 mm. Es muy tolerante en suelos, pero no soporta la competencia de hierbas. Hay entre 90 000 y 400 000 semillas por kg. Se puede producir por estacas de árboles jóvenes. La madera es pesada, dura y buena para postes, herramienta y construcciones. (De León, 2010, p. 7)

A continuación, se presentan los elementos importantes a considerar en el proceso de plantación de los bosques energéticos:

- Preparación del suelo
- Actividades culturales
- Producción de plantas
- Características de la planta de eucalipto ideal
- Tipo de suelo
- Plagas

2.2.4.2. Energía generada de las plantaciones energéticas

Existen dos indicadores principales que nos permiten interpretar la cantidad de energía que nos puede suministrar la biomasa proveniente de una plantación energética, el poder calorífico y la densidad energética, ambos indicadores asociados al tipo de especie a seleccionar, a continuación, se describen en mayor detalle:

- Poder calorífico

El poder calorífico de un combustible es la cantidad de energía que se produce en la combustión completa de una unidad de masa o de volumen. El poder calorífico depende de la naturaleza química del combustible y se caracteriza como superior (PCS) e inferior (PCI). El poder calorífico superior e inferior se diferencian porque el primero, toma en cuenta el calor que proviene de la condensación del vapor de agua presente en los materiales de combustión; y el poder calorífico inferior desprecia ese valor.

El valor calorífico del Eucalipto urograndis, grandis, saligna y camaldulensis, entre otras que proporcionan un valor calorífico equivalente a 19007 kJ/kg (4 600 kcal/kg) para un contenido de humedad del 18 %. (García, 2016, p. 15)

- Densidad energética

“Definida como la magnitud de energía por volumen unitario que posee un combustible. Su determinación precisa del conocimiento del poder calorífico, así como de la densidad del combustible” (De León, 2010, p. 12).

Según información proporcionada por Pilonés de Antigua (2016), para la producción de Eucalipto se deberá realizar un análisis en las regiones seleccionadas, para conocer las características específicas del lugar a ser seleccionado, pero da una referencia por Ha de la población de 1 280 árboles plantados, que producen un peso de 152.7 Tm/Ha equivalente a un volumen de 119,38 metros cúbicos por Ha. Con el proceso de clonación vegetativa se puede conseguir 180 Tm/Ha lo cual implica que se puede producir mayor cantidad de energía por unidad de hectárea o por unidad volumétrica.

2.3. Sostenibilidad

La definición de sostenibilidad se refiere, a la satisfacción de las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer las suyas, garantizando el equilibrio entre crecimiento económico, cuidado del medio ambiente y bienestar social. Por lo tanto, el desarrollo sostenible, es aquel modo de progreso que mantiene ese delicado equilibrio hoy, sin poner en peligro los recursos del mañana. Algunas consideraciones de sostenibilidad:

- Asumir que la naturaleza y el medio ambiente no son una fuente inagotable de recursos, siendo necesario su protección y uso racional.

- Promover el desarrollo social buscando la unión entre comunidades y culturas. Con esto, busca para alcanzar niveles satisfactorios en la calidad de vida, salud y educación.
- Promulgar un crecimiento económico que genere riqueza equitativa para todos sin dañar el medio ambiente.

2.3.1. Estudio económico

El estudio económico contendrá una evaluación del proyecto que se realiza con la información del flujo de fondos y con el estudio financiero. El estudio presenta la viabilidad económica y el impacto que tendrá el proyecto en aspectos de la economía.

2.3.1.1. Valor Neto Actual (VAN)

Es la diferencia entre el valor actual de una inversión y el valor actual de la recuperación de fondos donde es aplicable una tasa considerada como la mínima aceptable para la autorización de los fondos para la inversión. Por lo tanto, es un valor proyectado que tiene en cuenta todas las posibilidades de valores actuales de los beneficios netos derivados de un proyecto. (Alonso, 2014, p. 91)

2.3.1.2. Tasa interna de retorno (TIR)

La Tasa Interna de Retorno (TIR) se calcula a partir del valor de la tasa de descuento que hace que el VAN de una inversión sea igual a cero. El proyecto se estima como rentable si el valor del TIR resultante es igual o superior a la tasa exigida por el inversor y, entre varias alternativas, la más conveniente será aquella de mayor TIR. (Alonso, 2014, p. 92)

2.3.1.3. Relación beneficio/costo (B/C)

La relación beneficio-costo es la razón que indica el retorno económico obtenido por cada unidad monetaria invertida. Entonces se puede inferir que es una comparación monetaria de beneficios y costos de un proyecto en particular, en donde, si el beneficio excede al costo, es un indicador para su aceptabilidad; por el contrario, si el costo es mayor que el beneficio, este debe de ser rechazado. (Cohen y Franco, 2006, p. 235)

2.3.2. Estudio de impacto ambiental

“Es la alteración que introduce la actividad humana en su entorno. Se puede interpretar en términos de bienestar y salud para el ser humano, o de la calidad de vida de la población desde el punto de vista más general” (Gómez y Gómez, 2013, p. 155).

También se puede definir como la interrelación de las sociedades con su base biofísica que evalúa la diferencia entre la evolución de un proceso en el tiempo que tendría un determinado entorno, o alguno de los factores constituyentes, con y sin la acción humana que provoca o provocará esta diferencia. (Gómez y Gómez, 2013, p. 156)

2.3.2.1. Huella Ecológica

Es un instrumento contable que permite la determinación de los requerimientos de consumo y los requerimientos de asimilación de desechos de una comunidad o región con relación a la cantidad de tierra que dispone. Por lo tanto, establece una relación de consumo y su capacidad biológica para producir los bienes que consume. Este

instrumento se incluye como indicador dentro de un sistema agroforestal, ya que es una herramienta que sirve para medir de manera cualitativa y cuantitativa los recursos ecológicos necesarios para sostener a una población que tiene un determinado nivel de consumo y tecnología. (Viglizzo, 2010, p. 7)

2.3.2.2. Huella de carbono

Según Viglizzo (2010), es una medida cuantificable de la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que se expresan en equivalentes de CO₂, las cuales son liberadas a la atmósfera por actividades humanas. Estas actividades comprenden toda la secuenciación que conlleva la creación de un producto (ciclo de vida), desde las materias primas utilizadas hasta el desecho final como residuo. Por lo anterior, es una clasificación de los productos en relación con su potencial de contaminación.

2.3.2.3. Impacto por la producción de plantaciones energéticas

Las plantaciones energéticas implican una reforestación de áreas en las que actualmente se tiene un desperdicio de su potencial energético. La plantación y uso continuo y sostenible de los bosques energéticos produce varias mejoras a ambiente, sin embargo, el eucalipto es una especie alelopática, esto implica que su relación con otras especies vegetativas puede ser conflictiva por la búsqueda de nutrientes. Mas allá de eso, las plantaciones traerán varios beneficios. (Pilones de Antigua, 2016, p. 8)

A continuación, se presentan los elementos importantes que deben ser evaluados en el estudio de impacto ambiental:

- Reforestación de zonas áridas
- Desequilibrio en la interacción de nutrientes
- Uso de árboles fijadores de nitrógeno
- Secuestro y conversión de carbono
- Producción de oxígeno
- Contribución en el manejo de cuencas hidrográficas

2.3.3. Evaluación Social

“Los costos y beneficios se establecen desde el punto de vista de la sociedad en su conjunto. En los estudios de preinversión, la evaluación social de un proyecto de electrificación rural se efectúa con la metodología costo/beneficio” (Gómez, 2013, p. 93).

2.3.3.1. Costos sociales

Los costos sociales se entienden como la suma de los costos económicos y sociales que conlleva un proyecto, estos suelen estar asociados a los costos externos impuestos sobre la sociedad o una comunidad para producir un bien o servicio, a continuación, se detallan los más relevantes.

- Costos de inversión

Los precios privados no reflejan situaciones de eficiencia económica debido a distorsiones del mercado, por tanto, es necesario corregir los costos del proyecto para transformarlos de precios de mercado a precios sociales, aplicando factores de corrección:

Costo social = costo a precios privados x factor de corrección

- Costos de operación y mantenimiento (O y M)

Se considera como Servicio No Transable de origen nacional; por tanto, el factor de corrección es 0.8475.

- Costos incrementales a precios sociales

“Para la evaluación del proyecto se requiere establecer los costos incrementales de inversión, operación y mantenimiento. Estos resultan de la diferencia entre los costos de la situación con proyecto y sin proyecto” (Dirección General de Política de Inversiones, 2011, p. 56).

2.3.3.2. Indicadores de rentabilidad social

Una vez elaborados los flujos anuales de costos y beneficios a precios sociales, calcula los indicadores de rentabilidad Valor Actual Neto Social (VANS) y la Tasa Interna de Retorno Social (TIRS), considerando una tasa de descuento social de 10.

“Se calcula el VANS y la TIRS a partir de los flujos de beneficios y costos sociales incrementales” (Gómez, 2013, p. 94).

2.3.3.3. Análisis de sensibilidad

Determina el grado de sensibilidad de los indicadores de rentabilidad social y de sostenibilidad del proyecto ante cambios en el consumo de energía doméstico, precio de compra y venta de energía, beneficio social

por iluminación, costos de inversión y costos de operación y mantenimiento. (Gómez, 2003, p. 95)

Analiza los efectos en los indicadores de rentabilidad del proyecto (VANS, TIRS) recalculando cada uno de estos valores, ante el incremento o disminución de cada variable sujeta a riesgos de variación. Analiza cada variable por separado. (Gómez, 2013, p. 100)

Debes efectuar ese análisis hasta encontrar la máxima variación que puede soportar el PIP sin dejar de ser socialmente rentable ($VANS \geq 0$ y $TIRS \geq$ tasa social de descuento) y sin dejar de ser sostenible (Ingresos/Egresos a precios privados > 1). (Dirección General de Política de Inversiones, 2011, p. 57)

2.3.3.4. Beneficios comunitarios

Los beneficios comunitarios son un elemento clave en la argumentación del problema. Al evaluar los elementos principales que afectarán a la comunidad, La Nueva Bendición del Municipio de Guanagazapa, Escuintla, destacan:

- Aumento en la actividad productiva, comercial y turística.
- Mejora en la productividad en actividades de producción.
- Disminución de costos de actividades comerciales.
- Mayor disponibilidad de telecomunicaciones.
- Mejora en la calidad de servicios de salud y educación.
- Almacenamiento adecuado de alimentos.
- Creación de nuevos puestos de trabajo para la ejecución del proyecto.

- Capacitación para operarios y de las personas que trabajarán directamente en los bosques energéticos.
- Iluminación de noche de manera eficiente.
- Avance en temas de cultura medio ambiental, reforestación y prácticas conservacionistas de los recursos naturales dentro de las comunidades.

2.3.3.5. Análisis de sostenibilidad

La sostenibilidad está asociada a un uso adecuado de los recursos en el presente de forma de perjudicar a las futuras generaciones, el análisis de sostenibilidad desde el punto de vista social y económico increpa en los requerimientos que debe tener un proyecto para que su operación posterior a la implementación sea acertada y perdure.

- Financiamiento de los costos de operación y mantenimiento

El análisis de sostenibilidad de cada alternativa evalúa la capacidad del proyecto para cubrir sus costos de operación y mantenimiento (incluyendo compra de energía), mediante ingresos propios o con ingresos comprometidos por terceros. (División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos, CEPAL, 2013, p. 20)

Los aportes adicionales deberán estar sustentados e indicar que la entidad aportante no presenta inconvenientes legales y cuenta con disponibilidad de recursos para financiar parte del proyecto durante la fase de operación. Demuestra que se han incorporado las previsiones para garantizar con la mayor certeza que el proyecto generará los beneficios esperados a lo largo de su vida útil. (División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos, CEPAL, 2003, p. 21).

- Arreglos institucionales previstos para las fases de implementación y operación

Indica todas las consideraciones a tomar en cuenta para lograr el éxito del proyecto, desde lo institucional a la gestión. Menciona los roles y competencia de los participantes comprometidos para garantizar la sostenibilidad del proyecto en sus distintas etapas.

Identifica claramente a los participantes y señala los compromisos de cada uno mediante algún documento: (i) convenios, (ii) disponibilidad de recursos y (iii) compromisos de operación y mantenimiento.

Los Gobiernos Locales deben trabajar en el marco de la normatividad vigente y coordinar permanentemente, durante la formulación del proyecto, con la empresa concesionaria de distribución, a fin de ser sujetos de los contratos de operación y mantenimiento. (Dirección General de Política de Inversiones, 2011, p. 57)

- Opinión favorable

Se debe solicitar y acreditar la opinión favorable al perfil, en caso una tercera entidad -distinta a la unidad formuladora- se encargue de la Operación y Mantenimiento del proyecto. Excepto cuando la normatividad vigente ya considera la obligación de una entidad de asumir los gastos de operación y mantenimiento del proyecto.

Esa opinión expresa hará referencia a, por lo menos, los siguientes puntos:

- Dimensionamiento del PIP y Propuesta técnica (diseño y reforzamientos).
- Costos de operación y mantenimiento (si el costo de operación y mantenimiento propuesto garantiza el servicio en condiciones adecuadas, ingresos del proyecto en relación con la sostenibilidad).
- Capacidad de gestión de la organización en las etapas de inversión y operación

Esta sección analiza las dos etapas claves para la gestión de un proyecto, inicialmente con la etapa de inversión incluyendo la ejecución y posteriormente la operación de este.

- Etapa de inversión

Incluye información sobre la capacidad de gestión de la unidad encargada de la ejecución del proyecto. Enfatiza en la experiencia para la ejecución de este tipo de proyectos, la existencia de recursos humanos en cantidad suficiente y calificación adecuada, disponibilidad de recursos económicos, equipamiento, apoyo logístico, etc. (Dirección General de Política de Inversiones, 2011, p. 58)

- Etapa de operación

Evalúa la capacidad de gestión del operador y/o administrador del proyecto y analiza su constitución y/o organizaciones necesarias para realizar la operación y mantenimiento de los sistemas eléctricos. Señala qué organización se hará cargo de la gestión del servicio eléctrico, de

acuerdo con lo señalado en la Ley General de Electrificación Rural y su reglamento. (División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos, CEPAL, 2003, p. 24)

- Análisis de la capacidad de pago de la población

Analiza la capacidad de pago de los abonados. Determina su nivel de ingresos promedio familiar mensual y si la tarifa puede ser pagada o necesita ser subvencionada. Esta sección se complementa con datos recogidos por la Unidad Formuladora a través del trabajo de campo. (División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos, CEPAL, 2013, p. 24)

- Participación de los beneficiarios

Indica los momentos y formas de participación de los beneficiarios desde la etapa de identificación, hasta la fase de operación del proyecto. Incluir:

- Fase de pre-inversión: identificación del problema y selección de alternativas.
- Fase de inversión: aporte en mano de obra no calificada, dinero, traslado de materiales.
- Fase de operación: pago de consumo de energía. Aprovecha las capacidades organizativas de la población, es fundamental para lograr el éxito. (Dirección General de Política de Inversiones, 2011, p. 59)

- Probables conflictos durante la operación y mantenimiento

En caso se haya identificado posibles conflictos con algún grupo social, ya sea por oponerse a la ejecución o por sentirse perjudicado, señala las medidas adoptadas y que se adoptarán para resolver o minimizar los conflictos. Especificar cuáles son esas medidas. (Gómez, 2013)

- Los riesgos de desastres

En caso se identifiquen riesgos de desastres que pueden generar la interrupción del servicio eléctrico, señala las medidas adoptadas para reducirlos o para garantizar una rápida recuperación del servicio. (División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos, CEPAL, 2003)

3. PRESENTACION DE RESULTADOS

De acuerdo con los objetivos propuestos se presentan los siguientes resultados:

3.1. Demanda energética de la comunidad

Dando inicio con la primera fase del proyecto, que responde al objetivo uno, se presenta una proyección del consumo de la demanda energética para la comunidad.

- Objetivo 1: Determinar la demanda energética de la comunidad, La Nueva Bendición.

En la actualidad la comunidad La Nueva Bendición, no cuenta con energía eléctrica, por lo cual no existen registro histórico de su consumo energético, lo que implica que para dimensionar los aspectos técnicos de la planta de gasificación es necesario definir la demanda de potencia de la comunidad, así como la energía consumida proyectada mensual y anualmente.

Para la caracterización de la demanda de la comunidad La Nueva Bendición, se ha utilizado de base el protocolo de diseño encontrado en el Informe Final de Caracterización de la Demanda de Energía en Zonas Rurales Aisladas de Guatemala.

A continuación, se presenta una estimación del consumo que conllevan los elementos básicos a instalar en un hogar, centro de salud, escuela, salón de usos múltiples y el alumbrado público.

Claro está que a partir de instaurarse un servicio de energía eléctrica al pasar los años la comunidad tendrá una mayor demanda, de igual forma que existen cierto número de pérdidas técnicas en el sistema de distribución y generación, por lo cual se aplica un factor k al tener el cálculo de la potencia máxima requerida.

Tabla VIII. **Cargas Principales**

Usuarios	Cantidad
Casas	52
Escuela	1
Centro de Salud	1
Salón de Usos Múltiples/ Casa Patronal	1
Alumbrado Publico	12

Fuente: Fuentes (2012, p. 25). *Fortalecimiento de los derechos de tenencia comunal para el manejo colectivo y sostenible de los recursos naturales.*

3.1.1. Cálculo de la demanda de usos domésticos

Para el cálculo de la demanda de las casas se utilizó en base el Informe Final de caracteriza de la Demanda de ZRA, a lo cual se ha modificado y acoplado a las condiciones de la comunidad.

Las cargas se han seleccionado en función de lo encontrado en la bibliografía pertinente y en base a los mencionado en la entrevista a personas de

la comunidad que mencionan que la prioridad energética para ellos al tener acceso a la energía eléctrica es un refrigerador, una televisión e iluminación para sus respectivos hogares.

Tabla IX. Detalle de cálculo de demanda de un hogar

Carga	N.º	Potencia individual (W)	Potencia Total (W)	Factor de demanda	Horas de funcionamiento por semana			Wh / día	Wh / semana	Wh / mes
					h / día	día/ semana	h / semana			
Luminarias ahorrativas	4	15	60	1	4	7	28	240	1 680	7 291
Cargador de celulares	2	20	40	0,7	4	7	28	112	784	3 403
Refrigerador	1	150	150	0,25	24	7	168	900	6 300	27 342
Radio	1	40	40	0,9	4	5	20	144	720	3 125
Televisión	1	90	90	0,9	4	7	28	324	2 268	9 843
Total			380		Total			1 720	11 752	51 004

Fuente: elaboración propia

3.1.2. Cálculo de la demanda de usos sociales

A continuación, se presenta un cálculo de la demanda energética para usos comunes en la comunidad, como son el caso de la escuela, el centro de salud, alumbrado público y un salón de usos múltiples.

