



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
ALUMBRADO A BASE DE ENERGÍA EÓLICA EN COMUNIDADES AISLADAS**

David Neptalí Méndez Girón

Asesorado por el Ing. Julio Andrés Gaitán Álvarez

Guatemala, febrero 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA
DE ALUMBRADO A BASE DE ENERGÍA EÓLICA EN COMUNIDADES AISLADAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

DAVID NEPTALÍ MÉNDEZ GIRÓN

ASESORADO POR EL ING. JULIO ANDRÉS GAITÁN ÁLVAREZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

GUATEMALA, FEBRERO 2023

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 Armando Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz Gonzales
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Fernando Alfredo Moscoso Lira
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
EXAMINADOR	Ing. Fredy Mauricio Monroy Peralta
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:

ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ALUMBRADO A BASE DE ENERGÍA EÓLICA EN COMUNIDADES AISLADAS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 19 de mayo 2020.



David Neptalí Méndez Girón

Guatemala, 21 de octubre 2021

Ingeniero
Fernando Alfredo Moscoso Lira
Coordinador Área de Potencia
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

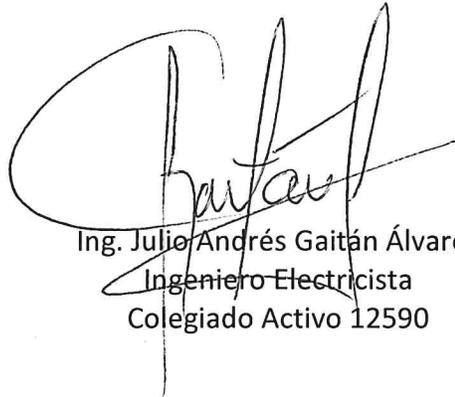
Ingeniero Moscoso:

Hago de su conocimiento por este medio que he concluido la revisión del trabajo de graduación del estudiante David Neptalí Méndez Girón, titulado:

ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ALUMBRADO A BASE DE ENERGÍA EÓLICA EN COMUNIDADES AISLADAS

El cual cumple plenamente el propósito para el que fue concebido. Por lo que, en mi calidad de asesor nombrado por la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, doy mi aprobación al mismo. Indicando que tanto el suscrito como el estudiante Méndez Girón somos responsables por el contenido del trabajo referido.

Reciba un cordial saludo,



Ing. Julio Andrés Gaitán Álvarez
Ingeniero Electricista
Colegiado Activo 12590



Guatemala, 3 de octubre de 2022

Ingeniero
Armando Alonso Rivera Carrillo
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Rivera:

Por este medio, con base a lo indicado en el REGLAMENTO DE TRABAJOS DE GRADUACION vigente, tengo a bien proponer la aprobación del trabajo de graduación titulado:

**ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN
SISTEMA DE ALUMBRADO A BASE DE ENERGÍA EÓLICA EN
COMUNIDADES AISLADAS**

del estudiante DAVID NEPTALÍ MÉNDEZ GIRÓN, habiendo cumplido con los requisitos establecidos en el referido reglamento y conforme la aprobación del asesor.

Sin otro particular

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ingeniero Fernando Alfredo Moscoso Lira
Coordinador Área de Potencia
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería

REF. EIME 16.2023

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante David Neptalí Méndez Girón: **“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ALUMBRADO A BASE DE ENERGÍA EÓLICA EN COMUNIDADES AISLADAS”**, procede a la autorización del mismo.



Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo

Guatemala, 22 de febrero de 2023.

LNG.DECANATO.OI.193.2023

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 Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ALUMBRADO A BASE DE ENERGÍA EÓLICA EN COMUNIDADES AISLADAS**, presentado por: **David Neptalí Méndez Girón**, 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, febrero de 2023

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por las bendiciones en mi vida, por brindarme sabiduría y entendimiento para iluminar mi camino hacia el éxito.
- Mis padres** David Méndez y Elizabeth Girón. Por ser unos padres ejemplares, por su amor y apoyo incondicional.
- Mis hermanas** María Elizabeth y Paola Méndez. Por marcar el camino hacia el éxito y brindarme su apoyo siempre.
- Mi abuelita** Alicia Martínez. Por ser una madre más para mí, por su amor y consejos.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por abrirme las puertas y acogerme en tan prestigiosa casa de estudios.

Facultad de Ingeniería

Por ser mi segunda casa y brindarme los conocimientos necesarios para desempeñar mi vida profesional.

Asesor

Ing. Julio Andrés Gaitán Álvarez por aceptarme y compartir su conocimiento con paciencia y dedicación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	IX
LISTA DE SÍMBOLOS	XIII
GLOSARIO	XV
RESUMEN.....	XXV
OBJETIVOS.....	XXVII
INTRODUCCIÓN	XXIX
1. ANTECEDENTES GENERALES.....	1
1.1. Antecedentes de la electrificación rural en Guatemala.....	1
1.2. Plan de Electrificación Rural -PER-	2
1.2.1. Proyecto de Electrificación Rural I (1971-1978).....	3
1.2.2. Proyecto de Electrificación Rural II (1979-1989).....	3
1.2.3. Proyecto de Electrificación Rural III (1989-1996).....	4
1.3. Programas de Electrificación Rural Fideicomiso de Administración INDE: Obras Rurales de Occidente y Oriente.....	6
1.4. Generación de energía	9
1.4.1. Panorama actual.....	11
1.4.2. Demanda de energía eléctrica.....	14
1.4.3. Balance energético nacional.....	15
1.4.4. Matriz energética	17
1.4.5. Regulación del sector eléctrico	18
1.5. Políticas energéticas.....	22
1.6. Políticas de desarrollo de energías renovables	23

1.7.	Impacto ambiental de las distintas fuentes de generación de energía.....	26
1.7.1.	Políticas y estrategias ambientales	28
1.7.2.	Planes de mitigación	30
2.	FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE DISPONIBLE	31
2.1.	Reseña histórica.....	31
2.2.	Conceptos generales	32
2.3.	Tecnologías disponibles.....	34
2.3.1.	Solar.....	34
2.3.2.	Eólica.....	35
2.3.3.	Hidráulica	35
2.3.4.	Biomasa	36
2.4.	Comparación de la Generación Distribuida con la Generación Convencional.....	37
2.5.	Integración de la Generación Distribuida Renovable a las Redes de Distribución	38
2.5.1.	Condiciones técnicas.....	38
2.5.1.1.	Generación Distribuida en redes eléctricas existentes	39
2.5.1.2.	Generación Distribuida en sistemas aislados	39
2.5.2.	Aspectos económicos.....	39
2.5.2.1.	El sistema de generación distribuida versus el sistema tradicional.....	40
2.5.2.2.	Mundo económico y la industria eléctrica	41
2.5.3.	La generación distribuida y las fuentes de energía renovables.....	41

2.5.3.1.	Fuente de energía renovable.....	41
2.5.3.2.	Conexión a la red de la generación distribuida	42
2.5.4.	Tecnologías de generación empleadas en la Generación Distribuida	42
2.5.4.1.	Motores de combustión interna a base de combustiblesfósiles.....	42
2.5.4.2.	Turbinas de gas	43
2.5.4.3.	Microturbina hidráulica.....	43
2.5.4.4.	Pilas de combustible	44
2.5.4.5.	Generadores eólicos.....	44
2.5.4.6.	Energía solar fotovoltaica	45
2.5.4.7.	Marina.....	46
2.5.4.8.	Geotérmica	46
2.5.5.	Beneficios e inconvenientes de la generación distribuida	46
2.5.5.1.	Beneficios de la generación distribuida	47
2.5.5.2.	Inconvenientes de la generación distribuida	47
2.5.6.	Características de los generadores utilizados en generación distribuida.....	48
2.5.6.1.	Máquinas de rotación en generación distribuida	48
2.5.6.1.1.	Generadores síncronos.....	48
2.5.6.1.2.	Generadores de inducción	48

	2.5.6.1.3.	Convertidores estáticos de potencia.....	49
	2.5.6.2.	Impacto de la generación distribuida en redes de distribución.....	49
	2.5.6.3.	Flujos de carga.....	49
	2.5.6.3.1.	Límite térmico.....	49
	2.5.6.3.2.	Flujo de carga inversa ...	50
2.5.7.		Variación de los niveles de voltaje y regulación de voltaje.....	50
	2.5.7.1.	La GD como regulador de voltaje	51
2.5.8.		Pérdidas	52
	2.5.8.1.	Pérdidas por el efecto Joule	52
	2.5.8.2.	Pérdidas en función de la ubicación de la GD y la topología de la red	52
	2.5.8.3.	Pérdidas en función del Nivel de Penetración	53
	2.5.8.4.	Influencia de la GD en el nivel de cortocircuito.....	53
2.5.9.		Impacto ambiental de la generación distribuida.....	55
	2.5.9.1.	Alteración del agua.....	55
	2.5.9.2.	Emisiones a la atmósfera	55
	2.5.9.3.	Contaminación electromagnética	56
	2.5.9.4.	Contaminación química	56
3.		MEJORA EN EL SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	57
	3.1.	Consumo energético en el área rural	57
	3.1.1.	Balance energético histórico en sector residencial	58
	3.1.2.	Consumo de electricidad en el área rural	58

3.2.	Consumo de leña	59
3.3.	Índices de acceso a la electricidad	61
3.3.1.	Acceso a la electricidad por departamento	63
3.4.	Usuarios sin suministro.....	63
3.5.	Propuestas del plan indicativo de electrificación rural	64
3.5.1.	Crecimiento de usuarios regulados en la red eléctrica	65
3.5.2.	Acceso a los sistemas transporte y distribución de energía eléctrica	65
3.5.3.	Número de usuarios sin acceso al servicio de energía eléctrica	65
3.5.4.	Índice de Desarrollo Humano (IDH).....	66
3.5.5.	Índice de Pobreza Multidimensional (IPM).....	66
3.5.6.	Porcentaje de personas viviendo en pobreza	67
3.5.7.	Índice Relativo de Consumo de Leña (IRCL).....	67
3.6.	Métodos para el establecimiento prioritario de los proyectos de electrificación rural.....	67
3.7.	Estimación de la demanda de energía y potencia no suministrada	70
3.7.1.	Costo de la energía no suministrada	71
3.8.	Estimación del costo de electrificación	73
3.9.	Procesos de electrificación reconocidos.....	74
3.9.1.	Conexión a la red.....	74
3.9.2.	Sistemas aislados o microredes	75
3.9.3.	Usuarios auto productores.....	77
4.	DESARROLLO DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN EÓLICO PARA AUTONOMÍA ENERGÉTICA UTILIZADA EN LOS FOCOS DE ALUMBRADO PÚBLICO	79

4.1.	Energía eólica	79
4.1.1.	El viento.....	80
4.1.2.	Clasificación de los vientos	80
4.1.2.1.	Vientos regulares o constantes	81
4.1.2.2.	Vientos periódicos	81
4.1.2.3.	Vientos circunstanciales	81
4.1.3.	La energía en el viento: densidad del aire y área de barrido del rotor	82
4.1.4.	Densidad del aire	82
4.1.5.	Ventajas de la energía eólica	82
4.1.6.	Desventajas de la energía eólica	83
4.1.7.	El viento en Guatemala	83
4.1.8.	Sitios de mediciones de viento en Guatemala.....	84
4.1.9.	Estudio del potencial eólico en Guatemala.....	85
4.2.	Diseño experimental.....	86
4.2.1.	Baterías y acumulador.....	89
4.2.2.	Inversor	90
4.2.3.	Controlador de carga	92
4.2.4.	Generador Asíncrono	93
4.2.5.	Generador Síncrono	93
4.2.6.	Transmisión.....	94
4.2.7.	Alternadores trifásicos	94
4.2.8.	Conversión de motores de inducción a alternadores	94
4.3.	Diseño del generador	95
4.3.1.	Criterios de diseño	95
4.3.2.	Conversión de un motor monofásico a generador ...	96
4.3.3.	Aerogenerador	96
4.3.3.1.	Potencia nominal.....	96

4.3.3.2.	Orientación del rotor	97
4.3.3.3.	Aspas del generador.....	97
4.3.3.4.	Sistema electromagnético.....	97
4.3.3.5.	Rectificador trifásico	97
4.3.3.6.	Sistema electrónico	98
4.3.3.7.	Sistema de potencia	98
4.3.3.8.	Zona de instalación.....	98
4.3.3.9.	Mantenimiento	98
4.3.3.10.	Alambre o cable para utilizar	99
4.3.3.11.	Tensión de la instalación	100
4.3.3.12.	Ecuación de la carga	101
4.3.3.13.	Cálculo de los voltajes máximos.....	101
4.3.3.14.	Cables Conductores	102
4.3.3.15.	Luminaria.....	104
4.4.	Cálculos del requerimiento del alumbrado público.....	105
4.4.1.	Rendimiento del acumulador	105
4.4.2.	Energía necesaria de acumulación.....	106
4.4.3.	Aforo diario de acumulación	106
4.4.4.	Capacidad total de la batería.....	107
4.4.5.	Número de baterías	107
4.4.6.	Inversor necesario	108
4.4.7.	Aerogenerador.....	108
4.4.8.	Conexión del inversor	109
4.4.9.	Diagramas eléctricos y electrónicos.....	112
4.4.10.	Determinar Pérdidas de Potencia en el alumbrado.....	119

CONCLUSIONES..... 129
RECOMENDACIONES 131
BIBLIOGRAFÍA..... 133
APÉNDICES..... 137
ANEXOS..... 139

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

1.	Consumo de energía mundial por tipo	12
2.	Generación de energía eléctrica	13
3.	Consumo energético 2014 consumo nacional 78 710 KBEP	16
4.	Estructura legal del subsector eléctrico	18
5.	Esquema de las instituciones del subsector eléctrico	20
6.	Porcentaje de generación según tecnología utilizada	24
7.	Esquema de generación centralizada versus generación distribuida...	40
8.	Esquema representativo de una línea.....	50
9.	Descripción de energéticos contabilizados dentro de los balances energéticos nacionales.....	57
10.	Demanda de leña per cápita en el área rural a nivel.....	60
11.	Demanda energética de leña del sector residencial.....	61
12.	Índice de acceso a la electricidad por región	62
13.	Usuarios sin electrificar	62
14.	Cantidad de usuarios sin cobertura eléctrica	64
15.	Zonas de autorización, para empresas distribuidoras	75
16.	Esquema básico de abastecimiento de energía.....	76
17.	Usuario auto productor con energías renovables aislado de la red.....	77
18.	Controlador de Carga.....	92
19.	Utilización de la energía	100
20.	Lámpara para alumbrado público.....	105
21.	Torre eólica	110
22.	Diagrama fasorial para comprensión de potencia reactiva.....	112
23.	Diagrama de un circuito eléctrico	113
24.	Sistema de alimentación Ininterrumpida	115

25.	Diagrama de conexión energía eólica.....	117
26.	Conexión de Baterías en Serie	118
27.	Diagrama de conexión con regulador de carga de batería	119
28.	Diagrama las variables eléctricas	122
29.	Diagrama las luminarias	124

TABLAS

I.	Infraestructura de transmisión eléctrica del INDE plan original.....	8
II.	Electrificación rural inversiones en distribución plan original	8
III.	Demanda Firme del SNI de 2009-2010 a 2014-2015.....	15
IV.	Matriz de generación eléctrica 2011-2015 en GWh	17
V.	Matriz de generación eléctrica por tipo de recurso en porcentaje.....	17
VI.	Proyectos eólicos en Guatemala	25
VII.	Valores típicos de líneas aéreas para 50 Hz.....	51
VIII.	Valores típicos de niveles de cortocircuitos de la GD	54
IX.	Frecuencias relativas de consumo de energía eléctrica mensual, sector residencial.....	59
X.	Peso de los indicadores socioeconómicos y técnicos.....	68
XI.	Municipios priorizados	69
XII.	Estimación de energía y potencia no suministrada por departamento.....	70
XIII.	Estimación del costo de la energía no suministrada por departamento.....	72
XIV.	Estimaciones de energía y potencia no suministradas por municipios, y precios de la energía no suministrada en un año.....	72
XV.	Inversión mínima estimada por año	73
XVI.	Longitudes y Clases de Rugosidad.....	88
XVII.	Características de un Inversor	91

XVIII.	Pérdidas en el voltaje	99
XIX.	Valores electrocables	103
XX.	Normalizados A.W.G	103
XXI.	Calibres de cable.....	109
XXII.	Costos de equipo y accesorios.....	111

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Amp	Amperio
hp	Caballos de fuerza
dB	Decibel
CO₂	Dióxido de carbono
\$	Dólar estadounidense
Hz	Hertz
Gwh	GigaWatt por hora
SF₆	Hexafluoruro de azufre
HFCs	Hidrofluorocarbonos
Km	Kilómetro
kV	Kilovatio
kWh	Kilovatio hora
MW	Megavatio
MVA	Mega voltio
kWh/mes	Kilovatio hora por mes
CH₄	Metano
N₂O	Óxido Nitroso
PFCs	Perfluorocarbonos
%	Porcentaje
Q	Quetzales
Ω	Unidad de medida de impedancia eléctrica
V	Voltio
W	Watts

GLOSARIO

AID	Agencia Internacional para el Desarrollo.
AMM	Administrador de Mercado Mayorista.
Ángulo de anclaje	Ángulo formado por la pala y el ángulo geométrico de rotación.
Ángulo de Incidencia	Borde enfrentado a la corriente de aire, redondeado y de forma lisa y suave que permite aprovechar al máximo la energía mecánica del viento.
Alternador	Máquina capaz de generar corriente alterna.
Bio-energía	Incluye el bio-diesel (aceite de cocina reciclado para automóviles), digestores anaeróbicos (como los de los rellenos sanitarios) y biomasa, el cual incluye los combustibles vegetales como el etanol.
Bobinado	Conjunto de arrollamientos de alambre con un fin común.
Borde de Fuga	Parte opuesta al ángulo de incidencia por donde sale el viento es de forma afilada y tiene por objeto evitar que la corriente le rodee, salvo con un

desprendimiento intenso. Dirige la corriente y permite reducir la resistencia al avance.

Cambio climático global

El clima está variando y el panorama es muy tormentoso con predicciones extremas, un hecho innegable que ha sido impactado por la humanidad y sus opciones de vida.

CNEE

Comisión Nacional de Energía Eléctrica.

Coefficiente de potencia

Indica con qué eficiencia el aerogenerador convierte la energía del viento en electricidad.

Comunidad rural aislada

Son aquellas comunidades cuyo suministro de electricidad mediante la extensión de la red eléctrica no está incluido en el Plan de Electrificación Rural.

CPV

Concentración solar fotovoltaica.

Cuerda de pala

La cuerda del perfil de longitud c , que es la línea recta que une el borde de ataque con el borde de fuga.

Demanda/carga pico

Demanda o carga máxima de energía en un tiempo determinado.

Demanda de carga base

No es más que la demanda mínima que experimenta una central eléctrica.

Demanda eléctrica promedio	Demanda de carga base La demanda o el egreso de energía de un sistema eléctrico o cualquiera de sus componentes durante cierto tiempo, determinada por la cantidad total de kilowatts-hora dividida entre las unidades de tiempo considerado.
DEOCSA	Distribuidora de Electricidad de Occidente, S.A.
DEORSA	Distribuidora de Electricidad de Oriente, S.A.
Disponibilidad	Describe la confiabilidad de las centrales eléctricas. Se refiere a la cantidad de horas que una central eléctrica está disponible para producir energía, dividido entre la cantidad total de horas de un período determinado.
DOE	Departamento de Energía de los Estados Unidos (por sus siglas en inglés).
ECOE	Empresa de Comercialización de Energía Eléctrica.
EEGSA	Empresa Eléctrica de Guatemala.
EIA	Evaluación de impacto ambiental.
Electrificación	Un proceso en el cual se busca abastecer de energía a las distintas localidades del país que no cuentan con un suministro apropiado, ya que éstas deben satisfacer sus necesidades de abastecimiento con el

uso de fuentes de energía más precarias e ineficientes.

Energía eólica

Energía disponible debido al movimiento del viento a través del paisaje; se origina en el calentamiento de la atmósfera, la tierra y los océanos por medio de la energía solar.

Energía geotérmica

Energía producida por el calor interno de la tierra; entre las fuentes de calor geotérmico se encuentran: sistemas convectivos hidrotermales, depósitos de agua presurizada, rocas secas calientes, gradientes manuales y magma. Es posible utilizar la energía geotérmica para calefacción o para producir energía eléctrica.

Energía nuclear

Energía que proviene de la escisión de átomos de materiales radioactivos, como el uranio, y que produce residuos radioactivos.

Energía renovable

Energía derivada de recursos que pueden regenerarse o que, para todo fin práctico, no se pueden agotar. Entre los tipos de recursos de energía renovable se incluye el movimiento del agua (energía hidráulica, de las mareas y de olas del mar), los gradientes térmicos del océano, la biomasa, la energía geotérmica, la energía solar y la eólica. También se considera que los residuos sólidos municipales constituyen un recurso de energía renovable.

Energía térmica	La energía que se origina en el uso de la energía calorífica.
Energía solar	Energía electromagnética transmitida desde el sol (radiación solar). La cantidad que llega a la Tierra es igual a unos mil millonésimos de la energía solar total generada, o el equivalente de unos 420 billones de kilowatts-hora.
Energía verde	Término aplicado a la energía producida a partir de recursos renovables.
Energía no renovable	Es la energía proveniente de combustibles fósiles y nucleares. Aportan el mayor porcentaje para la producción de energía eléctrica mundial, aceleran el efecto invernadero y el cambio climático global.
Escisión nuclear	Rotura de un núcleo atómico en dos porciones aproximadamente iguales.
FEB	Frecuencia extremadamente baja.
FUNDAP	Fundación para el Desarrollo Integral de Programas Socioeconómicos.
GDR	Generación distribuida renovable.
GEI	Efecto invernadero.

GLP	Gas licuado de petróleo.
Grado de electrificación	El grado de electrificación determina la capacidad y calidad de la instalación y por tanto condiciona el nivel de confort de la vivienda. Depende de la superficie de la vivienda y con un mínimo de acuerdo con las siguientes especificaciones.
Grupo de bobinas	Formada por una o varias bobinas en serie.
IDH	Índice de Desarrollo Humano.
Imanes permanentes	Elementos que posee campo magnético propio.
INDE	Instituto Nacional de Electrificación.
INSIVUMEH	Instituto Nacional de Meteorología, Sismología, Vulcanología e Hidrología.
IPCC	Panel Intergubernamental de Cambio Climático.
IPM	Índice de Pobreza Multidimensional.
IRCL	Índice Relativo de Consumo de Leña.
LGE	Ley General de Electricidad.
MEM	Ministerio de Energía y Minas

MER	Mercado Eléctrico Regional.
NRECA	National Rural Electric Cooperative Association.
NTGDR	Norma Técnica para la Conexión, Operación, Control y Comercialización de la Generación Distribuida.
Opciones energéticas	Son las distintas soluciones energéticas que pueden ser utilizadas en el suministro de electricidad a las comunidades ubicadas en Zonas Rurales Aisladas.
Pala o Aspa	Elemento similar al ala de un avión el cual sirve para capturar la energía mecánica del viento haciendo girar el rotor.
Paso de bobina	Índice entre que ranuras está colocada la bobina o el número de ranura que abarca la bobina.
PER	Plan de Electrificación Rural.
RES	Fuente de Energía Renovable.
SEN	Sistema Eléctrico Nacional.
SEP	Sistema Eléctrico de Potencia.
SGA	Sistema de Gestión Ambiental.

SIEPAC	Sistema de Interconexión Eléctrica de los Países de América Central.
Sistema Eólico	Un sistema eólico es un conjunto de elementos conectados entre sí, que sirven como suministro de energía y usan como fuente primaria el viento.
Sistemas eléctricos rurales aislados	Sistemas eléctricos de generación y distribución, desarrollados por medio de micro redes o sistemas individuales, situados fuera de las redes eléctricas tradicionales existentes, técnicamente realizados o no con energías renovables y cuya potencia instalada, en el caso de micro redes, no supere los 500 Kw.
UF	Unión Fenosa
Zona rural	Área en el cual su principal actividad es agricultura ganadería es donde los campesinos siembran para luego comercializar sus productos, las zonas rurales no cuentan con los servicios indispensables como drenaje agua por tubería alumbrado público entre otros.
Zona rural aislada	Aquella parte del territorio nacional que por su dificultad de acceso o por razones económicas hacen actualmente inviable su conexión a las redes de distribución, estando excluidas del Plan de Electrificación Rural.

**Zona rural aislada
electrificada**

Se considerará electrificada una zona rural aislada cuando todos y cada uno de los hogares que deseen recibir un servicio mínimo de abastecimiento eléctrico pueden acceder a él.

ZRA

Zonas Rurales Aisladas.

RESUMEN

El proceso en el siguiente trabajo será el de desarrollar una instalación de un sistema de energía renovable, que tiene como fin lograr que comunidades aisladas posean alumbrado público, considerando la cantidad y por la velocidad del viento o las características propias de una instalación de bajo costo para cumplir con el objetivo en estas poblaciones de extrema pobreza, así como la reducción de los costos para no utilizar paneles solares, permitirían acelerar la construcción de sistemas aislados. Desde 1996 cuando el gobierno mediante el Decreto No. 93-96 emitió la Ley General de Electricidad como una entidad privada y sin fines de lucro se ha logrado alcanzar hasta la fecha un índice mayor del 92 %. En el país existen regiones en donde los niveles de cobertura de los servicios básicos son del 0 %, siendo de necesidad urgente, implementar programas y proyectos que mejoren los servicios de agua, eléctricos y de urbanización.

En los últimos cinco años cabe mencionar que las emisiones de CO₂ en Guatemala en 2018 han crecido 2 323 kilotoneladas, un 12,77 % respecto a 2017.

La energía eólica procede indirectamente del sol lo que hace que sea una energía que no contamina al medio ambiente, su generación es de una manera limpia ya que se nutre del viento lo cual la vuelve una energía inagotable para generar electricidad, pero tiene que recurrir a las características del viento para que pueda instalarse una hélice y un rotor para poder generar energía cinética que después será convertida en energía mecánica por medio de convertidor. Estos equipos y elementos mecánicos para instalarlos se necesita una inversión inicial, así como también mantenimiento.

El hablar de energía limpia se refiere a que no genera productos secundarios que son peligrosos para la atmósfera, como lo son los gases tóxicos, CO₂, metano, óxido nitroso, ozono, entre otros.