Tabla X. Detalle de cálculo de demanda de la escuela

Carga	N.º	Potencia individual (W)	Potencia Total (W)	Factor de demanda	Horas de funcionamiento por semana			Wh / día	Wh / semana	Wh / mes
					h / día	día / semana	h / semana			
Luminarias ahorrativas	6	15	90	1	4	5	20	360	1 800	7 812
Computadora	2	150	300	1	8	5	40	2 400	12 000	52 080
Impresora	1	30	30	1	1	5	5	30	150	651
Radio grabadora	1	15	15	1	3	5	15	45	225	977
Televisión	1	90	90	0,9	3	5	15	243	1 215	5 273
		Total	525				Total	3 078	15 390	66 793

Fuente: elaboración propia

Tabla XI. Detalle de cálculo de demanda del Centro de Salud

Carga	N.º	Potencia individual (W)	Potencia Total (W)	Factor de demanda	Horas de funcionamiento por semana			Wh / día	Wh / semana	Wh / mes
					h / día	día / semana	h / semana			
Luminarias ahorrativas	4	15	60	1	4	7	28	240	1 680	7 291
Computadora portátil	1	100	100	0,95	4	7	28	380	2 660	11 506
Radiotransmisor	1	30	30	1	1	7	7	30	210	911
Refrigerador	1	150	150	0,25	24	7	168	900	6 300	27 342
Equipo dental	1	50	50	1	1	7	7	50	350	1 519
Tomacorrientes (variable)	1	100	100	0,8	4	7	28	320	2 240	9 722
Radiograbadora	1	15	15	0,9	4	7	28	54	378	1 641
		Total	505				Total	1 874	13 118	59 932

Fuente: elaboración propia

Tabla XII. **Detalle de cálculo de demanda del salón de usos múltiples**

Carga	N.º	Potencia individual (W)	Potencia Total (W)	Factor de demanda	Horas de funcionamiento por semana			Wh / día	Wh / semana	Wh / mes
					h / día	día / semana	h / semana			
Luminarias ahorrativas	5	15	75	1	4	5	20	300	1 500	6 510
Tomacorrientes (carga variable)	2	100	200	0,7	4	5	20	560	2 800	12 152
Total			275	Total			860	4 300	18 662	

Fuente: elaboración propia

Tabla XIII. **Detalle de cálculo de demanda para el alumbrado público**

Carga	N.º	Potencia individual (W)	Potencia Total (W)	Factor de demanda	Horas de funcionamiento por semana			Wh / día	Wh / semana	Wh / mes
					h / día	día / semana	h / semana			
Luminarias	12	100	1 200	1	12	7	84	14 400	100 800	437 472
Total			1 200	Total			14 400	100 800	437 472	

Fuente: elaboración propia

3.1.3. Demanda energética total de la comunidad

Tras realizar el cálculo de la demanda energética de la comunidad se presenta a continuación un estimado de la potencia instalada y energía que requerirá La Nueva Bendición.

Tabla XIV. **Demanda Energética de la comunidad La Nueva Bendición**

Usuarios	No.	Carga Individual (kW)	Total (kW)	KWh-mes/ Usuario	KWh-mes/ Total	Kwh/año
Casas	52	0,380	19,76	51,00	2 652	31 826,49
Escuela	1	0,525	0,525	66,79	67	801,51
Centro de Salud	1	0,505	0,505	59,93	60	719,18
Salón de Usos Múltiples/ Casa Patronal	1	0,275	0,275	18,66	19	223,94
Alumbrado Publico	12	0,100	1.2	36,45	437	5 249,66
		TOTAL	22,27	232,85	3 235	38 821,80

Fuente: elaboración propia

3.1.4. Factores de corrección

Los cálculos previamente presentados son estimaciones en base a la bibliografía, datos de la comunidad y experiencia, sin embargo, para todo cálculo de demanda se debe considerar las perdidas y un aumento de la demanda energética, por lo que para obtener un valor mas seguro se aplicaran factores de corrección para ambos casos.

3.1.4.1. Factor de perdida y crecimiento de demanda

Para cualquier cálculo de demanda energética se debe considerar un factor de perdidas, están mayoritariamente se consideran por el efecto Joule en los conductores que genera calor y perdidas técnicas energéticas en la generación en la conversión y distribución de la energía eléctrica, para la presente investigación se consideró un factor de pérdidas del 8 %.

Así mismo, se toma en cuenta un factor de crecimiento del 17 % para la comunidad para los próximos 5 años. A continuación, se procederá a calcular el factor de k y el cálculo de la potencia de diseño corregida con este factor.

Tabla XV. **Factor de perdida y de crecimiento**

Factor	Porcentaje
Factor de perdidas	8 %
Factor de crecimiento	17 %
Total (Factor k)	25 %

Fuente: elaboración propia

Tabla XVI. **Cálculo de la potencia de diseño**

Potencia (kW)	Factor k	Potencia de diseño (kW)
22.27	125 %	27.84

Fuente: elaboración propia

Por consideración de mercado de generadores eléctricos, se aproximará la potencia de diseño a 30 kW.

3.1.4.2. Eficiencia de la planta de gasificación

La eficiencia de las plantas de gasificación varía en función de varios factores como es la eficiencia del generador eléctrico, eficiencia del motor de combustión interna directamente relacionado con el poder calorífico obtenido del gas sintético proveniente del proceso de gasificación. Así como el poder calorífico y nivel de humedad de la biomasa.

El gasificador seleccionado tiene una eficiencia total del 72 % desde el ingreso de la biomasa, pasando el proceso de secado, pirólisis, gasificación y la generación de energía eléctrica. Esto implica un factor de corrección del 1,39.

Esto implica que la demanda energética en función de la biomasa será del factor de corrección aplicado a la energía total requerida por la comunidad:

$$\text{Energía en biomasa} = \text{Factor de eficiencia} * \text{Energía demandada}$$

$$\text{Energía en biomasa (mes)} = 1.39 * 3\,235 \text{ kWh/mes} = 4\,496.65 \text{ kWh/mes}$$

$$\text{Energía en biomasa (año)} = 4\,496.65 \text{ kWh/mes} * 12 = 53\,960 \text{ kWh/año}$$

3.1.5. Demanda y potencia de diseño

Para poder obtener el generador y planta que se propone adquirir se requiere la potencia de diseño. Así mismo, para determinar el potencial energético y la cantidad de biomasa requerido se requiere detallar demanda energética de diseño.

La demanda energética de la comunidad representa la demanda energética total para la comunidad la Nueva Bendición. La Energía de diseño es la requerida para determinar la cantidad de biomasa. Esta es la demanda energética incluyendo las perdidas asociadas a la tecnología de gasificación y generación.

Tabla XVII. **Potencia y demanda energética de diseño**

Potencia de diseño	30 kW
Demanda energética de diseño / mes	4 497 kWh/mes
Demanda energética de diseño / año	53 960 kWh/año

Fuente: elaboración propia

3.2. Potencial energético de la biomasa agroforestal

Una vez determinada la demanda energética, es importante validar cual es el potencial de la biomasa agroforestal actual de la comunidad para poder suplir los requerimientos energéticos que tiene la población.

- Objetivo 2: Analizar el potencial que tiene la biomasa proveniente de un bosque energético y los residuos agroforestales para cubrir la demanda de la comunidad, La Nueva Bendición

La biomasa principal para el suministro energético será adquirida de un bosque energético de eucalyptus *camaldulensis* y los residuos forestales del bosque comunal. A continuación, se presenta una tabla que demuestra la disponibilidad de bosque que existe en la comunidad, incluye el manejo de bosque que se tiene, tanto de manera comunal como individual.

Tabla XVIII. **Manejo del bosque**

Tipo de Bosque	Área (ha)	Extensión (%)
Comunal	385.31	69.54
Individual	56.48	10.16
TOTAL	441.48	79.70

Fuente: Fuentes (2012, p. 26). *Fortalecimiento de los derechos de tenencia comunal para el manejo colectivo y sostenible de los recursos naturales.*

Asimismo, existe una gran variedad de recursos de biomasa, que pueden ser utilizados para generar energía eléctrica y no son comúnmente utilizados, entre estos se encuentra la biomasa de los residuos agrícolas y forestales.

Una de las actividades que los miembros de la comunidad realizan para el sostén de sus familias, es la siembra de cultivos agrícolas, como el maíz, frijol, y algunas legumbres; sin embargo, algunas personas de la comunidad cuentan con algunas cabezas de reces (ganado) este último de carácter menor, ya que solo cuentan entre 1 y 5 cabezas. A continuación, se presenta una tabla que define la extensión por cultivo que tiene la comunidad La Nueva Bendición.

Tabla XIX. Extensión por cultivo en La Nueva Bendición

Cultivo	Área (ha)	Extensión respecto a la tierra comunal (%)
Maíz	22.57	4.06
Café	78.92	14.20
Pastos	11.34	2.04
Total	102.83	18.26

Fuente: Fuentes (2012, p. 23). *Fortalecimiento de los derechos de tenencia comunal para el manejo colectivo y sostenible de los recursos naturales.*

El eje económico de la comunidad ECA, La Bendición es la agricultura, teniendo esta una gran cantidad de residuos que no son utilizados de ninguna manera y únicamente se acumulan como basura; siendo esta, materia orgánica, produce GEI al no tener un tratamiento sostenible.

Residuos como la mazorca del maíz y el cascarillo del café pueden ser utilizados en la planta de gasificación para reducir la demanda de biomasa forestal y aprovechando sosteniblemente los residuos agrícolas.

3.2.1. Potencial energético de un bosque energético de *eucalyptus camaldulensis*

Se utilizaron los datos de crecimiento de plantaciones de *eucalyptus camaldulensis* obtenido de estudios previos para proyectar el crecimiento potencial que puede obtenerse en las hectáreas que serían designadas para el bosque energético de la comunidad, estos datos serán de utilidad para obtener proyecciones de la cantidad de biomasa que se puede obtener al año.

Tabla XX. Crecimiento de *E. camaldulensis* en diferentes plantaciones

Plantación	Volumen (m ³ /ha)	Tiempo (años)	m ³ /ha/año
Sé tzac, Senahú A.V.	37.85	3.25	11.65
Ingenio Tululá	32.19	2.25	14.31
San Miguel Nahualate	24.62	2.25	10.94
Proyecto Dendroenergía La Maquina	56.15	2.50	22.50

Fuente: FAO (2008). *Bosques y energía. Cuestiones clave*

Según el cuadro 1 de la Guía Técnica de las Especies forestales más Utilizadas para la producción de Leña en Guatemala, desarrollado por el INAB se referencia que el poder calorífico del *eucalyptus camaldulensis* es de 4 800 kcal/kg. De ahora en adelante se trabajará con este valor teórico para dimensionar el tamaño del bosque energético para cubrir la demanda de la planta de gasificación.

En base a las experiencias de Plantaciones Forestales, se presenta el proyecto del bosque energético con un ciclo de cultivo de 5 años, esto significa que el tiempo que se les dará a los árboles para crecer serán 5 años, una vez cumplida su edad, se procede al corte, secado y posterior procesamiento para generar los chips de madera.

Esto implica que se requiere de 5 veces el área que cubre la demanda de diseño anual, esto con el fin de no consumir todo el bosque en el primero año y a medida que se corta un especie, se cuenta con 5 años a partir del corte para el proceso de siembra y crecimiento para su próxima tanda.

A método de cálculo del bosque energético se utilizarán los datos de Plantaciones Forestales, los cuales indican en promedio una producción de 125 Tm/año con una separación de 2 m x 2 m y una densidad de 1 667 árboles / Ha; se considerará un porcentaje del 70 % de eficiencia en el uso de la biomasa, esto se reduce por el porcentaje de humedad en la madera y las pérdidas que puedan existir en la eficiencia por peso de las ramas y hojas por árbol.

Tabla XXI. **Cálculo del requerimiento de biomasa**

Especie	<i>eucalyptus camaldulensis</i>
Poder Calorífico (kcal/kg)	4800
Poder Calorífico (kWh/kg)	5.58
Demanda E. a cubrir (%)	100
Demanda E. de diseño (kWh/año)	53 960
Requerimiento de biomasa (kg/año)	9 673
Requerimiento de biomasa (kg/año) con 30% de perdidas	13 818
Tm/año	14
Hectáreas/año	0.11
Tamaño total del bosque energético, ciclo de 5 años (Ha)	0.55

Fuente: elaboración propia.

En modo resumen, se requieren de 13 818 kg por año de leña de *eucalyptus camaldulensis* proveniente de un bosque energético a instaurar en la comunidad, con un tamaño total de 0.55 Ha, con un ciclo de cultivo de 5 años, teniendo corte de 0.11 Ha por año.

3.2.2. Residuos de biomasa forestal

A partir de los cálculos en el inciso anterior se puede observar que el 100 % de la demanda será cubierta por el bosque energético. Sin embargo, la mayoría de la extensión territorial de la comunidad son bosques comunales. La comunidad cuenta con un bosque comunal de 385.31 Ha, lo que representa el 69,53 % de extensión respecto a la tierra comunal.

Como se puede apreciar esto implica que se cuenta con una gran extensión de tierra para suplir la demanda energética como modo de reserva y complemento ante el aumento de la demanda energética. A continuación, se presentan las especies de árboles que se encuentran en el bosque comunitario:

Tabla XXII. **Especies predominantes del bosque**

Especies predominantes en bosque natural	
Nombre común	Nombre científico
Chico zapote	<i>Manilkara zapota</i>
Palo jiote	<i>Bursera simaruba</i>
Jobo	<i>Spondias mombin</i>
Estoraque	<i>Liquidambar styraciflua</i>

Fuente: Fuentes (2012, p. 27). *Fortalecimiento de los derechos de tenencia comunal para el manejo colectivo y sostenible de los recursos naturales.*

Se propone tener un aprovechamiento de los residuos del bosque comunal para cubrir el 39 % de la demanda energética como respaldo y aporte ante el crecimiento de la demanda energética en la comunidad.

De los cuales el árbol más común en el bosque comunal y con mejor propiedad calorífica es el *Liquidambar Styraciflua*. El cual tiene poder calorífico: 5 977 kcal/kg. (Villagran, 2009)

Aplicando la conversión:

$$1kcal = 4.184 kJ$$

$$1kWh = 3600 kJ$$

$$Poder\ calorifico = \left(5\,977 \frac{kcal}{kg}\right) * \frac{4.184 J}{1 kcal} * \frac{1 kWh}{3600 kJ} = 6.94 kWh/kg$$

A sabiendas que se propone de cubrir el 39 % de la demanda energética anual, esto implica que se requiere de 21 044 kWh/año.

$$Cantidad\ de\ biomasa\ (kg) = \frac{Energia\ requerida}{Poder\ calorifico}$$

$$Cantidad\ de\ biomasa\ (kg) = \frac{21\,044 \frac{kWh}{año}}{6.94 \frac{kWh}{kg}}$$

$$Residuos\ de\ biomasa\ forestal = 3\,032 \frac{kg}{año}$$

El aporte necesario por parte de la biomasa forestal es de: 3 032 kg/año. A continuación, se presenta un cuadro resumen de los indicadores claves relativos al potencial energético de los residuos forestales.

Tabla XXIII. **Potencial energético de la biomasa forestal**

Especie	<i>Liquidambar styraciflua</i>
Poder Calorífico (kcal/kg)	5 977
Demanda por cubrir (%)	39
Energía respaldada (kWh/año)	21 044
Cantidad de biomasa (kg/año)	3 032

Fuente: elaboración propia

3.2.3. Potencial energético de los residuos agrícolas

En la comunidad los 52 socios cuentan con parcelas de 70 cuerdas por familia, las cuales son destinadas para la siembra de maíz, frijol y café, La mayoría de cultivo se identifican en el muñeco en la parte sur de la finca. Ya que en la parte norte se encuentra lo que es el bosque. En donde se encuentran localizados los recursos naturales que para ellos son muy importantes.

3.2.3.1. Rendimiento de la producción agrícola

Se ha registrado poco rendimiento de los cultivos, el cual se debe a los fuertes vientos que afectan la región, por lo que los vecinos tan solo pueden aprovechar una cosecha de maíz la cual la logran en el invierno, ya que el tiempo de aire es comúnmente en el verano.

En el siguiente cuadro se especifica el tipo de cultivo sembrado y su rendimiento de producción.

Tabla XXIV. **Rendimiento por cultivo**

Cultivo	Rendimiento
Maíz	1.5 q/cuerda
Café	40 libras/cuerda

Fuente: Fuentes (2012, p. 26). *Fortalecimiento de los derechos de tenencia comunal para el manejo colectivo y sostenible de los recursos naturales.*

3.2.3.2. Caracterización de los subproductos del café

Los residuos orgánicos, tanto líquidos como sólidos, son de difícil disposición final por su carácter degradante del medio ambiente, sin embargo, el mejor tratamiento para cualquiera de estos elementos es su conversión en otro tipo de energía utilizable como es el caso de la energía eléctrica. Los subproductos que se generan en el proceso del beneficiado húmedo son la pulpa, el mucílago, las aguas de despulpado, agua del arrastre de la pulpa y las del proceso de lavado. De los cuales, los únicos que pueden ser aprovechados por un gasificador son los de características de uso como combustible sólido.

- **La pulpa**

Dentro de los subproductos sólidos, la pulpa es la más voluminosa representa el 56 % del volumen del fruto y el 40 % del peso. La composición química de este residuo al sufrir un proceso de fermentación puede provocar que se formen cargas orgánicas de 20 kg por quintal oro procesado, esto como un desecho sólido no reutilizado. (Valencia y Zambrano, 2010, p. 2)

- El mucílago

El mucílago representa entre el 20 y el 22 % del peso del fruto y conforma una importante proporción de la carga orgánica potencial, por su alto contenido de azúcares, pectinas y ácidos orgánicos.

- La cascarilla o cascabillo

El pergamino suelto es un subproducto que representa alrededor del 4.5 o 5 % del peso del fruto del café; no representa riesgo contaminante en el beneficio húmedo y es un valioso material que puede utilizarse como combustible sólido en el secamiento mecánico del café. Genera aproximadamente 17.9 MJ/kg. (Valencia y Zambrano, 2010, p. 4)

- Borra de Café

Residuo que se genera en las fábricas de café soluble y corresponde a la fracción insoluble del grano tostado. Representa cerca del 10% del peso del fruto fresco. En las fábricas de café soluble, después del proceso de prensado y secado hasta el rango del 8% al 15% de humedad, la borra se utiliza como combustible en las calderas generadoras de vapor de agua. Su valor calorífico está entre 24.91 MJ/ kg y 29.01 MJ/kg de borra seca. (Valencia y Zambrano, 2010, p. 4)

- Ripios

Son residuos del proceso de trilla y están constituidos por granos imperfectos, almendras partidas y frutos pequeños, y tienen la misma composición química del grano. La bebida preparada a partir de los ripios es de baja calidad. Los ripios presentan un valor calorífico del orden de

15,60 MJ/kg cuando se utilizan como combustible sólido. (Valencia y Zambrano, 2010, p. 5)

- Tallos de café

Los tallos de café, provenientes del zoqueo (práctica más agresiva que la poda, implica remover gran parte del tronco y sus tallos), son utilizados por los productores para la cocción de alimentos y el secado del grano, contribuyendo a la conservación del bosque nativo. (Valencia y Zambrano, 2010, p. 4)

La Federación de Cafeteros de Colombia, para mantener una caficultura productiva, promueve ciclos de renovación cada cinco años y reporta un promedio de densidad de 5 000 árboles/ha. Durante el proceso de renovación se reporta una producción de madera seca de 16 t/ha, para 5 000 árboles/ha, lo que permite calcular un promedio de producción de 0.6 kg de tallos por 1 kg de café cereza procesado. Utilización como combustible directo. Se reporta una capacidad calórica para los tallos de 19.75 MJ/kg. (Valencia y Zambrano, 2010, p. 5)

Figura 2. **Capacidad calorífica de los principales subproductos del café**

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

Fuente: Valencia y Zambrano (2010, p. 6). *Los subproductos del café: fuente de energía renovable.*

3.2.3.3. Potencial energético de los residuos del café

Debido al déficit de producción que se tiene en la comunidad La Nueva Bendición, no se pueden utilizar las estimaciones de producción por hectárea previamente desplegados. Sin embargo, si se pueden utilizar los porcentajes sugeridos por la bibliografía de cada residuo por kg de café producido. De los residuos mencionados previamente, el único que no se tomará en cuenta es el mucilago ya que no funge como combustible sólido.

Tabla XXV. **Producción anual de café**

Cultivo	Área (ha)	Producción (kg/Ha)	Producción (kg/cosecha)	Producción (kg/año)
Café	78.92	46.26	3 651.16	7 302.32

Fuente: elaboración propia

En el proceso del café se estima que menos del 5 % de la biomasa generada se aprovecha en la elaboración de la bebida, el resto queda en forma residual representado en materiales lignocelulósicos como hojas, ramas y tallos, generados en el proceso de renovación de los cafetales. (Valencia y Zambrano, 2010, p. 2)

A partir del valor anterior se calculará en base al porcentaje de peso de cada residuo, el valor en kilogramos y la potencia de suministro que se puede obtener. A continuación, se presenta la tabla del cálculo de los residuos disponibles a partir del café:

Tabla XXVI. **Energía suministrada por residuos de café**

Residuo	Porcentaje del peso (%)	Residuo (kg/año)	Poder Calorífico (kJ/kg)	Energía aportada (KJ/año)	Energía (kW-h/año)
Pulpa	43.58	3 182.35	15 880	50 535 734.77	14 037.82
Cisco	4,2	306.69	17 900	5 489 884.18	1 524.98
Borra	10	730.23	29 010	21 184 030.32	5 884.50
Ripio	6	438.14	15 600	6 834 971.52	1 898.62
Tallos	3.2 kg/ha	147.20	19 750	2 907 200.00	807.56
				Total	24 153.48

Fuente: elaboración propia

3.2.3.4. Potencial energético de los residuos del maíz

Se procederá a desarrollar un proceso de cálculo similar al del residuo del café con los residuos del maíz. Los cuales son principalmente dos, la mazorca y la tuza. Dado que, en La Nueva Bendición, como en la gran mayoría del país, se trabaja con la “Quema de la Rosa”, práctica que no permite el aprovechamiento de otros residuos del cultivo de maíz.

Dado que la extensión es menor y la poca eficiencia de producción de maíz por los fuertes vientos, el aporte energético de los residuos de maíz no será tan considerable como el del café.

Tabla XXVII. **Producción anual de maíz**

Cultivo	Área(ha)	Producción kg/Ha	Producción (kg/cosecha)	Producción (kg/año)
Maíz	22.57	381.68	8 614.52	8 614.52

Fuente: elaboración propia

Tabla XXVIII. **Energía suministrada por residuos de maíz**

Residuo	Porcentaje del peso (%)	Residuo (kg/año)	Poder Calorífico (kJ/kg)	Energía aportada (KJ/año)	Energía (kW-h/año)
Mazorca	11,8	1 016.51	19 300	19 618 702.38	5 450.07
Panoja	12	1 033.74	10 000	10 337 421.12	2 871.73
				Total	8 321.81

Fuente: elaboración propia

3.2.4. Cobertura de la demanda energética con residuos agrícolas

Ya determinado el potencial energético de los residuos agrícolas con los que cuenta la comunidad, el siguiente paso es traducir la información a que porcentaje de la demanda energética anual es capaz de ser cubierta con la biomasa proveniente de los residuos agrícolas.

3.2.4.1. Cobertura de los residuos del maíz

El rendimiento del maíz no es tan alto según datos históricos de la comunidad ya que por los fuertes vientos que tienen por su ubicación geográfica únicamente puede aprovechar una cosecha anual. Se ha calculado un potencial energético de generación de 8 321,81 kWh/año.

A continuación, se presenta el cálculo de la cobertura de la demanda energética de la comunidad por parte de los residuos del maíz:

$$CD_M = \frac{\text{Energía generada de los residuos de maíz}}{\text{Energía total de diseño}}$$

$$CD_M = \frac{8\,321,81 \text{ kWh/año}}{53\,960 \text{ kWh/año}} * 100$$

$$CD_M = 16 \%$$

3.2.4.2. Cobertura de los residuos del café

La producción de café es la predominante en la comunidad. Teniendo una producción de 7 302,32 kg/año, implica que se tiene una gran cantidad de residuos del café los cuales al segmentarlos por cada residuo y sus respectivos

poderes caloríficos se ha determinado que se tiene potencial de producir hasta 24 153,47 kWh/año; lo cual representa un 45 % de la energía demanda anualmente.

A continuación, se presenta el cálculo de la cobertura de la demanda energética de la comunidad por parte de los residuos del café:

$$CD_c = \frac{\text{Energía generada de los residuos de café}}{\text{Energía total de diseño}}$$

$$CD_c = \frac{24\,153,47 \text{ kWh/año}}{53\,960 \text{ kWh/año}} * 100$$

$$CD_c = 45 \%$$

A partir de esto, se determina el índice de cobertura total de la demanda energética que tiene la generación a partir de gasificación de la biomasa residual del café y del maíz.

$$CD_T = CD_M + CD_c$$

$$CD_T = 16 \% + 45 \%$$

$$CD_T = 61 \%$$

Los cálculos permiten observar que a partir de los residuos agrícolas es posible generar hasta un 61 % de la energía requerida anualmente. Hay que tomar que, para este cálculo, se ha trabajado con valores teóricos y no se ha considerado las pérdidas que pueden existir por niveles de humedad de la biomasa.

3.2.5. Diésel como alternativa energética

El motor de combustión interna acoplado al generador eléctrico funciona en base a un combustible gaseoso o líquido, lo cual implica que ante un déficit de abastecimiento se puede recurrir al uso del diésel como combustible.

Bajo los criterios técnicos del motor de combustión interna se puede utilizar galones de diésel. Sin embargo, esto no es la intención de la planta de gasificación, es recomendado únicamente ante la contingencia de un déficit biomásico. El diésel recomendado para el motor de combustión interna FG Wilson P33-3 es: Clase A2 o BSEN 590

- Objetivo 3: Evaluar la factibilidad de una planta de gasificación de biomasa para la generación de energía eléctrica en la comunidad, La Nueva Bendición

3.3. Estudio de factibilidad

El estudio de factibilidad es una herramienta que permitirá orientar la decisión si el proyecto es viable técnica y económicamente, ya que sin estos dos pilares ningún proyecto podrá arrancar u operar.

3.3.1. Estudio técnico

En el presente estudio se detallan los resultados de un proceso de investigación, recopilación de datos y cotización, incluyendo los elementos que involucran la ingeniería básica del proceso a implementar, con el fin de identificar los requerimientos para hacer que el proyecto sea funcional.

3.3.1.1. Planta de gasificación

Como se ha descrito previamente, las plantas de gasificación tienen la función de convertir la energía química contenida en la biomasa en energía química contenida en el gas generado. Este gas, llamado gas pobre, *syngas* o gas de síntesis puede ser utilizado en una caldera para generar calor y/o en un motor de combustión interna (MCI) o una turbina para generar energía mecánica o eléctrica. Para gasificar la biomasa solo se necesita el sistema de alimentación de biomasa y el reactor, en un proceso relativamente fácil, introduciendo una relación adecuada entre la cantidad del agente gasificante y la de biomasa, sin embargo, el gas debe ser tratado debido a la elevada temperatura a la que sale del reactor y la cantidad de sólidos y alquitranes contenidos en él. (Vargas, 2012)

Dado que la presente investigación no se basa en el diseño de una planta de gasificación más que en el estudio de factibilidad que tiene instalar una planta para alimentar una comunidad rural aislada. La parte del diseño se presenta únicamente en el marco teórico para referencia bibliográfica.

De manera que se pueda desarrollar el proyecto es clave seleccionar el gasificador a utilizar. Posterior a investigación se ha encontrado un proveedor que trabaja en el país y es impulsor de la esta tecnología llamado GRUPO GERTEK; los cuales utilizan gasificadores *Ankur Scientific*.

Para nuestro caso, ante una potencia de diseño de 30 kW. Se ha definido una planta de gasificación con las características mostradas en la próxima tabla.

Tabla XXIX. **Especificaciones técnicas del gasificador *Ankur Scientific*,
Modelo UFBGPP 50**

Modelo	UFBGPP 50
Potencia nominal (kW)	30
Frecuencia nominal (Hz)	60
Voltaje nominal (V)	480/240
Tipo de gasificador	Lecho fluido burbujeante
Requerimiento de humedad de la biomasa	<25% de humedad
Requerimiento de dimensiones de la biomasa	Diámetro: 20mm-75mm; Longitud: 10mm-75mm
Consumo de biomasa (kg/h)	30 - 50
Producción de gas sintético (Nm ³ /h)	150 - 175
Descarga de ceniza	Tipo ceniza seca / tipo ceniza húmeda
Sistema de filtrado de gas	Sistema de purificación de gas seco
Válvula de calor de gas sintético	> 1200 - 1400 kcal/Nm ³
Composición de gas sintético	CO: 16 – 21 %, CO ₂ : 5 – 11 %, CH ₄ : 4 - 6%, H ₂ : 10 - 12%, N ₂ : 54 - 60%

Fuente: Cotización del Grupo Gertek: *Budgetary offer for “Ankur” Biomass Gasifier Model 1 x WBG-40 consisting of 100% Producer Gas Engine for 20 kWe Gross Peak Power Generation System*, 2017, p. 3.

Un elemento que ha sido tomado a consideración es el tipo de gasificador. Se ha seleccionado un gasificador de lecho fluido burbujeante ya que tiene las siguientes ventajas:

- Es posible regular y mantener el valor adecuado de la relación aire/biomasa para cargas variables de biomasa.
- Obtener un poder calorífico del gas y una eficiencia energética superiores a los de un gasificador de lecho fijo *downdraft*.
- No existen los problemas de caída de presión en el lecho que tiene la planta de gasificación de lecho fijo *downdraft*.

Sin embargo, tiene los siguientes inconvenientes:

- Necesidad de automatizar la operación, para regular en forma continuada la relación aire/biomasa.
- Se requiere un sistema de limpieza de gases más robusto y con mayor consumo de energía que en un gasificador de lecho fijo *downdraft*.

3.3.1.2. Descripción de la planta

A continuación, se presenta un diseño de la planta de gasificación de biomasa con todos sus componentes según encontrados en la tesis doctoral realizado por Carlos Vargas y La Universidad Politécnica de Valencia donde se desarrolla un estudio de comparativo de la utilización de las tecnologías de gasificación *downdraft* y lecho fluido burbujeante para la generación de energía eléctrica en aplicaciones de baja potencia.

Los principales equipos del circuito de gas de la planta de gasificación se describen brevemente a continuación (Vargas, 2012), los números están referidos a la figura 3 y figura 4:

1. Sistema de alimentación de biomasa: Consta de un tornillo de alimentación (1A) accionado por un motor eléctrico (1B) y un depósito de almacenamiento de biomasa (1C).
2. Reactor: conformado por un cuerpo superior (2A) y otro inferior (2B).
3. Separador de sólidos.
4. Ciclón.
5. Intercambiador de calor agua-gas.
6. Depósito de alquitranes.

7. Lavador de gas (7A), filtro de gruesos (7B) y filtro de finos (7C).
8. Cámara de vacío.
9. Bomba de vacío.
10. Rotámetro de gas de salida (10A) y de recirculación (10B).
11. Antorcha.

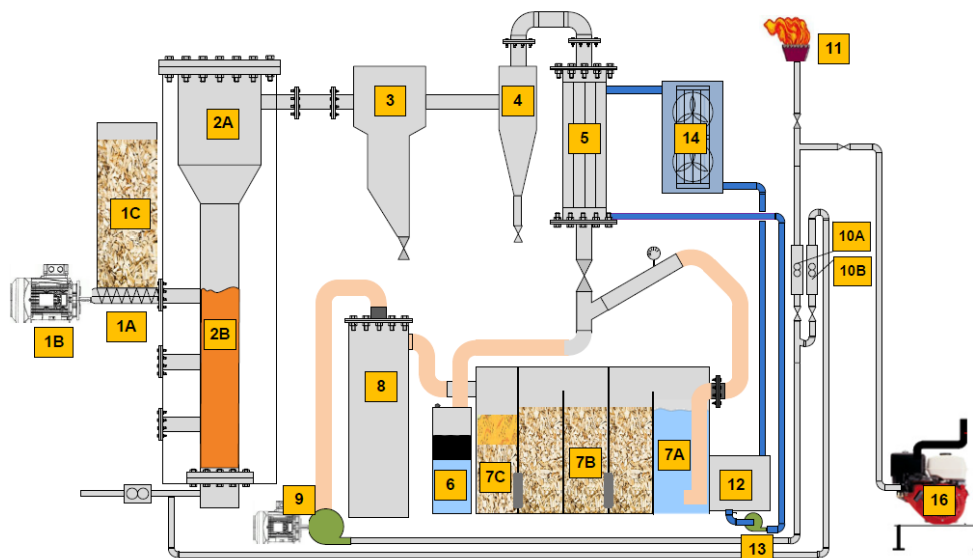
A falta del intercambiador de calor agua-gas, que ya ha sido mencionado porque hace parte de ambos circuitos, el circuito de agua de enfriamiento de la planta de gasificación cuenta con los siguientes componentes:

12. Depósito de agua
13. Bomba de agua.
14. Aerotermo (Intercambiado de placas agua-aire).

Otros componentes de la planta son:

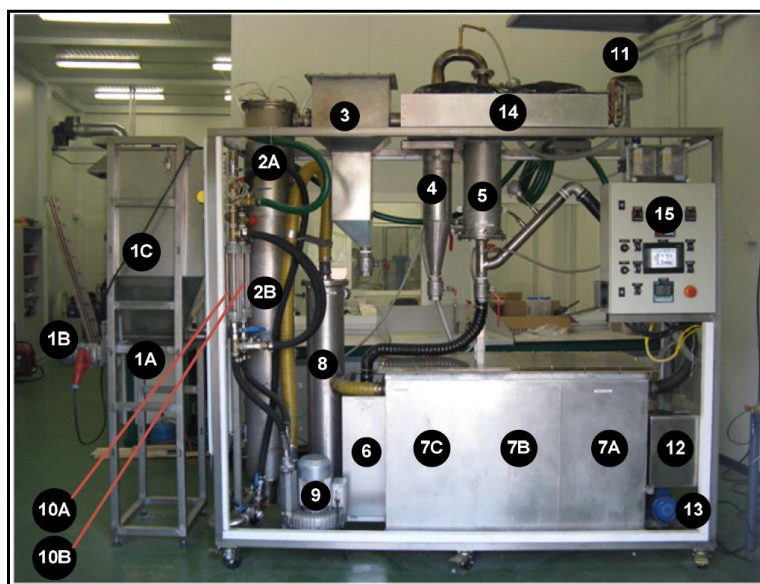
15. Cuadro eléctrico y de control
16. Motor de combustión interna. (p. 75)

Figura 3. Esquema de los componentes de la planta de gasificación



Fuente: Vargas, C. (2012, p. 76) *“Estudio de comparativo de la utilización de las tecnologías de gasificación downdraft y lecho fluido burbujeante para la generación de energía eléctrica en aplicaciones de baja potencia.”* Universidad Politécnica de Valencia.

Figura 4. Fotografía de los componentes de la planta de gasificación



Fuente: Vargas, C. (2012, p. 76) *“Estudio de comparativo de la utilización de las tecnologías de gasificación downdraft y lecho fluido burbujeante para la generación de energía eléctrica en aplicaciones de baja potencia.”* Universidad Politécnica de Valencia.