La clase promedio de viento en Guatemala es 4 o superior, lo que permite aducir que el potencial eólico promedio es de aproximadamente 7 840 MW, que podría generar energía eléctrica en el orden de magnitud de 20 000 GWh por año. Pero en las zonas con vientos de clase 3, el potencial se elevaría a un valor alrededor de 17 200 MW y la generación sería de alrededor de 35 000 GWh por año.

Los problemas asociados al uso de energías convencionales evidencian la necesidad de aplicar alternativas amigables con la atmósfera y el ecosistema en general. Del mismo modo, los datos recolectados avalan la viabilidad de la implementación de sistemas de generación eólica de la energía eléctrica en zonas aisladas con la posibilidad de copiarlo también en las urbes.

OBJETIVOS

General

Determinar qué proceso se debe implementar para generar energía eléctrica por medio de la velocidad del viento para la implementación de un sistema de alumbrado a base de energía eólica en comunidades aisladas aleatorias.

Específicos

1. Realizar un diagnóstico actual en comunidades aisladas aleatorias del departamento de Guatemala.
2. Identificar el proceso necesario a implementar para generar energía eléctrica alternativa por medio de la velocidad del viento para alumbrado público en comunidades aisladas que su común denominador se encuentren fuera de la cobertura de servicios.
3. Determinar las líneas de producción sobre la base de la demanda, en el volumen requerido de los focos de alumbrado eléctrico que se posee en comunidades aisladas aleatorias.
4. Establecer la información relacionada a los requerimientos y toma de decisiones de alumbrado a base de energía eólica en comunidades aisladas aleatorias.

5. Estipular la planeación de la demanda y los factores con relación al alumbrado público en comunidades aisladas aleatorias.
6. Establecer un número de luminarias estimado según la capacidad de generación de potencia del aerogenerador.
7. El objetivo que se busca establecer es un estudio técnico de factibilidad económica para implementar una solución a la falta de electrificación rural en ciertos sectores del país en beneficio de las personas.

INTRODUCCIÓN

Los avances tecnológicos y el cambio de mentalidad con respecto a la importancia de la conservación del ambiente demuestran que es menester realizar cambios estructurales en la generación de energías, aunque la dependencia en la generación convencional de energía eléctrica en el país debido al escaso conocimiento sobre la energía eólica es lamentable.

Al final del presente proyecto de tesis, se podrán utilizar de materiales reciclados y nuevos para la construcción de las aspas, el generador usado es de tipo tripala o de tres aspas, la expectativa de este trabajo experimental fue proponer la energía eólica como una alternativa para alumbrado público, evaluar los diferentes tipos de materiales reciclados y nuevos en un generador eólico, ya que actualmente la mayoría de casas poseen el servicio de luz convencional y utilizan otros medios de alumbrado como linternas o candelas, se debe realizar un estudio de velocidad en las regiones para determinar la efectividad de esta opción y tener el mejor rendimiento de los equipos.

En caso no existiese oportunidad de construcción, podría darse el procedimiento de compra de equipos de bajo costo que ayuden a solventar el problema de electrificación por parte de una institución y que las comunidades puedan tener un desarrollo sostenible y responsabilidad con el ambiente donde viven.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1. Antecedentes de la electrificación rural en Guatemala

En Guatemala debido a la pobreza que tiene, hace que mucha de su población se vea afectada en cuanto a desarrollo se habla. Debido a esta problemática se empezó a hacer gestiones para modernizar el sector eléctrico, de esto surge en que en 1966 la Ley General de Electricidad (LGE) se pone en vigor, en esta se incluye un nuevo marco legal y regulatorio para la industria eléctrica en la cual la Empresa Eléctrica de Guatemala (EEGSA) y el Instituto Nacional de Electrificación (INDE) se vieron reestructurados.

Debido a esta reestructuración nacen dos empresas que debido a la venta del 80 % de sus acciones fueron privatizadas, estas empresas son: Distribuidora de Electricidad de Oriente, S.A. o bien llamada DEORSA y Distribuidora de Electricidad de Occidente, S.A -DEOCSA- del mismo modo las empresas de generación y distribución de EEGSA fueron privatizadas.

Debido a la privatización de estas empresas se estima que 66 % de la población guatemalteca vive en situación de pobreza, esto está concentrado en el área rural viéndose afectada las poblaciones indígenas ya que esta población consume solo 50 kWh/mes a los 170 kWh/mes que consumen los usuarios residentes en la zona metropolitana.

Dada esta problemática el Gobierno de Guatemala formula una estrategia de reducción de la pobreza en donde uno de sus principios es darle atención al

área rural para que de esta manera se pueda ampliar y dar más cobertura a su infraestructura.

Para hacer frente a la baja cobertura de energía eléctrica en las zonas rurales, la Ley General de Electricidad, reconociendo la dificultad de ampliar la cobertura en su momento por haberse privatizado las empresas distribuidoras de energía eléctrica, estableció en su artículo 47:

El Estado podrá otorgar recursos para costear total o parcialmente la inversión de proyectos de electrificación rural, de beneficio social o de utilidad pública, que se desarrollen fuera de la zona territorial delimitada. Los recursos que otorgue el Estado serán considerados como un subsidio, los cuales no podrán ser trasladados como costo al usuario. Las obras que se construyan con estos aportes serán administradas y operadas por el adjudicatario.¹

Gracias a los proyectos de electrificación rural surgen beneficios sociales para esta población, como lo es la educación ya que pueden extender sus estudios a horas de la noche, pudiendo así tener acceso a programas de alfabetización.

1.2. Plan de Electrificación Rural -PER-

El Plan de Electrificación Rural tiene como finalidad la creación de la red de electrificación en áreas rurales por medio de programas de beneficio social.

Como consecuencia desde el año 1971 el INDE ha desarrollado 3 proyectos, los cuales son significativos para el desarrollo.

¹ Congreso de la República de Guatemala. *Decreto número 93-96: ley general de electricidad.* p. 16.

1.2.1. Proyecto de Electrificación Rural I (1971-1978)

Este proyecto estuvo comprendido entre el año 1971 al 1978 en el cual dio inicio de una manera formal la electrificación rural, este proyecto se basaba en la organización, construcción y operación de tres regiones que estaban al margen del SIN (Sistema Internacional Interconectado), el cual tuvo como objetivo principal la construcción tanto del sistema de transmisión como el sistema de distribución para las tres regiones del país.

En proyecto se programaron la construcción de 565 km de líneas de transmisión con un voltaje de 69 000, otra línea de 213 km con un voltaje de 34 500. Con esto se cubrió las regiones de las Verapaces, Huehuetenango, San Marcos y el Quiché.

Gracias al proyecto se fortalecieron y mejoraron subestaciones en San Marcos, Huehuetenango y Las Verapaces, y también se electrificaron municipios sin energía eléctrica en Huehuetenango.

1.2.2. Proyecto de Electrificación Rural II (1979-1989)

En 1979 se puso en marcha el Proyecto de Electrificación Rural II (PER II) en toda la República de Guatemala, excepto en los departamentos de Guatemala y Petén. El proyecto está planificado para ejecutarse en 5 años con el objetivo de llevar la electrificación domiciliaria a comunidades seleccionadas del área.

Lo que se tenía contemplado en este proyecto era la instalación de 70 000 nuevos usuarios en 342 comunidades nuevas, así como la construcción de 56 km de líneas de transmisión de 69 KV, la construcción de una subestación la cual tenía como función reducir el voltaje de 69 000 que tenía 5 megavatios de

capacidad en el municipio de Quezaltepeque, departamento de Chiquimula y la construcción de 901 km de redes de distribución.

Por el área geográfica que cubre el PER II, la cobertura cubre Santa Rosa, Jutiapa, Jarapa, Chiquimula, Zacapa, Izabal, Progreso, Baja Verapaz, Alta Verapaz, Provincias de La Paz, Chimaltenango, Sorolla, Totonicapán, Quetzaltenango, Retalhuleu, Suchitepéquez, Huehuetenango, Quiché, San Marcos.

El PER II tuvo como logros atender a 536 comunidades, 194 más de las que fueron programadas; instalación de 91 301 nuevos usuarios y la construcción de 1 500 km de redes siendo de esta manera que las metas programadas fueron sobrepasadas.

El sector eléctrico, gracias a la política de desarrollo del Gobierno de la República, se orienta hacia un sistema híbrido con participación del sector privado, por lo que el gobierno ya no invertirá en la generación eléctrica, sino que el sector privado invertirá en el crecimiento que la el país retiene a través del INDE (Instituto Nacional de Electrificación) además del suministro de energía la Propiedad y administración de las principales centrales hidroeléctricas del país y líneas de alta tensión (230, 138 y 69 KV).

1.2.3. Proyecto de Electrificación Rural III (1989-1996)

Por medio de una inversión de 20,2 millones de dólares que fueron aportados por la Agencia Internacional para el Desarrollo (AID) con 40 %, el INDE con 30 %, las comunidades que podían pagar al contado o mediante bonos mensuales con 25 % y el 5 % que fue aportado por el Gobierno de la República sellevó a cabo el PER III (Proyecto de Electrificación Rural III) que sería llevado

a cabo en 6 años, este proyecto tenía como área de trabajo el Occidente del país, catalogada como área afectada por el conflicto armado interno.

El objetivo del proyecto es ampliar la cobertura de electrificación en áreas rurales, principalmente en áreas donde se puede maximizar el potencial productivo de la infraestructura y los recursos existentes. Con ello, se han gestionado la construcción de líneas de transmisión, distribución y conectividad domiciliaria en comunidades rurales, el aumento de la capacidad de transmisión y tres subestaciones en el Altiplano Occidental y el establecimiento de un programa piloto de crédito y asistencia técnica para el uso productivo de la energía eléctrica.

Gracias a este proyecto se pudo construir 80 km de línea de transmisión de 69 000 voltios, la construcción de 300 km de líneas de distribución primaria y 1 200 km de redes, beneficiando de esta manera a 375 poblaciones en 7 departamentos del área noroccidental, pudiendo darles servicio a 75 150 nuevos usuarios.

Con el fin de brindar seguridad y confiabilidad al servicio eléctrico, este plan podría incluir la participación de diversos sectores privados y gubernamentales, a partir de los cuales se ha elaborado un nuevo marco legal para el subsector:

- En 1994, la nueva ley del INDE tenía como objetivo limitar las decisiones de monopolio del estado y promover la participación privada en el negocio del subsector de energía eléctrica.
- En noviembre de 1996 se aprobó la Ley General de Electricidad, mediante la cual se establecieron las entidades del sector: la Comisión Nacional de Electricidad y Energía (CNEE) y la Agencia de Gestión del Mercado

Mayorista (AMM); CNEE con autoridad reguladora y AMM con autoridad operativa (incluyendo Poder técnico y comercial).

El gobierno pudo asignar fondos del presupuesto estatal que anteriormente se dedicaban al subsector de energía para la construcción de infraestructura, carreteras, salud y educación, y para fortalecer los planes de electrificación rural. Una vez que la electrificación se conceptualiza como un vehículo de desarrollo, se deben incluir otros elementos complementarios, que facilitarán la consecución del desarrollo.

1.3. Programas de Electrificación Rural Fideicomiso de Administración INDE: Obras Rurales de Occidente y Oriente

Debido a la reorganización del sector eléctrico, el gobierno de Guatemala y el Instituto Nacional de Electrificación (INDE) decidieron desinvertir el sistema de distribución del INDE, lo que generó una serie de problemas a los técnicos y dificultó brindar servicios de calidad a la ciudadanía.

Se estima que la pérdida total del sistema de distribución del INDE no es menor al 27 %. La pérdida técnica de media tensión se estima en 14 % y la pérdida no técnica se estima en 13 %. La mayoría de estas pérdidas pueden superarse mediante la adopción de prácticas modernas de gestión administrativa, mejoras y reformas de la red y cambios en los sistemas de medición, por lo que la desinversión tiene como objetivo promover la participación de la inversión privada y la prestación de servicios donde el Estado no había sido eficiente.

En agosto de 1998, la tasa de electrificación nacional era del 63 %. El INDE brinda servicios de distribución de energía a 19 de los 22 departamentos del país, principalmente en áreas rurales, con una tasa de cobertura del 52 %, un alto grado

de dispersión de clientes y un bajo consumo promedio mensual de energía, con un promedio de 93 kWh. Con el fin de aumentar rápidamente la tasa de electrificación, se desarrolló un plan radical de electrificación rural mediante la escisión de la empresa distribuidora, que se gestionará a través de un fideicomiso de gestión.

La compañía española Unión Fenosa adquirió el 80 % de las acciones de DEOCSA y DEORSA, que son responsables de la implementación del PER. Mediante la venta de productos de estas distribuidoras por US \$ 333 millones, se estableció un fideicomiso que serviría para electrificar lo que faltaba del país, según el contrato, el INDE era responsable del plan a través de la Gerencia de Electrificación Rural y Unión Fenosa (UF). la ejecución del PER (Proyecto de Electrificación Rural).

El proyecto de transmisión incluyó inicialmente la implementación de 1 300 kilómetros aproximadamente de líneas de transmisión de 69 kV y 230 kV, además de la implementación de 28 subestaciones con un costo de \$151 millones.

El proyecto de distribución incluye conectar a 280 629 nuevos usuarios en las 2 600 comunidades alrededor de toda la República, con esto se elevó el índice de electrificación en el área rural un 85 % a un costo de \$ 182 millones.

El PER fue creado para atender la demanda eléctrica de las regiones con menor índice de electrificación y seguir el antiguo plan de electrificación rural impulsado por el INDE antes de vender sus activos de distribución. Los recursos fiduciarios son administrados por el Comité Técnico del Fideicomiso, que está integrado por tres miembros: un representante del MEM, un representante del INDE y uno de los distribuidores de DEORSA-DEOCSA.

Cabe señalar que el proyecto de electrificación rural no solo contempla la construcción de redes de distribución y la prestación de servicios directos a ciudades y pueblos, sino que también promueve el crecimiento de la generación eléctrica para atender la creciente demanda de energía, y amplía y fortalece la infraestructura para transmisión, subtransmisión y distribución de energía, es decir, fortalecer y transformar la infraestructura para lograr una mejor calidad de vida de los usuarios.

Tabla I. **Infraestructura de transmisión eléctrica del INDE plan original**

Oriente		Millones Us\$
14 subestaciones	110 MVA	19,16
Líneas de transmisión	789 km	56,82
Occidente		Millones Us\$
14 subestaciones	125 MVA	22,50
Líneas de transmisión	494 km	52,49
Total		150,97

Fuente: INDE. *Proyecto de Electrificación Rural INDE contenido en el Programa de Electrificación Rural*, año 2011. p. 14.

Tabla II. **Electrificación rural inversiones en distribución plan original**

Programa Regional	Clientes	Habitantes	Comunidades	Millones Us\$
Distribución Oriente	123 315	690 564	1,161	75,55
Distribución Occidente	157 314	880 958,40	1,472	107,04
Total	280 629	1 571 522,40	2,633	182,59

Fuente: INDE. *Proyecto de Electrificación Rural INDE contenido en el Programa de Electrificación Rural*, año 2011. p. 14.

1.4. Generación de energía

La electricidad se considera como un elemento básico del desarrollo de un país y tiene un impacto importante en el comportamiento del consumo de los hogares y las industrias de una región todos los días.

Se desprende de la reciente crisis que el sector eléctrico en todo el mundo se enfrenta a cambios enormes e importantes. Esto no solo se limita a la competencia en la generación de energía en este sector, sino que también es cada vez más atribuible a que los consumidores están preocupados por la calidad de servicio y la reducción de los precios.

En Centroamérica, con el fin de brindar servicios energéticos a más hogares y regiones, se contempla un proyecto de interconexión denominado Sistema Nacional de Interconexión Eléctrica de los Estados Centroamericanos, o SIEPAC, que constituye el primer sistema regional de transmisión de energía eléctrica. entre los países centroamericanos.

Según la Comisión regional de Interconexión Eléctrica, el Proyecto SIEPAC tiene dos objetivos principales:

- Apoyar la formación y consolidación progresiva de los mercados eléctricos regionales del MER a través de la creación y establecimiento de mecanismos legales, institucionales y técnicos apropiados, que faciliten la participación del sector privado en el desarrollo de una mayor generación.
- Construir infraestructura de interconexión eléctrica (líneas de transmisión, equipos de compensación y subestaciones) para permitir el intercambio de energía eléctrica entre los participantes del MER.

De acuerdo con la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), el sistema de suministro eléctrico comprende esencialmente una serie de medios y elementos útiles para la producción, transmisión y distribución de energía.

Las plantas de energía hidroeléctrica, las turbinas de vapor, las turbinas de gas, los motores de combustión interna y las plantas de energía geotérmica pueden generar electricidad. La generación de energía eléctrica tiene lugar en un entorno competitivo constituido por un mercado de oportunidad, donde los agentes y grandes usuarios tienen libertad para acordar términos, cantidades y precios de las condiciones de contratación.

En cuanto al sistema de transmisión, consta de un sistema principal y un sistema secundario.

- El sistema principal es un generador y un sistema interconectado con otros países / regiones, operando básicamente a tres niveles de voltaje: 230, 138 y 69 kV.
- El sistema secundario es un medio para interconectar el generador con la red principal.

El sistema de distribución de energía consta de la infraestructura de distribución de energía: líneas, subestaciones y redes de distribución de energía con tensiones inferiores a 34,5 kilovatios.

Por medio de la coordinación de la Asociación de Mercados Mayoristas (AMM) se tienen las principales empresas distribuidoras:

- Empresa Eléctrica de Guatemala,
- Distribuidora de Electricidad de Occidente, Distribuidora de Electricidad de Oriente, y
- Empresas Eléctricas Municipales.

El modelo de mercado competitivo de Guatemala a nivel de producción y comercialización de electricidad es el modelo en el que se basa el marco regulatorio.

Generalmente, el precio lo determina la agencia reguladora con base en el costo económico efectivo, y las principales regulaciones son las siguientes:

- Constitución Política de la República.
 - Ley General de Electricidad, Decreto No. 93-96
 - Reglamento de La Ley General de Electricidad, Acuerdo Gubernativo No. 256-97 y sus reformas.
 - Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista, Acuerdo Gubernativo No. 299-98 y sus reformas.
 - Normas de Coordinación Comercial y Operativa del Administrador del Mercado Mayorista.

1.4.1. Panorama actual

La energía renovable y la energía nuclear son las fuentes de energía de más rápido crecimiento en el mundo, con una tasa de crecimiento anual del 2,5 %. Sin embargo, hasta el año 2040 los combustibles fósiles seguirán proporcionando casi el 80 % del consumo energético mundial. El gas natural es el tipo de

combustible fósil de más rápido crecimiento debido al aumento del gas compacto, el gas de esquisto y el metano en el carbón en todo el mundo.

Además, el sector industrial seguirá representando la gran mayoría del suministro de energía y se espera que consuma más de la mitad del suministro mundial de energía para 2040. Según las políticas y regulaciones actuales sobre el uso de combustibles fósiles, se prevé que las emisiones mundiales de CO₂ relacionadas con la energía aumenten a mil millones de toneladas para 2040, un aumento del 46 % con respecto a los niveles de 2010.

En los países en desarrollo, el crecimiento económico debido a la continua dependencia de los combustibles fósiles es la principal razón del aumento de las emisiones.

Figura 1. **Consumo de energía mundial por tipo**

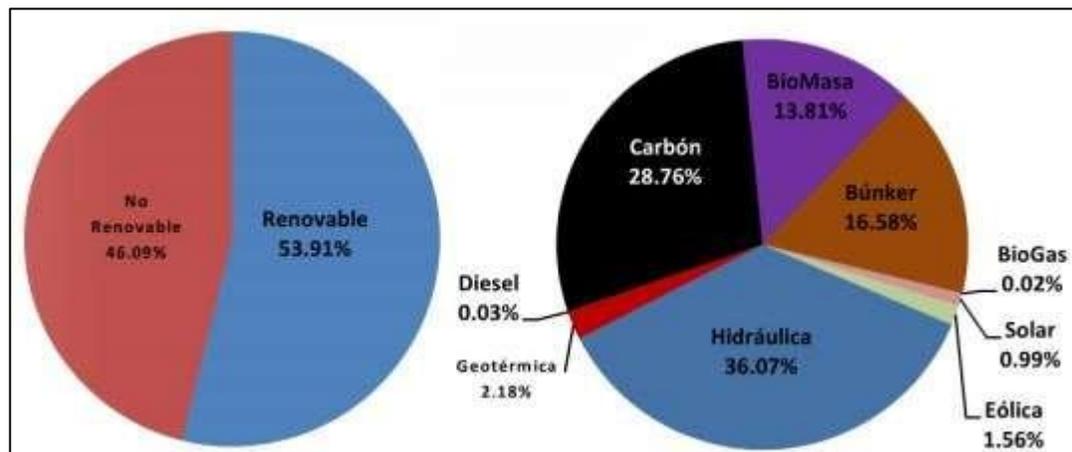


Fuente: ABG. *Sector eléctrico*. <https://docplayer.es/95249874-Sector-electrico-sector-8-diciembre-introduccion.html>. Consulta: 13 de octubre de 2021.

El crecimiento económico mundial sigue siendo liderado por China, India y el mayor consumo de energía. Se estima que el consumo de energía se duplicará en el año 2000 en comparación con el año 1990. En 1990, el consumo mundial de energía aumentó un 10% gracias al mayor consumo de energía de EE. UU. y China. Su uso de energía creció del 24% del total mundial al 90%. En 2010, esto creció al 99%.

Del año 2010 hasta el año 2040 en las condiciones mostradas, el uso integral de energía de estos países será más del doble, por lo que en conjunto representan el 34 % del consumo energético mundial total estimado para el año 2040. Sin embargo, con China proporcionando espacio, India, Medio Oriente, el Sudeste Asiático y partes de África y América Latina serán responsables del crecimiento de la demanda mundial de energía.

Figura 2. **Generación de energía eléctrica**



Fuente: ABG. *Sector eléctrico*. <https://docplayer.es/95249874-Sector-electrico-sector-8-diciembre-introduccion.html>. Consulta: 13 de octubre de 2021.

1.4.2. Demanda de energía eléctrica

En el mercado mayorista, la mayoría de las transacciones se realizan en el mercado a plazo, que es el área donde compradores y vendedores llegan a un acuerdo sobre la potencia, precio y duración de la electricidad o energía prometida a través de un contrato. Según el acuerdo alcanzado por ambas partes de la transacción, el responsable de la operación y liquidación de las transacciones del mercado a plazo es AMM.

La razón anterior se debe a que una de las obligaciones bajo la regulación es que los consumidores participantes deben tener un contrato de suministro válido y firme para los requisitos claros que les asigna AMM.

La demanda fija es la potencia calculada y asignada por AMM, debiendo suscribirse un contrato para cubrir la demanda eléctrica en el momento de la demanda máxima del SNI en el año estacional. El suministro efectivo de la empresa es el valor de energía calculado por AMM y asignado a los productores participantes, quienes pueden prometer apoyar las necesidades de la empresa.

Se entiende por potencia la capacidad de consumir o generar energía eléctrica. Esta capacidad de consumir o generar energía eléctrica requiere de un sistema de transmisión o distribución conectado a consumidores o productores para poder transmitir la energía que se consume o genera.

La obligación de los consumidores participantes de firmar una oferta de empresa válida para satisfacer las necesidades de su empresa constituye uno de los pilares del mercado mayorista, pues se incentiva el mercado a plazo, y se puede garantizar que cuando el SNI alcance su máximo requerimiento de

potencia, este sea garantizada por el contrato y brinden el respaldo de potencia que se les requiera físicamente.

A continuación, se presenta el detalle de la demanda firme del SIN para el periodo comprendido de 2009 a 2015:

Tabla III. **Demanda Firme del SIN de 2009-2010 a 2014-2015**

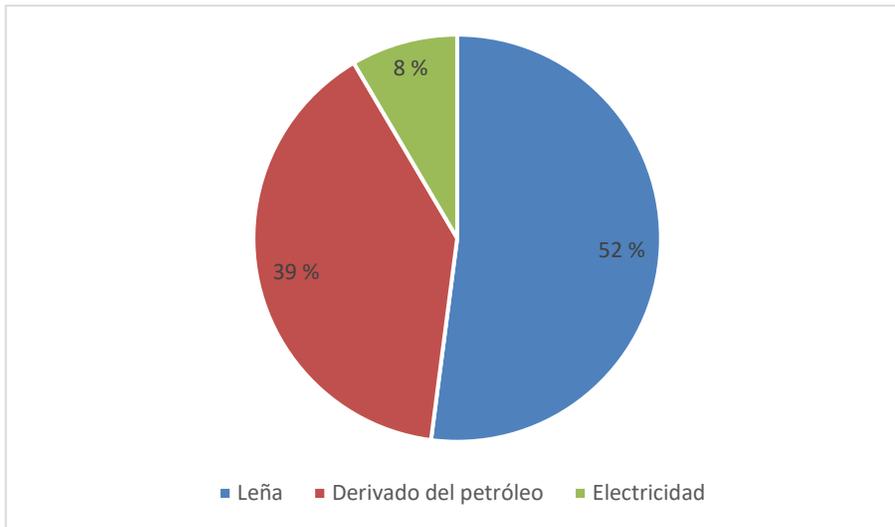
Demanda firme	MW
2009-2010	1 505,16
2010-2011	1 588,77
2011-2012	1 578,47
2012-2013	1 607,30
2013-2014	1 650,41
2014-2015	1 691,97

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

1.4.3. Balance energético nacional

En la figura 8 se puede observar la evolución del consumo energético nacional. En la figura 9 se puede observar la evolución del consumo energético nacional a partir de 2009. La electricidad se utiliza para cocinar y tiene un precio significativamente bajo en comparación con otras fuentes de energía. Esto se debe a que la gente de las zonas rurales utiliza la leña como fuente de energía primaria. Los derivados del petróleo se utilizan para calefacción y generación de electricidad: representan el 39,49% de toda la energía utilizada en el país. La siguiente fuente de energía más común es la leña con un 52,09 %.

Figura 3. **Consumo energético 2014 consumo nacional 78 710 KBEP**



Fuente: elaboración propia, con información de la Estadísticas Energéticas de Guatemala, empleando Microsoft Excel 365.

La electricidad es una de las fuentes de energía más importantes porque representa la calidad de vida de los usuarios y está íntimamente relacionada con las actividades económicas de los países. En 2014, el consumo nacional de energía alcanzó el 9 %.

Los derivados del petróleo han aumentado su consumo aun siendo dependientes de los precios internacionales, en el año 2014 alcanzó el 34 % del consumo del país.

La leña con un consumo energético del 52 % en el año 2014 es el energético de mayor demanda en Guatemala. La población que no cuenta con energía eléctrica, mayormente en zonas rurales, son los mayores consumidores.

1.4.4. Matriz energética

La siguiente tabla muestra la generación de electricidad del Sistema Nacional de Interconexión (SIN) por tipo de combustible entre 2011 y 2015.

Tabla IV. **Matriz de generación eléctrica 2011-2015 en GWh**

Año	2011	2012	2013	2014	2015
Hidroeléctricas	4 094,17	4 434,83	4 630,73	4 825,15	3 851,79
Carbón	1 084,79	1 237,92	1 633,91	1 854,73	2 361,78
Biomasa	824,13	995,52	1 294,59	1 467,29	1 602,36
Bunker	1 876,56	1 788,32	1 497,96	1 380,22	1 971,57
Geotermia	237,08	245,63	212,35	246,60	251,53
Solar				7,10	149,26
Eólica					107,29
Biogás					5,15
Diésel	29,82	1,26	0,94	1,18	1,13
Total	8 146,55	8 703,48	9 270,48	9 782,27	10 301,87

Fuente: elaboración propia, con información del AMM, empleando Microsoft Excel 365

En la siguiente tabla se muestra la generación eléctrica por tipo de recurso.

Tabla V. **Matriz de generación eléctrica por tipo de recurso en porcentaje**

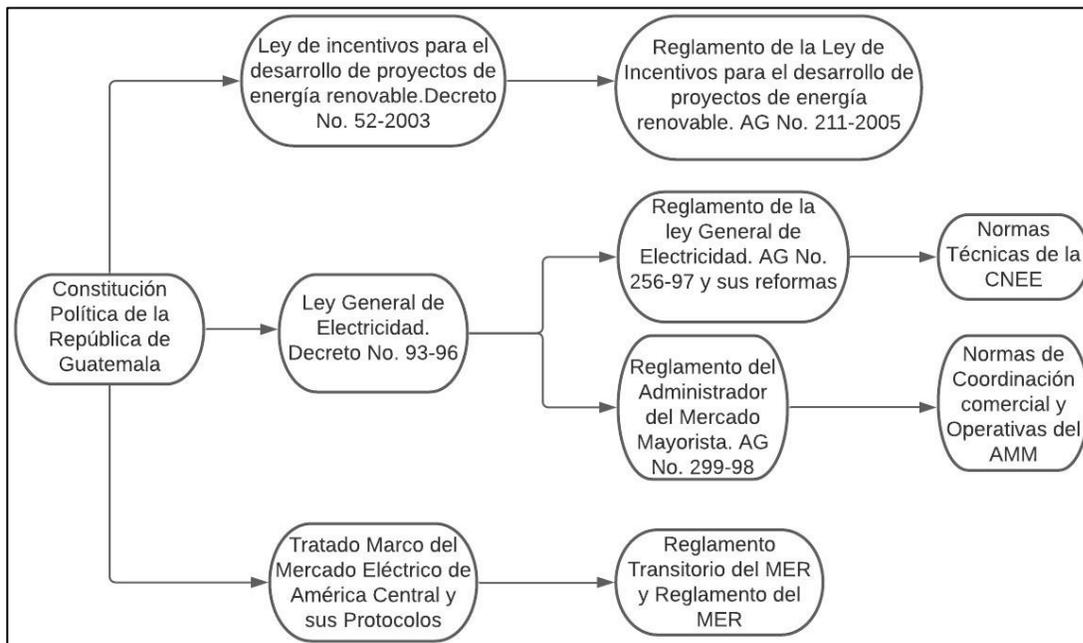
Año	2011	2012	2013	2014	2015
Renovable	63,28	65,22	66,21	66,92	57,93
No renovable	36,72	34,78	33,79	33,08	42,07

Fuente: elaboración propia, con información del AMM, empleando Microsoft Excel 365.

1.4.5. Regulación del sector eléctrico

A continuación, se presenta la siguiente figura explicativa.

Figura 4. Estructura legal del subsector eléctrico



Fuente: elaboración propia, con información del MEM, empleando Microsoft Excel 365.

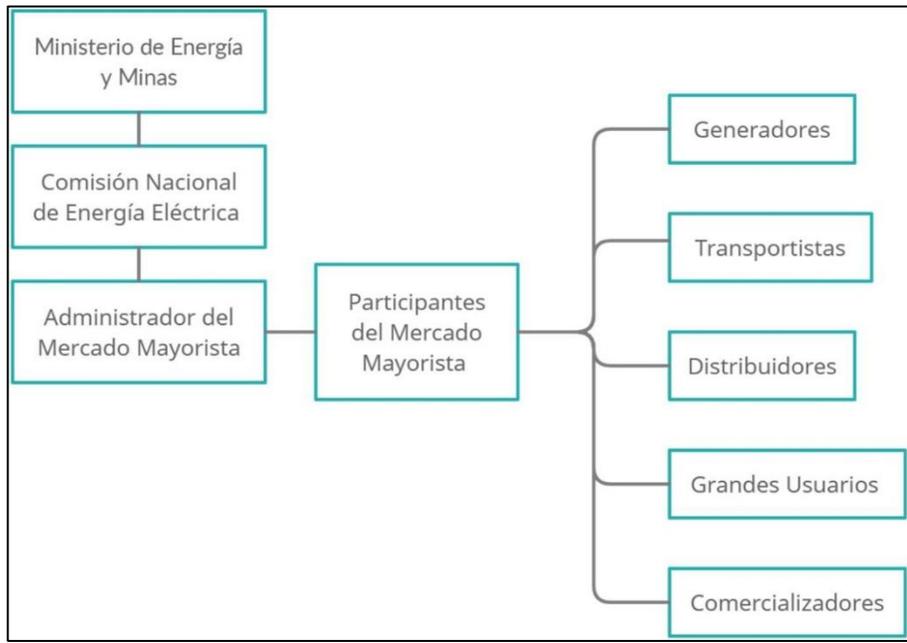
La Ley General de Electricidad, la cual rige todos los ámbitos entorno a electricidad en Guatemala establece los principios siguientes:

- La electricidad puede generarse libremente; no se necesita ningún permiso especial. Sin embargo, el gobierno requiere un permiso específico del Ministerio si se utiliza una planta de energía de más de 5 megavatios para la generación de electricidad. Este permiso se requiere para todo uso de recursos estatales relacionados con la generación de electricidad.

- Servicios como el transporte de electricidad no cuestan nada a menos que requieran el uso de propiedad pública.
- La electricidad debe ser transportada y distribuida antes de que pueda entregarse al público. Este proceso requiere autorización previa de la autoridad correspondiente.
- Los precios de la electricidad son totalmente gratuitos, con excepción de los gastos de transporte y distribución que requieren de un permiso específico previo. Las transferencias comerciales que involucran a distribuidores, exportadores, importadores y generadores de energía están sujetas a regulación gubernamental.

Las instituciones que conforman el subsector eléctrico en Guatemala, así como su estructura, se muestran en el siguiente esquema:

Figura 5. **Esquema de las instituciones del subsector eléctrico**



Fuente: elaboración propia, con información del MEM, empleando Microsoft Excel 365.

Ministerio de Energía y Minas (MEM): Este estado es el organismo nacional encargado de implementar la Ley General de Electricidad y su reglamento para cumplir con sus obligaciones. Asimismo, tiene a su cargo la formulación y coordinación de políticas, planes nacionales y planes indicativos relacionados con el subsector energético. El ministerio también aprueba la instalación de centrales eléctricas y brinda servicios de distribución y transporte final de electricidad. Otra función es preparar informes de evaluación socioeconómica para pagar parcial o totalmente los proyectos de electrificación rural. Entre sus funciones se encuentran: dar de alta y actualizar a los grandes usuarios y agentes del mercado mayorista, promover el desarrollo de proyectos de energía renovable y calificar proyectos de energía renovable bajo la ley de incentivos.

- El Congreso de Guatemala creó la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) a través de una Ley General de Electricidad que fue publicada en el Diario Oficial el 21 de noviembre de 1996. La CNEE es un organismo técnico del Ministerio de Energía y Minerales que realiza todas las funciones enumeradas anteriormente. Tiene independencia funcional de otros poderes políticos para hacer cumplir las leyes y reglamentos, sancionar a los infractores y velar por su cumplimiento. Esta comisión administra todas las subastas relacionadas con las obligaciones del adjudicatario. Los concesionarios están a cargo de garantizar los derechos de los usuarios y mantener la libertad de empresa y detener cualquier acto de discriminación o abuso. También implementan los métodos de cálculo y distribución de energía eléctrica previstos en la Ley General de Electricidad.

Asimismo, se encarga de resolver las disputas entre los agentes del subsector eléctrico y actuar como árbitro entre las dos partes cuando las dos partes no han llegado a un acuerdo. Otras funciones incluyen: emitir normas técnicas relacionadas con el subsector de energía y supervisar su conformidad con prácticas internacionales reconocidas, así como emitir normas y reglamentos para asegurar el libre acceso y uso de las líneas de transmisión y redes de distribución.

Administrador del Mercado Mayorista (AMM): es una entidad privada sin fines de lucro, responsable de coordinar las transacciones entre los participantes del mercado mayorista. Su función principal es coordinar las centrales eléctricas, la interconexión internacional y la transmisión a un costo mínimo. De manera similar, AMM establecerá precios de mercado a corto plazo para transferencias de potencia y energía entre agentes, pero solo si estos precios no coinciden con el contrato a largo plazo negociado libremente. Otra función de la agencia es

velar por la seguridad y el suministro de energía eléctrica en el país, y formular regulaciones generales para el funcionamiento de los agentes del mercado mayorista.

1.5. Políticas energéticas

El 26 de febrero del año 2013 en un proyecto de ley del Palacio Nacional de la Cultura, se dio a conocer la Política Energética para el período 2013-2027. Uno de los objetivos de la política es fortalecer las condiciones nacionales para hacerlas más competitivas, eficientes y sostenible en el uso de los recursos, el cual estaría orientado a proteger la reserva estratégica nacional, atender la demanda y el desarrollo tecnológico.

Como organismo gestor del sector energético, el Ministerio de Energía y Minas (MEM) es consciente de la importancia de la energía como motor del desarrollo nacional. En el año 2013 el MEM actualizó su política pública en esta materia, dando prioridad al uso de energía limpia y respetuosa con el medio ambiente para consumo nacional; además promueve espacios de diálogo interinstitucional lo cual permite gestionar democráticamente iniciativas de desarrollo social y económico, las cuales están diseñadas para asegurar una perspectiva integral de implementación, seguimiento y evaluación.

La Política Energética 2013-2027 fomenta el respeto ambiental y la equidad social al tiempo que construye una industria energética sostenible en el país. Este es el resultado de procedimientos de revisión técnica, metodológica y política, y es fundamental para el fortalecimiento institucional y degobernanza del MEM. Es fundamental, así como un grupo de instituciones públicas afines al sector.

Para cumplir con los objetivos generales de la política, se han analizado y determinado medidas de intervención que orientarán las acciones del MEM y de las instituciones públicas relacionadas con el sector. Se mencionan a continuación:

- Seguridad del abastecimiento de electricidad a precios competitivos.
- Seguridad del abastecimiento de combustibles a precios competitivos.
- Exploración y explotación de las reservas petroleras con miras al autoabastecimiento nacional.
- Ahorro y uso eficiente de la energía.
- Reducción del uso de leña en el país.

1.6. Políticas de desarrollo de energías renovables

Se elaboró el Plan Indicativo de Expansión del Sistema de Generación Eléctrica 2016-2030, cuyo principal foco es contribuir a la consecución de la meta operativa del primer eje de la política energética de 2013 a 2027, que es asegurar el suministro de energía a un precio competitivo ya que para el año 2030 por lo menos el 80 % de la generación de energía eléctrica pueda ser por medio de tecnologías que se fundamenten en recursos renovables.

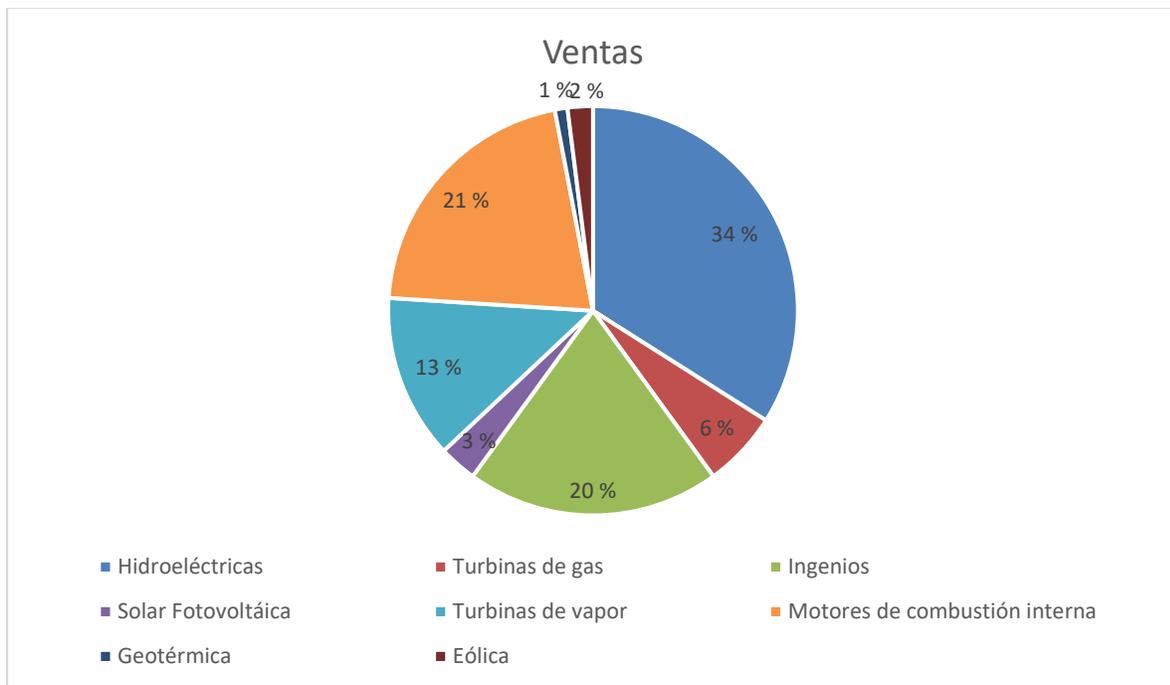
Además, el Plan de Generación tiene en cuenta los objetivos operativos del Cuarto Eje de la Política Energética 2013-2027, que es Conservación y uso efectivo de la energía. Las acciones específicas tomadas en este eje han llevado a una reducción de la demanda.

Cabe mencionar que también se han establecido diversos escenarios para promover la implementación de acciones de desarrollo de generación de energía a través de diferentes tecnologías, y con base en los resultados producidos se

obtienen resultados de plantas de generación que pueden ser objetos despachados.

Dada la siguiente gráfica se puede observar el porcentaje que tiene cada tecnología dentro del Sistema Eléctrico Nacional.

Figura 6. **Porcentaje de generación según tecnología utilizada**



Fuente: elaboración propia, con información del MEM, empleando Microsoft Excel 365.

Energía Hidráulica: la ubicación geográfica y topografía de todo el territorio guatemalteco tiene potencial hídrico, está compuesto por un sistema montañoso, del cual se derivan dos grandes regiones hidrológicas: los ríos que desembocan en el Pacífico y los ríos que desembocan en el Atlántico. Guatemala es un país con una gran cantidad de recursos renovables, el potencial disponible de energía hidroeléctrica es de 6 000 MW y actualmente se utiliza el 16,39 %.

- Energía solar: El potencial de energía solar de Guatemala se estima en kWh/m²/día.
- Energía eólica: Guatemala es un país con una gran cantidad de recursos renovables y su potencial disponible de energía eólica es de 280 MW.

Tabla VI. **Proyectos eólicos en Guatemala**

No.	Entidad	Proyecto	Municipio	Departamento	MW
1	Empresa Generadora de Energía Limpia S.A.	Solaris I FV 2.5 MW	Jutiapa	Jutiapa	2,5
2	Fontana de Trevi	Instalación fotovoltaica	Usumatlán	Zacapa	0,137
3	Sibo, S.A.	Central Solar fotovoltaica 5 Mwac	Estanzuela	Zacapa	5
4	Ecogreen, S.A.	Cofino Stahl zona 5	Guatemala	Guatemala	0,295
5	Anacapri, S.A.	Proyecto Planta Fovoltaica de 50 MW	Chiquimulilla	Santa Rosa	50
6	Natural Wood's Designs, S.A.	Instalación Fovoltaica	Sanarate	El Progreso	0,153
7	Medax Energy, S.A.	Medax Sola FV 2.0 MW	Taxisco	Santa Rosa	2
8	Anacapri, S.A.	Horus II	Chiquimulilla	Santa Rosa	30

Fuente: elaboración propia, con información del MEM, empleando Microsoft Excel 365.

Energía geotérmica: Según el acuerdo de gobierno 842-92, Zunil, Amatitlán, San Marcos, Moyuta y Tecuamburro son declaradas reservas geotérmicas nacionales para asegurar que el país utilice el INDE de manera racional para aprovechar los recursos geotérmicos para fines de generación de energía, es por eso que el INDE realiza estudios geotérmicos a nivel regional, y el estado actualmente está implementando operaciones geotérmicas a través del Ministerio de Energía y Minerales.

1.7. Impacto ambiental de las distintas fuentes de generación de energía

Antes de ser finalmente utilizada, la energía eléctrica pasará por múltiples etapas, y las actividades que se lleven a cabo en cada etapa tendrán un impacto potencial en el medio ambiente. Es necesario distinguir entre los que impactan a escala global y los que dejan huella en su entorno, y regulan la vida de los ciudadanos de una forma más directa.

A continuación, se responderá a diversos fenómenos globales generados por toda la sociedad a través de un abanico muy diverso de actividades, entre las que se encuentran la generación y distribución de energía eléctrica.

- El Convenio sobre la Diversidad Biológica define la biodiversidad como la variabilidad de los organismos vivos de diferentes fuentes, como los ecosistemas terrestres y marinos y cualquier otro ecosistema acuático. También incluye la diversidad dentro de cada especie, entre especies y su patrimonio histórico-artístico. Actualmente, proteger la biodiversidad se ha vuelto más difícil debido al desarrollo económico actual.

La ocupación del territorio a través de la infraestructura a menudo supone que los hábitos de la especie han cambiado y ponen en peligro el desarrollo normal de la especie.

Los principales impactos potenciales de las actividades de generación y distribución de energía sobre la biodiversidad son los siguientes:

- Cambio o pérdida de hábitat natural: debido a cambios en el uso del suelo, implantación de diversos dispositivos energéticos o cambios en el ecosistema.
- Perturbación de animales y plantas: Las actividades realizadas pueden afectar el hábitat y las especies que lo habitan de diferentes formas.
- Fragmentación del hábitat: los embalses y presas a gran escala provocan la pérdida de hábitat al reducir el tamaño o cambiar la forma de su entorno. Los sistemas de energía y viento a gran escala causan una mayor pérdida de hábitat.
 - Cambio climático: existir en la tierra requiere un rango de temperatura específico; se mantiene por el efecto invernadero natural.

Según la opinión mayoritaria de la comunidad científica, el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) confirmó que el aumento de las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (GEI) provoca que la concentración de estos gases en la atmósfera sea superior a la concentración natural, lo que lleva a la concentración de estos gases en la atmósfera. La temperatura cambia gradualmente, seguida de cambios en muchos ecosistemas.

- Degradación de la capa de ozono: en la década de 1970 se descubrió que ciertos productos químicos, clorofluorocarbonos o CFC, se han utilizado como refrigerantes y propulsores en aerosoles, lo que ha provocado la destrucción de la capa de ozono alrededor de la tierra.

Estas sustancias se caracterizan por un largo tiempo de permanencia en la atmósfera, llegando a las capas superiores de la atmósfera, donde son descompuestas por la luz solar. El ozono se descompone en radicales de cloro a través de una reacción fotoquímica. Esto provoca la destrucción de la capa de ozono hasta que las moléculas se reforman.

- Lluvia ácida: la lluvia ácida es un fenómeno ambiental causado por la emisión de óxidos de nitrógeno y azufre a la atmósfera. El uso de ciertos tipos de carbón como combustible en centrales térmicas puede provocar la formación de ácido sulfúrico y ácido nítrico (H_2SO_4 y HNO_3 , respectivamente) en la atmósfera. La lluvia ácida suele formarse en nubes altas. El SO_2 y el NO_x reaccionan con el agua y el oxígeno para formar una solución diluida de ácido sulfúrico y ácido nítrico. La radiación solar aumenta la velocidad de esta reacción.

1.7.1. Políticas y estrategias ambientales

Para minimizar el impacto ambiental causado por la generación y distribución de energía eléctrica, se deben tomar ciertas precauciones.

Antes de realizar una Evaluación de Impacto Ambiental, los gobiernos deben evaluar los efectos de la infraestructura de producción, distribución y transformación en el medio ambiente. El enfoque de EIA es preventivo, busca minimizar el impacto de la infraestructura en el medio natural a través de las medidas preventivas reflejadas en las perspectivas declaradas en las declaraciones de Impacto Ambiental.

Otra medida preventiva es la sistematización de la gestión ambiental. El sistema gestiona y controla los riesgos ambientales de manera integrada al organizar las diferentes etapas de la producción de energía eléctrica.

Casi todos los proyectos que involucran la creación, procesamiento y distribución de electricidad deben pasar una revisión ambiental para cumplir con los mandatos legales.

Al realizar una Evaluación de Impacto Ambiental, se predice el impacto ambiental de un proyecto o actividad y luego se cambia, modifica o rechaza con base en los requisitos legales vigentes.

La investigación debe incluir una evaluación de impacto ambiental para que se puedan comparar diferentes alternativas al mismo proyecto. Los contenidos básicos de la investigación de impacto ambiental son los siguientes:

- Descripción del proyecto y sus acciones.
- Examen de alternativas técnicamente viables y justificación de la opción elegida.
- Inventario Ambiental y descripción de las interacciones ecológicas o ambientales y socioeconómicas claves.
- Identificación y valoración de impactos, de la solución propuesta y de sus alternativas.
- Establecimiento de medidas protectoras y correctoras.
- Programa de vigilancia ambiental.
- Documento de síntesis.

Después de evaluar la investigación de impacto ambiental y comprender las alegaciones, objeciones y comunicación en el proceso de participación pública,

la Declaración de Impacto Ambiental emitida por el Organismo Ambiental es el punto culminante del proceso de evaluación ambiental. La declaración decidirá si se procede con el proyecto solo con fines ambientales y, de ser así, determinará las condiciones que se deben implementar.

1.7.2. Planes de mitigación

El sistema de gestión de una organización incluye un Sistema de Gestión Ambiental, o EMS. Esto es parte de su sistema de gestión general que gestiona los aspectos ambientales de la organización.

El sistema debe incluir estructura organizacional, planes de actividad, responsabilidades, prácticas, procedimientos, procesos y recursos para desarrollar, implementar, revisar y actualizar el compromiso de la organización con la protección ambiental a través de la Política Ambiental.

2. FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE DISPONIBLE

2.1. Reseña histórica

Históricamente, en general se cree que los sistemas eléctricos eficientes deben basarse en grandes centrales eléctricas y largas líneas de transmisión. Sin embargo, esto ya no es así porque el ser humano está inmerso en la revolución tecnológica de la industria energética, que utiliza la micro generación o generación de energía distribuida (paneles fotovoltaicos, energía eólica, microturbinas, pilas de combustible, entre otros.)

Esta situación no ocurre en países del tercer mundo como Guatemala, incluso después de más de 35 años de conflicto armado, debido a las diferencias entre las comunidades del país, los conflictos continúan ocurriendo en torno al sistema eléctrico del país, servicios prestados por la Empresa Eléctrica y Energuate.

El principio clave para implementar GDR en mercados emergentes puede ser reducir los costos de electricidad de los usuarios. GDR se puede utilizar como una alternativa a los recursos naturales utilizados para producir electricidad en países que dependen de combustibles fósiles de alto precio que se importan. Esto es especialmente común en el Caribe.

En Guatemala, la Comisión Nacional de Electricidad emitió la Resolución CNEE-171-2008 el 16 de septiembre de del año 2008 la cual aprobó la resolución, que aprobó las Normas Técnicas de Conexión, Operación, Control y Comercialización de la Generación Distribuida Renovable (NTGDR) y usuarios

auto productores con excedente de energía para establecer normas generales que los generadores y distribuidores de energía renovable deben cumplir al conectar, operar, controlar y comercializar la energía generada por energías renovables.

Las tecnologías energéticas que proporcionan energía sólida (es decir, energía ininterrumpida y pueden usarse como despacho de carga base) deben compararse con el costo total de generación de energía de las centrales eléctricas convencionales (es decir, incluidos los costos de capital fijo y los costos de energía convencional) como costos variables de operación y mantenimiento. Las tecnologías de energía renovable que proporcionan energía la cual no es firme (como la energía eólica que proporciona energía intermitente) solo se pueden comparar con la parte variable del costo de generación de energía de las centrales eléctricas convencionales (porque cuando se construyen plantas de energía renovable que no es firme, su capacidad de generación de energía es la misma necesita ser respaldada y tener reservas).

2.2. Conceptos generales

La energía renovable se refiere a la energía que se produce de forma continua y que a escala humana son fuentes de energía inagotables como la solar, eólica, hidráulica, de biomasa y geotérmica. La energía renovable es una fuente de suministro energético respetuoso con el medio ambiente. Esto no significa que no tendrán un impacto negativo en el medio ambiente, pero estos impactos son mucho menores en comparación con los impactos ambientales de las fuentes de energía tradicionales, los combustibles fósiles, el petróleo, el gas natural y el carbón. Un estudio sobre el impacto ambiental de la producción de electricidad muestra que el impacto ambiental de la producción de energía tradicional es 31 veces mayor que el de las energías renovables.

La ventaja ambiental más importante que aportan las energías renovables es que no emiten gases contaminantes debido a la quema de combustibles fósiles, siendo esto la causa del calentamiento global y la lluvia ácida, y no produce desechos peligrosos de difícil manejo.