3.3.1.3. Selección del motor-generator

Es difícil encontrar un motor que se adapte perfectamente al *syngas* con una eficiencia óptima debido a que la mayoría de los existentes en el mercado funcionan con gasolina y como tal han sido diseñados para operar con este combustible. No obstante, si se hacen las modificaciones requeridas es posible seleccionar un motor que podría operar con *syngas* sin mayores problemas. La adaptación de un MCI que opera con gasolina, para trabajar con *syngas* lleva a una reducción de su potencia. (Vargas, 2012)

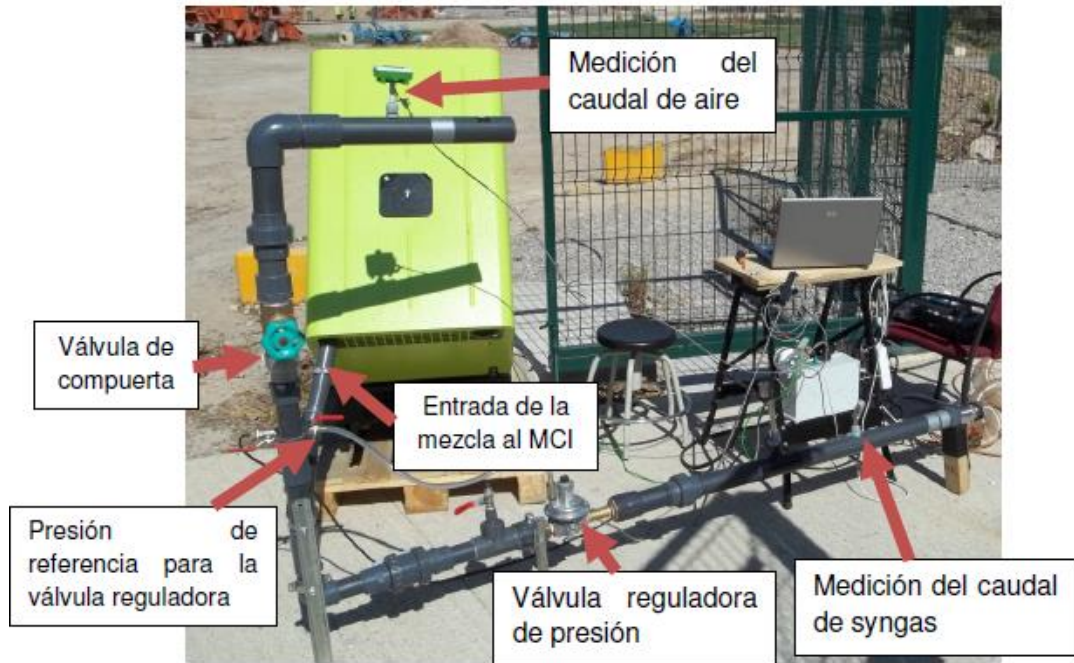
El motor seleccionado en el presente trabajo, por cumplir la mayoría de las características mencionadas es el FG Wilson P33-3 que se muestra en la siguiente figura y cuyas características se muestran en la próxima tabla. La principal modificación por realizar al motor, el cual dosificaba la gasolina mediante el carburador, es el sistema de admisión de gas y de aire.

Figura 5. **Motor FG Wilson P33-3**



Fuente: FG Wilson (s.f.)

Figura 6. Sistema de admisión del MCI



Fuente: Vargas, C. (2012) *“Estudio de comparativo de la utilización de las tecnologías de gasificación downdraft y lecho fluido burbujeante para la generación de energía eléctrica en aplicaciones de baja potencia.”* Universidad Politécnica de Valencia, p. 90.

3.3.1.4. Viabilidad técnica

En base a las múltiples referencias bibliográficas en la operación de las plantas de gasificación, y basándonos principalmente en Vargas, quien indica que:

pueden operar sin problemas de manera continua y, por lo tanto, se concluye que en sitios con demanda de energía reducida (inferior a 100 kW) la planta de gasificación, usando la tecnología de lecho fluido para la generación de energía eléctrica y térmica, es técnicamente viable. (Vargas, 2012, p. 127)

3.3.1.5. Plan de mantenimiento

Se presentan un conjunto de operaciones a realizar en los equipos principales de la instalación para asegurar su funcionamiento, fiabilidad y prolongar la vida del proyecto, se creo una tabla que describe un plan con actividades a realizarse con periodicidad de 24 h, 250 h y 6 meses.

Tabla XXX. Plan de mantenimiento de la planta de gasificación

COMPONENTE	ACCIONES	PERIODICIDAD		
		24 horas o 2 usos	250 horas o una vez al mes	Cada 6 meses
Tornillo sin fin	Remover, verificar estado y limpiar			X
Anemómetro	Retirar del la tubería y limpiar la punta con agua		X	
Puerto de encendido	Verificar estado por trabajo a altas temperaturas		X	
Rejilla inferior	Retirar y limpiar		X	
Reactor	Limpiar		X	
Tomas de alimentación de biomasa	Limpiar		X	
Rejilla superior	Retirar y limpiar		X	
Caña de termopares	Retirar y limpiar		X	
Manómetro diferencial del lecho	Limpiar entronques, cambiar agua		X	
Conducto reactor-separador de sólidos	Limpiar		X	
Separador de sólidos	Remover sólidos por la válvula golpeando el separador con un martillo de goma	X		
Separador de sólidos	Quitar tapa y limpiar		X	
Conducto separador de sólidos-ciclón	Limpiar		X	
Ciclón	Remover sólidos por la válvula golpeando con martillo de goma	X	X	
Ciclón	Limpiar por dentro.		X	
Conducto ciclón-intercambiad.	Limpiar		X	
Intercambiador	Limpiar tubos del lado del gas		X	
Manguera intercambiador-deposito de alquitranes	Limpiar		X	
Manguera intercambiador-deposito de alquitranes	Reemplazar			X
Deposito de alquitranes	Remover líquidos por la válvula	X		
Deposito de alquitranes	Retirar y limpiar por dentro		X	
Manguera intercambiador-filtro	Limpiar		X	
Manguera intercambiador-filtro	Reemplazar			X
Lavador húmedo	Cambiar agua		X	
Filtro de gruesos	Cambiar astillas		X	
Filtro de gruesos y de finos	Cambiar serrín		X	
Cámara de vacío	Limpiar		X	
Filtro de la cámara de vacío	Reemplazar			X
Bomba de vacío	Desarmar y limpiar		X	
Rotámetros	Limpiar (con agua y jabón)			X
Prueba de fugas	Realizar		X	

Fuente: elaboración propia

3.3.1.6. Resultados del estudio técnico

El motor que se ha seleccionado en el presente estudio, por cumplir la mayoría de las características requeridas es el FG Wilson P33-3 que se muestra en la siguiente figura y cuyas características se muestran en la próxima tabla. La principal modificación por realizar al motor, el cual dosificaba la gasolina mediante el carburador, es el sistema de admisión de gas y de aire.

Tabla XXXI. **Datos técnicos del motor-generador FG Wilson P33-3**

Generación	Variable	Indicador
	Voltaje (V)	480
	Frecuencia (Hz)	60
	Potencia activa (kW)	27
	Potencia aparente (KVA)	33,8
	Factor de potencia (p.u.)	0,8
Motor de Combustión Interna	Velocidad	1 800
	Potencia (kW)	33,1
	BMEP (kPa)	669
	Sistema de Enfriamiento	Agua
	Cilindraje	3 / en línea
	Ciclos	4

Fuente: Elaboración propia en base a data sheet del equipo FG Wilson P33-3.

Tabla XXXII. **Especificaciones técnicas del gasificador *Ankur Scientific*,
Modelo UFBGPP 50**

Modelo	UFBGPP 50
Potencia nominal (kW)	30
Frecuencia nominal (Hz)	60
Voltaje nominal (V)	480/240
Tipo de gasificador	Lecho fluido burbujeante
Requerimiento de humedad de la biomasa	<25% de humedad
Requerimiento de dimensiones de la biomasa	Diámetro: 20mm-75mm; Longitud: 10mm-75mm
Consumo de biomasa (kg/h)	30 - 50
Producción de gas sintético (Nm ³ /h)	150 - 175
Descarga de ceniza	Tipo ceniza seca / tipo ceniza húmeda
Sistema de filtrado de gas	Sistema de purificación de gas seco
Válvula de calor de gas sintético	> 1 200 – 1 400 kcal/Nm ³
Composición de gas sintético	CO: 16 - 21%, CO ₂ : 5 - 11%, CH ₄ : 4 - 6%, H ₂ : 10 - 12%, N ₂ : 54 - 60%

Fuente: Cotización del Grupo Gertek (2017, p. 3) *Budgetary offer for “Ankur” Biomass Gasifier Model 1 x WBG-40 consisting of 100% Producer Gas Engine for 20 kW Gross Peak Power Generation System.*

3.3.2. Viabilidad económica

En este apartado se muestran los resultados del estudio de viabilidad económica para la planta de gasificación de biomasa, por lo que se determinan los costes de instalación, el coste del kWh generado, el tiempo de recuperación de la inversión y la rentabilidad obtenida. Todas las opciones anteriores se comparan desde el punto de vista económico para aplicaciones de generación de electricidad en zonas rurales aisladas.

3.3.2.1. Presupuesto de ejecución

Para calcular el coste de las instalaciones, se parte de los costes reales de la planta de gasificación de lecho fluido burbujeante de 30 kW, utilizando

presupuestos y extrapolaciones de un estudio doctoral realizado por Carlos Vargas y La Universidad Politécnica de Valencia donde se realiza un estudio de comparativo de la utilización de las tecnologías de gasificación *downdraft* y lecho fluido burbujeante para la generación de energía eléctrica en aplicaciones de baja potencia.

Debido a que esta instalación es una planta piloto para investigar, para realizar el cálculo de los costes no se ha tenido en cuenta la utilidad de los inversionistas, ni los costes de los terrenos, los cuales son nulos ya que se instalará en el área comunal de la comunidad. Se han considerado los costes de los equipos y los costes de fabricación (incluyendo los costes de personal), los costes de los equipos se han minimizado buscando en el mercado los mejores precios posibles sin castigar la calidad del producto final.

En la tabla siguiente se muestran los costes de instalación de una planta de gasificación se despliegan los costes obtenidos, y en los anexos se pueden encontrar los costes detallados.

Tabla XXXIII. Costes de instalación de la planta de gasificación

Planta de Gasificación 30kW	
Inversión	Costo total (Q)
Equipos principales	288 660,6
Equipos auxiliares	16 128,4
Cuadro eléctrico, automatización e instrumentación	60 910,0
Costes de fabricación	57 121,6
Total, sin IVA	422 820,6
IVA (12%)	50 738,5
Total, con IVA	473 559,0
Coste del kW instalado	15 785,3

Fuente: elaboración propia

3.3.2.2. Valor Neto Actual (VAN)

El Valor Actual Neto es la diferencia entre el valor actual de una inversión y el valor actual de la recuperación de fondos donde es aplicable una tasa considerada como la mínima aceptable para la autorización de los fondos para la inversión. Por lo tanto, es un valor proyectado que tiene en cuenta todas las posibilidades de valores actuales de los beneficios netos derivados de un proyecto. A continuación, se presenta, el proceso de su cálculo.

Se estableció que el precio comercial del kWh, según el valor establecido por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica CNEE, la cual establece los valores aprobados para las diferentes distribuidoras, para el caso de la ubicación geográfica de la comunidad La Nueva Bendición se toma el valor aprobado para EEGSA, siendo de Q1,1/kWh. Claro está que este valor se seleccionó para realizar el cálculo del ingreso para la planta. Sin embargo, en ejecución se puede seleccionar un diferente costo para el kWh ya que no es necesario seguir estas directrices al no ser una distribuidora de energía eléctrica.

Tabla XXXIV. **Ajuste tarifario para trimestre agosto a octubre 2017**

Tarifa	May – Jul 2017, Q/kWh	Ago. – Oct 2017, Q/kWh	Variación Q/kWh	Variación %
EEGSA	1.10	1.10	0.00	0.0 %
DEOCSA	1.70	1.78	0.015	0.8 %
DEORSA	1.66	1.67	0.015	0.9 %

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica, *Ajuste Tarifario para Trimestre Agosto a octubre 2017*, s. f.

Tabla XXXV. **Resumen del flujo de efectivo en la duración del proyecto**

Año	Ingresos	Egresos	Flujo de caja
0	0	0	Q473 559.02
1	Q42 703.10	Q3 882.25	-Q434 738.16
2	Q42 703.10	Q3 882.25	-Q395 917.31
3	Q42 703.10	Q3 882.25	-Q357 096.45
4	Q42 703.10	Q3 882.25	-Q318 275.60
5	Q42 703.10	Q3 882.25	-Q279 454.75
6	Q42 703.10	Q3 882.25	-Q240 633.89
7	Q42 703.10	Q3 882.25	-Q201 813.04
8	Q42 703.10	Q3 882.25	-Q162 992.18
9	Q42 703.10	Q3 882.25	-Q124 171.33
10	Q42 703.10	Q3 882.25	-Q85 350.48
11	Q42 703.10	Q3 882.25	-Q46 529.62
12	Q42 703.10	Q3 882.25	-Q7 708.77
13	Q42 703.10	Q3 882.25	Q31 112.09
14	Q42 703.10	Q3 882.25	Q69 932.94
15	Q42 703.10	Q3 882.25	Q108 753.79
16	Q42 703.10	Q3 882.25	Q147 574.65
17	Q42 703.10	Q3 882.25	Q186 395.50
18	Q42 703.10	Q3 882.25	Q225 216.36
19	Q42 703.10	Q3 882.25	Q264 037.21
20	Q42 703.10	Q3 882.25	Q302 858.06
21	Q42 703.10	Q3 882.25	Q341 678.92
22	Q42 703.10	Q3 882.25	Q380 499.77
23	Q42 703.10	Q3 882.25	Q419 320.63
24	Q42 703.10	Q3 882.25	Q458 141.48
25	Q42 703.10	Q3 882.25	Q496 962.33
TOTAL	Q1 024 874.40	Q97 056.15	Q777 802.14

Fuente: elaboración propia

Tabla XXXVI. **Valor Actual Neto**

Inversión inicial	Q473 559.02
Tasa de interés	6 %
VAN	Q914 924.36

Fuente: elaboración propia

3.3.2.3. Relación Beneficio / Costo

Para el desarrollo de este análisis se enumeraron los costos de inversión o egresos, que se tomaron como los necesarios para iniciar dicha actividad. Al mismo tiempo se calculó el ingreso obtenido por la planta por la venta de la energía eléctrica.

Tabla XXXVII. **Indicadores económicos**

Flujo	Valor presente
Σ ingresos	Q545 888.94
Σ egresos	Q49 628.13
Σ costos + inversión	Q523 187.15
Relación beneficio/costo	1.04

Fuente: elaboración propia

3.3.2.4. Tiempo de recuperación de la inversión

“En aplicaciones de pequeña potencia, dos de las variables que mayor influencia tienen en el coste final del kWh producido son: el coste de la biomasa

y la potencia eléctrica de la planta. Cuanto mayor es la planta, más económico es el coste de generación.” (Vargas, 2012, p. 128)

En la próxima tabla se muestran los costes de generación de energía para la planta de gasificación.

Tabla XXXVIII. **Análisis económico de la generación de energía eléctrica**

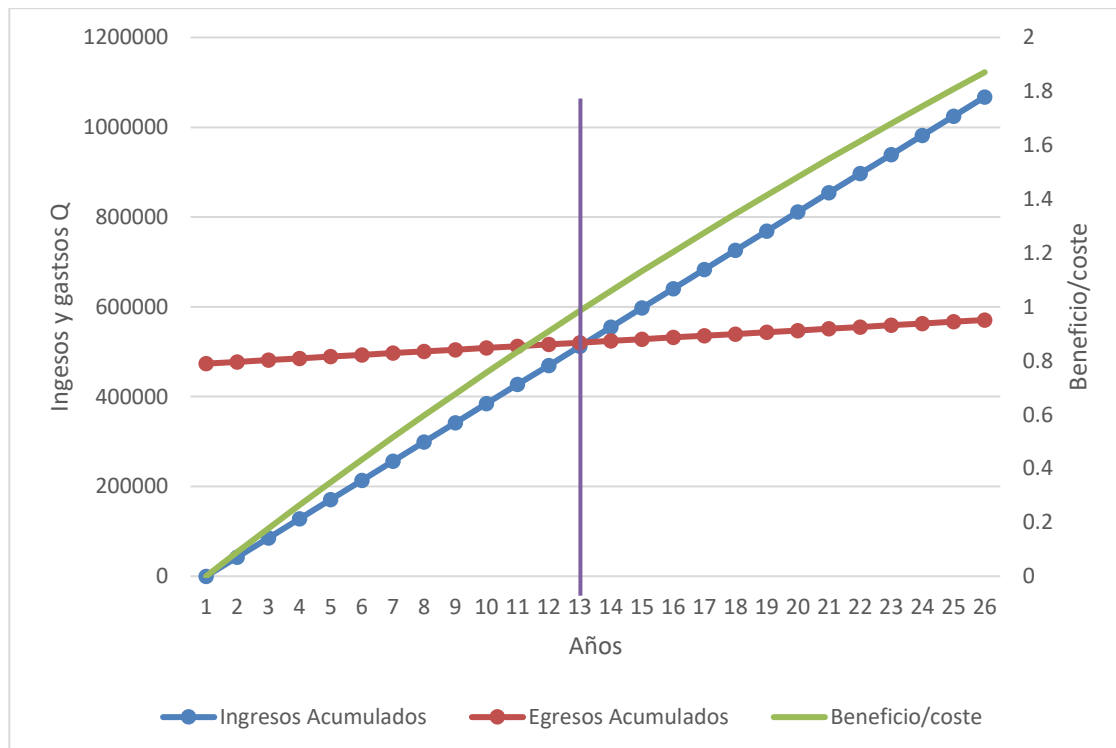
Generación Eléctrica con <i>syngas</i>	
Potencia eléctrica instalada kW	30
Vida útil – años	25
Carga promedio	75 %
Horas de operación al año	7 200
Producción de energía kWh/año	38 821
Costes de O y M - Q/kWh	0.10
Costes de O y M Q/año	3 882.10
Consumo de biomasa kg/año	8 928.43
Coste biomasa Q/kg	0.20
Coste total biomasa Q/año	1 785.69
Costes totales anuales €/año	5 667.79
Inversión - Q/kW	15 785.30
Inversión total - Q	473 559.02
Coste energía - Q/kWh	1.10
Coste generación de energía - Q/kWh	3 882.25
Ingresos por venta de energía - Q/año	42 703.10
Tiempo de recuperación de la inversión	13 años

Fuente: elaboración propia

En la gráfica se muestra el análisis de ingresos y gastos en el tiempo y se determina el tiempo de recuperación de la inversión para una planta de gasificación de lecho fluido de 30 kW.

Para un precio de la biomasa de 0.2 Q/kg (un precio seleccionado como incentivo para las familias que aporten sus residuos agrícolas, siendo para ellos la adquisición de esta biomasa gratuita), operando la planta más de 7 200 horas/año y vendiendo el kWh al precio establecidos por la CNEE del trimestre agosto – octubre 2017 para la región centro (1.1 Q/kWh) este tiempo es de 13 años.

Figura 7. **Ingresos, gastos y tiempo de recuperación de la inversión**



Fuente: elaboración propia realizado con Microsoft Excel.

3.3.2.5. Resultados de la evaluación financiera

En relación con la factibilidad financiera, se ha documentado que cuando se invierte, Q.473 559 en una planta de gasificación de biomasa residual a una tasa de descuento del 6%, se tiene un VAN de Q914 924.36 al término del proyecto por la inversión total. Mientras que la relación Beneficio/Costo es positiva ($B/C > 1$), la cual se reportó en 1.04.