Los tipos de energía se pueden clasificar de la siguiente forma:

- No renovable: esta energía se encuentra en la naturaleza y la cantidad es limitada. Una vez consumida, no puede ser reemplazada por completo porque no existe un sistema de producción o extracción viable
- Energía nuclear: el uranio y el uranio son energía nuclear, de igual manera todos elementos que se pueden aplicar a los reactores. La energía nuclear se utiliza para generar electricidad en los centros nucleares El método de generación de energía es muy similar al de las centrales termoeléctricas, pero se tiene que el calor no se genera por combustión, sino por fusión de materiales fisibles.
- Fósiles: la energía fósil proviene de los restos de organismos enterrados hace millones de años, estos restos fueron transformados bajo las condiciones adecuadas de presión y temperatura.

Los combustibles fósiles pueden usarse directamente, estos se queman para obtener calor y se mueven en hornos, estufas, calderas y motores eléctricos para su uso en centrales térmicas o centrales termoeléctricas, donde el vapor de agua es obtenido al quemar el calor generado por estos combustibles es capaz de hacer funcionar un generador, generalmente una turbina.

El carbón, el gas natural y el petróleo son combustibles fósiles. Una de sus ventajas es que son muy fáciles de extraer. Aunque tiene algunas deficiencias, como que su uso producirá emisiones de gases lo que hará que se contamine la atmósfera y sea tóxico para los organismos; las reservas pueden agotarse a corto o mediano plazo.

- Renovables o verdes: la energía contenida en los elementos naturales aporta enormes beneficios a la sociedad, especialmente al medio natural.

La energía renovable puede resolver muchos problemas ambientales, como el cambio climático, los desechos radiactivos, lluvia ácida y la contaminación del aire. La energía renovable puede cubrir un tercio del consumo de electricidad y reducir las emisiones de dióxido de carbono en un 20 %.

2.3. Tecnologías disponibles

Las fuentes de energía renovables son aquellas fuentes de energía que no llegan a extinguirse o que su renovación es natural, dentro de estas fuentes se encuentran las siguientes:

2.3.1. Solar

La energía solar es la fuente de vida y el origen de la mayoría de las otras formas de energía en la tierra. La energía que aporta la radiación solar a la tierra cada año equivale a miles de veces la energía consumida por los seres humanos.

Utilizando colectores solares, la energía solar se puede convertir en energía térmica, y mediante el uso de paneles fotovoltaicos, la energía luminosa se puede

convertir en energía eléctrica. En lo que a tecnología se refiere, estos dos procesos no tienen nada que ver entre sí.

2.3.2. Eólica

La palabra eólica proviene del latín Aeolicus (griego antiguo Αἰολος / Aiolos), que pertenece o se relaciona con el dios del viento, en la mitología griega. Desde la antigüedad, la energía eólica se ha utilizado para impulsar barcos a vela o para impulsar maquinaria de laminación mediante palas móviles.

La energía eólica está relacionada con el movimiento de masas de aire, que se mueven desde un área de alta presión atmosférica a un área adyacente de baja presión y tienen una velocidad proporcional. Por tanto, se puede decir que la energía eólica es una forma indirecta de energía solar. Las diferentes temperaturas y presiones en la atmósfera provocadas por la absorción de la radiación solar son las causas del movimiento del viento.

Los aerogeneradores son generadores que utilizan la energía cinética del viento para generar electricidad, son energías limpias y tienen el menor costo de producción, lo que demuestra el fuerte entusiasmo de esta tecnología.

2.3.3. Hidráulica

Utilizar la energía potencial acumulada en el agua para generar electricidad es un método clásico de obtención de energía. Aproximadamente el 20 % de la electricidad mundial proviene de esta fuente. Por tanto, estrictamente hablando, es una fuente de energía renovable, pero no una fuente de energía alternativa porque se ha utilizado como una de las principales fuentes de electricidad durante muchos años.

Desde el punto de vista ambiental, la energía hidroeléctrica es una de las fuentes de energía más limpias, aunque esto no significa que sea completamente inofensiva, porque las centrales hidroeléctricas que se deben construir pueden tener un impacto significativo. Las centrales hidroeléctricas han cambiado severamente el ecosistema del río, destruido el hábitat, cambiado el flujo del río y las características del agua (como temperatura, oxigenación, entre otros.) han cambiado. Las centrales hidroeléctricas también tienen una influencia paisajística y cultural importante, porque la construcción de centrales hidroeléctricas generalmente requiere la transferencia de aldeas enteras y el enterramiento de tierras de cultivo, bosques y otras áreas silvestres bajo el agua.

2.3.4. Biomasa

El proceso de formación de biomasa a partir de la energía solar se denomina fotosíntesis de las plantas, y la fotosíntesis de las plantas es el factor desencadenante de la cadena biológica. Las plantas obtienen carbohidratos a través de la fotosíntesis; esto es gracias a la presencia de clorofila que absorbe agua y dióxido de carbono de fuentes de energía inexistentes. Estos minerales se convierten en parte de los materiales constitutivos de las plantas que luego se utilizan para proporcionar nutrición a otras formas de vida. A través de estos procesos, la biomasa almacena energía solar en forma de carbono en un corto período de tiempo. La energía almacenada durante la fotosíntesis se puede convertir en calor, electricidad o combustible de origen vegetal, liberando así nuevamente el dióxido de carbono almacenado.

2.4. Comparación de la Generación Distribuida con la Generación Convencional

La energía renovable está diseñada para generar electricidad verde y limpia sin utilizar recursos fósiles, que sin duda se agotarán y tardarán miles de años en formarse.

Por lo tanto, la energía renovable trae beneficios y enormes ventajas para el medio ambiente y la sociedad. La energía renovable se diferencia de los combustibles fósiles o las centrales nucleares debido a su diversidad y riqueza.

La electricidad producida a través de recursos renovables no produce gases de efecto invernadero ni otras emisiones a diferencia de los combustibles. Además del dióxido de carbono requerido para la construcción y operación de fuentes de energía renovable, ciertas fuentes de energía renovable no liberarán dióxido de carbono adicional y no traerán ningún otro riesgo, como riesgos nucleares.

Una corriente eléctrica alimenta las ventajas más significativas de esta fuente de energía.

- Las energías renovables no producen emisiones de CO₂ y otros gases contaminantes a la atmósfera;
- No generan residuos de difícil tratamiento;
- Son inagotables;
- Son autóctonas;
- Evitan la dependencia del exterior;
- Crean cinco veces más oportunidades de trabajo que las energías convencionales;

Contribuyen decisivamente al crecimiento interterritorial, ya que suelen instalarse en zonas rurales;

- Reducen el costo de la energía eléctrica, ya que ésta no dependería de los precios del barril de petróleo;
- En el mediano y largo plazo, estabilizar los precios del petróleo.

2.5. Integración de la Generación Distribuida Renovable a las Redes de Distribución

Con el fin de dotar a los sistemas de generación de energía de un sistema de transmisión de energía, que es un método a través del cual los consumidores y los centros de generación de energía pueden intercambiar energía, interconectando ambos. Esto se hace a través de un sistema de transmisión de energía que transporta energía a diferentes niveles de voltaje entre la planta de energía y la subestación.

La red se caracteriza por diferentes niveles de tensión de funcionamiento. Esta necesaria diversidad tecnológica permite realizar intercambios minimizando la pérdida de energía, con el fin de lograr el uso efectivo de la energía por parte de todos los miembros del sistema eléctrico. El sistema Eléctrico de Potencia (SEP) consta de tres partes principales: generación, transmisión y distribución de energía.

2.5.1. Condiciones técnicas

La Generación Distribuida (GD) se puede dar en sistemas que se encuentren en redes existentes o bien en sistemas aislados a la red.

2.5.1.1. Generación Distribuida en redes eléctricas existentes

Al cambiar el paradigma del sistema eléctrico tradicional, la introducción de GD trae consigo nuevas consideraciones técnicas. Los estándares de seguridad del personal y los equipos, los estándares de calidad de los servicios eléctricos y el impacto en sus sistemas con los que se interconecten deben adaptarse a las nuevas condiciones de la red. La normativa debe ser clara, permitiendo regular el contenido de GD en el sistema eléctrico.

2.5.1.2. Generación Distribuida en sistemas aislados

Durante algún tiempo, la energía renovable a pequeña escala ha estado compitiendo con las redes de transmisión para lograr la electrificación en áreas remotas. Las tecnologías de GD (como la biomasa, la energía eólica y los paneles fotovoltaicos) se utilizan a menudo para la electrificación rural. Para abastecer de energía a algunas zonas rurales, se realiza a través de una red aislada de la red eléctrica. Por lo tanto, en los sistemas de energía a gran escala, existen pequeños sistemas de producción de energía distribuida fuera de la red.

2.5.2. Aspectos económicos

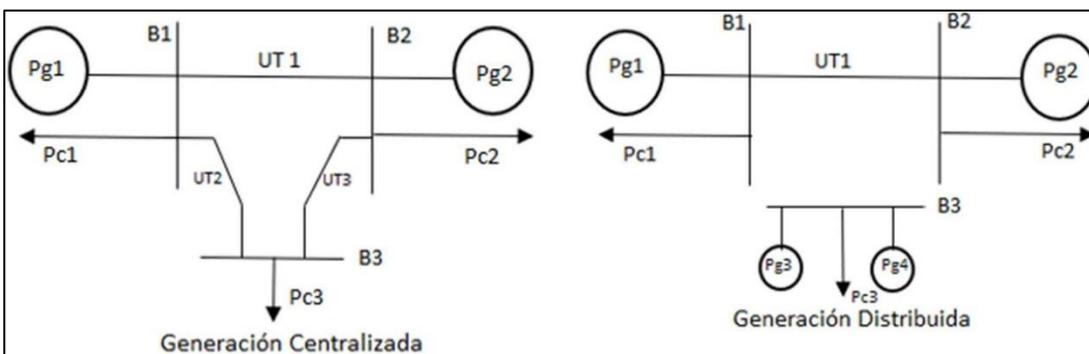
En los siguientes apartados se tratan los aspectos económicos, y los sistemas para generar energía eléctrica.

2.5.2.1. El sistema de generación distribuida versus el sistema tradicional

Los sistemas tradicionales se refieren a grandes centrales conectadas a sistemas eléctricos de alto voltaje, y estas centrales suelen estar lejos de los centros de consumo. La energía generada por las grandes centrales eléctricas debe transmitirse a los usuarios finales (usuarios) a través de redes de transmisión y distribución.

Estas características del sistema tradicional traerán inconvenientes, porque no solo debe generar suficiente electricidad, sino que también debe ser transportada y distribuida. La generación de energía en sí misma trae costos, mientras que la transmisión y distribución representan enormes costos adicionales.

Figura 7. Esquema de generación centralizada versus generación distribuida



Fuente: elaboración propia, empleando Power Board 2017.

El potencial de la Generación Distribuida es que su producción de electricidad se consumirá localmente, por la obviedad de conectarse

directamente en el nivel de distribución, reduciendo así la carga en los equipos de distribución, ahorrando así la inversión en la red de transmisión.

2.5.2.2. Mundo económico y la industria eléctrica

Con el aumento de potencia de sus generadores, las economías de escala se vuelven posibles. Esto conduce a una mayor eficiencia y una mayor demanda de energía eléctrica. Debido a las grandes economías de escala, se favorecen los métodos tradicionales de suministro de electricidad, como la energía centralizada. Esto conduce a un menor desarrollo de generadores a pequeña escala.

2.5.3. La generación distribuida y las fuentes de energía renovables

La Generación Distribuida y las energías renovables juegan un papel importante en la mejora de la seguridad del suministro energético. Esto se debe a que ayuda a reducir la necesidad de combustibles fósiles que se importan de países extranjeros. También reduce las emisiones de gases de efecto invernadero porque no depende de ningún combustible fósil importado.

2.5.3.1. Fuente de energía renovable

El término energía renovable se refiere a fuentes de energía naturales como el sol y el viento. Los sistemas de energía renovable convierten esta energía natural en energía útil (electricidad y calor). Estas fuentes de energías renovables son:

- Hidroeléctricas (pequeñas y grandes).

- Biomasa (sólidos, biocombustibles, gas que se produce de la descomposición de la basura), plantas de tratamiento de gas de alcantarillado y biogás).
- Viento.
- Solar (fotovoltaico, termoeléctrico).
- Geotérmica.
- Olas y energía de la marea.

2.5.3.2. Conexión a la red de la generación distribuida

El sistema eléctrico de Electricidad es dinámico una vez implementadas las conexiones de Generación Distribuida. Esto permite a los usuarios y clientes proporcionar electricidad a la red. Además, la implementación de este sistema aumenta los beneficios, reduce los costos y agrega obstáculos. Hay muchos grandes centros de generación de energía conectados a redes de alto voltaje.

2.5.4. Tecnologías de generación empleadas en la Generación Distribuida

A continuación, se desarrollan los temas correspondientes a las tecnologías de generación empleadas en la Generación Distribuida.

2.5.4.1. Motores de combustión interna a base de combustibles fósiles

Tradicionalmente, los motores de combustión interna se han utilizado como generadores de emergencia. Estos motores requieren fuentes de combustible, aire, compresión y combustión para funcionar.

Es una tecnología muy madura y sus ventajas incluyen:

- Bajo costo de instalación.
- Larga vida útil (alrededor de 25 años).
- Alta eficiencia con poca carga, muy conveniente para operación intermitente (arranque y parada).
- Gran flexibilidad de combustible.
- Ocupación de espacio pequeño en la instalación.
- Crecimiento modular.
- Alta confiabilidad operativa.

Los motores de combustión interna y las turbinas están interconectados a la red mediante generadores síncronos.

2.5.4.2. Turbinas de gas

Una turbina de gas es una máquina térmica que funciona expandiendo el gas. En las últimas décadas, esta tecnología se ha desarrollado rápidamente, lo que se atribuye principalmente a la industria de la aviación. Debido a los avances en eficiencia y confiabilidad, esta tecnología es una excelente alternativa a las aplicaciones de Generación Distribuida (GD).

2.5.4.3. Microturbina hidráulica

La electricidad generada por esta fuente de energía proviene de convertir la energía cinética en agua almacenada en un depósito. Luego, una turbina genera energía mecánica a partir del agua.

2.5.4.4. Pilas de combustible

Esta tecnología puede convertir la energía química en energía eléctrica a partir de una reacción química. En la reacción química, el hidrógeno y el oxígeno producen agua, calor y electricidad. Esta transformación se lleva a cabo mediante un proceso de electrólisis inversa, se aporta oxígeno al cátodo y se aporta hidrógeno al ánodo. El proceso también extrae hidrógeno del gas natural u otros combustibles para producir gas.

La pila de combustible se puede cargar mientras se suministra electricidad y su combustible es hidrógeno y oxígeno suministrados por fuentes externas. Algunas de las desventajas de las baterías son su alto costo y la degradación del electrolito, por esta razón es muy difícil alcanzar una vida útil muy alta.

2.5.4.5. Generadores eólicos

Este tipo de generador utiliza energía eólica, que se define como la energía obtenida del viento, dicho de otra manera, la energía eólica obtenida a partir de la energía cinética generada por el flujo de aire. Cuando el viento golpea las palas del aerogenerador (elementos móviles), su energía cinética se convierte en energía de presión, que transfiere el movimiento rotación al eje, con esto el generador (que suele ser síncrono o asíncrono) convierte esta energía mecánica en energía eléctrica.

Debido al potencial de la energía eólica, algunos parques eólicos son aptos para la conexión a nivel de distribución, pero las inversiones se suelen realizar en grandes parques eólicos para lograr una generación de energía centralizada.

La energía eólica es una tecnología muy limpia, porque no produce ningún tipo de emisiones durante la operación, aunque sí tendrá impactos ambientales como ruido, daño a las aves o impacto visual en el paisaje.

Una de sus desventajas es que, debido a que el viento es aleatorio, la generación de energía fluctúa demasiado, lo que puede provocar que los aerogeneradores introduzcan problemas de parpadeo en la red. Sin embargo, este problema se puede reducir mediante el uso de módulos electrónicos denominados convertidores.

Dado que el potencial generado por energía eólica suele estar lejos de la red, su conexión puede incurrir en costes considerables. Por estar alejado del centro de consumo, suelen agruparse varios aerogeneradores, cuyo tamaño oscila entre varios megavatios.

Los pequeños parques eólicos son otra opción, tienen las mismas características que los grandes, la única diferencia es su escala y precio. Se utiliza principalmente en aplicaciones aisladas a la red.

2.5.4.6. Energía solar fotovoltaica

Este es un sistema de corriente continua (CC) que inicialmente proporcionó energía eléctrica a áreas que eran difíciles de alcanzar por los sistemas eléctricos tradicionales.

Esta tecnología puede convertir la energía fotovoltaica, es decir, utilizar la radiación solar para generar electricidad. Se basa en la absorción de la radiación solar por los materiales semiconductores que componen las células fotovoltaicas,

lo que provoca el desplazamiento de cargas eléctricas y la generación de corriente continua.

La energía eléctrica generada se puede almacenar en una o varias baterías, también se puede utilizar directamente para el consumo o conectarse a la red a través de un inversor.

2.5.4.7. Marina

El uso de la energía cinética de las olas es la llamada energía marina. Según la Comisión Europea, esta tecnología está en desarrollo, y la energía oceánica disponible (marina) a nivel mundial ha superado las necesidades energéticas actuales y futuras. Por ello, propusieron un plan de acción para impulsar el mayor desarrollo de este tipo de generación.

2.5.4.8. Geotérmica

La energía geotérmica utiliza el calor acumulado en las rocas o el agua a altas temperaturas dentro de la tierra. La energía térmica del depósito se extrae haciendo circular agua o vapor a través de tuberías, transfiriendo así el calor almacenado en la zona caliente al suelo. Este tipo de energía solo está disponible en lugares muy específicos de la tierra.

2.5.5. Beneficios e inconvenientes de la generación distribuida

En los siguientes apartados se describen los beneficios y los inconvenientes de la generación distribuida.

2.5.5.1. Beneficios de la generación distribuida

- Al considerar la confiabilidad de una fuente de alimentación, se tiene en cuenta la generación distribuida. Esto se debe a que el generador está relacionado con la zona media del consumo de energía.
- La conexión de la Generación Distribuida al sistema de potencia puede mejorar la curva y estabilidad del voltaje, así como mejorar la calidad de la energía.
- Las bajas emisiones contaminantes y la alta eficiencia son un gran beneficio.

2.5.5.2. Inconvenientes de la generación distribuida

- Ciertos tipos de tecnologías de Generación Distribuida conectadas al sistema eléctrico utilizan dispositivos electrónicos que pueden inyectar armónicos en el sistema.
- Si la coordinación con el sistema no es correcta, la conexión de la GD puede causar sobretensión, fluctuación de voltaje y desequilibrio.
- Si varios grupos electrógenos están conectados a la red, la pérdida de potencia puede aumentar.
- El nivel de cortocircuito variará, por lo que la coordinación de protección puede no ser correcta.

2.5.6. Características de los generadores utilizados en generación distribuida

La tecnología cambia y se desarrolla constantemente, y este movimiento se puede ver con la energía eólica. Cada tecnología tiene su propia forma de utilizar la energía primaria y convertirla en energía eléctrica, para ello utilizan motores tradicionales o circuitos convertidores de electrónica de potencia.

2.5.6.1. Máquinas de rotación en generación distribuida

Existen tres tipos elementales de máquinas de rotación que son: síncronas, de inducción y máquinas de corriente directa.

2.5.6.1.1. Generadores síncronos

Dado que el control de la potencia activa (P) y reactiva (Q) es independiente, este tipo de generador es muy utilizado en GD, normalmente en plantas de cogeneración. Los generadores deben estar sincronizados entre sí; deben coincidir con la frecuencia de su voltaje y deben tener la misma magnitud.

2.5.6.1.2. Generadores de inducción

En sistemas de potencia, los motores de inducción se utilizan ampliamente como motores eléctricos y, en menor medida, como generadores. Debido a que pueden soportar los grandes cambios de torque del motor primario, es una máquina ideal en algunos tipos de energía eólica.

2.5.6.1.3. Conversores estáticos de potencia

La razón por la que los conversores se utilizan ampliamente es que ciertos tipos de GD generan energía eléctrica a un voltaje y frecuencia diferente a la red a conectar, por lo que se utiliza una etapa de convertidor estático para conectar GD a una red convencional.

2.5.6.2. Impacto de la generación distribuida en redes de distribución

La introducción de la generación de energía distribuida ha cambiado las características del sistema de distribución de energía. Los siguientes son algunos problemas técnicos:

- Flujos de carga.
- Variación de los niveles de voltaje.
- Contribución a niveles de cortocircuito.

2.5.6.3. Flujos de carga

GD puede cambiar los flujos de energía. Además, la introducción de GD en una red puede hacer que el equipo se sobrecargue.

2.5.6.3.1. Límite térmico

El límite térmico está relacionado con la capacidad máxima de corriente que puede fluir a través del equipo de la red. Si se excede este límite durante mucho tiempo, el dispositivo puede sobrecalentarse y causar daños permanentes.

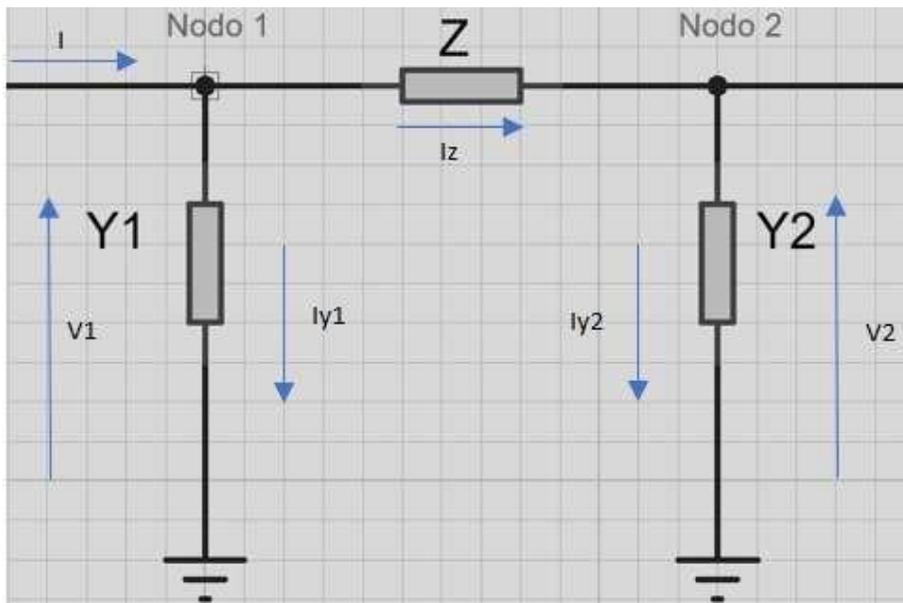
2.5.6.3.2. Flujo de carga inversa

La GD puede cambiar la dirección del flujo, esto sucederá si la energía generada por la GD excede la energía requerida por la red. Los cambios que puedan ocurrir en la dirección del flujo cambiarán la curva de carga de la red.

2.5.7. Variación de los niveles de voltaje y regulación de voltaje

Al estudiar los sistemas eléctricos, es importante tener en cuenta los diferentes componentes, como cables, transformadores o generadores. Estos elementos son parte del sistema eléctrico de un sistema eléctrico y se pueden modelar usando Impedancia. Al analizar la relación entre voltaje e impedancia, la electricidad se puede entender mejor.

Figura 8. Esquema representativo de una línea



Fuente: elaboración propia, empleando Power Board 2017.

La figura anterior define la impedancia en serie, o Z , como un valor compuesto de resistencia (R) e inductancia (X). Los sistemas de energía de alto voltaje (AV) generalmente tienen una fuente de energía independiente con poco o ningún efecto sobre el voltaje.

Tabla VII. **Valores típicos de líneas aéreas para 50 Hz**

Tensión Nominal [kV]	Pot. Natural [MW]	X [Ohm/km]	X/R
0,4	---	0,40	0,5
10	---	0,40	0,5
130	50	0,40	3
220	130	0,40	6
400	550	0,33	15
500	910	0,30	16
750	2 200	0,28	30

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

2.5.7.1. La GD como regulador de voltaje

Los equipos conectados a la red pueden funcionar con normalidad y seguridad dentro del límite de voltaje, por lo que es muy importante mantener un nivel de voltaje suficiente.

Para mantener el voltaje dentro de un nivel, las redes radiales tradicionales utilizan transformadores con LTC (Load Tap Changing), reguladores de voltaje y condensadores.

Cuando una batería DG está conectada a una fuente de alimentación, sus efectos sobre el voltaje pueden ser positivos o negativos. Esto tiene un efecto sobre la velocidad a la que se realiza la regulación de voltaje.

Cuando el GD está conectado, la energía fluye a través de la red como activa y reactiva. Esto aumenta la potencia en la red, lo que aumenta el voltaje.

Las sobretensiones ocurren cuando la demanda es baja y la generación de energía es alta, lo que hace que fluya una gran cantidad de corriente a lo largo de líneas de alta impedancia.

2.5.8. Pérdidas

En los siguientes incisos se analizan los tipos de pérdidas.

2.5.8.1. Pérdidas por el efecto Joule

Cuando se entregue energía, se perderá parte de ella. Esto sucede porque el conductor presenta resistencia, y en esta resistencia se genera el efecto Joule. El efecto Joule indica que cuando la corriente fluye a través de un conductor óhmico, se genera calor.

2.5.8.2. Pérdidas en función de la ubicación de la GD y la topología de la red

La ubicación de la GD y la topología de la red son factores estrechamente relacionados.

Desde la perspectiva de la pérdida, la ubicación de la generación de energía es muy importante, porque cuanto más cerca del punto de consumo, mayor es la reducción de la pérdida. Además, una ubicación adecuada puede mejorar la transmisión de potencia del sistema y aumentar la capacidad de recarga de los equipos.

2.5.8.3. Pérdidas en función del Nivel de Penetración

La potencia suministrada a un alimentador por una fuente de generación distribuida se considera su potencia de carga. Este nivel de penetración puede variar entre las fuentes.

2.5.8.4. Influencia de la GD en el nivel de cortocircuito

Las redes de distribución de energía necesitan una planificación y un diseño específicos para que la energía fluya en una sola dirección. Muchas de estas decisiones afectan los efectos que la conexión tiene sobre las personas.

Cuando algunas partes de la red están en cortocircuito, la fuente de alimentación que proporciona la corriente de cortocircuito es única y está limitada por la impedancia de la red. Cerca de la falla, la electricidad fluye rápidamente hacia la rotura. La cantidad de corriente que fluye cerca de la falla es una medida de su gravedad.