3.4. Viabilidad ambiental

La ultima fase por analizar son los impactos y beneficios ambientales que tiene el proyecto, parte clave para determinar la factibilidad de este.

- Objetivo 4: Establecer los beneficios ambientales que tiene la implementación de una planta de gasificación de biomasa para la generación de energía eléctrica

En función de los beneficios ambientales que tiene el principal es la huella de carbono positiva que tiene. A continuación, se presentan los resultados encontrados:

3.4.1. Huella de carbono

La huella de carbono es un indicador ambiental que refleja en forma cuantitativa la totalidad de gases de efecto invernadero emitidos directa o indirectamente, en nuestro caso, por la generación de energía eléctrica con una planta de gasificación de biomasa.

3.4.1.1. Emisiones de CO₂ a la atmósfera

En la generación de energía a partir de un MCI, se produce CO₂, pero ya está ampliamente estudiado y documentado que la cantidad de CO₂ que se produce en el proceso de combustión del gas pobre, es equivalente a la que absorbe en el proceso de fotosíntesis la biomasa utilizada; por lo tanto, las emisiones de CO₂ a la atmósfera se consideran nulas en este proceso. (Vargas, 2012, p. 137)

Para realizar el cálculo del ahorro de las emisiones de CO₂ por la producción de electricidad con una planta de gasificación de biomasa se realiza el cálculo de las emisiones que genera la producción de electricidad a partir de combustibles fósiles. Para lograr esto se tomaron datos adquiridos por el Banco Mundial y la Agencia Internacional de la Energía.

El estudio de AIE sobre emisiones de CO₂ de la producción de electricidad y calefacción es la suma de tres categorías de emisiones de CO₂ según el Organismo Internacional de Energía (OIE):

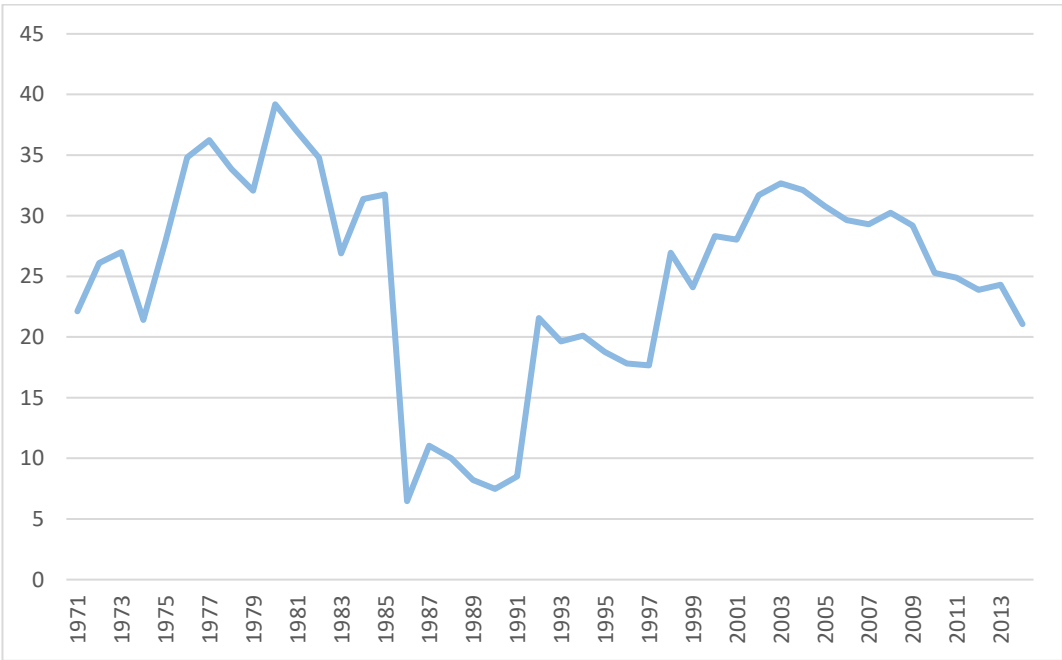
Servicios públicos de electricidad y calefacción contiene la suma de las emisiones provenientes de la generación de electricidad por parte del servicio, la generación combinada de calefacción y energía y las plantas de calefacción. Los servicios públicos (anteriormente conocidos como servicios de utilidad pública) se definen como aquellos cuya actividad principal es abastecer al público. (AIE, s.f.)

Autoprodutores no asignados contiene las emisiones provenientes de la generación de electricidad y/o calefacción por autoprodutores. Los autoprodutores se definen como empresas que generan electricidad y/o

calefacción para su propio uso como una actividad secundaria y que se utiliza (total o parcialmente) para respaldar su actividad principal. (AIE, s.f.)

Otras industrias de energía contienen las emisiones del combustible quemado en las refinerías de petróleo, para la fabricación de combustibles sólidos, la minería del carbón, la extracción de petróleo y gas y otras industrias productoras de energía. (AIE, s.f.)

Figura 8. Emisiones de CO₂ originadas por la producción de electricidad en Guatemala (% del total de la quema de combustible)



Fuente: Agencia Internacional de Energía (s.f.). *En base a datos de AIE sobre emisiones de CO₂ originadas por la quema de combustible.*

La siguiente tabla muestra el ahorro de emisiones de CO₂ para la planta de gasificación en relación con la que sería generada al no utilizar la presente tecnología.

Al evitar el proceso de fermentación por parte de los residuos agrícolas se tiene una reducción de emisión de metano a la atmosfera, él fue calculado y proyectado a un equivalente de CO₂, de manera de adquirir un indicador global.

Tabla XXXIX. **Ahorro de emisiones de CO₂ por la generación de energía**

Potencia (kW)	30
Emisiones de CO ₂ originadas por la producción de electricidad en Guatemala (% del total de la quema de combustible)	21.07
Producción MWh/año	38.82
Ahorro emisiones CO ₂ Tm/año	8.18

Fuente: elaboración propia

El ahorro de emisiones de CO₂ a la atmosfera para una planta de gasificación de 30 kW en operación continua es de 8.18 Tm/año.

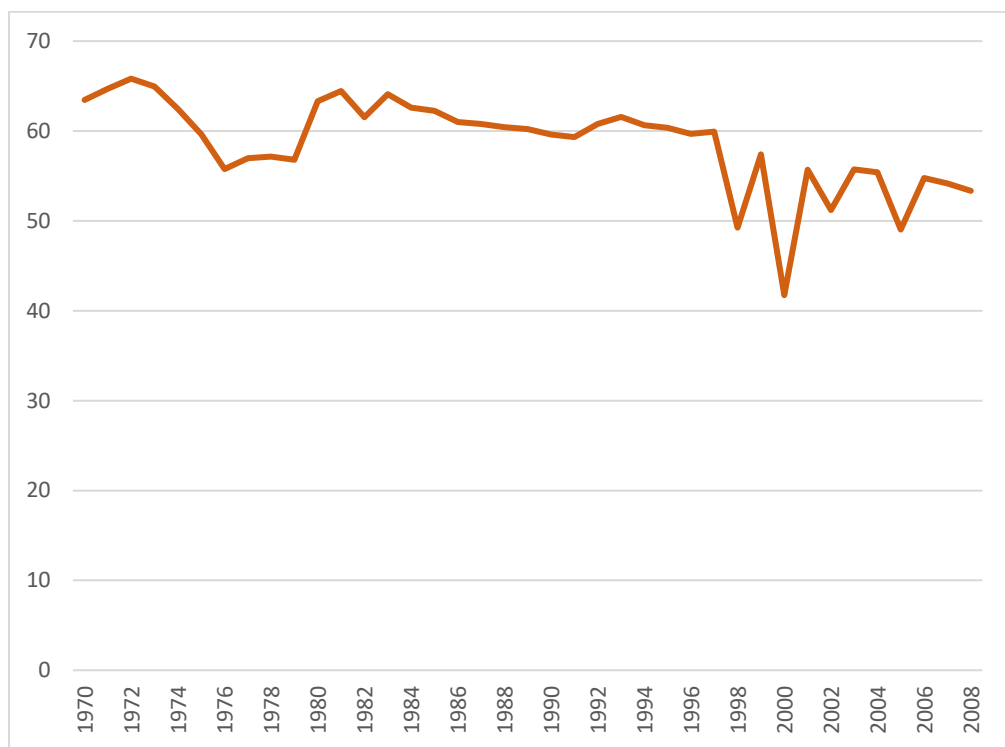
3.4.1.2. Reducción de emisión de metano

Las emisiones de metano se deben en gran medida a las actividades agrícolas. Las emisiones generalmente se expresan en equivalentes de dióxido de carbono utilizando el potencial de calentamiento global, lo que permite comparar las contribuciones efectivas de diferentes gases. Un kilogramo de metano es 21 veces más eficaz para atrapar el calor en la atmósfera terrestre que un kilogramo de dióxido de carbono en 100 años.

La presente planta de gasificación reduce la emisión del metano que se libera en el proceso de fermentación de los residuos agrícolas. En el caso de La Nueva Bendición los residuos del Maíz y del Café. La Agencia Internacional de la

Energía por medio del Banco Mundial lleva un registro estadístico estimado del porcentaje de metano generado por la actividad agrícola en kg/año, Estos datos fueron adquiridos en su página web, procesados y con el valor más reciente (año 2008) se calculó la reducción del metano emitido a la atmosfera.

Figura 9. **Emisión de metano procedente de la actividad agrícola (%)**



Fuente: elaboración propia con data de: Emission Database for Global Atmospheric Research [EDGAR] (s.f.). *Emisión de metano procedente de la actividad agrícola.*

A partir del último porcentaje se ha calculado la reducción que se tiene de emisión de metano al utilizar esta energía en una planta de gasificación de biomasa.

Tabla XL. **Emisión de metano a atmosfera evitada por implementación de una planta de gasificación**

Emisiones de metano procedentes de la actividad agrícola en Guatemala (%)		53.35
Consumo biomasa kg/año	Café	4 804.62
	Maíz	2 050.26
	Total, de residuos agrícolas	6 854.87
Emisión de metano total de la biomasa residual (kg/año)		3 657.36
Emisión de metano evitado (Tm/año)		3.66
Equivalente contaminante de CO ₂ (Tm/año)		76.80

Fuente: elaboración propia

3.4.1.3. Huella de carbono global

A partir de los cálculos realizados del ahorro de las emisiones de CO₂ al utilizar la tecnología de gasificación de biomasa, y, de evitar la emisión de metano a la atmosfera por el proceso de fermentación de los residuos agrícolas se ha estimado la huella de carbono total, resultando positivo.

Tabla XLI. **Huella de carbono**

Ahorro en emisiones de CO ₂	Valor (Tm/año)
Por uso de tecnología de gasificación	8.18
Por descomposición de residuos equivalente de metano	76.80
Total	84.98

Fuente: elaboración propia

3.4.2. Residuos de la gasificación

La gasificación de la biomasa tiene como principal producto el gas sintético, sin embargo, en todo proceso termoquímico existirán residuos de este, en este caso se tiene producción de cenizas y alquitranes.

3.4.2.1. Producción de cenizas y alquitranes

Los residuos producidos en una planta de gasificación son muy parecidos a los que tiene un sistema de generación de energía a partir de una caldera usando como combustible biomasa (cenizas y residuos de carbón vegetal). Adicionalmente, en el caso de los gasificadores, se producen alquitranes.

“Desde el punto de vista medioambiental, el impacto de la planta es aceptable, las emisiones más importantes son los alquitranes y las cenizas. Las emisiones de alquitranes son de kg/MWh producido, y las de cenizas son de kg/MWh” (Vargas, 2012, p. 138).

Tabla XLII. **Generación de alquitranes y cenizas en las plantas de lecho fluido**

Planta		Lecho fluido burbujeante
Potencia (kW)		30
Producción kWh/año		38 821.00
Consumo biomasa kg/año	Café	4 804.62
	Maíz	2 050.26
	R. Forestales	2 073.56
	TOTAL	8 928.43
Producción de alquitranes	% Respecto consumo biomasa	0.93 %
	kg/año	83.03
	kg/MWh	2.14
Producción de Cenizas	% Respecto consumo biomasa	1 %
	kg/año	89.28
	kg/MWh	2.30

Fuente: elaboración propia

Se debe tener en cuenta que los alquitranes salen con agua y la cantidad que se muestra en la tabla es cuando se ha separado el agua de los alquitranes, la cantidad de agua que llevan los gases está en función la humedad de la biomasa y si se usa un lavador de gases, de que tanto se seca el gas después de salir del lavador. Los alquitranes, al igual que las cenizas, son almacenados en depósitos separados, para su posterior tratamiento por parte de una empresa externa que gestione este tipo de residuos. (Vargas, 2012, p. 137)

“El carbón vegetal es reutilizado para que en el proceso de encendido de la planta de gasificación se produzcan menos alquitranes y, además, tiene un valor

comercial por lo que podría colocarse en el mercado fácilmente” (Vargas, 2012, p. 137).

3.4.3. Beneficios ambientales

A partir de lo mencionado en los incisos anteriores y con otros aditivos, los principales beneficios ambientales que tiene implementar una planta de gasificación de biomasa son los siguientes:

- No se contamina el ambiente, ya que el CO₂ que sale a la atmosfera, es el mismo que el árbol absorbió durante su crecimiento.
- Crea un balance positivo en la producción de oxígeno, ya que las ramas son las que se cortan, y no el árbol.
- El subproducto que es la ceniza se vende como abono, el cual es rico en potasio.
- Es energía verde, por lo que es bien visto por los ambientalistas.
- En varias partes del mundo existen estos sistemas de generación y han sido la solución para la generación de energía en áreas rurales, sin degradar el ambiente.
- El ahorro de emisiones de CO₂ a la atmosfera para una planta de gasificación de 30 kW en operación continua es de 8.18 Tm/año.
- A partir de los cálculos realizados del ahorro de las emisiones de CO₂ al utilizar la tecnología de gasificación de biomasa, y, de evitar la emisión de metano a la atmosfera por el proceso de fermentación de los residuos agrícolas se ha estimado la huella de carbono total, siendo esta positiva de 84.98 Tm/año de CO₂.

3.5. Evaluación como alternativa sostenible

La ultima fase del proyecto resulta en un análisis de sostenibilidad, acá se presenta una comparación de las diferentes alternativas que existen como solución a la electrificación de zonas rurales aisladas y se realiza una evaluación social para contribuir a un análisis integral del problema y la solución que el proyecto plantea.

- Objetivo general: Determinar la generación de energía eléctrica a partir de una planta de gasificación de biomasa es una alternativa sostenible para la electrificación de zonas rurales aisladas

3.5.1. Análisis de sostenibilidad

La definición de sostenibilidad se refiere, a la satisfacción de las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer las suyas, garantizando el equilibrio entre crecimiento económico, cuidado del medio ambiente y bienestar social.

En directa aplicación con la electrificación de zonas rurales aisladas también va ligado a la capacidad del proyecto de satisfacer las necesidades actuales sin comprometer a las generaciones futuras, pero, su también tiene un contexto de sostenibilidad para el proyecto, implicando que el mismo sea capaz de ser funcional por muchos años y que aporte beneficios a la comunidad, sin alterar sus condiciones sociales, ambientales y económicas.

Para esto se evalúan y detallan los siguientes indicadores de sostenibilidad para garantizar la ejecución futura del proyecto.

- **Financiamiento de los costos de operación y mantenimiento.**
 - El financiamiento de los costos de operación y mantenimiento serán suministrados por la misma población con el costo de operación de está siendo no mayor al que previamente invertían en sus sistemas alternos para iluminación y cocción.
 - Se recomienda buscar financiamiento externo para los primeros años de funcionamiento de la planta para suministrar los recursos necesarios para la capacitación y garantizar la correcta operación de la planta de generación y gasificación.

De igual forma se deben de tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Arreglos institucionales previstos para las fases de pre-operación y operación.
- Capacidad de gestión de la organización en las etapas de inversión y operación.
- Análisis de la capacidad de pago de la población.
- Participación de los beneficiarios.
- Probables conflictos durante la operación y mantenimiento.

3.5.2. Comparación de alternativas

Con todas las conclusiones anteriores se presenta un cuadro comparativo de las tecnologías que son viables desde un punto de vista tecnológico. Se ha descartado por tanto la extensión de la red eléctrica nacional, los biodigestores y las micro centrales hidroeléctricas.

Por tanto, las tecnologías a evaluar son: motores diésel, energía fotovoltaica y gasificadores de biomasa.

Se incluye una tabla que compara las condiciones que requieren las tecnologías anteriores para electrificación rural aislada teniendo en cuenta distintos aspectos.

Tabla XLIII. **Requerimientos para recursos energéticos en electrificación rural (1/2)**

Aspecto	Diesel	Solar	Biomasa
Los trabajos de mantenimiento y operación pueden ser asumidos por usuarios locales formados previamente y con experiencia de mantenimiento en motores diesel.	Posible	Posible	Posible
Combustible: no es necesario o es posible una adquisición o compra sostenible.	Posible con condiciones ¹	Posible	Posible (residuos agrícolas)
El coste de inversión puede ser recuperado con la	Posible (préstamo)	Posible con condiciones (es necesario un	Posible con condiciones (pequeño

Fuente: Bueno (2006, p. 29). *Estudio de alternativas para la electrificación rural en la zona de selva del Perú.*

Tabla XLIV. **Requerimientos para recursos energéticos en electrificación rural (2/2)**

Aspecto	Diesel	Solar	Biomasa
capacidad adquisitiva de la región (3 a 5 € al mes)		subsidio del equipamiento del 100%)	préstamo)
Es posible establecer un sistema de potencia independiente y descentralizado para la escala requerida (10-200 kWe)	Posible	Difícil ¹	Posible
Coste unitario de generación (€/kWh)	0,26 €	6,5 - 7 €	0,33 €

Fuente: Bueno (2006, p. 30). *Estudio de alternativas para la electrificación rural en la zona de selva del Perú.*

En los anexos se presenta un cuadro comparativo de diferentes alternativas, el cual aplicado a nuestro caso muestra los diferentes beneficios y desventajas que se tiene la planta de gasificación.

3.5.3. Evaluación Social

En este caso, los costos y beneficios se establecen desde el punto de vista de la sociedad en su conjunto. En un estudio de pre-inversión, a nivel de perfil, la evaluación social de un proyecto de electrificación rural se efectúa con la metodología costo/beneficio.

3.5.3.1. Indicadores de rentabilidad social

Se calcula el VAN y la TIR a partir de los flujos de beneficios. Como se comprobó en el análisis económico que cuando se invierte, Q.473 559 en una planta de gasificación de biomasa residual a una tasa de descuento del 6%, se tiene un VAN de Q914 924,36 al término del proyecto por la inversión total. Mientras que la relación Beneficio/Costo es positiva ($B/C > 1$), la cual se reportó en 1.04.

3.5.3.2. Beneficios comunitarios

Los beneficios comunitarios son un elemento clave en la argumentación del problema. Al evaluar los elementos principales que afectarán a la comunidad, La Nueva Bendición del Municipio de Guanagazapa, Escuintla, destacan:

- Aumento en la actividad productiva, comercial y turística.
- Mejora en la productividad en actividades de producción.
- Disminución de costos de actividades comerciales.
- Mayor disponibilidad de telecomunicaciones.
- Mejora en la calidad de servicios de salud y educación.
- Almacenamiento adecuado de alimentos.
- Creación de nuevos puestos de trabajo para la ejecución del proyecto.
- Capacitación para operarios y de las personas que trabajarán directamente en los bosques energéticos.
- Iluminación de noche de manera eficiente.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- Análisis interno

El estudio da inicio con el cálculo de la demanda de la comunidad al Nueva Bendición, en el cual se encontró una potencia de 30 kW para la comunidad tomando en cuenta un factor de crecimiento del 17 % y una estimación de pérdidas del 8 %. Un generador de estas dimensiones, así como una planta de gasificación para esta potencia no es considerada como una gran planta, lo que permite que su operación y mantenimiento sea mínimo y no se requiera de mucho personal. Para la caracterización de la demanda de la comunidad La Nueva Bendición, se ha utilizado de base el protocolo de diseño encontrado en el Informe Final de Caracterización de la Demanda de Energía en Zonas Rurales Aisladas de Guatemala creado por parte de la Universidad Rafael Landívar con Fundación Solar.

Es importante mencionar que el cálculo de la potencia nominal para este estudio es consideran el uso básico para una comunidad desconectada de la red eléctrica, este consumo se ha demostrado que crece a medida que las personas mejorar su calidad de vida, por lo que es de esperarse que el cálculo de la potencia nominal en algún momento llegue a ser insuficiente se deba recurrir a ampliar el proyecto como una micro red con diferentes fuentes energéticas.

Las cargas se han seleccionado en función de lo encontrado en la bibliografía pertinente y en base a los mencionado en la entrevista a personas de la comunidad que mencionan que la prioridad energética para ellos al tener

acceso a la energía eléctrica es un refrigerador, una televisión e iluminación para sus respectivos hogares.

El elemento clave para esta investigación en función de la operación anual de la planta no es tanto la potencia como lo es el cálculo de la demanda energética que se tiene. El cual posterior al cálculo se encontró que es de 53 960 kWh/año, este valor es el que nos da la pauta para determinar si es posible suplir a la comunidad con energía todo el año, únicamente a partir de la energía provista por los residuos agrícolas y forestales.

El rendimiento del maíz no es tan alto según datos históricos de la comunidad ya que por los fuertes vientos que tienen por su ubicación geográfica únicamente puede aprovechar una cosecha anual. Sin embargo, esto no es tan significativo al ser la producción de café la predominante en la comunidad.

Teniendo una producción de 7 302,32 kg/año, implica que se tiene una gran cantidad de residuos del café los cuales al segmentarlos por cada residuo y sus respectivos poderes caloríficos se ha determinado que se tiene potencial de producir hasta 24 153,47 kWh/año; lo cual representa un 45% de la energía demanda anualmente. En el caso del maíz, se ha calculado un potencial energético de generación de 8 321,81 kWh/año lo cual implica un 16 % de la energía requerida anualmente.

Los cálculos permiten observar que a partir de los residuos agrícolas es podría generar hasta un 61 % de la energía requerida anualmente. Sin embargo, este número es engañoso, ya que este es un valor teórico de potencial energético de los residuos agrícolas, no considera la generación real que se tendría tomando en cuenta las pérdidas que se tienen en función del secado, gasificación, filtrado,

perdidas en el motor de combustión interna, así como las encontradas por el generador síncrono acoplado.

A lo largo de la investigación se definió que el potencial energético de los cultivos no es suficiente para cubrir la demanda energética de la comunidad y que se requiere de una fuente estable de biomasa que no sea estacional, por lo que el diseño de la investigación incluye el cálculo de un bosque energético para suplir el suministro constante de biomasa. Para asegurar la sostenibilidad del suministro del recurso energético, se calculó un bosque energético de eucalipto con un ciclo de 5 años, con dimensiones de 0.55 Ha, para cubrir el 100 % de la demanda energética.

Los resultados del cálculo del ahorro de emisión de CO₂ a la atmosfera tanto por el uso de tecnología de gasificación de biomasa, la cual ya de por si demuestra tener un balance neutro en su contaminación ambiental, así como lo aportado por evitar la emisión del metano generado por el proceso de degradación de los residuos agrícolas dio como resultado un indicador de huella de carbono positiva de 84,98 Tm/año de CO₂.

Hay que mencionar, que el estudio de impacto ambiental tomo en consideración las reducciones de contaminación al ambiente dados por el uso de una generación renovable, sin embargo, no considera los efectos negativos que puedan existir por la explotación de la tierra en el bosque energético y de los residuos agroforestales, esto se requiere de mayor investigación para complementar el impacto del uso de la biomasa sobre la degradación de los suelos.

A partir de lo mencionado, los principales beneficios ambientales que tiene implementar una planta de gasificación de biomasa son: La disminución de

contaminación del ambiente, ya que el CO₂ que sale a la atmosfera, es el mismo que el árbol absorbió durante su crecimiento. Adicionalmente se crea un balance positivo en la producción de oxígeno, ya que las ramas son las que se cortan, y no el árbol. El subproducto del proceso de gasificación que es la ceniza se puede vender como abono, el cual es rico en potasio. A modo de comparación internacional, en varias partes del mundo existen estos sistemas de generación y han sido la solución para la generación de energía en áreas rurales, sin degradar el ambiente.

Los impactos negativos que se tienen en una planta de esta índole se basan principalmente en la generación de alquitranes. El otro subproducto sólido de la generación de energía eléctrica a través de una planta de gasificación de biomasa es la ceniza, la cual puede ser aprovechada para producir abono y de esta manera volver más eficiente la producción agrícola y evitando un mayor impacto por el uso productivo del suelo.

En relación con la factibilidad financiera, se ha documentado que cuando se invierte, Q.473 559 en una planta de gasificación de biomasa residual a una tasa de descuento del 6 %, se tiene un VAN de Q914 924.36 al término del proyecto por la inversión total. Mientras que la relación Beneficio/Costo es positiva ($B/C > 1$), la cual se reportó en 1.04.

Esto implica que la planta tiene una buena factibilidad económica al tener un valor de Beneficio/Costo superior a uno y recuperando la inversión en 13 años, implicando una rentabilidad por los próximos 12 años hasta cumplir los 25 años establecidos de vida útil. La presente investigación se tuvo la debilidad de no encontrar una fuente directa de financiamiento, por lo que es económicamente viable, sin embargo, para su implementación se requerirá de la búsqueda de fuentes de financiamiento.

Existen varios beneficios comunitarios como argumentos claves para la presente solución. Al evaluar los elementos principales que afectarán a la comunidad, La Nueva Bendición del Municipio de Guanagazapa, Escuintla, destacan: Aumento en la actividad productiva, comercial y turística, mejora en la productividad en las diversas actividades, disminución de costos de actividades comerciales, mejora en la calidad de servicios de salud y educación, almacenamiento adecuado de alimentos e Iluminación nocturna. Todas estas variables aportan una mejora en la calidad de vida y en el desarrollo de la sociedad como tal, con un alto impacto en la niñez, ya que se aumenta la accesibilidad a la educación y se tiene un aumento significativo de las horas del día, al contar con iluminación eficaz artificial.

- Análisis externo

Respecto a la metodología seleccionada en el presente estudio de investigación se puede mencionar que es muy valiosa la experiencia y conocimiento que el investigador tenga sobre las variables e indicadores, porque facilita la selección de estas y la interpretación de los resultados, algunos aspectos importantes de resaltar sobre las diferencias o similitudes con otros estudios son los siguientes:

En el estudio de Viabilidad de una Planta de Biomasa Forestal para la Producción de Energía Eléctrica, Alonso 2014, se indica que este proceso “tiene una alta viabilidad económica como resultado de ella la construcción de la central termoeléctrica”. Se remarca que, en un escenario con condiciones optimistas, el proyecto resulta siendo totalmente viable. Esto ha sido comprobado en el presente estudio, se ha coincidido que se tiene una alta viabilidad económica en la construcción de la central, sin embargo, considero que para el presente caso la viabilidad económica tiene que venir soportada por una correcta gestión comunitaria, ya que este proyecto dependerá de la gestión social más que de la económica.

En el realizado por De León (2010) se argumenta que a partir del cultivo de eucalipto se crearon bosques energéticos, se menciona que el área de energía y el área de campo mantienen una logística para mantener operando la caldera; esto soportado que se requiere un suministro constante de la biomasa. Es importante mencionar que para el presente proyecto no se tomó en consideración la logística que requiere el suministro constante de la biomasa, se enfocó más en el potencial energético de una planta de esta índole para suministrar energía a una comunidad, por lo que se sigue que se debe emplear el presente estudio

con una implementación que incluya la creación de perfiles de trabajo para el proyecto y una gestión del mantenimiento y operación.

Con respecto al estudio de Caracterización de la demanda de energía en Zonas Rurales Aisladas en Guatemala, la URL y Fundación Solar, 2008 (2008), se recomienda que el cálculo de la demanda energética para usos sociales debe incluir la telefonía celular y la telefonía satelital, para el caso del presente estudio no se incluyeron las presentes demandas por los requerimientos específicos de los usuarios de la comunidad, se debe de tomar en cuenta que existió un sobredimensionamiento de la demanda para tomar en cuenta estas diferentes variables.

En relación con el estudio de implementación de Bueno (2006) el cual presentó un estudio de alternativas para la electrificación rural en la zona de selva del Perú, en el cual se selecciona la tecnología de gasificación de biomasa *downdraft* pues resulta el más adecuado para estas aplicaciones a pequeña escala debido a que es el más barato, genera la menor cantidad de residuos en cuanto a alquitranes y el modo de operación es simple.

En contraste con Bueno, para el presente estudio se ha seleccionado un gasificador de lecho fluido burbujeante ya que tiene las siguientes ventajas: es posible regular y mantener el valor adecuado de la relación aire/biomasa para cargas variables de biomasa y que se puede obtener un poder calorífico del gas y una eficiencia energética superiores a los de un gasificador de lecho fijo *downdraft*. En base principalmente en Vargas (2012), quien indica que pueden operar sin problemas de manera continua y, por lo tanto, se concluye que, en sitios con demanda de energía reducida, inferior a 100 kW, la planta de gasificación, usando la tecnología de lecho fluido para la generación de energía eléctrica y térmica, es técnicamente viable.

La guía la identificación, formulación y evaluación social de proyectos de electrificación rural del Ministerio de Economía y Finanzas de Perú (2011), contiene métodos de identificación, formulación y evaluación acordes a la presente investigación para comparar y validar los pasos para una correcta implementación del proyecto a presentar. En esta guía se ha encontrado que la legislación peruana abarca mejor los temas de beneficios sociales, que incluyen los costos sociales de inversión los cuales no pudieron ser aplicados al presente estudio.

CONCLUSIONES

1. Se cálculo la demanda de la comunidad, la Nueva bendición, considerando las 52 familias, una escuela, un centro de salud, el alumbrado público y la casa patronal, teniendo como resultado una demanda energética de 4 496 kWh/mes y 53 960 kWh/año. Tomando en cuenta un factor de crecimiento del 17 % y una estimación de pérdidas del 8%.
2. Considerando el potencial energético de los residuos agroforestales de la comunidad, se determinó que los residuos del café aportan el 45 % y el maíz aporta el 16%, para un total del 61 % de la demanda energética anual; los residuos forestales pueden cubrir el 39 % restante equivalente a 3 032 kg/año. Sin embargo, dado que los cultivos son estacionales y para asegurar la sostenibilidad del suministro del recurso energético, se calculó un bosque energético de eucalipto con un ciclo de 5 años, con dimensiones de 0.55 Ha, para cubrir el 100 % de la demanda energética.
3. Se determinó la factibilidad técnica, utilizando un generador de 30 kW, siendo una planta pequeña de generación permite que su mantenimiento sea mínimo y requiera de poco personal para su operación. Respecto a la factibilidad financiera, cuando se invierte Q.473 559 a una tasa de descuento del 6 %, se tiene un VAN de Q914 924.36 al término del proyecto por la inversión total. Mientras que la relación Beneficio/Costo es positiva, la cual se calculó en 1.04; implicando una buena factibilidad económica al tener un valor de Beneficio/Costo superior a uno y recuperando la inversión en 13 años, reflejando una rentabilidad por los próximos 12 años hasta cumplir los 25 años de vida útil.

4. Los beneficios ambientales son el uso eficiente de los residuos agrícolas y forestales, disminución del uso de leña y la deforestación, un mejoramiento en los indicadores de huella ecológica y huella de carbono para la comunidad. La huella de carbono indica un ahorro de 8.18 Tm/año en emisión de CO₂ y 3.66 Tm/año de metano.
5. Se determinó que la generación a partir de una planta de gasificación de biomasa es una alternativa sostenible para la electrificación de zonas rurales aisladas en Guatemala, ya que es viable técnica, socioeconómica y ambientalmente.

REOMENDACIONES

1. Realizar un estudio de carga para la comunidad cada cinco años o cuando la comunidad organizada requiera el aumento de la potencia instalada. Ante un caso de crecimiento de demanda sobre la potencia de diseño, se puede ampliar el proyecto con la misma tecnología o a través de micro redes, agregando a la red de distribución suministro de otras fuentes energéticas.
2. Se sugiere usar la implementación del bosque energético como fuente principal de biomasa ya que provee mayor confiabilidad e independencia de la estacionalidad de los cultivos, los residuos agroforestales pueden cubrir el crecimiento de la demanda y reducir el consumo de la madera proveniente del bosque energético para que pueda ser utilizada con otros fines.
3. Generar una propuesta de financiamiento, en el cual, por su carácter social, las opciones principales son: financiamiento de la cooperación, internacional o bien fondos públicos, los cuales pueden provenir, tanto de la gestión a través del Sistema de Consejos de Desarrollo o bien por parte de fondos directos de la municipalidad de Guanagazapa, Escuintla, municipio al que pertenece la comunidad.
4. Optar por la venta de bonos de carbono para aportar económicamente a la comunidad y fortalecer la estrategia de sostenibilidad del proyecto. Adicionalmente se aconseja la producción de fertilizante a base de las

cenizas que se obtienen como residuo del proceso de gasificación, para lo que se cuenta con 89.28 kg/año.

5. Se sugiere desarrollar un Modelo de Gestión Comunitario para la implementación del proyecto. En el cual se incluya el papel de los habitantes de la comunidad en el proyecto, esto incluye la capacitación de los operarios de la planta, diseño y propuesta de talleres formativos para la comunidad en temas de uso eficiente de los recursos y, en sí, un esquema general de seguimiento y sostenibilidad de parte de la comunidad al proyecto.

REFERENCIAS

1. Alonso, A. (2014). *Viabilidad de una Planta de Biomasa Forestal para la Producción de Energía Eléctrica* (Tesis de licenciatura). Universidad Politécnica de Madrid, España.
2. Agencia Internacional de Energía (2018). *Informe sobre el Progreso Energético*. <https://www.efe.com/efe/america/economia/mil-millones-de-personas-en-el-mundo-no-tienen-acceso-a-la-electricidad/20000011-3602676#>
3. Ankur Scientific Energy Technologies (2017). *Budgetary offer for “Ankur” Biomass Gasifier Model 1 x WBG-40 consisting of 100% Producer Gas Engine for 20 kWe Gross Peak Power Generation System*. Guatemala: Grupo Gertek.
4. Agencia Internacional de Energía [AIE] (s.f.) *Emisiones de CO2 originadas por la quema de combustible*. <https://www.iea.org/data-and-statistics>.
5. Bueno, M. (2006). *Estudio de alternativas para la electrificación rural en la zona de selva del Perú* (Tesis de licenciatura). Universitat Politècnica de Catalunya, España.
6. Beljansky, M. (2012). *Matriz energética: sus implicancias en la huella de carbono de productos*. Buenos Aires, Argentina: Universidad de Buenos Aires. 117 p.

7. Carranza Cruz, Jeison Eli (2011). *Implicaciones Eléctricas en la Conexión de la Generación Distribuida Renovable a las Redes de Distribución Realizado en Unión Fenosa* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
8. Carta González, J. A., Calero Pérez, R., Colmenar Santos, A. y Castro Gil, M. A. (2009). *Centrales de energías renovables: generación con energías renovables*. Madrid: Pearson Educación, S.A.
9. Chapman, S. J. (2012). *Máquinas eléctricas*. México: McGrawHill / Interamericana editores, S.A. de C.V.
10. Comisión Nacional de Energía Eléctrica [CNEE] (2014). *Norma Técnica de Generación Distribuida Renovable y Usuarios Auto productores con Excedentes de Energía*. Guatemala: Resolución CNEE-227-2014.
11. Comisión Nacional de Energía Eléctrica [CNEE] (s.f.). *Ajuste Tarifario para Trimestre Agosto a octubre 2017*. <https://www.cnee.gob.gt/wp/ajuste-tarifario-para-trimestre-agosto-a-octubre-2017/>
12. Cohen E. y Franco R. (2006). *Evaluación de Proyectos Sociales*. Argentina: Instituto Latinoamericano y Del Caribe de Planificación Económica y Social.