La contribución al nivel de cortocircuito de los diferentes tipos de tecnologías de GD se presenta en la tabla IX.

Tabla VIII. **Valores típicos de niveles de cortocircuitos de la GD**

Tipo de Generador	Corriente de falla en los terminales como porcentaje de corriente nominal de salida.
Inversor	100-400 % (duración dependerá de la configuración del controlador, y la corriente puede ser incluso menor al 100 % en algunos inversores).
Generador Síncrono de excitación independiente	A partir de 500 – 1 000 % para los pocos primeros ciclos y decae a 200 – 400 %.
Generador de Inducción o Generador Síncrono Auto excitado	500 – 1 000 % para los pocos primeros ciclos y decae a un valor despreciable dentro los 10 ciclos.

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Los valores mostrados en la tabla XVII son ilustrativos para el peor de los casos, para un análisis preciso se deben adquirir los datos del generador.

Cuando un generador síncrono está funcionando, almacena más electricidad de la que utiliza. Esto se debe a que sus contribuciones de corriente dependen del voltaje de falla de la máquina, la reactancia subtransitoria y las características del excitador. En caso de avería, un generador síncrono consume más electricidad que si estuviera funcionando a plena carga.

Los generadores de inducción pueden funcionar mal si permanecen energizados con voltaje residual en su alimentador. Esto sucede porque la corriente significativa solo dura unos pocos ciclos cuando el divisor de voltaje encuentra una falla en la reactancia transitoria de la máquina.

La configuración del sistema de distribución de energía cambia constantemente, por lo que se puede decir que el nivel de cortocircuito cambiará

con el tiempo. La contribución de las unidades generadoras pequeñas puede no ser tan importante, pero agregar muchas unidades generadoras pequeñas o algunas unidades generadoras grandes cambiará el nivel de cortocircuito, lo que puede hacer que los elementos de la red de protección pierdan coordinación.

2.5.9. Impacto ambiental de la generación distribuida

El posible impacto en el medio ambiente varía con las características del proyecto y el entorno de desarrollo de este. El tamaño del proyecto también es determinante en el impacto que pueda ocasionar.

2.5.9.1. Alteración del agua

Al desviar el flujo de agua para generar electricidad, las represas pueden eliminar el agua necesaria para un ecosistema fluvial saludable, el tramo aguas abajo de la presa se puede secar completamente. Al retener agua durante las horas pico y luego liberarla para generar electricidad, las represas pueden causar sequías alternas y fuertes corrientes en ciertas partes del río, erosionando el suelo y la vegetación.

2.5.9.2. Emisiones a la atmosfera

Durante la construcción del proyecto, no se tomaron en consideración las principales emisiones a la atmósfera. Mientras se preparan los productos de hormigón y se forma el terreno para su construcción, se espera que se produzca solo una cantidad limitada de polvo. Se espera que se produzca polvo de larga duración durante las fases de excavación y movimiento de tierras. Además, no se espera que el polvo localizado se mueva más allá del sitio de construcción o afecte el ambiente o la atmósfera circundante.

El ruido generado por la maquinaria o herramientas utilizadas en el proceso de construcción no hará que el nivel de ruido sea superior al nivel de ruido especificado por la Organización Mundial de la Salud (85 dB), ni aumentará el ruido existente, porque no será utilizado durante períodos largos de tiempo.

2.5.9.3. Contaminación electromagnética

Dondequiera que haya corriente eléctrica, habrá un campo magnético. Cuando la carga no se mueve, las fuerzas de atracción y repulsión producirán un campo eléctrico, cuya intensidad depende del voltaje del circuito. Las cargas eléctricas que se mueven a través de un circuito generan un campo magnético que depende de la corriente en el circuito. La fuerza de este campo magnético aumenta en proporción a la corriente que circula por el circuito.

2.5.9.4. Contaminación química

Los únicos productos químicos que pueden tener un grado de contaminación en las subestaciones son los aceites aislantes o aceite dieléctrico, contenidos en transformadores, reconectadores y reguladores de voltaje como medios aislantes. El aceite dieléctrico inflamable, parafínico o aromático es peligroso para la salud si se ingiere. Su temperatura de ignición es inferior a las temperaturas normales de funcionamiento; la contaminación ambiental por compuestos químicos es improbable. Además, dentro del alcance de las normas de seguridad consideradas en el diseño de la subestación, se prevé la construcción de bermas de seguridad y contención de aceite dieléctrico.

3. MEJORA EN EL SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

3.1. Consumo energético en el área rural

Desde un punto de vista histórico, se puede rastrear la clasificación de la energía, que propone una dicotomía que se refiere a la fuente de energía. Por tanto, la energía primaria es la energía que se obtiene a partir de energía natural y sin procesar. Por su parte, la energía secundaria se obtiene especialmente del proceso de conversión de energía.

Figura 9. Descripción de energéticos contabilizados dentro de los balances energéticos nacionales

Energéticos Secundarios	Energéticos Primarios
<ul style="list-style-type: none">• Electricidad• GLP• Gasolina• Diésel• Búnker• COQE• No energético	<ul style="list-style-type: none">• Petróleo• Carbón• Agua• Geotermia• Biogás• Leña• Bagazo de caña• Solar• Eólico

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 365.

La energía primaria se puede utilizar de diferentes formas. Al generar electricidad, se utiliza energía como petróleo, carbón, biogás, agua, sol o viento, esto dependerá de la capacidad de reciclaje de cada fuente de energía y de la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero generadas cuando se utilizan. Esto lleva a clasificarlos como renovables o no renovables.

Históricamente, la leña ha sido la principal fuente de energía más utilizada en los hogares de los usuarios potenciales.

Dentro del balance energético nacional, la energía secundaria tiene más aplicaciones y diversos sectores requieren su uso.

Los productos derivados de la energía primaria se denominan productos no energéticos, con el objetivo de producir electricidad y otros tipos de energía para el consumo final.

3.1.1. Balance energético histórico en sector residencial

El sector residencial suele comprenderse por medio de dos subdivisiones; residencial urbano y residencial rural.

En el año 2018 se pudo registrar que la leña fue el energético mayor demandado en el sector residencial, más que la electricidad y gas natural (GLP).

3.1.2. Consumo de electricidad en el área rural

En promedio, el consumo de electricidad en el sector residencial varía entre 0 kWh y 300 kWh como máximo cada mes. Sin embargo, un bajo porcentaje de usuarios consume más de 301 kWh al mes.

Tabla IX. **Frecuencias relativas de consumo de energía eléctrica mensual, sector residencial**

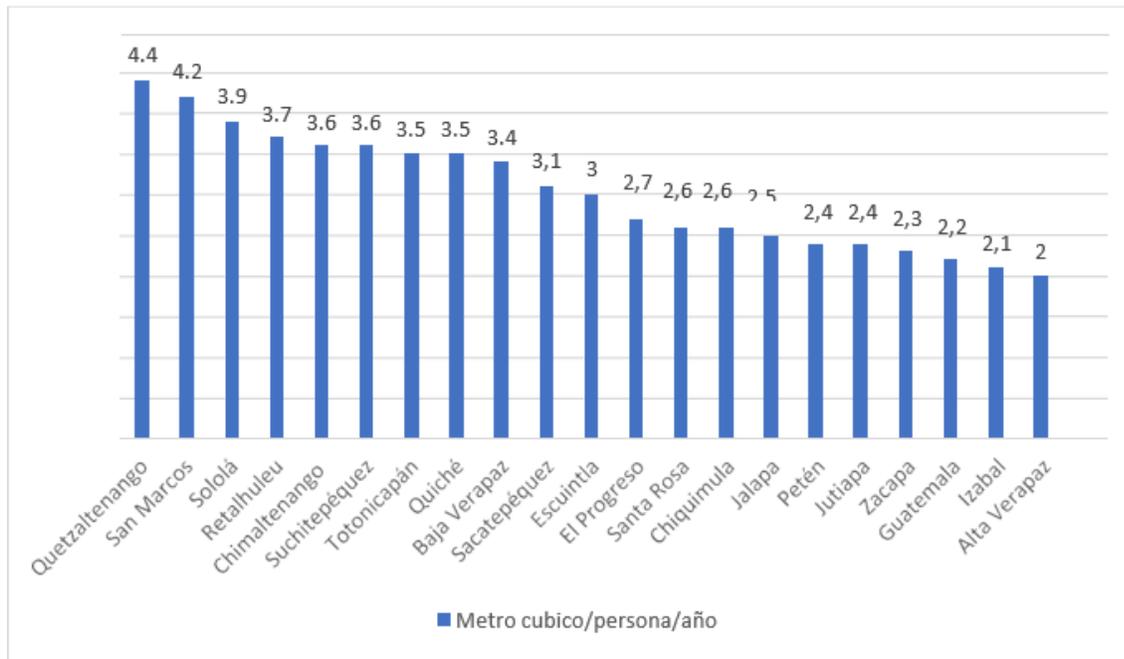
Departamento	0 a 10 kWh	11 a 100 kWh	101 a 200 kWh	201 a 300 kWh	Mayor a 301 kWh	Totales
Alta Verapaz	21,8 %	61,7 %	13,5 %	2,9 %	0,1 %	100,0 %
Baja Verapaz	23,9 %	61,5 %	12,1 %	2,4 %	0,0 %	100,0 %
Chimaltenango	11,7 %	65,6 %	20,2 %	2,5 %	0,0 %	100,0 %
Chiquimula	18,6 %	62,0 %	15,8 %	3,5 %	0,0 %	100,0 %
El Progreso	15,6 %	64,2 %	17,5 %	2,6 %	0,1 %	100,0 %
Escuintla	9,5 %	45,8 %	40,8 %	3,8 %	0,1 %	100,0 %
Guatemala	10,1 %	39,7 %	43,0 %	7,0 %	0,2 %	100,0 %
Huehuetenango	20,9 %	70,2 %	7,6 %	1,2 %	0,0 %	100,0 %
Izabal	18,6 %	54,8 %	21,0 %	5,5 %	0,1 %	100,0 %
Jalapa	13,8 %	70,3 %	13,5 %	2,4 %	0,0 %	100,0 %
Jutiapa	14,3 %	67,8 %	15,4 %	2,5 %	0,1 %	100,0 %
Petén	15,5 %	60,6 %	19,5 %	4,3 %	0,1 %	100,0 %
Quetzaltenango	15,5 %	67,8 %	14,4 %	2,3 %	0,0 %	100,0 %
Quiché	22,0 %	66,7 %	9,6 %	1,6 %	0,0 %	100,0 %
Retalhuleu	13,0 %	63,0 %	20,6 %	3,4 %	0,1 %	100,0 %
Sacatepéquez	7,6 %	41,0 %	46,7 %	4,6 %	0,1 %	100,0 %
San Marcos	19,8 %	66,8 %	11,2 %	2,2 %	0,0 %	100,0 %
Santa Rosa	13,7 %	63,1 %	20,1 %	3,1 %	0,0 %	100,0 %
Sololá	12,3 %	69,6 %	15,3 %	2,7 %	0,1 %	100,0 %
Suchitepéquez	11,7 %	65,2 %	19,8 %	3,2 %	0,1 %	100,0 %
Totonicapán	17,8 %	69,3 %	11,1 %	1,8 %	0,0 %	100,0 %
Zacapa	19,6 %	57,7 %	16,8 %	5,8 %	0,1 %	100,0 %

Fuente: Ministerio de Energía y Minas. *Plan indicativo de electrificación rural*. p. 39.

3.2. Consumo de leña

En las zonas rurales, especialmente en las zonas sin servicio eléctrico, existe una gran demanda de leña porque la leña puede cubrir necesidades básicas, como calentar y cocinar alimentos. En la matriz de demanda de energía de las industrias mencionadas, la leña representa el 92 % de su demanda promedio.

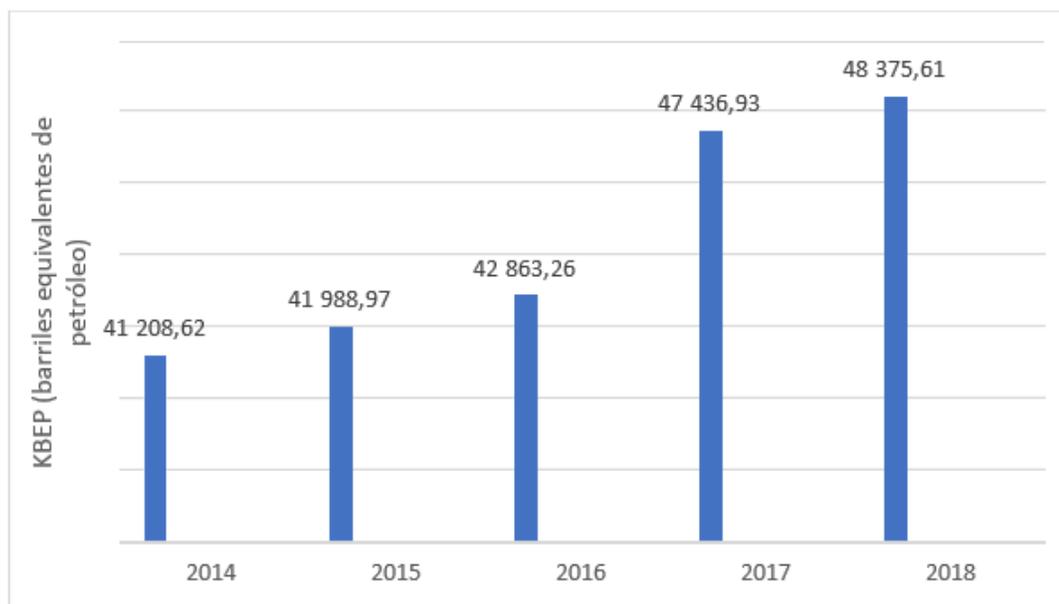
Figura 10. Demanda de leña per cápita en el área rural a nivel



Fuente: elaboración propia, con información del IARNA e INAB, empleando Microsoft Excel 365.

Los departamentos de la región occidental tienen una mayor demanda de energía per cápita. Como era de esperar, estos sectores son las zonas más frías del país, por lo que el uso de leña también se puede utilizar para calefacción y agua caliente doméstica.

Figura 11. **Demanda energética de leña del sector residencial**



Fuente: elaboración propia, con información del IARNA e INAB, empleando Microsoft Excel 365.

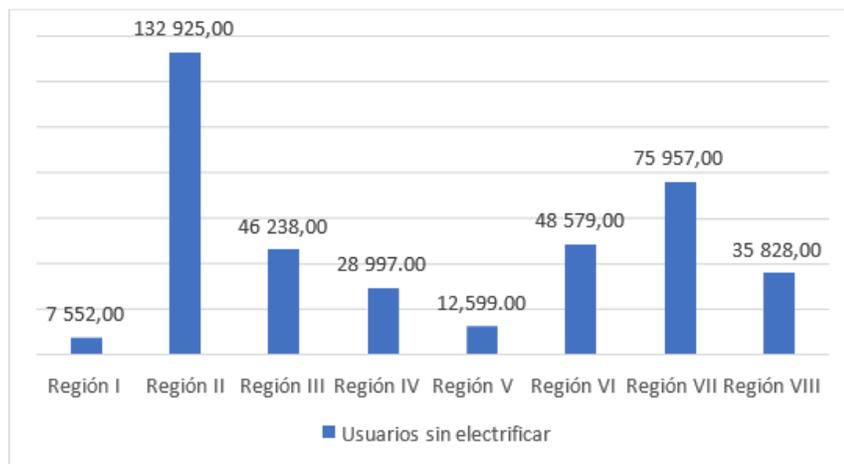
La demanda de energía de leña en el sector residencial junto con el consumo de electricidad está aumentando. Cabe destacar que la combinación del consumo per cápita y el crecimiento de la población que se muestra en la Figura 19 representa el aumento de la demanda energética de leña a nivel nacional; si fuera posible utilizar electricidad que satisfaga la misma demanda que la leña como energía suplementaria, puede reducirse el nivel de leña demandada por persona.

3.3. **Índices de acceso a la electricidad**

El índice de acceso a la electricidad se puede utilizar para calcular la proporción de usuarios que disfrutan de los servicios de electricidad. En 2018, el índice global fue del 91,23 %. La figura 21 muestra gráficamente el índice de

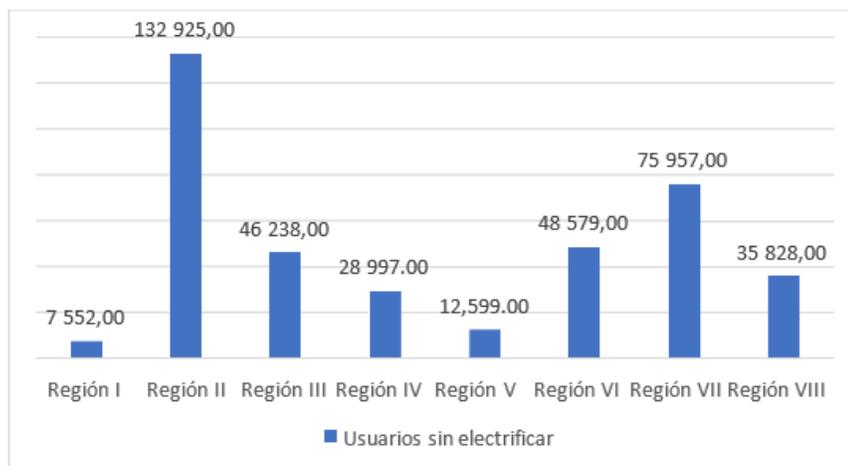
cobertura por región; Región VIII (Petén), Región II (Norte) y Región VII (Noroccidente) tienen los índices más bajos.

Figura 12. Índice de acceso a la electricidad por región



Fuente: elaboración propia, con información del IARNA e INAB, empleando Microsoft Excel 365.

Figura 13. Usuarios sin electrificar



Fuente: elaboración propia, con información del IARNA e INAB, empleando Microsoft Excel 365.

Cabe mencionar que solo en la Región II (Norte) del país se concentra el 32 % de todos los usuarios sin suministro eléctrico en todo el país.

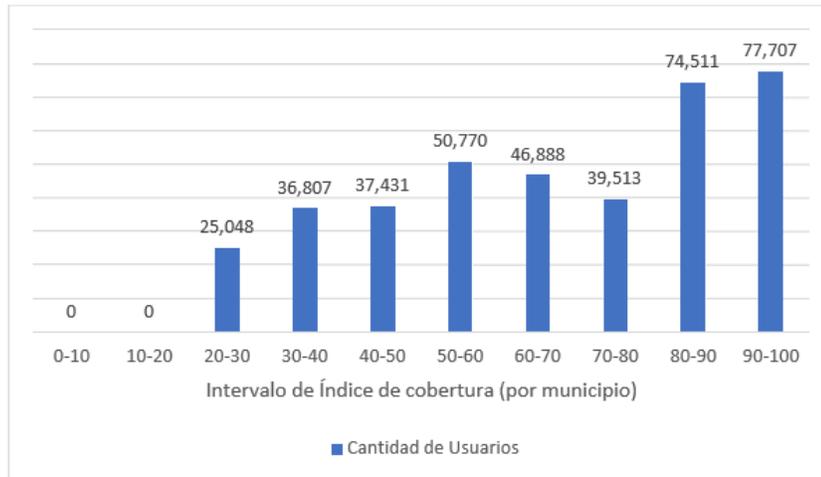
3.3.1. Acceso a la electricidad por departamento

Guatemala es el sector con mayor cobertura eléctrica, llegando a más del 99 %. Sin embargo, Alta Verapaz tiene la tasa de acceso a la electricidad más baja con 64,61 %, por lo que el número de usuarios sin electricidad es mucho mayor que en otros departamentos.

3.4. Usuarios sin suministro

Es importante no olvidar la distribución de usuarios que no pueden beneficiarse de los servicios eléctricos. La figura 23 nos sirve para comprender los datos, por tanto, el 77,53 % de los usuarios que no están cubiertos se encuentran en ciudades donde la tasa de cobertura no supera el 90 %. El 22,47 % restante de los usuarios se encuentra en los municipios y su tasa de uso supera el 90 %.

Figura 14. **Cantidad de usuarios sin cobertura eléctrica**



Fuente: elaboración propia, con información del MEM, empleando Microsoft Excel 365.

Si se pretende promover el acceso a los servicios eléctricos, las características económicas y técnicas de la comunidad son factores muy importantes. En algunos casos, estas características dificultan la implementación de proyectos de electrificación. Por lo tanto, es necesario brindar un mecanismo de financiamiento, porque es fundamental ampliar el índice de cobertura a través del desarrollo integral.

3.5. Propuestas del plan indicativo de electrificación rural

Esta sección presenta los requisitos previos que se deben considerar al desarrollar un plan indicativo de electrificación rural. Para determinarlos es necesario utilizar variables técnicas y socioeconómicas, lo que permite determinar prioridades. Estos serán actualizados anualmente por el Ministerio de Energía y Minas (MEM).

3.5.1. Crecimiento de usuarios regulados en la red eléctrica

Esta variable permite pronosticar las necesidades de los usuarios que podrán utilizar el servicio en el futuro. Al mismo tiempo, también puede calcular el porcentaje de crecimiento de usuarios regulados a nivel nacional.

3.5.2. Acceso a los sistemas transporte y distribución de energía eléctrica

El costo del servicio depende de la distancia entre la comunidad y la red de distribución eléctrica en el área. Por otro lado, legalmente hablando, los servicios deben brindarse a las comunidades dentro de la zona de distribución total, que cubre 200 metros de la red de distribución, y los usuarios no necesitan pagar.

La calidad del servicio debe estar garantizada por el transportista y distribuidores, por lo que se requiere la instalación y montaje de transformadores de potencia, sistemas de puesta a tierra, sistemas de protección y control, estos tienen que poder trabajar con los distintos niveles de tensión en las redes de transporte y distribución eléctrica. Los estándares de calidad del servicio están definidos por CNEE en NTSD y NTAUCT.

3.5.3. Número de usuarios sin acceso al servicio de energía eléctrica

El impacto en el índice de cobertura y el buen resultado de ampliar la red de distribución al mayor número de personas. Son los factores que permiten considerar el 25 % del total de municipios con valoraciones elevadas en lo que respecta a los usuarios que no tienen acceso al servicio.

3.5.4. Índice de Desarrollo Humano (IDH)

El Índice de Desarrollo Humano permite medir el progreso de un país midiendo tres factores específicos: salud, educación y nivel de vida.

Para el buen desarrollo de la humanidad, el acceso a la electricidad es importante porque puede reemplazar las fuentes de energía contaminadas, como el queroseno y la leña que se utiliza para cocinar y calentar alimentos. Los servicios de electricidad pueden satisfacer la demanda de energía de manera satisfactoria.

Esta variable puede priorizar los municipios con menor índice de desarrollo humano.

3.5.5. Índice de Pobreza Multidimensional (IPM)

Este indicador ha reemplazado al Índice de Pobreza Humana, combinando parámetros de ingresos y otros tipos de privaciones que cambian o moldean vidas, considera la educación, la salud y la calidad de vida, este último factor incluye los indicadores de pobreza energética, es decir, el acceso a combustible para cocinar y a la electricidad.

El IPM permite determinar qué ciudades no han superado el umbral mínimo, teniendo en cuenta que el indicador también considera el acceso a servicios básicos, salud e higiene, muchos de estos servicios pueden ser facilitados por la energía eléctrica.

3.5.6. Porcentaje de personas viviendo en pobreza

El porcentaje se utilizará para determinar el grado de prioridad que se les dará a los planes de desarrollo productivo relacionados con el acceso a los servicios eléctricos.

3.5.7. Índice Relativo de Consumo de Leña (IRCL)

Este índice está relacionado con la pobreza energética, porque el uso de leña puede reemplazar la demanda de energía para mantener la supervivencia de las comunidades, especialmente las rurales. El desarrollo sostenible de la comunidad está relacionado con este índice y depende del consumo de la comunidad de sus recursos forestales.

3.6. Métodos para el establecimiento prioritario de los proyectos de electrificación rural

Para que se pueda trabajar en beneficio de todos según la situación de cada lugar, el Ministerio de Energía y Minas ha incorporado variables técnicas y socioeconómicas en el diseño de su política para establecer un método que se puede priorizar y lo actualizará cada año bajo la responsabilidad del Ministerio.

Para que estos municipios sean considerados en la metodología, de debe garantizar al menos los siguiente:

- Velar por la integridad y salvaguardar la salud de los técnicos en el área de trabajo.

- Los proyectos sean bien recibidos por la comunidad y las autoridades locales.
- Apoyo de las autoridades locales para implementar el plan.
- Debe existir un alto riesgo de que la comunidad no pueda recaudar fondos para los pagos de servicios.

A continuación, se presenta una tabla con el indicador de prioridad de los municipios, esto solo puede hacerse si los puntos mencionados se cumplen.

Tabla X. **Peso de los indicadores socioeconómicos y técnicos**

No.	Indicador	Peso
Indicadores socioeconómicos		70 %
1	Índice relativo de consumo de leña	10 %
2	Porcentaje de personas viviendo en pobreza	20 %
3	Índice de desarrollo humano	20 %
4	Índice de pobreza multidimensional	20 %
Indicadores técnicos		30 %
5	Número de usuarios sin acceso al servicio de energía eléctrica	15 %
6	Acceso a los sistemas de transporte y distribución de energía eléctrica	15 %
Total		100 %

Fuente: elaboración propia, con información del MEM, empleando Microsoft Excel 365.

La siguiente ecuación permite ingresar las variables donde se priorizan los indicadores ascendentes, ya que cada uno de los indicadores se ajustará para priorizar a los municipios que tengan los indicadores más bajos.

$$I_j = P_i * \frac{I_{V_{\max}} - I_{\text{real}}}{I_{V_{\max}} - I_{\text{min}}}$$

O la siguiente ecuación para las variables donde se prioriza los valores descendentes:

$$I_j = P_i * \frac{I_{V_{\min}} - I_{\text{real}}}{I_{V_{\min}} - I_{\text{max}}}$$

I_j : Indicador ajustado.

P_i : Peso del indicador.

$I_{V_{\max}}$: Indicador máximo del país.

$I_{V_{\min}}$: Indicador mínimo del país.

I_{real} : Indicador del municipio.

Según la ponderación fijada en la tabla XI, luego de evaluar estos indicadores en cada uno de los municipios, es posible determinar cuáles serían los municipios priorizados.

Tabla XI. **Municipios priorizados**

No.	Departamento	Municipio	Punteo
1	Alta Verapaz	Santa María Cahabón	87,96
2	Alta Verapaz	Panzós	85,49
3	Alta Verapaz	San Agustín Lanquín	84,71
4	Alta Verapaz	Cobán	84,04
5	Alta Verapaz	Senahú	83,69
6	Alta Verapaz	San Miguel Tucurú	83,51
7	Alta Verapaz	San Pedro Carchá	82,07
8	Alta Verapaz	Chisec	82,06
9	Alta Verapaz	Tamahú	81,60
10	Alta Verapaz	Chahal	80,41
11	Alta Verapaz	Fray Bartolomé de las Casas	78,96
12	Huehuetenango	La Libertad	78,30
13	Alta Verapaz	San Juan Chamelco	77,84
14	Alta Verapaz	Santa Catarina la Tinta	77,05
15	Alta Verapaz	Raxruhá	76,85

Continuación de la tabla XI.

16	Quiché	Santa María Nebaj	76,78
17	Huehuetenango	Colotenango	75,86
18	Huehuetenango	Santa Bárbara	74,84
19	Alta Verapaz	Tactic	74,39
20	Huehuetenango	San Idelfonso Ixtahuacán	74,10

Fuente: elaboración propia, con información del MEM, empleando Microsoft Excel 365.

Al aumentar la cobertura en estos municipios, es necesario considerar las comunidades o pueblos cercanos, especialmente si es más factible económicamente brindarles servicios desde otro municipio.

3.7. Estimación de la demanda de energía y potencia no suministrada

En 2016, el Ministerio de Energía y Minas (MEM) estimó que había 272 139 hogares sin servicio eléctrico. Cada casa sin servicio es en sí misma un bloque de potencia y energía, que debe tenerse en cuenta en los proyectos de electrificación rural.

Tabla XII. **Estimación de energía y potencia no suministrada por departamento**

Departamento	Energía anual no suministrada (GWh)	Potencia máxima (MW)	Departamento	Energía anual no suministrada (GWh)	Potencia máxima (MW)
Alta Verapaz	146.21	25.67	Jalapa	11.94	2.10
Petén	45.86	8.05	Santa Rosa	11.10	1.95
Huehuetenango	42.91	9.46	Suchitepéquez	9.99	1.75
Quiché	37.38	8.24	Zacapa	8.23	1.44
Izabal	24.36	4.28	Quetzaltenango	7.77	1.71
Chiquimula	21.22	3.73	Chimaltenango	5.46	1.20
Baja Verapaz	20.33	3.57	Retalhuleu	5.29	1.17

Continuación de la tabla XII.

San Marcos	20.26	4.47	Totonicapán	5.24	0.92
Guatemala	16.36	2.57	Sololá	4.55	1.00
Escuintla	13.99	2.20	El Progreso	4.12	0.72
Jutiapa	13.29	2.33	Sacatepéquez	1.97	0.31

Fuente: elaboración propia, con información del MEM, empleando Microsoft Excel 365.

La tabla XII muestra los valores estimados de energía (GWh) y potencia (MW) que no se proporcionan a las comunidades por cada departamento. Según cálculos, la energía de no suministro anual es de 447,83 GWh. La demanda máxima de potencia sin suministro del país es de 88,55 MW.

3.7.1. Costo de la energía no suministrada

Para la industria energética, la energía no brindada representa oportunidades de flujos económicos importantes, y para las comunidades, brinda oportunidades de desarrollo.

La tabla XIII muestra las estimaciones de costos de energía que cada departamento no ha proporcionado en doce meses, en millones de quetzales. El costo total estimado de energía no suministrada en el país asciende a 5 856,68 millones de quetzales.

Tabla XIII. **Estimación del costo de la energía no suministrada por departamento**

Departamento	Millones de GTQ	Departamento	Millones de GTQ
Alta Verapaz	Q 1 792,04	Jalapa	Q 146,33
Petén	Q 562,16	Santa Rosa	Q 136,06
Huehuetenango	Q 525,94	Suchitepéquez	Q 122,50
Quiché	Q 458,17	Zacapa	Q 100,81
Izabal	Q 298,62	Quetzaltenango	Q 95,28
Chiquimula	Q 260,07	Chimaltenango	Q 66,92
Baja Verapaz	Q 249,19	Retalhuleu	Q 64,86
San Marcos	Q 248,30	Totonicapán	Q 64,19
Guatemala	Q 200,52	Sololá	Q 55,72
Escuintla	Q 171,45	El Progreso	Q 50,54
Jutiapa	Q 162,90	Sacatepéquez	Q 24,14

Fuente: elaboración propia, con información del MEM, empleando Microsoft Excel 365.

A continuación, la tabla XIV enumera diez departamentos con niveles de potencia y energía no suministradas más altos, la mayoría se encuentran ubicadas en la parte norte del país.

Tabla XIV. **Estimaciones de energía y potencia no suministradas por municipios, y precios de la energía no suministrada en un año**

No.	Municipio	Energía no suministrada en un año (GWh)	Potencia no suministrada (MW)	Precio de la energía no suministrada (Millones de GTQ)
1	San Pedro Carchá	91,40	5,86	Q 408,92
2	Cobán	62,61	4,01	Q 280,11
3	Senahú	43,88	2,81	Q 196,31
4	Santa María Cahabón	30,52	1,96	Q 136,55
5	Panzós	26,82	1,71	Q 119,99
6	El Estor	23,89	1,53	Q 106,86

Continuación de la tabla XIV.

7	Fray Bartolomé de Las Casas	23,78	1,52	Q	106,40
8	Purulhá	22,95	1,47	Q	102,66
9	Sayaxché	21,01	1,35	Q	94,01
10	Chisec	20,82	1,33	Q	93,15
11	Demás municipios	941,42	65,28	Q	4 211,71

Fuente: elaboración propia, con información del MEM, empleando Microsoft Excel 365.

3.8. Estimación del costo de electrificación

Es posible estimar los costos de electrificación para calcular el monto aproximado de inversión para ejecutar el plan. Para ello, se utilizan los datos recogidos por la Gerencia de Electrificación Rural y Obras del INDE, junto con los datos del presente plan.

Tabla XV. **Inversión mínima estimada por año**

Año	Inversión Estimada(Q)
2020	244 133 884
2021	247 798 892
2022	251 512 830
2023	255 285 523
2024	259 114,806
2025	263 001,528
2026	266 946,551
2027	270 950,749
2028	423 289,374
2029	429 638,715
2030	436 083,295
2031	164 324,362
2032	166 789,228

Fuente: elaboración propia, con información del INE, empleando Microsoft Excel 365.

En la tabla XVII se muestra la inversión, esta no incluye los costos de adecuación y las ampliaciones de red de alta tensión, por ello, se habla de un monto mínimo de inversión para hacer posibles las metas trazadas.

3.9. Procesos de electrificación reconocidos

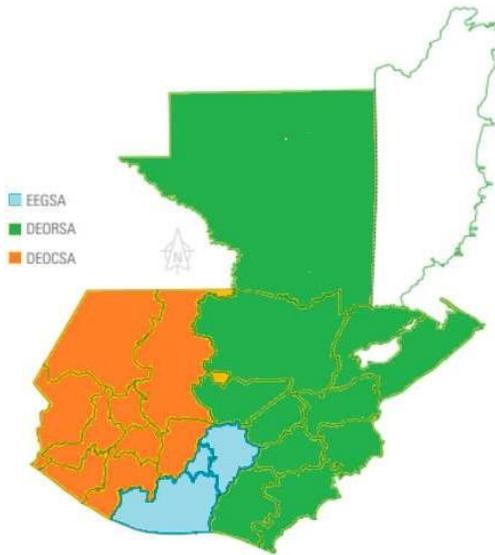
En los siguientes incisos se analizan los diferentes métodos de electrificación y la forma en la que se componen.

3.9.1. Conexión a la red

Para que los usuarios puedan conectarse a la red eléctrica, deben estar conectados desde las instalaciones de distribución de energía cumpliendo con la normativa vigente. Actualmente, la ley obliga a los distribuidores a brindar servicios a los usuarios ubicados dentro de los 200 metros de sus instalaciones en el área autorizada.

El país cuenta con distribuidores muy activos, la siguiente figura muestra las áreas de distribución autorizadas.

Figura 15. **Zonas de autorización, para empresas distribuidoras**



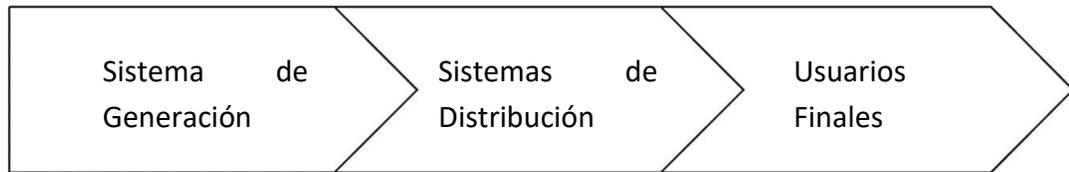
Fuente: Ministerio de Energía y Minas. *Plan de Expansión del sistema de Generación y Transporte 2020 - 2034*. p. 36

La tarifa para usuarios residenciales la fija la Comisión Nacional de Electricidad.

3.9.2. Sistemas aislados o microrredes

El sistema de aislado es una red eléctrica de corta distancia en la que el sistema de generación de energía distribuida renovable está conectado directamente a la carga eléctrica. Esto puede estar enlazado o no al SIN para una futura expansión. A diferencia del SIN, dependiendo de la situación, estos sistemas tienen sus propias funciones de despacho, transporte y suministro de energía.

Figura 16. **Esquema básico de abastecimiento de energía**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 365.

No cabe duda de que las micro redes tienen considerables beneficios sociales y ambientales, ya que sus sistemas de generación de energía son fuentes de energía renovable, concientizando a las personas sobre el uso de energías limpias para satisfacer sus necesidades energéticas.

Cuando la comunidad se encuentra en un área alejada del Sistema Nacional Interconectado, o el área no es de fácil acceso debido a las condiciones geográficas, lo que resultará en la imposibilidad de establecer una conexión a mediano plazo en las redes de transmisión, se recomienda utilizar sistemas aislados.

Por otro lado, los sistemas aislados son susceptibles a la interferencia de en la potencia eléctrica demandada de las comunidades a las que abastecen. También se debe mencionar que, para utilizar energía renovable, debe contar con bancos de baterías que mantenga la estabilidad del voltaje y potencia. Del mismo modo, se debe desarrollar un plan de mantenimiento para prevenir daños y estimar la vida útil a fin de prepararse para futuras inversiones en la renovación de equipos.

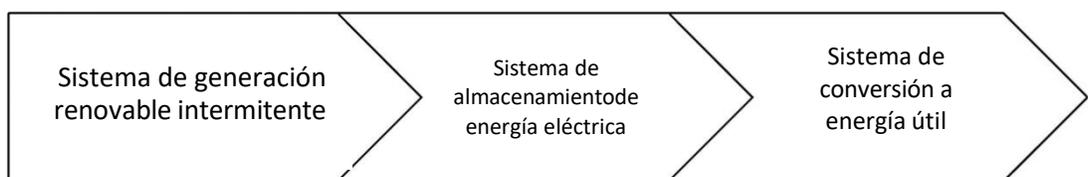
3.9.3. Usuarios auto productores

Estos usuarios son aquellos que generan y consumen energía eléctrica pero que no forman parte ni están conectados al sistema de distribución de energía, que es diferente a un sistema aislado o una Microred. En otras palabras, el sistema se construye sobre la base de la independencia de cualquier sistema de distribución.

No existe un marco legal que regule las decisiones técnicas o económicas e incluirlas en propuestas o proyectos, básicamente pueden existir libremente y generar electricidad. Solamente en la Norma Técnica de Generación Distribuida Renovable contempla la figura de los usuarios auto productores con excedentes de energía (UAEE).

La siguiente figura corresponde a la figura 26, que ilustra la relación entre los sistemas necesarios para un dispositivo auto generador con energía renovable aislado de la red.

Figura 17. **Usuario auto productor con energías renovables aislado de la red**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 365.

Para este tipo de usuario, el costo de generación depende del sistema de generación a implementar.

Por sí sola, la energía renovable no genera costos en términos de las principales fuentes de energía como el sol, el viento o el agua. Sin embargo, debido a que la batería debe usarse para regular o modificar la energía, el sistema de almacenamiento tiene que pagar un cierto precio.

4. DESARROLLO DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN EÓLICO PARA AUTONOMÍA ENERGÉTICA UTILIZADA EN LOS FOCOS DE ALUMBRADO PÚBLICO

4.1. Energía eólica

El viento es una fuente de energía muy importante y, en última instancia, proviene del sol. Es una fuente de energía renovable y libre de contaminación.

La energía eólica se considera una forma indirecta de energía solar, porque el sol aumenta la presión atmosférica al calentar las masas de aire y luego mueve estas masas de aire a áreas de baja presión. Por lo tanto, el viento se genera debido a este movimiento, y la energía cinética del viento se puede convertir en energía útil para energía mecánica y eléctrica.

El viento hace que se muevan las palas del molino, esta energía cinética se convierte en energía eléctrica mediante un generador. Históricamente, la energía eólica se ha utilizado para moler granos, extraer agua, mover otras máquinas, conducir vehículos y veleros a través de las fábricas, pero la energía eólica se ha utilizado para generar electricidad, que ha sido una aplicación a gran escala desde mediados de los últimos años. término.

La energía del viento (P_a) que se puede aprovechar depende de la densidad del viento ($\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$ a presión atmosférica normal y a 15°C), de la superficie (S) considerada y de la velocidad del viento (V):

$$P_a = \rho * C_p * \frac{S}{2} * v^3$$

donde C_p es el coeficiente de potencia o fracción de potencia que una determinada máquina es capaz de extraer del viento.

Debido a la segunda ley de Newton nunca podrá ser del 100 % y como el físico alemán Albert Betz demostró a principios del siglo XX, un aerogenerador con rotor en forma de disco está limitado teóricamente a poder extraer el 59 % de la energía total del viento.

La velocidad elevada a la tercera potencia es la característica más importante de la energía eólica, ya que hay una relación que indica que cuando el viento aumente, su energía aumentará exponencialmente.

Aproximadamente el 1-2 % de la energía del sol se convierte en energía eólica. Esto representa energía de 50 a 100 veces mayor que la energía convertida en biomasa por todas las plantas de la tierra.

4.1.1. El viento

El viento es el resultado del movimiento atmosférico. Este movimiento es provocado principalmente por la radiación solar, que es absorbida y reflejada de diferentes formas por diferentes capas de la atmósfera y diferentes tipos de superficies existentes en la tierra. De esta forma, la atmósfera se calienta de manera desigual, provocando circulación por convección.

4.1.2. Clasificación de los vientos

Los vientos se pueden clasificar en tres tipos:

4.1.2.1. Vientos regulares o constantes

El viento regular o constante es el viento que sopla en la misma dirección durante todo el año. Son de este tipo los alisios, los contralisios y las brisas o vientos del oeste.

Los vientos alisios se generan en el área de latitud norte-sur de 30 °, donde se produce una alta presión subtropical, y se mueven a través de la troposfera inferior hacia áreas con baja presión ecuatorial.

4.1.2.2. Vientos periódicos

Son vientos que se producen en una determinada época del año y se originan a partir de las diferentes temperaturas propias del océano y la tierra en verano e invierno. Durante el día, la tierra se calienta más rápido que el agua y el aire caliente de la superficie de la tierra se eleva de tal manera que menos aire caliente en el mar trae brisa fresca. Por otro lado, ocurre lo contrario en la noche, cuando la tierra se enfría más rápido de lo que se enfría el agua, y hace que sople una brisa hacia el mar.

4.1.2.3. Vientos circunstanciales

Son vientos que ocurren en áreas localizadas pequeñas, pero no muy extensas, son causados por una cierta cantidad de movimiento de aire provocado por la superficie terrestre o masas de agua, y el movimiento del aire causa daños por su tamaño.

Estos tipos de vientos incluyen tornados, ciclones o huracanes y trombas marinas.

4.1.3. La energía en el viento: densidad del aire y área de barrido del rotor

Las turbinas eólicas obtienen su potencia de entrada convirtiendo la velocidad del viento en fuerza de rotación que actúa sobre las palas del rotor. La energía entregada por el viento al rotor depende de la densidad del aire, el área barrida del rotor y la velocidad del viento.

4.1.4. Densidad del aire

La energía cinética que posee un cuerpo en movimiento es proporcional a su masa (o peso), con esto se puede decir que depende de la densidad del aire. En otras palabras, cuanto más pesado es el aire, más energía recibe la turbina. A presión atmosférica normal y 15 °C, el peso del aire es de aproximadamente 1 225 kilogramos por metro cúbico, aunque la densidad disminuye ligeramente al aumentar la humedad. En áreas de gran altitud (áreas montañosas), la presión del aire es menor y la densidad del aire es menor.

4.1.5. Ventajas de la energía eólica

- La energía eólica no contamina, es inagotable.
- Desde un punto de vista ambiental, generar electricidad sin un proceso de combustión o etapa de conversión térmica es un proceso muy ventajoso porque es limpio y no tiene contaminación ni otros problemas.
- Evita la contaminación relacionada con el transporte de combustible; gas natural, petróleo, Diesel, carbón.

El uso de energía eólica para generar electricidad no afectará las propiedades fisicoquímicas o la erosión del suelo, pues no producirá

Contaminantes que afecten el medio ambiente, ni producirá emisiones ni movimiento de tierra.

4.1.6. Desventajas de la energía eólica

- El aire es un fluido con un peso específico pequeño, lo que significa que se debe fabricar máquinas grandes y, por tanto, caras.
- La creación de un parque eólico hace que tenga un impacto visual el cual no es estético.
- Las aves corren peligro de impactar con las aspas del aerogenerador, debido a esto existe la posibilidad de disminuir este riesgo al pintar de colores llamativos las aspas y el espacio entre aerogeneradores para que las aves puedan pasar.

4.1.7. El viento en Guatemala

En Guatemala dominan los vientos alisios. Durante los meses de octubre, noviembre, diciembre, enero y febrero, estos vientos se desplazaron hacia el norte. El viento entra a Guatemala por el departamento de Izabal y fluye entre la Sierra del Merendón y las minas.

Los vientos alisios se aceleran y viajan a mayor velocidad en el oriente del país, pasando por la región central, y luego hacia el noroeste del país, reduciendo considerablemente su velocidad. Se considera que estas áreas cubiertas de

viento se encuentran entre la Sierra de los Cuchumatanes y el Pie Monte en la costa sur.

Durante los meses de marzo, abril, mayo y junio, el sistema de bajas presiones en el Océano Pacífico hace que el viento mantenga una componente Sur. Cuando el sistema de presiones sea lo suficientemente grande, harán que el viento supere las zonas montañosas del Pie Monte y Los Cuchumatanes para llegar a los departamentos de Alta y Baja Verapaz, así como también al departamento de Huehuetenango.

En los tres meses restantes (julio, agosto, septiembre), debido a la presencia del anticiclón atlántico semipermanente, el viento mantiene una componente Norte, manteniendo así el flujo del viento por el departamento de Izabal.

4.1.8. Sitios de mediciones de viento en Guatemala

Los departamentos con mayor potencial eólico del país son: Jutiapa, Escuintla y Zacapa con una velocidad entre 5 a 7 metros por segundo, que se ve afectado principalmente por los vientos alisios ya que son bastante regulares en estas áreas del país.

El altiplano del país muestra pocas posibilidades de proyectos a gran escala debido a que tiene un potencial medio en aplicaciones específicas o pequeños proyectos aislados, la velocidad media está entre 3 y 5 metros por segundo.

La parte Sur del país se comporta de manera diferente a otras partes del país porque está expuesta al sistema local de brisa marina de alta intensidad debido a su ubicación geográfica. En esta zona, se encuentra que velocidades

de viento entre 4 y 5 metros por segundo siendo así ideales para promover proyectos de riego o electrificación rural.

Finalmente, la parte norte del país se ve afectada por el sistema de vientos alisios, que en algunas zonas se ven disminuidos a partir de las horas de mayor insolación, lo que indica que existe un gradiente térmico local que se opone al sistema general. La velocidad en esta zona está entre 3 y 4 metros por segundo, pero en algunas zonas montañosas, puede alcanzar una mayor velocidad el viento, esto conlleva a que se utilice en proyectos de telecomunicaciones.

4.1.9. Estudio del potencial eólico en Guatemala

Guatemala cuenta con una superficie de 1 568 km² donde la clase de viento es 4 o superior. Al asumir una densidad superficial de generación de 5 MW/km², el potencial eólico de Guatemala es de aproximadamente 7 840 MW, que podría generar energía eléctrica en el orden de magnitud de 20 000 GWh por año. Al tomar en cuenta las áreas con vientos de clase 3, el potencial podría incrementarse a 17 200 MW y la generación sería de alrededor de 35 000 GWh por año.

Por el momento se han obtenido información sobre el viento en sitios de Guatemala, realizada por instituciones estatales y privadas, como lo son: El Ministerio de Energía y Minas (MEM), Instituto Nacional de Electrificación (INDE), Instituto Nacional de Meteorología, Sismología, Vulcanología e Hidrología (INSIVUMEH), National Rural Electric Cooperative Association (NRECA)

4.2. Diseño experimental

Las pequeñas turbinas eólicas utilizan alternadores trifásicos para aprovechar la energía del viento. La conexión con estos rotores son turbinas eólicas. Puede funcionar con una velocidad del viento entre 3 y 4 m/s, gracias al desarrollo de hélices de fibra de carbono como a mejoras aerodinámicas. A veces alcanza una potencia nominal para velocidades entre 12 y 15 m/s. luego, se interrumpe su funcionamiento para velocidades del viento entre 20 y 25 m/s. Cálculo del Aerogenerador.

La energía eólica disponible en una determinada zona está determinada por losiguiente:

- Función de la velocidad (V),
- Área (A) barrida por las palas del molino
- Densidad (ρ) del aire.

Aplicando las nociones de la física clásica, se obtiene la expresión teórica de la potencia disponible como lo indica la ecuación:

$$P_v = \frac{1}{2} A v^3$$

Si ρ es la densidad del aire de la corriente uniforme, la energía por unidad de volumen de esta masa es:

$$e = \frac{1}{2} \rho v^2$$

El flujo volumétrico Q a través de una superficie de control estacionaria de sección frontal se obtiene de la siguiente forma:

$$Q = Av$$

La corriente de aire que se mueve a través de la superficie de una turbina eólica suministra la energía indicada por la siguiente ecuación.

$$P = eQ = \frac{1}{2}Apv^3$$

Donde:

P = Potencia disponible en el aire.

A = Área de barrido (Superficie que cubre el aerogenerador). v= Velocidad del viento.

p = Densidad del aire.

No puede extraer la energía de una turbina eólica, entonces existe la disposición de un factor que indique la eficiencia de equipo. El coeficiente de potencia C_p , que determina el rendimiento aerodinámico.

$$C_p = \frac{2N}{pAV^3}$$

- Área de barrido del rotor, ecuación:

$$A = \frac{2P}{npV^3}$$

Dónde:

A = Área de barrido del rotor.

n = Eficiencia

p = Densidad del aire P = Potencia

V = velocidad del viento

- Velocidad total del viento

V = Velocidad Total del Viento.

Donde

Vo = Velocidad Inicial.

h = Altura final de la torre. ho = Altura inicial.

n = Rugosidad

La rugosidad se obtiene de la siguiente ecuación Si (hr ≤ 0,03)

$n = 1.699823015 \ln(hr) / \ln(150)$ Si hr > 0.03

$n = 3,912489289 \ln(hr) / \ln(3,3333333)$

hr = es la longitud de rugosidad medida en metros, que consiste en la altura sobre el nivel del suelo donde la velocidad del viento teóricamente es cero.

Tabla XVI. **Longitudes y Clases de Rugosidad**

Clase de rugosidad	Longitud de rugosidad z0 (m)	Usos del suelo
0	0,0002	Superficie del agua en calma.
0,5	0,0024	Terreno abierto con superficie lisa: pistas de hormigón en los aeropuertos, césped cortado, entre otros.
1	0,03	Área agrícola abierta sin cercados ni setos y con edificios muy dispersos.
1,5	0,055	Terreno agrícola con algunas casas y cercados de hasta 8 m de altura separados por más de 1 km.
2	0,1	Terreno agrícola con algunas casas y cercados de hasta 8 m de altura separados por aproximadamente 500 m.

Continuación de la tabla XVI.

2,5	0,2	Terreno agrícola con varios árboles, arbustos y plantas, o cercados de hasta 8 m de altura separados por 250 m.
3	0,4	Ciudades, villas, terreno agrícola con muchos cercados o muy altos, bosques.
3,5	0,6	Grandes ciudades con edificios altos con bosques altos.
4	1,6	Ciudades muy grandes con edificios altos y rascacielos.

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

4.2.1. Baterías y acumulador

Existen diferentes tipos de baterías según los componentes, materiales que se encuentran en estos, se utilizan las de base de plomo, por el precio, también existen de ion de litio, pero el precio es muy alto. Se debe saber la autonomía que debe tener la instalación, el tiempo que podrá funcionar sin corriente eléctrica, también la descarga máxima que tendrá la batería. Ecuaciones obtenidas de Tesis de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, los Autores Rodrigo Toapanta y Sebastián Hidalgo.

$$nB = 100 \% - Kb$$

$$QM = \frac{ET Wh}{2a}$$

$$CDA = \frac{QM Ah}{V \text{ día}}$$

$$CTB = \frac{C_{DA} * D_A}{pdD} Ah$$

$$N_b = \frac{C_{TB} Ah}{Amp Ah}$$

K_b = Coeficiente de pérdidas debidas al rendimiento del acumulador. NB = rendimiento de la batería.

QM = energía diaria de acumulación requerida. [Wh/día]

CDA = capacidad diaria de acumulación. [Ah/día]

CTB = la capacidad total de la batería. [Ah]

NB = número de baterías.