13. Consejo Municipal de Desarrollo (2010). *Plan de Desarrollo Municipal, Guanagazapa, Escuintla. 2011-2025*. Guatemala: Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia.
14. Dirección General de Energía de la Comisión Europea (1995). *Combustion and Gasification of Agricultural Biomass – Technologies and Applications*. Portugal: CEETA PARTEX.
15. De León Regil Wald, J. S. (2010). *Estudio de Factibilidad para Producción de Energía Eléctrica, a partir de Biomasa de Eucalipto* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
16. Dirección General de Política de Inversiones (2011). *Guía Simplificada para la Identificación, Formulación y Evaluación Social de Proyectos de Electrificación Rural, a Nivel de Perfil*. Lima: Ministerio de Economía y Finanzas de Perú.
17. División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos (2003). *Sostenibilidad y desarrollo Sostenible: un enfoque sistémico*. Chile: CEPAL, Naciones Unidas.
18. Emission Database for Global Atmospheric Research [EDGAR] (s.f.). *Emisión de metano procedente de la actividad agrícola*. edgar.jrc.ec.europa.eu
19. FG Wilson, (s.f.) *Gama de productos pequeños: <220 kVA P33-3*. https://www.fgwilson.com/es_ES/products/new/fg-wilson/diesel-generators/small-range-220-kva/1000004183.html

20. Fitzgerald, A. E., Kingsley, J., y Umans, S. D. (1992). Máquinas eléctricas. México: Editorial Hispano-Europea Barcelona España.
21. Fuentes, F. (2012). *Fortalecimiento de los derechos de tenencia comunal para el manejo colectivo y sostenible de los recursos naturales. Metodología de Sistematización de Experiencias sobre Gestión y Defensa de Tierras Comunales y el Territorio: Empresa Campesina Asociativa La Bendición*. Guatemala: Coalición RRI, PERT-FAUSAC, CEIDPAZ, UT'Z CHE'.
22. García, G. (2016). *Resultados de 12 años de evaluación en diferentes localidades*. Guatemala: Plantaciones Forestales de Guatemala.
23. Gómez, C. (2013). *El Desarrollo Sostenible: Conceptos Básicos Alcance y Criterios Para su Evaluación*. España: Universidad de Alcalá.
24. Gómez Orea D. y Gómez Villarino T. (2013). *Evaluación de Impacto Ambiental*. España: Ediciones Mundi-Prensa.
25. Gonzáles, N. y Quintanilla, V. (2008). *Simulación de un sistema gasificador de bagazo de caña de azúcar conectado a un rector WGS para la producción de hidrogeno* (Tesis de Licenciatura). Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas.
26. Guerra, J. (2000). *Análisis de los parámetros técnicos en la aplicación de los sistemas de información geográfica a la integración regional de las energías renovables en la producción descentralizada de*

electricidad (Tesis de Doctorado). España: Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales.

27. M.E.D. Poore y C. Fries (1987). *Efectos Ecológicos de los Eucaliptos*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).
28. Ministerio de Energía y Minas (2012). *Política Energética 2013-2027*. Guatemala: Autor.
29. Ministerio de Energía y Minas (2017). *Estadísticas 2016 Subsector Eléctrico*. Guatemala: Autor.
30. Ministerio de Energía, Gobierno de Chile (2013). http://antiguo.minenergia.cl/minwww/opencms/03_Energias/Otros_Niveles/renovables_noconvencionales/Tipos_Energia/biomasa.html.
31. Montenegro, R. y Castellanos, E. (2011). *Dinámica forestal en seis bosques comunitarios comparada con la dinámica forestal observada en los respectivos municipios*. Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala
32. Naciones Unidas (1992). *Convenio Sobre Diversidad Biológica [CDB]*. Brasil: Autor.
33. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2008). *Bosques y energía. Cuestiones clave*. Roma: Autor.

34. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], (s.f.). *Dendroenergía*. <http://www.fao.org/forestry/energy/es/>
35. Pilonés de Antigua (2016). *Historia de los bosques energéticos en Guatemala*. Guatemala: Autor.
36. Prensa Libre, Mundo Económico, pág. 29. “*Analizan futuro del sector eléctrico. Millones no tienen acceso a energía*” (7 de septiembre del 2016).
37. Ramírez, C. F. (1991). *Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión*. Mejía Villegas S.A. Ingenieros Consultores.
38. Rincón Martínez J. M. y Silva Lora E. E. (2014). *Bioenergía: Fuentes, conversión y sustentabilidad*. Colombia: Red Iberoamericana de Aprovechamiento de Residuos Orgánicos en Producción de Energía.
39. Sasvín, E. (2012). *Bosques Energéticos, como una Alternativa Ambiental*. Guatemala: Centro de Reportes Informativos sobre Guatemala. <https://cerigua.org/article/bosques-energeticos-una-alternativa-ambiental/>.
40. Trossero, M. A. (2002). *Dendroenergía: perspectivas de futuro*. Revista internacional de silvicultura e industrias forestales - Vol. 53. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación – FAO.

41. Universidad Rafael Landívar y Fundación Solar (2008). *Caracterización de la Demanda de Energía en Zonas Rurales Aisladas de Guatemala*. Guatemala: Autor.
42. Vargas, C. A. (2012). *Estudio Comparativo de la Utilización de las Tecnologías de Gasificación Downdraft y Lecho Fluido Burbujeante para la Generación de Energía Eléctrica en Aplicaciones de Baja Potencia* (Tesis de Doctorado). Universidad Politécnica de Valencia, España.
43. Valencia, N. R., y Zambrano Franco, D. A. (2010). *Los subproductos del café: fuente de energía renovable*. Avances Técnicos Cenicafé, 393, 1–8.
44. Viglizzo E. F. (2010). *Huella de carbono, ambiente y agricultura en el Cono Sur de Sudamérica*. Argentina: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
45. Yanchuk, A. (2003). *Recursos Energéticos Forestales No. 30*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
http://www.fao.org/docrep/005/y4341s/Y4341S06.htm#P863_7778
4.

APÉNDICES

Apéndice 1. Extrapolación de costes de planta de gasificación en € (1/3)

Descripción	8.7 kW			52.3 kW			30kW		
	Nº	Coste unitario	Coste total	Nº	Coste unitario	Coste total	Nº	Coste unitario	Coste total
Equipos principales									
Depósito de biomasa	1	1000	1000	1	2000	2000	1	1688	1688
Reactor	1	2000	2000	1	4000	4000	1	3376	3376
Separador de sólidos	1	400	400	1	800	800	1	675	675
Ciclón	1	400	400	1	800	800	1	675	675
Intercambiador agua gases	1	1000	1000	1	2000	2000	1	1688	1688
Depósito de alquitranes	1	200	200	1	400	400	1	338	338
Lavador gas y filtro astillas	1	1500	1500	1	3000	3000	1	2532	2532
Cámara de vacío	1	300	300	1	600	600	1	506	506
Bomba de vacío	1	1300	1300	1	2600	2600	1	2194	2194
MCI	1	8000	8000	1	16000	16000	1	13505	13505
Otros	1	1000	1000	1	2000	2000	1	1688	1688
Total	1			1			1		
	1	17100	17100	1	34200	34200	1	28866	28866
Depurador de agua									
Depósito agua	1	100	100	1	150	150	1	134	134
Bombas de agua	1	100	100	1	150	150	1	134	134
Aerotermino	1	500	500	1	750	750	1	672	672
Otros	1	500	500	1	750	750	1	672	672
Total	4	1200	1200	4	1800	1800	4	1613	1613

Fuente: elaboración propia, en base a datos de Vargas (2012, p. 305). *Estudio Comparativo de la Utilización de las Tecnologías de Gasificación Downdraft y Lecho Fluido Burbujeante para la Generación de Energía Eléctrica en Aplicaciones de Baja Potencia*

Apéndice 2. Extrapolación de costes de planta de gasificación en € (2/3)

Descripción	8.7 kW			52.3 kW			30kW		
	Nº	Coste unitario	Coste total	Nº	Coste unitario	Coste total	Nº	Coste unitario	Coste total
Cuadro eléctrico									
Cuadro eléctrico	1	150	150	1	150	150	1	150	150
Magnetotermico 4 polos	1	90	90	1	90	90	1	90	90
Diferenciales 4 polos	1	90	90	1	90	90	1	90	90
Magnetotermico 2 polos	1	70	70	1	70	70	1	70	70
Contactores	1	50	50	1	50	50	1	50	50
Relés	3	10	30	3	10	30	3	10	30
Otros	1	1000	1000	1	1000	1000	1	1000	1000
Total	9	1460	1480	9	1460	1480	9	1460	1480
Automatización									
Fuente de alimentación 24V	1	50	50	1	50	50	1	50	50
Módulos MAC de temp.	1	250	250	1	250	250	1	250	250
Modulos MAC presion	0	250	0	0	250	0	0	250	0
Fuente automata	1	100	100	1	100	100	1	100	100
Automatizmo	1	250	250	1	250	250	1	250	250
Tarjeta comunicación RS485	1	350	350	1	350	350	1	350	350
Tarjeta entrada y salida analogica	0	350	0	0	350	0	0	350	0
Tarjeta entrada y salida digitales	0	120	0	0	120	0	0	120	0
Tarjeta termopares	0	300	0	0	300	0	0	300	0
Terminal táctil	1	350	350	1	350	350	1	350	350
Variador de frecuencia	2	300	600	2	300	600	2	300	600
Otros	1	500	500	1	500	500	1	500	500
Total	9	3170	2450	9	3170	2450	9	3170	2450

Fuente: elaboración propia, en base a datos de Vargas (2012, p. 305). *Estudio Comparativo de la Utilización de las Tecnologías de Gasificación Downdraft y Lecho Fluido Burbujeante para la Generación de Energía Eléctrica en Aplicaciones de Baja Potencia*

Apéndice 3. Extrapolación de costes de planta de gasificación en € (3/3)

Descripción	8.7 kW			52.3 kW			30kW		
	Nº	Coste unitario	Coste total	Nº	Coste unitario	Coste total	Nº	Coste unitario	Coste total
Instrumentación									
Analizador de redes	1	350	350	1	350	350	1	350	350
Transformador de corriente	3	17	51	3	17	51	3	17	51
Termopares	9	35	315	9	35	315	9	35	315
Medidor caudal de aire	1	500	500	1	500	500	1	500	500
Medidor de caudal agua	0	500	0	0	500	0	0	500	0
Rotametro	2	150	300	2	150	300	2	150	300
Transductores presion	2	150	300	2	150	300	2	150	300
Manómetros difer.	6	50	300	6	50	300	6	50	300
Termómetros de aguja	3	15	45	3	15	45	3	15	45
Total	27	1767	2161	27	1767	2161	27	1767	2161
Mano de obra									
Hora ingeniero	250	40	10000	375	40	15000	336	40	13440
Hora tecnico	700	30	21000	1050	30	31500	941	30	28225
Total	950	70	31000	1425	70	46500	1277	70	41665
Totales									
Total, sin IVA	€ 55,391			€ 88,591			€ 78,235		
IVA	€ 9,970			€ 15,946			€ 9,388		
Total, con IVA	€ 65,361			€ 104,537			€ 87,623		

Fuente: elaboración propia, en base a datos de Vargas (2012, p. 305). *Estudio Comparativo de la Utilización de las Tecnologías de Gasificación Downdraft y Lecho Fluido Burbujeante para la Generación de Energía Eléctrica en Aplicaciones de Baja Potencia*

Apéndice 4. Costos de la implantación de una planta de gasificación (1/3)

Gasificador de 30 kW	€			Q		
	Nº	Coste unitario	Coste total	Nº	Coste unitario	Coste total
Equipos principales						
Depósito de biomasa	1	1688	1688	1	16881	16881
Reactor	1	3376	3376	1	33761	33761
Separador de sólidos	1	675	675	1	6752	6752
Ciclón	1	675	675	1	6752	6752
Intercambiador agua gases	1	1688	1688	1	16881	16881
Depósito de alquitranes	1	338	338	1	3376	3376
Lavador gas y filtro astillas	1	2532	2532	1	25321	25321
Cámara de vacío	1	506	506	1	5064	5064
Bomba de vacío	1	2194	2194	1	21945	21945
MCI	1	13505	13505	1	135046	135046
Otros	1	1688	1688	1	16881	16881
Total	1	28866	28866	1	288661	288661
Depurador de agua						
Depósito agua	1	134	134	1	1344	1344
Bombas de agua	1	134	134	1	1344	1344
Aerotermino	1	672	672	1	6720	6720
Otros	1	672	672	1	6720	6720
Total	4	1613	1613	4	16128	16128

Fuente: elaboración propia, en base a datos de Vargas (2012, p. 305). *Estudio Comparativo de la Utilización de las Tecnologías de Gasificación Downdraft y Lecho Fluido Burbujeante para la Generación de Energía Eléctrica en Aplicaciones de Baja Potencia*

Apéndice 5. Costos de la implantación de una planta de gasificación (2/3)

Gasificador de 30 kW	€			Q		
	Nº	Coste unitario	Coste total	Nº	Coste unitario	Coste total
Cuadro eléctrico						
Cuadro eléctrico	1	150	150	1	1500	1500
Magnetotermico 4 polos	1	90	90	1	900	900
Diferenciales 4 polos	1	90	90	1	900	900
Magnetotermico 2 polos	1	70	70	1	700	700
Contactores	1	50	50	1	500	500
Relés	3	10	30	3	100	300
Otros	1	1000	1000	1	10000	10000
Total	9	1460	1480	9	14600	14800
Automatización						
Fuente de alimentación 24V	1	50	50	1	500	500
Módulos MAC de temp.	1	250	250	1	2500	2500
Modulos MAC presion	0	250	0	0	2500	0
Fuente automata	1	100	100	1	1000	1000
Automatizmo	1	250	250	1	2500	2500
Tarjeta comunicación RS485	1	350	350	1	3500	3500
Tarjeta entrada y salida analogica	0	350	0	0	3500	0
Tarjeta entrada y salida digitales	0	120	0	0	1200	0
Tarjeta termopares	0	300	0	0	3000	0
Terminal táctil	1	350	350	1	3500	3500
Variador de frecuencia	2	300	600	2	3000	6000
Otros	1	500	500	1	5000	5000
Total	9	3170	2450	9	31700	24500

Fuente: elaboración propia, en base a datos de Vargas (2012, p 305). *Estudio Comparativo de la Utilización de las Tecnologías de Gasificación Downdraft y Lecho Fluido Burbujeante para la Generación de Energía Eléctrica en Aplicaciones de Baja Potencia*

Apéndice 6. Costos de la implantación de una planta de gasificación (3/3)

Gasificador de 30 kW	€			Q		
	Nº	Coste unitario	Coste total €	Nº	Coste unitario	Coste total Q
Instrumentación						
Analizador de redes	1	350	350	1	3500	3500
Transformador de corriente	3	17	51	3	170	510
Termopares	9	35	315	9	350	3150
Medidor caudal de aire	1	500	500	1	5000	5000
Medidor de caudal agua	0	500	0	0	5000	0
Rotámetro	2	150	300	2	1500	3000
Transductores presión	2	150	300	2	1500	3000
Manómetros difer.	6	50	300	6	500	3000
Termómetros de aguja	3	15	45	3	150	450
Total	27	1767	2161	27	17670	21610
Mano de obra						
Hora ingeniero	336	10	3360	336	100.0	33601
Hora técnico	941	3	2352	941	25.0	23521
Total	1277	15	5712	1277	125.0	57122
Totales						
Total, sin IVA	42,282 €			Q422,821		
IVA	5,074 €			Q50,738		
Total, con IVA	47,356 €			Q473,559		

Fuente: Elaboración propia, en base a datos de Vargas (2012, p. 305). *Estudio Comparativo de la Utilización de las Tecnologías de Gasificación Downdraft y Lecho Fluido Burbujeante para la Generación de Energía Eléctrica en Aplicaciones de Baja Potencia*

Apéndice 7. Matriz de Coherencia. (1/2)

Preguntas	Objetivos	Conclusiones	Recomendaciones
¿Es la generación de energía eléctrica a partir de una planta de gasificación de biomasa una alternativa sostenible para la electrificación de zonas rurales aisladas?	Determinar si la generación de energía eléctrica a partir de una planta de gasificación de biomasa es una alternativa sostenible para la electrificación de zonas rurales aisladas.	A partir del análisis realizado en la presente investigación se puede concluir que la generación a partir de una planta de gasificación de biomasa para la electrificación de zonas rurales aisladas adecuadamente sí es viable con una alternativa sostenible ante las otras opciones para la electrificación aislada, ya que es viable técnica, económica y ambientalmente.	Se sugiere desarrollar un Modelo de Gestión Comunitario para la implementación del proyecto. En el cual se describirá el papel que tienen los habitantes de la comunidad para que el proyecto pueda ser llevado a cabo, esto incluye la capacitación de los operarios que trabajarán en la planta, diseño y propuesta de talleres formativos para la comunidad, en temas de uso eficiente de los recursos y, en sí, un esquema general de cómo será el seguimiento y sostenibilidad que le dará la comunidad al proyecto como tal.
¿Cuanta es la demanda energética de la comunidad, La Nueva Bendición?	Determinar la demanda energética de la comunidad, La Nueva Bendición.	La demanda de la comunidad, la Nueva bendición, considerando las 52 familias, una escuela, un centro de salud, el alumbrado publico y la casa patronal se determinó una potencia requerida de 30kW tomando en cuenta un factor de crecimiento del 17 % y una estimación de perdidas del 8%. Así mismo, se determino que la comunidad tendría una demanda energética de 4 496 kWh/mes y consecuentemente 53 960 kWh/año. Tomar en cuenta que ésta demanda aumentará. Es importante mencionar que tanto la potencia como la demanda energética calculadas son estimaciones ya que no se cuenta con un historial de demanda.	Se hace necesario realizar un estudio de carga para la comunidad posterior a la implementación del equipo para identificar si ha aumentado la demanda energética de la comunidad, este deberá realizarse cada 5 años o cuando la comunidad organizada requiera el aumento de la potencia instalada. Ante un caso de crecimiento de demanda sobre la potencia de diseño, se pude ampliar el proyecto a través del concepto de micro redes, agregando a la red de distribución suministro de otras fuentes energéticas.
¿Qué potencial tiene la biomasa proveniente de un bosque energético y residuos agroforestales para cubrir la demanda energetica de la comunidad, La Nueva Bendición?	Analizar el potencial que tiene la biomasa proveniente de un bosque energético y residuos agroforestales para cubrir la demanda energetica de la comunidad, La Nueva Bendición.	Se determino que la generación a partir de una planta de gasificación de biomasa para la electrificación de zonas rurales aisladas adecuadamente sí es viable con una alternativa sostenible ante las otras opciones para la electrificación aislada, ya que es viable técnica, económica y ambientalmente.	Se sugiere usar la opción de biomasa del bosque energético ya que provee mayor confiabilidad e independencia de la estacionalidad de los cultivos, los residuos agroforestales pueden cubrir el crecimiento de la demanda y reducir el consumo de la madera proveniente del bosque energético para que pueda ser utilizada con otros fines.