4.2.2. Inversor

Puede ser eléctrico como electrónico que utiliza la corriente continua de una batería (como sistema de almacenamiento) y transforma a corriente alterna. Su función primordial es cambiar el voltaje de entrada de corriente continua a uno de corriente alterna, en similitudes condiciones. Protecciones para mantener valores estables de voltaje y forma de onda, a pesar de la variabilidad del estado de carga de las baterías. Permite utilizar corrientes eléctricas bajas y pueden utilizarse cables delgados. Ver anexo II

$$P_{inversor} = 1,25 * PTAC(W)$$

Fórmula 12

P carga AC = potencia de carga en AC (vatios)

V Batería = voltaje nominal de la batería (voltios)

VAC = voltaje de la carga en AC. (voltios)

I = Corriente (A)

$$I_{\text{inversor}} = \frac{P_{\text{cargaAC}}}{V_{\text{Bateria}}}$$

$$I_{\text{CargaAC}} = \frac{P_{\text{cargaAC}}}{V_{\text{AC}}}$$

El convertidor puede tener un rendimiento al 70 % trabajando a un 20 % de la potencia nominal y del 85 % trabaja a una potencia superior al 40 % de la nominal AIMS, inversor con poder de 1 500 Watt con cargador de 10 Amp y apagado automático.

Protección contra la inversión de polaridad y cortocircuitos, se necesita tensión de trabajo de entrada y de salida, nominal, frecuencia nominal y factor de distorsión, sobrecarga que resiste, factor de potencia. 1 500 W Max modificado Sine continua de energía. Interruptor de transferencia cambia automáticamente cuando se pierde potencia de la ciudad. Alimentación de CA de 10 un cargador de batería funciona cuando está presente. Potencia de cable incluido para conectar a la orilla AC sola operación de ventilador de refrigeración.

Tabla XVII. **Características de un Inversor**

Fabricante	AIMS POWER
Marca	Aims
Modelo	PWRIC1500W
Peso del producto	8.3 pounds
Dimensiones del producto	21 x 3 x 9.5 pulgadas
País de origen	Taiwán
Número de modelo del producto	PWRIC1500W
Número de pieza del fabricante	PWRIC1500W

Fuente: Amazon. *Sistemas de energía eólica y solar para la alimentación de luminarias.*
<https://m.media-amazon.com/images/I/A1h+zB4lFyL.pdf>. Consulta: 15 de septiembre 2021.

4.2.3. Controlador de carga

$$I_R = I_{SC} * N(A)$$

$$I_R = 1,25 \frac{P_N}{V} * N(A)$$

Isc = corriente de cortocircuito (Amperios)

V = voltaje nominal del sistema fotovoltaico (voltios)

Se necesita la corriente de cortocircuito de cada panel y el número de paneles N.

Figura 18. Controlador de Carga



Fuente: AliExpress. *Estudio de Factibilidad de Generación eléctrica mediante energía eólica y solar fotovoltaica para el sector de Garauzhí de la parroquia quingeo perteneciente a la ciudad de Cuenca.* <https://es.aliexpress.com/item/1459623994.html?spm=a2g0o.detail.1000060.2.7ffea7e539cZrA&gps-id>. Consulta: 20 de octubre de 2021

Con las siguientes características

- Forma de conexión:
 - El controlador tiene 5 cables
 - Cable azul tres (3) conectar con turbina eólica
 - Cable rojo puerto de batería + Cable negro puerto de batería -

- Indicador de luz:
 - Hay 2 luces indicadoras Luz roja
 - Cuando la carga de descarga o el freno, estará encendido
 - Cuando se conecta a la batería, parpadeará Luz amarilla
 - Cuando más parpadeo rápido, más corriente para cargar la batería

4.2.4. Generador Asíncrono

Necesitan una corriente en el estator (inducido) para poder generar electricidad al momento de rotar, estos pueden ser los dínamos como los alternadores, que funcionan con el mismo principio de inducción.

4.2.5. Generador Síncrono

Por el campo magnético que utiliza imanes, no necesita una forma de excitación, pero el costo es elevado, tanto por su construcción y por el rango de velocidades que utiliza. Existen los de imanes permanentes, los cuales se conectan directamente a las palas al eje del motor.

4.2.6. Transmisión

Esto se refiere a la multiplicación de la rotación adquirida por la turbina, por la fuerza del viento, existe una variación a la velocidad y la fuerza del viento, estos no son constantes, entonces se necesita una relación para que se multiplique la vuelta de la turbina, el motor generador genere mayor número de vueltas para producir la energía suficiente para la alimentación que se necesita.

4.2.7. Alternadores trifásicos

La aplicación requiere que los alternadores de los vehículos produzcan electricidad de manera eficiente. Sin embargo, están diseñados para girar a altas velocidades; esto hace que sea un desafío aprovechar la energía eólica. Debido a que la fricción inhibe severamente la producción de energía, una mejor opción es usar múltiples, que también pierden energía debido a la fricción. Los alternadores son unidades electromecánicas compuestas por imanes y bobinas giratorias. Generan electricidad a través de la armadura magnética que los cepillos ayudan a dirigir hacia los campos de las bobinas. Son fáciles de regular, la intensidad magnética puede ser cambiada modificando la potencia de los campos.

4.2.8. Conversión de motores de inducción a alternadores

A bajas velocidades, la electricidad generada por los alternadores de imanes permanentes puede ser significativa. Las personas realizaron experimentos para probar esta afirmación y descubrieron que los motores cambiaban fácilmente su campo magnético.

Placas alternas de aluminio y acero componen la armadura del motor. Este exterior liso esconde un motor sin cables. Si la armadura se excavara en su lugar para albergar imanes permanentes, cambiaría rápidamente.

Los imanes de neodimio comerciales están disponibles en el tamaño y la forma correctos para ser útiles para la generación de electricidad. Estos imanes funcionan bien para generar electricidad con una clasificación de 10 a 20 amperios. Los motores de inducción utilizan un cable que es demasiado pequeño para producir calor o viento de manera eficiente. Las bobinas de un motor de inducción giran demasiado lentamente para generar mucha electricidad.

4.3. Diseño del generador

Para el diseño del generador se explican los criterios y métodos utilizados, así como el diseño del mismo.

4.3.1. Criterios de diseño

Un aerogenerador debe cumplir con ciertas especificaciones. Estos consisten en reconstruir o reemplazar componentes para crear un prototipo funcional. Si lo hace, reduce el costo total de la turbina eólica.

Para la creación del generador eléctrico se tiene en cuenta que produce electricidad a bajas revoluciones para minimizar los costos de construcción y generación. También se cree que un generador de imanes permanentes produce poca potencia, por debajo de 1 kilovatio.

4.3.2. Conversión de un motor monofásico a generador

La simplicidad de un motor de neodimio facilita la reconstrucción con un rotor de jaula de ardilla que se adapta fácilmente para mecanizar los imanes con imanes de 92 mm de diámetro. Al incorporar 10 imanes de neodimio en el rotor, es fácil trabajar con el motor. Se colocan los 10 imanes separados 36 grados de manera que quedaron perfectamente distribuidos sobre la superficie del rotor.

4.3.3. Aerogenerador

Un aerogenerador de 500 watts puede alimentar una batería de 60 Ah, durante 6 horas continuas, para proporcionar un soporte de 10 horas aproximadamente de respaldo con 6 focos led de 12 V.

4.3.3.1. Potencia nominal

Existen dos clasificaciones según las características

- Baja potencia: puede generar hasta 30 kw, los cuales utilizan para carga de baterías, instalaciones residenciales, áreas agrícolas.
- Moderada potencia: puede generar en el rango de 30 kw y 300 kw, para instalaciones interconectadas a la red eléctrica.
- Alta potencia: por arriba de los 300 kw, los cuales se usan en la red eléctrica común, utilizando el espacio para construir un parque eólico.

4.3.3.2. Orientación del rotor

- Eje vertical: No necesita un dispositivo de orientación, utilizando los vientos de cualquier dirección.
- Eje horizontal: aquellos de captación eólica desarrollados para la producción de energía eléctrica.

4.3.3.3. Aspas del generador

Considerando que se ubican para captar la energía cinética del viento y convertir el movimiento lineal de este en rotacional, trasmitiendo la energía al buje mecánico y luego al sistema electromagnético.

4.3.3.4. Sistema electromagnético

Conformado por bobinas colocadas en el estator, el rotor imantado, determinando en número de vueltas de alambre magneto que conformarán cada una de las bobinas del generador; utilizando imanes para obtener un campo magnético.

4.3.3.5. Rectificador trifásico

Es el convertidor de corriente alterna producida por la etapa electromagnéticas en corriente continua. Compuesto por dispositivos semiconductores para manejar potencias como diodos, transistores.

4.3.3.6. Sistema electrónico

Conformado por un microcontrolador para la regulación de la tensión y respuesta del sistema protegiendo el generador. Este recibe el voltaje (V) y corriente (I), las cuáles se estará cargando la batería. Lo anterior es importante por las variaciones de la velocidad del viento, regular el voltaje y corriente de carga.

4.3.3.7. Sistema de potencia

Generador trifásico, en condiciones normales del viento, entrega un voltaje elevado que el nominal para una batería, entonces se rectifica y dosifica por los controladores de potencia.

4.3.3.8. Zona de instalación

Colocar el generador en un espacio sin obstáculos físicos del aire (cómo árboles, edificios, entre otros.), se deben conocer cuáles son los vientos predominantes en la ubicación. Se debe instalar aproximadamente a 9 metros de cualquier obstáculo dentro de 90 metros.

4.3.3.9. Mantenimiento

Una turbina eólica 20 años debe ser su vida útil, para alargar su vida útil el mantenimiento es imprescindible.

4.3.3.10. Alambre o cable para utilizar

Se debe revisar el lugar donde se ubique el aerogenerador, que la longitud de cable sea la menor posible. Por la resistencia eléctrica de los cables, la obtención eléctrica de tu instalación puede ser menor a lo esperado. En los recorridos más largos de cable pase corriente alterna, así las pérdidas serán mínimas.

Tabla XVIII. Pérdidas en el voltaje

COMPONENTES	% DE CAÍDA
Generador - Controlador	< 3 %
Baterías - Controlador	< 1 %
Controlador - Cargas	< 5 %

Fuente: BUITRÓN PROAÑO, Ricardo David; BURBANO GUBE, Gisela Valentina.

Implementación de energía solar y estudio de la energía eólica en Puerto Roma.

<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2252/1/CD-2992.pdf>. Consulta: 15 de octubre 2021.

Considerando las fórmulas 13 y 14 para encontrar la corriente para el inversor se utiliza la siguiente ecuación para calcular el calibre del conductor.

$$\Delta V = R * L * I$$

ΔV = Caída de voltaje entre los extremos de los conductores

R = resistencia del conductor en [Ω / m]

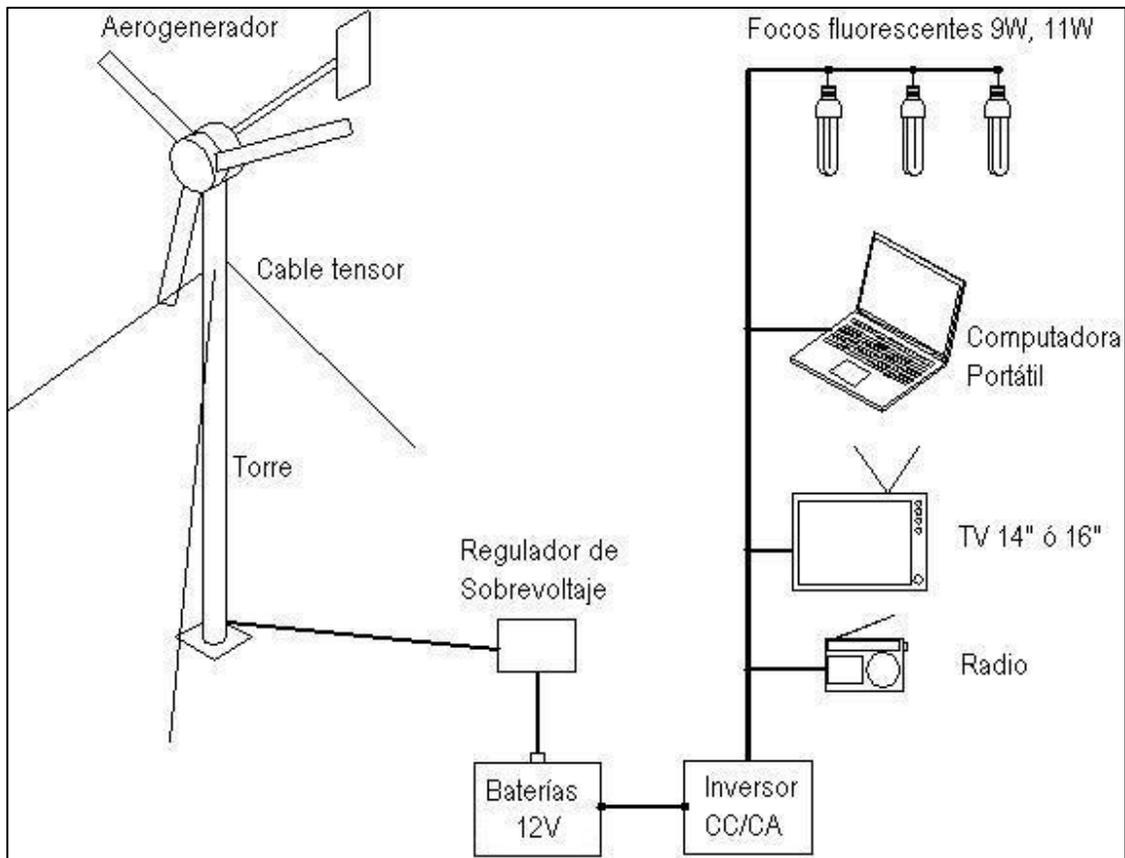
L = longitud entre componentes en [m]

I = corriente [A]

4.3.3.11. Tensión de la instalación

La tensión voltaje en toda la instalación debe ser la misma. Se instala un generador de 12v, los demás elementos (controlador, batería e inversor), también tienen que ser de 12v.

Figura 19. Utilización de la energía



Fuente: GUTIÉRREZ PERDOMO, Alan Schnaider. *Sistema de Energía Eólica y Solar para Alimentación de Luminarias Bogotá, 2020.* <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/25553>.

Consulta: 18 de octubre 2021.

4.3.3.12. Ecuación de la carga

A continuación, se para la obtención del prototipo se presenta la ecuación de carga:

$$B_m = \mu \frac{A_g}{A_m} * \frac{2t}{l_g} H_m$$

B_g = Densidad de campo magnético promedio dentro del entrehierro A_g = Área transversal promedio del entrehierro.

B_m = Densidad de Campo magnético en la superficie del imán. A_m = Área transversal del imán.

μ = Permeabilidad magnética del núcleo (aire)

H_m = Intensidad de campo magnético en la superficie del imán. l_g = campo magnético dentro del núcleo de aire (longitud).

4.3.3.13. Cálculo de los voltajes máximos

Velocidad de giro del rotor = 300 rpm

Voltaje de salida = 24 V DC

Número de pares de polos = 16

Frecuencia del voltaje inducido = $= \frac{300,16}{120} = 40 \text{ Hz}$

Velocidad angular del voltaje inducido

$\omega = 2.\pi.f$

Número de espiras por fase: $N_c = 160$

Número de bobinas por fase: $M_b = 8$

Número de espiras por bobina: $N = \frac{N_c}{M_b} = 20$

- Carga (horas de encendido)

Carga por día (vatios día) = potencia de la carga (W) x horas de trabajo

$$\text{Carga} = 60 \text{ w} * 10 \text{ hrs al día} = 600 \text{ vatios/día}$$

Se puede aplicar un factor de seguridad que puede estar entre el 20 y 30 %, esto para sobredimensionar el consumo, para no tener inconvenientes para la alimentación de lo que se necesita.

- Factor de seguridad = Carga por día *1.20

$$60 \text{ W} * 1,20 = 72 \text{ vatios/ día}$$

- Batería

Si se necesita mantener 10 horas de trabajo con una carga de 60 vatios y una alimentación a 12 voltios, una batería que proporcione corriente de:

$$60 \text{ w} / 12 \text{ V} = 5\text{A por hora.}$$

Capacidad de la batería (amperios/hora) = corriente * horas de trabajo 5 A * 10 hrs = 50 Ah.

Puede utilizarse: 53x24x22 cms. peso 56 kg Voltaje 12 (V) Capacidad 200 AH 10 horas Modelo YX 12-200.

4.3.3.14. Cables Conductores

En la tabla XIX se presentan los valores de electrocables, esta información es de importancia para la elaboración del prototipo.

Tabla XIX. **Valores electrocables**

Calibre	T-TW(60 °C)	THW-	V-MI(90 °C)
THWN-TTV(75°C)			
14	15A	15 ^a	25A
12	20A	20 ^a	25A
10	30A	30 ^a	40A
8	40A	45 ^a	50A
6	55A	65 ^a	70A
4	70 ^a	85 ^a	90 ^a
0	125 ^a	150 ^a	155 ^a
0	145 ^a	170 ^a	185 ^a
0	165 ^a	200 ^a	210 ^a
0	195 ^a	230 ^a	235 ^a

Capacidad de corriente de conductores awg

Fuente: TOAPANTA AGUILAR, Rodrigo Sebastián; HIDALGO GUERRERO, Jorge Luis.

Análisis e Implementación de una Pico Central Híbrida solar eólica para generar 500W en la Hacienda La Merced ubicada en el barrio Santa Ana del Pedregal, Parque Nacional Cotopaxi.

<http://autodesarrolloelectricidadpractica.blogspot.com/2011/05/continuacion.html>. Consulta: 20 de octubre 2021.

Tabla XX. **Valores Normalizados A.W.G**

Número AWG	Diámetro (mm)	Sección (mm ²)	Kg. Por Km.	Resistencia (Ω/Km.)
000	10,4	85,3		0,197
00	9,226	67,43		0,252
0	8,252	53,48		0,317
1	7,348	42,41	375	1,4
2	6,544	33,63	295	1,5
3	5,827	26,67	237	1,63
4	5,189	21,15	188	0,8

Continuación de la tabla XX.

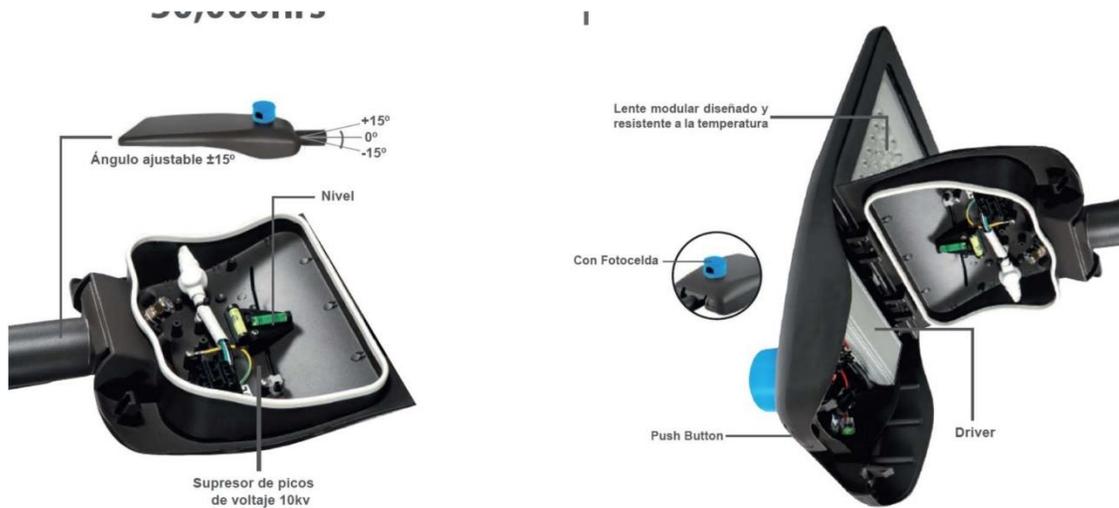
5	4,621	16,77	149	1,01
6	4,115	13,3	118	1,27
7	3,665	10,55	94	1,7
8	3,264	8,36	74	2,03
9	2,906	6,63	58,9	2,56
10	2,588	5,26	46,8	3,23
11	2,305	4,17	32,1	4,07
12	2,053	3,31	29,4	5,13
13	1,828	2,63	23,3	6,49
14	1,628	2,08	18,5	8,17

Fuente: TOAPANTA AGUILAR, Rodrigo Sebastián; HIDALGO GUERRERO, Jorge Luis.
Análisis e Implementación de una Pico Central Híbrida solar eólica para generar 500W en la Hacienda La Merced ubicada en el barrio Santa Ana del Pedregal, Parque Nacional Cotopaxi.
<http://autodesarrolloelectricidadpractica.blogspot.com/2011/05/continuacion.html>. Consulta: 20 de octubre 2021.

4.3.3.15. Luminaria

- Luminaria tipo cobra Watts led Lumens: 8 400 lm
- Consumo: 60 watts Voltaje: 85-265/277V Eficiencia: 140 lm/w Color: 6 000k
- Factor de potencia: >0.9 Grado de protección: IP66 CRI: ≥ 80
- KV: 10
- Temperatura de trabajo: -40 °c a 40 °c
- Temperatura de Color 6 000 K Luz Blanca 240mm 80mm 450 mm 50 000hr

Figura 20. Lámpara para alumbrado público



Fuente: Light Tec. *supresor de voltaje*. www.light-tec.com.gt. Consulta: 25 de octubre 2021.

Demanda de energía de la lámpara al día (Wh al día x horas) 650
Demanda de energía de la lámpara al día (kWh al día x horas) 0,650
Horas de trabajo al día (hrs) 11

Demanda de energía lámpara (kWh al año) 237,25

4.4. Cálculos del requerimiento del alumbrado público

En los siguientes incisos se describen los calculo necesarios para la elaboración del prototipo.

4.4.1. Rendimiento del acumulador

En la siguiente ecuación se puede apreciar el porcentaje necesario para el rendimiento del acumulador.

$$n_B = 100 \% - K_b \quad \text{fórmula 7}$$

$$n_B = 100 \% - 0,05 \%$$

$$n_B = 95 \%$$

4.4.2. Energía necesaria de acumulación

En la siguiente ecuación se puede apreciar la energía necesaria para el rendimiento del acumulador.

$$Q_M = \frac{E_T W_h}{n_b \text{ día}}$$

$$Q_M = \frac{240 \text{ wh}}{95 \% \text{ día}}$$

$$Q_M = 252,63 \frac{\text{Wh}}{\text{día}}$$

4.4.3. Aforo diario de acumulación

En la siguiente ecuación se puede apreciar el aforo necesario para el rendimiento del acumulador.

$$C = \frac{Q_M A H}{V \text{ día}}$$

$$CDA = \frac{252,63 \text{ Ah}}{12 \text{ día}}$$

$$CDA = \frac{21,052 \text{ Ah}}{\text{día}}$$

4.4.4. Capacidad total de la batería

En la siguiente ecuación se puede apreciar la capacidad necesaria para el rendimiento del acumulador.

$$C_{TB} = \frac{C_{DA} * D_A}{pdD} Ah$$

$$C_{TB} = \frac{21,052 * 1}{0,80} Ah$$

$$C_{TB} = 26,31578 Ah$$

4.4.5. Número de baterías

En la siguiente ecuación se puede apreciar la cantidad necesaria de baterías para el rendimiento del acumulador.

$$N_B = \frac{26,31578Ah}{100} Ah$$

$$N_B = 0,2631$$

$$N_B = 0,2631 \sim 1,00$$

Si se utiliza una batería de 100 Ah, con un día de 24 horas de autonomía.

$$N_B = \frac{26,31578Ah}{95} Ah$$

$$N_B = 0,2770$$

$$N_B = 0,2770 \sim 1,00$$

Si se utiliza una de 95 Ah, con un día de 24 horas de autonomía.

4.4.6. Inversor necesario

En términos generales es convertir los 12, 24, 48, u otra cantidad de voltaje de corriente continua que producen los aerogeneradores, para convertir a corriente alterna en 110 y/o 220 voltios, para suso de la energía convencional.

$$P_{\text{inversor}} = 1,25 * P_{\text{TAC}} (W)$$

$$P_{\text{inversor}} = 1,25 * 360$$

$$P_{\text{inversor}} = 450(W)$$

El inversor consta de un oscilador que controla a un transistor, lo utiliza para interrumpir lo que ingresa y generar una onda rectangular, entonces alimenta a un transformador que suaviza su forma.

4.4.7. Aerogenerador

En la siguiente ecuación se puede apreciar la energía necesaria para el rendimiento del acumulador.

$$P_e = n * P$$

$$P_e = 0,80 * 360 W$$

$$P_e = 288 W$$

$$P_m = c * Alt Asp * Dia rotor * velocidad^3$$

c = constante

Alt Asp = Altura de aspas en metros

Dia rotor = Diámetro del rotor

Velocidad = viento en metros/sg

Se necesita aproximadamente 2 Kwh/día 2

Kwh/día * 365 = 730 Kwh/año

Podría utilizarse para 4 lámparas de 240 watts / hrs

4.4.8. Conexión del inversor

En la siguiente ecuación se puede apreciar la potencia necesaria para el rendimiento del acumulador.

$$I_{carga AC} = \frac{240}{110}$$

$$I_{carga AC} = 2,18 A$$

Tabla XXI. Calibres de cable

Accesorios	Tipo de cable
Conductor Panel	cable 8 AWG (8,36 mm)
Conductor Panel - Regulador	cable 8 AWG
Conductor Regulador - Batería	cable 8 AWG
Conductor Batería - Inversor	cable 4 AWG (21 mm)

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Puede utilizarse un aerogenerador de 400W que se encuentra en el mercado guatemalteco de proveedores. Cada torre eólica tiene la capacidad de entregar 365w/día de potencia.

Figura 21. **Torre eólica**



Fuente: GALARZA VALAREZO, Giovanni; GORDILLO VERA, Carlos; RIVERA CÁCERES, Carlos. *Implementación de Energía Solar y Estudio de la Energía Eólica en Puerto Roma*. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/2106>. Consulta: 28 de octubre 2021.

El retorno de la inversión no es de significancia alguna, desde realizada la inversión inicial, considerando todos los costos indicados en la instalación, operación y mantenimiento del sistema, no se consideran de mayor cuantía.

El período estimado de vida útil del proyecto prototipo, según las indicaciones de las empresas expertas con base en sus manuales de fabricante, garantizan la operación, funcionamiento y eficiencia del sistema por 20 años, principalmente las torres eólicas que son los elementos principales, así como el convertidor electrónico de energía.

Para un cálculo de una inversión que incluya más de diez poblaciones, se utiliza una tasa de descuento de 5,0 %, equivalente a la tasa de interés anual promedio ponderada de las operaciones pasivas del sistema bancario consultado en febrero 2021, según el boletín de estadísticas financieras de la Superintendencia de Bancos.