Fuente: Elaboración propia

Apéndice 8. Matriz de Coherencia. (2/2)

Preguntas	Objetivos	Conclusiones	Recomendaciones
¿Es factible una planta de gasificación de biomasa para la generación de energía eléctrica en la comunidad, La Nueva Bendición?	Evaluar la factibilidad de una planta de gasificación de biomasa para la generación de energía eléctrica en la comunidad, La Nueva Bendición.	Se evaluó la factibilidad para el uso de una planta de gasificación y se determinó que es factible, desde un punto de vista técnico argumentando que un generador de 30 kW es considerado como una planta pequeña de generación, lo que permite que su operación y mantenimiento sea mínimo y no se requiera de mucho personal. En relación con la factibilidad financiera, se ha documentado que cuando se invierte, Q.473 559 en una planta de gasificación de biomasa residual a una tasa de descuento del 6 %, se tiene un VAN de Q914 924,36 al término del proyecto por la inversión total. Mientras que la relación Beneficio/Costo es positiva ($B/C > 1$), la cual se reportó en 1,04. Esto implica que la planta tiene una buena factibilidad económica al tener un valor de Beneficio/Costo superior a uno y recuperando la inversión en 13 años, implicando una rentabilidad por los próximos 12 años hasta cumplir los 25 años de vida útil.	Generar una propuesta de financiamiento, en el cual, por su carácter social, las opciones principales son: financiamiento de la cooperación, internacional o bien fondos públicos, los cuales pueden provenir, tanto de la gestión a través del Sistema de Consejos de Desarrollo o bien por parte de fondos directos de la municipalidad de Guanagazapa, Escuintla, municipio al que pertenece la comunidad.
¿Qué beneficios ambientales tiene el implementar una planta de gasificación de biomasa para la generación de energía eléctrica?	Establecer los beneficios ambientales que tiene la implementación de una planta de gasificación de biomasa para la generación de energía eléctrica.	Se establecieron los beneficios ambientales que tiene una planta de gasificación de biomasa; el uso eficiente de los residuos agrícolas y forestales, disminución del uso de leña y por consiguiente la deforestación, un mejoramiento en los indicadores de huella ecológica y huella de carbono para la comunidad. El valor de huella de carbono resulta siendo un elemento positivo ahorrando una emisión de CO ₂ de 8,18 Ton/año y evitando introducir 3,66 Ton/año de metano, lo cual es un equivalente a 76,8 Ton/año de CO ₂ .	Se recomienda optar por la venta de bonos de carbono para aportar económicamente a la comunidad y fortalecer la estrategia de sostenibilidad del proyecto. Adicionalmente se aconseja como un beneficio ambiental complementario, la producción de fertilizante en base a las cenizas que se obtienen como residuo del proceso de gasificación, para lo que se cuenta con 89,28 kg/año.

Fuente: Elaboración propia

ANEXOS

Anexo 1. Especificaciones técnicas del motor FG Wilson P33-3 (1/2)



www.FGWilson.com

P33-3



Image for illustration purposes only.

Output Ratings		
Voltage, Frequency	Prime	Standby
400V, 50 Hz	30.0 kVA / 24.0 kW	33.0 kVA / 26.4 kW
480V, 60 Hz	33.8 kVA / 27.0 kW	37.5 kVA / 30.0 kW

Ratings at 0.8 power factor.

Please refer to the output ratings technical data section for specific generator set outputs per voltage.

Prime Rating

These ratings are applicable for supplying continuous electrical power (at variable load) in lieu of commercially purchased power. There is no limitation to the annual hours of operation and this model can supply 10% overload power for 1 hour in 12 hours.

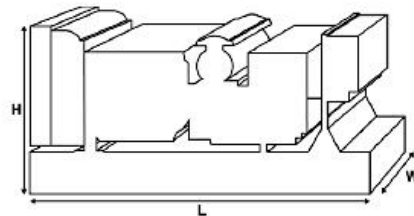
Standby Rating

These ratings are applicable for supplying continuous electrical power (at variable load) in the event of a utility power failure. No overload is permitted on these ratings. The alternator on this model is peak continuous rated (as defined in ISO 8528-3).

Standard Reference Conditions

Note: Standard reference conditions 25°C (77°F) Air Inlet Temp, 100m (328 ft) A.S.L. 30% relative humidity.

Fuel consumption data at full load with diesel fuel with specific gravity of 0.85 and conforming to BS2869: 1998, Class A2.



Ratings and Performance Data		
Engine Make & Model:	Perkins® 1103A-33G1	
Alternator manufactured for FG Wilson by:	Marelli	
Alternator Model:	MJB 160 MB4	
Control Panel:	DCP-10	
Base Frame:	Heavy Duty Fabricated Steel	
Circuit Breaker Type:	3 Pole MCB	
Frequency:	50 Hz	60 Hz
Engine Speed: RPM	1500	1800
Fuel Tank Capacity: litres (US gal)	71 (18.8)	
Fuel Consumption: (l/hr (US gal/hr))		
(100% Load)	- Prime	6.9 (1.8) 8.1 (2.1)
	- Standby	7.7 (2.0) 9.1 (2.4)

Available Options

FG Wilson offer a range of optional features to tailor our generator sets to meet your power needs. Options include:

- Upgrade to CE Certification
- A wide range of Sound Attenuated Enclosures
- A variety of generator set control and synchronising panels
- Additional alarms and shutdowns
- A selection of exhaust silencer noise levels

For further information on all of the standard and optional features accompanying this product please contact your local Dealer or visit: www.FGWilson.com

Dimensions and Weights

Length (L) mm (in)	Width (W) mm (in)	Height (H) mm (in)	Dry kg (lb)	Wet kg (lb)
1570 (61.8)	760 (29.9)	1229 (48.4)	699 (1541)	712 (1570)
Dry = With Lube Oil		Wet = With Lube Oil and Coolant		

Ratings in accordance with ISO 8528, ISO 3046, IEC 60034, BS2000 and NEMA MG-1.22. Generator set pictured may include optional accessories.

Fuente: FG Wilson (s.f.)

Anexo 2. Especificaciones técnicas del motor FG Wilson P33-3 (2/2)

Engine Technical Data		
No. of Cylinders / Alignment:		3 / In Line
Cycle:		4 Stroke
Bore / Stroke: mm (in)		105.0 (4.1)/127.0 (5.0)
Induction:		Naturally Aspirated
Cooling Method:		Water
Governing Type:		Mechanical
Governing Class:		ISO 8528 G2
Compression Ratio:		19.25:1
Displacement: l (cu. in)		3.3 (201.4)
Moment of Inertia: kg m ² (lb/in ²)		1.14 (3896)
Engine Electrical System:		
- Voltage / Ground		12/Negative
- Battery Charger Amps		65
Weight: kg (lb)	- Dry	412 (908)
	- Wet	430 (948)

Performance	50 Hz	60 Hz
Engine Speed: rpm	1500	1800
Gross Engine Power: kW (hp)		
- Prime	28.2 (38.0)	33.1 (44.0)
- Standby	31.0 (42.0)	36.5 (49.0)
BMEP: kPa (psi)		
- Prime	684.0 (99.2)	669.0 (97.0)
- Standby	752.0 (109.0)	738.0 (107.0)

Fuel System				
Fuel Filter Type:		Replaceable Element		
Recommended Fuel:		Class A2 Diesel or BSEN590		
Fuel Consumption: l/hr (US gal/hr)				
	110%	100%	75%	50%
Prime	Load	Load	Load	Load
50 Hz	7.7 (2.0)	6.9 (1.8)	5.2 (1.4)	3.8 (1.0)
60 Hz	9.1 (2.4)	8.1 (2.1)	6.2 (1.6)	4.7 (1.2)
	100%	75%	50%	
Standby	Load	Load	Load	
50 Hz	7.7 (2.0)	5.7 (1.5)	4.1 (1.1)	
60 Hz	9.1 (2.4)	6.8 (1.8)	5.0 (1.3)	

Air Systems	50 Hz	60 Hz
Air Filter Type:	Replaceable Element	
Combustion Air Flow: m³/min (cfm)		
- Prime	2.2 (76)	2.6 (92)
- Standby	2.2 (76)	2.6 (91)
Max. Combustion Air Intake Restriction: kPa (in H ₂ O)	6.5 (26.1)	6.5 (26.1)

Cooling System	50 Hz	60 Hz
Cooling System Capacity: l (US gal)	10.2 (2.7)	10.2 (2.7)
Water Pump Type: Centrifugal		
Heat Rejected to Water & Lube Oil:		
kW (Btu/min)	- Prime	16.0 (910)
	- Standby	18.0 (1024)
Heat Radiation to Room: Heat radiated from engine and alternator		
kW (Btu/min)	- Prime	8.1 (461)
	- Standby	9.8 (557)
Radiator Fan Load: kW (hp)	0.3 (0.4)	0.5 (0.7)
Radiator Cooling Airflow: m ³ /min (cfm)	62.6 (2211)	84.8 (2995)
External Restriction to Cooling Airflow: Pa (in H ₂ O)	125 (0.5)	125 (0.5)

Designed to operate in ambient conditions up to 50°C (122°F).
Contact your local FG Wilson Dealer for power ratings at specific site conditions.

Lubrication System	
Oil Filter Type:	Spin-On, Full Flow
Total Oil Capacity: l (US gal)	8.3 (2.2)
Oil Pan: l (US gal)	7.8 (2.1)
Oil Type:	API CG-4 / CH-4 15W-40
Oil Cooling Method:	Water

Exhaust System	50 Hz	60 Hz
Maximum Allowable Back Pressure: kPa (in Hg)	8.0 (2.4)	10.0 (3.0)
Exhaust Gas Flow: m ³ /min (cfm)		
- Prime	5.7 (201)	6.4 (226)
- Standby	5.8 (205)	6.6 (233)
Exhaust Gas Temperature: °C (°F)		
- Prime	500 (932)	520 (968)
- Standby	520 (968)	530 (986)

Fuente: FG Wilson (s.f.)

ANEXO 3. Comparación de tecnologías candidatas para la electrificación rural (1/8)

Ítem	Diesel	Fotovoltaica	Gasificador de biomasa
Potencial	Aplicable en cualquier lugar (necesita acceso	Aplicable en cualquier sitio (la zona posee un	En la zona existe una gran abundancia de

Ítem	Diesel	Fotovoltaica	Gasificador de biomasa
	para hacer llegar el combustible)	alto potencial en cuanto a radiación solar)	biomasa que hace que el combustible sea accesible
Aspectos tecnológicos			
Madurez de la tecnología	Tecnología madura	Los módulos fotovoltaicos son un producto altamente estandarizado con una elevada fiabilidad (en los últimos 3 años la fabricación de módulos fotovoltaicos ha crecido un 45%)	Actualmente, la tecnología de gasificación ha pasado de la fase de demostración a la comercialización. Esta tecnología fue ampliamente utilizada en la 2ª Guerra Mundial. Existen gasificadores downdraft en una fase de comercialización en países como India, China y Myanmar.
Operación en C.A.	Posible	Normalmente D.C. (problemas en los componentes electrónicos en la conversión a C.A.)	Posible
Funcionamiento 24 horas	Posible	Difícil (Posible con baterías o acumuladores)	Difícil (Posible alternando el funcionamiento de

Fuente: Bueno (2006, p. 31 - 32). *Estudio de alternativas para la electrificación rural en la zona de selva del Perú*

ANEXO 4. Comparación de tecnologías candidatas para la electrificación rural (2/8)

Ítem	Diesel	Fotovoltaica	Gasificador de biomasa
			dos unidades)
Estabilidad en la salida	Alta	Baja	Cambios en la frecuencia
Operación de forma automática	Posible (En unidades de baja potencia encendido y apagado manual)	Posible	No es aplicable para las unidades pequeñas para electrificación rural. Es necesario un operador para la carga del gasificador, la monitorización de la frecuencia y otros aspectos
Seguridad	Riesgo de accidente (envenenamiento por CO, fuego)	Alta	Riesgo de accidentes (envenenamiento por CO, fuego, ignición y explosión del gas producido)
Suministro comercial	Existen muchos fabricantes en el mundo	Existen muchos fabricantes en el mundo	Los gasificadores de los países desarrollados están automatizados y son limpios. Debido a su precio y al mantenimiento, es difícil su implantación en países en desarrollo. Los productos asiáticos no están

Fuente: Bueno (2006, p. 33). *Estudio de alternativas para la electrificación rural en la zona de selva del Perú*

ANEXO 5. Comparación de tecnologías candidatas para la electrificación rural (3/8)

Ítem	Diesel	Fotovoltaica	Gasificador de biomasa
			totalmente automatizados lo que supone una oportunidad para crear puestos de trabajo
Impacto medioambiental	Emisión de CO ₂ y de otros contaminantes procedentes de la combustión	Ninguno	Hay que hacer una gestión para evitar la compra de madera del mercado local, para evitar la deforestación
Emisión de gases de efecto invernadero	Emisión de CO ₂	Asociados a la fabricación de los paneles y otros componentes.	Cuando la biomasa proviene de cultivos el balance global es nulo, pues la fijación de CO ₂ en los cultivos equilibra las emisiones de la combustión
Cuestiones a considerar	Existe un riesgo de aumento del precio del combustible, siguiendo la ley de la oferta y la demanda del mercado mundial del petróleo y de escasez en el suministro	La principal limitación es el coste económico. Existe un problema con el deterioro de la batería que supone un coste añadido. Los conversores de DC/AC	Los condensados procedentes del limpiador del gas contienen alquitrán y fenol que tienen un efecto desinfectante (tienen una toxicidad aguda con una extensión media). Dependiendo del

Fuente: Bueno (2006, p. 34). *Estudio de alternativas para la electrificación rural en la zona de selva del Perú*

ANEXO 6. Comparación de tecnologías candidatas para la electrificación rural (4/8)

Ítem	Diesel	Fotovoltaica	Gasificador de biomasa
		presentan problemas de funcionamiento a nivel práctico	método de eliminación final pueden ser un problema
Aspectos económicos			
Coste inicial de inversión	330,7 € por hogar	700 € por hogar	462 € por hogar (gasificadores de India)
Coste del combustible	0,08 €/kWh	Nulo	Nulo
Período de implementación	1 año (líneas de distribución)	3-6 meses	1-2 años (gasificador, líneas de distribución)
Vida útil del sistema de generación	5- 10 años para el motor dependiendo de las especificaciones en el diseño	Hasta 30 años (algunos fabricantes lo garantizan)	10 años para gasificador (aproximadamente) 10 años para el motor dependiendo de las especificaciones del diseño
Supervisión	La operación y supervisión de la parte eléctrica es posible	La supervisión y mantenimiento es sencilla	La operación y supervisión de la parte eléctrica es posible
	En cualquier caso, las inspecciones periódicas y el	Hay que tener en cuenta que es muy común la	En cualquier caso, las inspecciones periódicas y el

Fuente: Bueno (2006, p. 35). *Estudio de alternativas para la electrificación rural en la zona de selva del Perú*

ANEXO 7. Comparación de tecnologías candidatas para la electrificación rural (5/8)

Ítem	Diesel	Fotovoltaica	Gasificador de biomasa
	mantenimiento son difíciles	necesidad de reemplazo de algunos de los componentes de la instalación	mantenimiento son difíciles (En el caso de una de las compañías la tecnología necesaria para la operación y mantenimiento es de un nivel de dificultad similar al de la ingeniería diesel)
Posibilidad de instalación de unidades adicionales de acuerdo con el incremento de la demanda	Fácil	Fácil	Fácil (es necesario que exista suficiente biomasa disponible para las nuevas unidades)
Favorece la independencia energética	No (Depende del precio del barril de petróleo y por tanto del suministro externo)	Sí	Sí (En el caso de cultivos energéticos o de biomasa abundante)
Experiencias anteriores	Existen experiencias en Perú Existen	Existen experiencias en Perú En estas	No existen experiencias previas, sería una experiencia piloto en Perú

Fuente: Bueno (2006, p. 36). *Estudio de alternativas para la electrificación rural en la zona de selva del Perú*

ANEXO 8 Comparación de tecnologías candidatas para la electrificación rural (6/8)

Ítem	Diesel	Fotovoltaica	Gasificador de biomasa
	deficiencias en la operación y el mantenimiento que influyen en la marcha poco eficiente de los equipos y en la mala calidad del servicio Existen problemas con el coste de la energía, pues el coste del suministro de petróleo es alto al transporte	experiencias la mayor parte de los sistemas sigue operativo. Existen problemas en la orientación de las placas que en algunos casos no están colocadas correctamente para la captación solar Las baterías han disminuido su capacidad de carga, y en algunos casos han tenido que ser reemplazadas Casi todos los sistemas siguen operativos (apenas 2% no)	Existen experiencias en otros países como India, China, Filipinas o Tailandia. Actualmente India y China son los países más avanzados en la implementación de esta tecnología. En India la implantación de esta tecnología tiene un amplio crecimiento. En el año 2003 había instalados 55 MWe. Las experiencias piloto siguen funcionando en la actualidad generando empleo local, pues son la gestión, propiedad y mantenimiento es llevada a cabo por cooperativas energéticas locales (Gosaba Rural Energy Cooperative en India, o Small Medium and

Fuente: Bueno (2006, p. 37). *Estudio de alternativas para la electrificación rural en la zona de selva del Perú*

ANEXO 9. Comparación de tecnologías candidatas para la electrificación rural (7/8)

Ítem	Diesel	Fotovoltaica	Gasificador de biomasa
			Enterprise en Camboya)
Costes asociados a la degradación medioambiental (Desde un punto de vista medioambiental se tendrá en cuenta en este estudio, según recomienda en el informe de las Naciones Unidas WEA Goldemberg et al., 2004 [6])	En este sistema no hay costes asociados a la degradación medioambiental Si se tuvieran en cuenta nos encontraríamos con que el coste del sistema teniendo en cuenta este punto sería superior al coste exclusivamente económico	No existen	Existen costes ambientales asociados debidos a la emisión de CO y de alquitranes con contenido en fenol En el caso de los gasificadores downdraft de pequeña escala estas emisiones son mínimas y existen filtros a la salida que disminuyen en gran parte el impacto ambiental (ver apartado 9 en este mismo proyecto)
Disponibilidad del combustible	Limitada Hay problemas en la distribución es necesario el transporte por carretera, que aumenta los costes	Media No es posible durante la noche y es limitada en los días con baja incidencia solar Para remediarlo	Buena Existe abundancia de biomasa en la zona Por otro lado, cabe la posibilidad de hacer cultivos

Fuente: Bueno (2006, p. 38). *Estudio de alternativas para la electrificación rural en la zona de selva del Perú*

ANEXO 10. Comparación de tecnologías candidatas para la electrificación rural (8/8)

Ítem	Diesel	Fotovoltaica	Gasificador de biomasa
	Existe el riesgo de escasez del suministro y de aumento de los precios que lo convertirían en difícilmente asequible	se utilizan baterías para el almacenamiento de la energía	energéticos para proveer el sistema. Este mecanismo implica las ventajas de creación local de empleo y de disminución de las emisiones de CO ₂ debido a los mecanismos de fijación de CO ₂ del cultivo

Fuente: Bueno (2006, p. 39). *Estudio de alternativas para la electrificación rural en la zona de selva del Perú*