Tabla XXII. **Costos de equipo y accesorios**

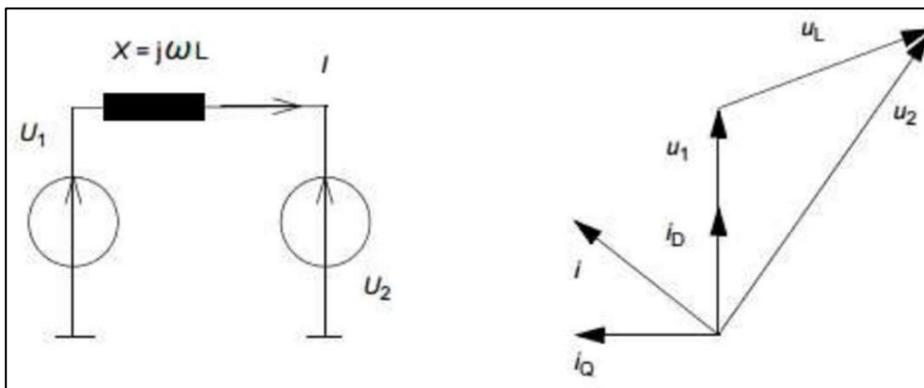
Equipo y/o accesorio	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Aerogenerador	1	Q 11 080,00	Q 11 080,00
Batería	2	Q 2 300,00	Q 4 600,00
Inversor	1	Q 3 360,00	Q 3 360,00
Controlador de carga	1	Q 600,00	Q 600,00
Cables 8 AWG	50 mts	Q 12,00	Q600,00
Cable 10 AWG	16 mts	Q10,00	Q 160,00
Cable 6 AWG	2 mts	Q 20,00	Q 40,00
			Q20 440,00

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

4.4.9. Diagramas eléctricos y electrónicos

Los convertidores tienen un lado de red y una fuente eléctrica. Ambos aspectos están representados por vectores de corriente eléctrica y voltaje. Un capacitor conecta voltaje y corriente en una red. Una figura muestra cuánta energía transfiere el capacitor a medida que sus vectores de voltaje y corriente cambian de dirección.

Figura 22. Diagrama fasorial para comprensión de potencia reactiva

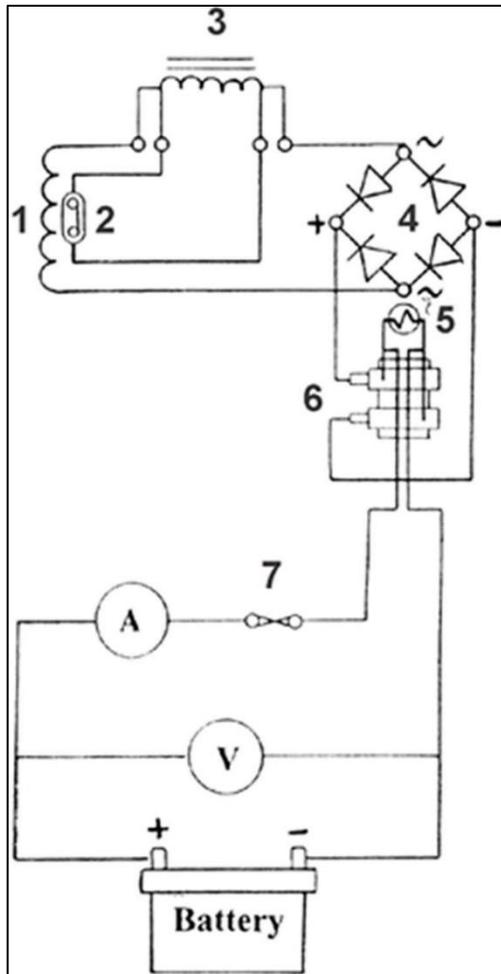


Fuente: CORREONERO BORDERÍA, Javier. *Circuitos eléctricos de un aerogenerador offshore*. <https://repositorio.comillas.edu/rest/bitstreams/20180/retrieve>. Consulta: 28 de octubre 2021.

El mecanismo de control de este dispositivo mantiene el flujo de energía entre la red de distribución de energía y el lado del generador. Esto se logra utilizando un controlador de flujo que manipula la longitud del vector de tensión como una integral de la longitud del vector de potencia. El controlador de par determina el ángulo δ entre las unidades 1 y 2. Como resultado, la dirección del flujo de potencia alterna entre las dos unidades.

Un rectificador es un dispositivo que convierte una corriente eléctrica en corriente continua y viceversa. Los convertidores funcionan como rectificadores combinados con convertidores, lo que permite transformar CC en CA. Esto permite que las corrientes de CC sean remediadas por rectificadores, lo que da como resultado una señal de CA de la mejor calidad.

Figura 23. **Diagrama de un circuito eléctrico**



Fuente: 910 SERIES WINDCHARGER MK1 & MKII. *Fault finding manual*. p. 10.

Los generadores representados en el circuito usan inductancias, representadas por una resistencia de 1, para generar electricidad sincrónicamente. Un inductor generador en serie conectado al inductor limitador de ondulación (3) permanece cortocircuitado con el contacto del termostato cerrado.

El rectificador está representado en el diagrama por el puente de diodos (4) conectados a los terminales del generador y al inductor limitador de ondulación.

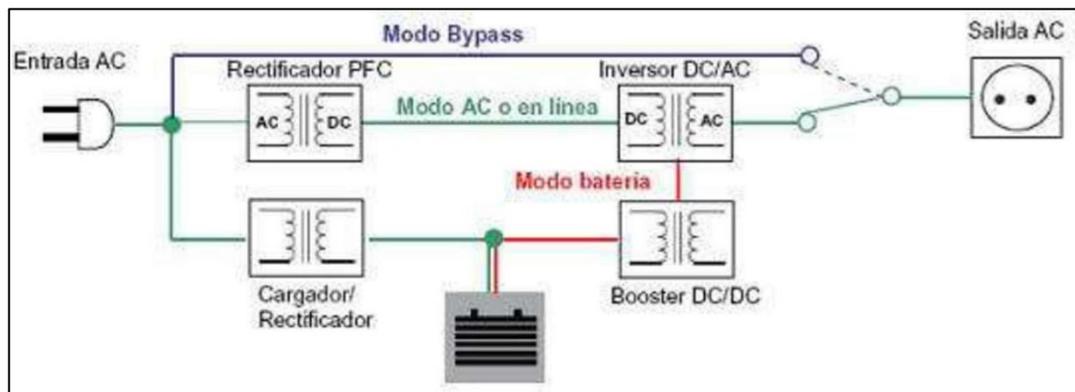
Un diodo de protección protege contra la inversión de polaridad y reduce el riesgo de picos de voltaje catastróficos. Los componentes de las figuras 5, 6 y 7 comprenden los anillos deslizantes y la protección del fusible.

Descripción de los componentes del diagrama:

- Bobina del generador: bobina incorporada juntamente con el termostato en el disco del estator.
- Termostato: Con su estado normalmente cerrado, o NC, el disco del estator incluye un componente protector que evita que su aerogenerador se sobrecaliente. Este mecanismo de cierre es necesario para evitar que la bobina del generador exceda sus límites.
- Inductor: instalado en serie con la bobina del generador, en la nácele de la turbina eólica.
- Puente rectificador: formada por cuatro diodos rectificadores encapsulados en una unidad integrada, referencia. Los componentes A y

V representan respectivamente un amperímetro y un voltímetro indicadores de corriente de carga y de tensión de carga de la batería.

Figura 24. **Sistema de alimentación Ininterrumpida**



Fuente: CORREONERO BORDERÍA, Javier. *Circuitos eléctricos de un aerogenerador offshore*. <https://repositorio.comillas.edu/rest/bitstreams/20180/retrieve>. Consulta: 28 de octubre 2021.

Una fuente de alimentación ininterrumpida o UPS funciona como fuente de alimentación para todos los dispositivos conectados. Estos dispositivos utilizan energía almacenada en baterías u otras fuentes de energía para proporcionar energía durante un corte de energía, una fluctuación de voltaje u otro mal funcionamiento. Algunos dispositivos incluso incluyen filtros extra para reducir los picos de tensión y eliminar armónicos de la fuente de alimentación en el caso de utilizar corriente alterna.

Modo Bypass: no es más que la conexión directa de la red a la carga. Cuando la fuente de alimentación del inversor no puede suministrar más, se da uno de los siguientes motivos.

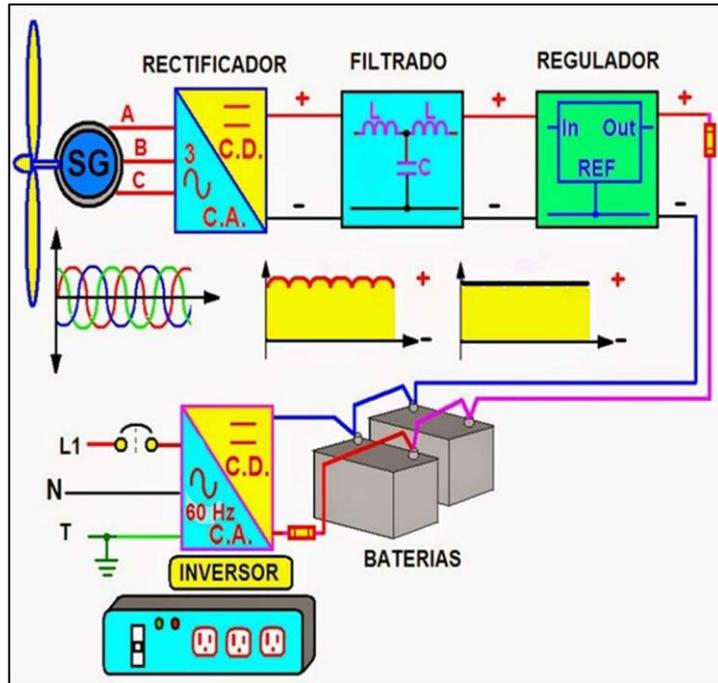
- Existe un daño el Inversor
- Una sobrecarga en el inversor
- Sobre temperatura en el equipo

Cuando el equipo necesita ser reparado o cuando deja de funcionar, el enchufe derecho se conecta a la línea *Bypass* para dejar descansar el equipo. Las cargas de los equipos se conectan directamente a la red.

Cualquier problema con el voltaje de la red se corrige a través de este método. El modo AC utiliza inversores para cambiar el voltaje de la red a corriente continua antes de volver a cambiar a corriente alterna. Esto se aplica luego a cualquier modo en línea.

Esta línea se utiliza cuando hay un corte de energía y se debe rectificar con una batería. La línea también contiene un amplificador DC/DC y un cargador/rectificador. El convertidor DC/DC *Boost* o *Booster* consume constantemente una pequeña corriente que mantiene las baterías cargadas. Toma un voltaje de entrada pequeño y proporciona un voltaje de salida continuo más alto que su entrada. Por el contrario, el cargador/rectificador consume una corriente mayor que carga las baterías. Una vez la corriente ha pasado por el *Booster*, se dirige al inversor para poder ser transformada en corriente alterna para la posterior alimentación de las cargas.

Figura 25. Diagrama de conexión energía eólica

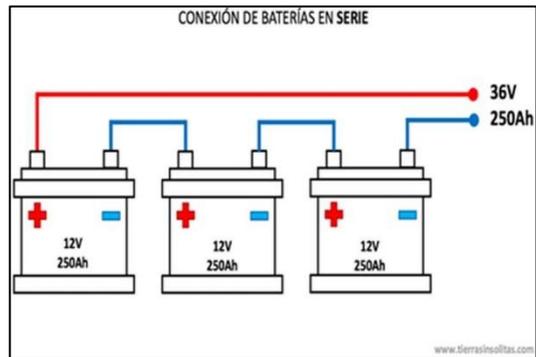


Fuente: ROMAN, Francisco. *Puerta nand y la integración funcional*.

<https://coparoman.blogspot.com/2014/11/>. Consulta: 30 de octubre 2021.

La tensión de salida es independiente de las perturbaciones de la línea producidas en el aerogenerador, también se utiliza la conexión en serie de las baterías para un mejor rendimiento. Se consigue que las tensiones sumen, pero la capacidad del conjunto se mantenga en los mismos Ah. Ejemplo de sumar las tensiones $12V+12V = 24V$.

Figura 26. **Conexión de Baterías en Serie**

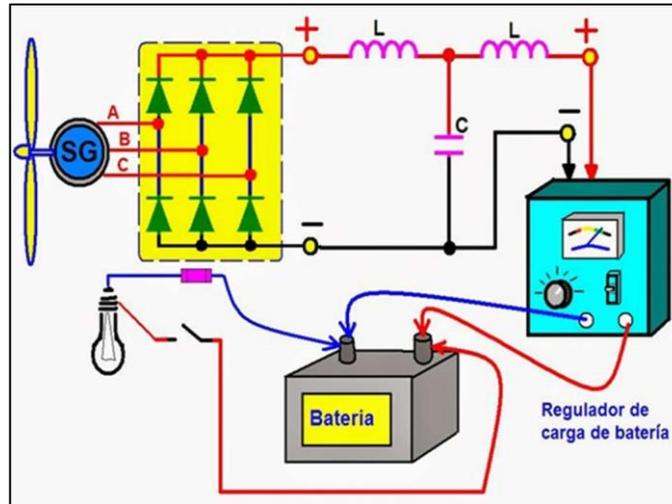


Fuente: Tierras Insólitas. *conexión de baterías en serie*. www.tierrasinsolitas.com. Consulta: 30 de octubre 2021.

Se deber evitar la conexión de paralelos en baterías, puede que al inicio sea efectivo, pero no es así tienden a tener fallos los cuales se pueden mencionar los siguientes:

- Carga no es uniforme, resistencia interna de las baterías variable.
- Capacidad por su funcionamiento es inferior a la esperada.
- Desgaste de las baterías se aligera.
- Longitud de cables no es igual.

Figura 27. Diagrama de conexión con regulador de carga de batería



Fuente: ROMAN, Francisco. *Puerta nand y la integración funcional*.
<https://coparoman.blogspot.com/2014/11/>. Consulta: 30 de octubre 2021.

Es obtener un voltaje controlado para poder alimentar el equipo como también almacenar energía eléctrica cargando baterías cuando no se tiene el viento necesario para generar. Evita el exceso de carga de la batería, regulando el valor de la carga, prevenir la sobrecarga de la batería, automáticamente se desconecta al tener la batería carga suficiente; sirve de alimentador de funciones para el conectar y desconectar la alimentación de carga eléctrica.

4.4.10. Determinar Pérdidas de Potencia en el alumbrado

La pérdida de potencia en el cable de alimentación de la luminaria, se determinar con la siguiente fórmula:

$$P = \left[\frac{P_T LUM}{V * fp} \right] * r$$

$P_{T.LUM}$ = Potencia total de la luminaria (W)

V = voltaje nominal de la luminaria (v)

fp = factor de potencia de la luminaria = resistencia del cable

En un sistema eléctrico, en el NEC se establece que tres partes son las principales:

- Acometida general y centro de carga
- Circuitos alimentadores y sub alimentadores
- Circuitos ramales

Un sistema eléctrico tiene un lado de potencia, que incluye equipos de potencia como un tablero principal o centro de carga, equipos de conmutación y protección y dispositivos conectados. También en el lado de la potencia están las piezas que se conectan a los circuitos alimentadores, los circuitos derivados y las cargas que alimentan. Luego están los circuitos subalimentadores y los circuitos derivados que se conectan a los tableros secundarios, que son los otros componentes en los tableros de circuitos de un sistema eléctrico. Otro circuito derivado se conecta a los dispositivos de protección y al sistema de puesta a tierra que se conecta a los alimentadores y tableros secundarios.

Los circuitos derivados utilizan motores, lámparas, computadoras, enchufes, motores y otros equipos para realizar las tareas cotidianas. Estos circuitos también utilizan conductores para alimentar dispositivos de protección.

Cambiar el orden durante las etapas de diseño del circuito evita cometer errores. Para crear un circuito eléctrico correctamente, use estas proporciones en este orden:

- La carga
- El dispositivo de protección
- El conductor

El Código NEC proporciona estándares eléctricos efectivos para todas las instalaciones eléctricas. Estos estándares garantizan la protección adecuada de los equipos, las personas y la propiedad, al mismo tiempo que promueven la eficiencia eléctrica. Seguir el Código NEC en su orden correcto garantiza que todos los sistemas eléctricos cumplan con estos estándares. El Código NEC no es un manual de diseño o ingeniería; es una fuente de información sobre estándares eléctricos y métodos de instalación adecuados.

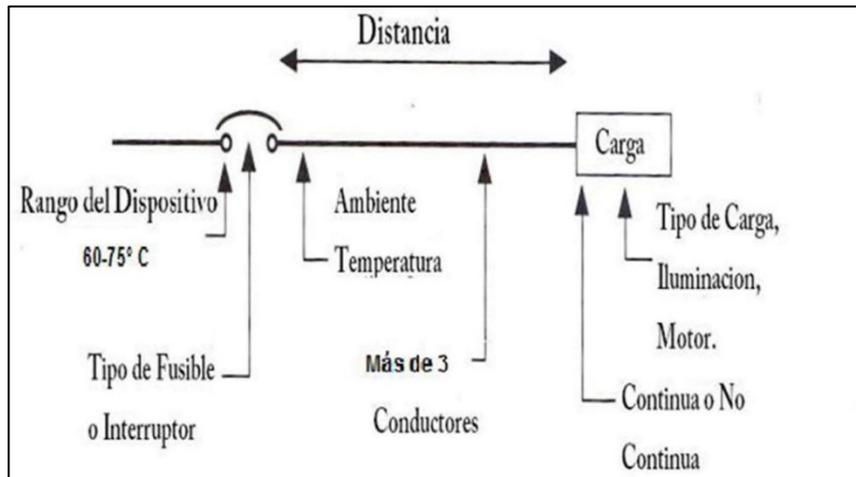
Considerando el generador eólico con una salida de 400 W y un sistema de 12 Vcd, se tiene como resultado la salida en Amperios de 33,33.

$$a = \frac{400 \text{ W}}{12 \text{ v}} 33,33 \text{ amp}$$

Capacidad sugerida de la batería: ≥ 100 Ah

Al aplicar factores de corrección a variables eléctricas o circuitos, como circuitos y alimentadores, los estándares NEC establecen que se deben realizar ajustes para mejorar su desempeño. Esto se debe a que al calcular los factores de corrección se deben considerar cargas superiores a los 60°C de la columna #8 TW, del Anexo IV de la tabla 310-16.

Figura 28. Diagrama las variables eléctricas



Fuente: TOM, Henry. *Electrical Designing Workbook*. p.67.

Al determinar los parámetros de diseño para el análisis de corriente eléctrica (designado VD), el ingeniero considera la distancia al conductor, el voltaje proporcionado por este, la corriente en amperios que transporta el conductor y el diámetro o área del conductor. También consideran si el conductor está hecho de aluminio o cobre y su resistividad. Posteriormente, consideran cuántos conductores están presentes en el circuito, monofásicos o trifásicos.

$$VD = \frac{C \times K \times D \times I}{CM}$$

C = 2 conductores monofásicos; 1 732 para conductores trifásicos.

K = constante de resistividad del material (12,85 para cobre y 21 para aluminio).

D = distancia en pies, se hace la conversión de metros a pies. I = corriente en amperios.

CM = circular mils, área del conductor (Kcmil) VD = Caída de voltaje, en voltios.

Conforme a la caída de voltaje en cualquier circuito eléctrico, por la corriente atravesando por la resistencia del conductor, el voltaje en terminales de la carga siempre será menor que el de la fuente de voltaje.

Si la carga de un circuito es de 2.18 A, obtenido este amperaje por la fórmula 14, encontrada en la página 105 del documento y una distancia de la carga 220 pies (máxima de las luminarias utilizando cuatro), conductor de cobre, carga alterna. Utilizando el valor de 16 510 circular mils, de un cable #8. Calcular caída de voltaje.

$$VD = \frac{2 \times 220 \times 12,85 \times 2,18}{16\,510}$$

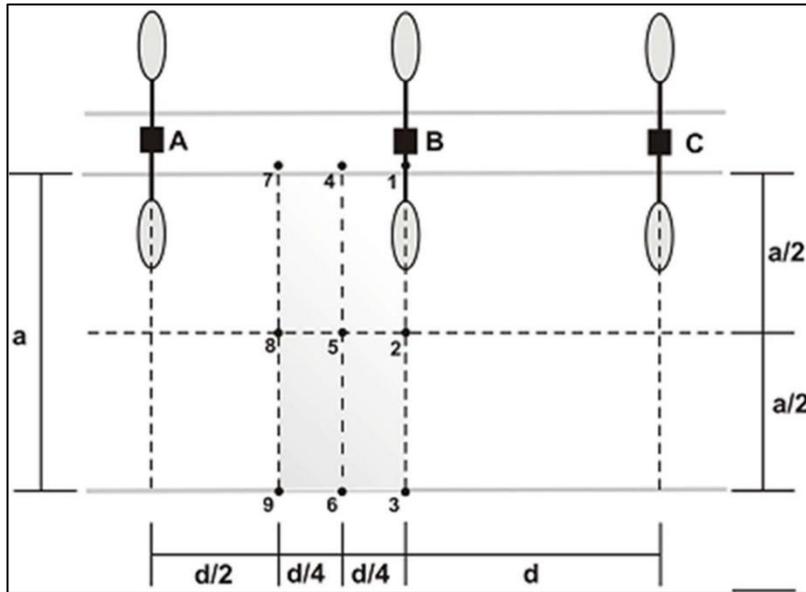
$$VD = \frac{12\,325}{16\,510} = 0,7465$$

$$VD = 0,75$$

El resultado se encuentra en los parámetros permitidos de pérdidas de voltaje.

La distribución aproximada sería la siguiente:

Figura 29. Diagrama las luminarias



Fuente: Secretaría de Energía. *NORMA Oficial Mexicana NOM-013-ENER-2013, Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en vialidades.* p. 19.

Donde a es el ancho de calle y d es la distancia inter postal de la vialidad que se mide el nivel de iluminancia.

$d = 20$ mts.

Este proyecto es uno de muchos de acceso y asequibilidad a la energía eléctrica que se deben implementar en Guatemala, identificando factores en las políticas de electrificación rural, así como aquellos que deben lograr el acceso en todo el país.

Para el aumento del índice de electrificación en Guatemala resalta el rol del Estado en otorgar recursos para costear proyectos de electrificación rural en zonas donde los proveedores no están obligados a brindar conexión a la red.

Estos recursos son financiados con fondos propios del INDE y préstamos de organismo internacionales.

En medios rurales aislados, resalta la gestión social de los proyectos de electrificación rural que promueve la racionalización y uso eficiente de la electricidad. Además, la estimulación por proyectos de generación distribuida renovable y auto productores con excedentes de energía. Es aquí donde el proyecto genera la idea de implementar sistemas de generación eólica en las comunidades aisladas, aprovechando la ubicación de estos y el uso para la población.

Para 2019, Guatemala alcanzó una cobertura eléctrica del 92,5 %, presentando una tendencia de aumento en los últimos años. A la fecha, aún hay departamentos que presentan índices de cobertura por debajo del 80,0 %.

Sin embargo, el proyecto genera un flujo económico positivo para el retorno de la inversión realizada para instalar y mantener el sistema eólico. Sin embargo, se interponen varios desafíos, como los obstáculos políticos y las complicaciones financieras. Si no se generan ahorros, se deben cuantificar otro tipo de beneficios en la comunidad, como los beneficios sociales a futuro derivados de la electrificación de las calles, avenidas, lugares públicos.

El proyecto de generación eólica puede generar una fuente de ahorro, como se demostró anteriormente, indicando el beneficio económico para su operación anual, con lo que se puede destinar recursos económicos para otros proyectos

de mejora en las comunidades. En estos casos el índice de electrificación se vería aumentado actualmente, pues algunas no tienen acceso a la energía eléctrica.

- Análisis sobre beneficios ambientales

Varios beneficios se perciben con la implementación de sistemas eólicos a nivel mundial, beneficios en diversos temas uno de los cuales es el beneficio al medio ambiente a través de la reducción de la huella de carbono en la generación de energía.

La diversificación de la matriz y la seguridad energéticas refiriéndose a la fuente de la cual viene la materia prima para generar energía, pudiendo ser renovable o no renovable. Entre las fuentes de emisión de gases de efecto invernadero y enfocar esfuerzos de mitigación, está la huella de carbono.

En este caso aplica para la generación de energía por medio tradicionales como los recursos no renovables parte de la matriz energética de Guatemala. El concepto es considerado una herramienta útil para el desarrollo de estrategias y políticas para la reducción de emisiones de dichos gases.

Para la matriz energética de Guatemala, por cada kilovatio hora (kwh) generado con el sistema fotovoltaico se reduce 0,75 kg. de gases de efecto invernadero o dióxido de carbono (CO₂) que se transmiten a la atmosfera cuando la energía se genera con recursos no renovables fósiles.

El ahorro de CO₂ equivale a generar energía con recursos renovables, mientras que el aumento de las emisiones equivalentes a cortar árboles o quemar combustibles fósiles. Cada torre eólica puede generar pequeños cambios para llevar una vida más sostenible y reducir las emisiones de carbono.

Es decir, el efecto ambiental que se presenta es amplio y será perceptible por todo el municipio, además este proyecto abre la posibilidad de generar proyectos, por ejemplo, edificios públicos, estaciones de servicio bomberos, hospitales.

Los beneficios sociales son los que permiten a la comunidad incrementar su nivel de bienestar como consecuencia por el proyecto de generación eléctrica, podrían obtenerse por la implementación, la mejora en las condiciones de infraestructura, mejora en servicios básicos de saneamiento del agua.

La utilización eficiente de los recursos es una tarea que deben buscar las instituciones públicas para la correcta administración y máximo aprovechamiento de estos, son las personas de la comunidad, que reciben directamente los beneficios sociales, los indirectos son los cambios o variaciones en el consumo de bienes o servicios relacionados, es decir complementarios, provocados al llevar a cabo el proyecto.

Los costos sociales del proyecto son mínimos comparados con los beneficios que se pueden obtener con el proyecto de la electrificación está vinculada directamente con diversos aspectos del desarrollo económico y social de la comunidad.

CONCLUSIONES

1. Se puede implementar un sistema para generar energía eléctrica por medio de la velocidad del viento, por diversos factores socioeconómicos un sistema de alumbrado a base de energía eólica en comunidades aisladas aleatorias, evitando la contaminación de CO₂ u otro contaminante.
2. El diagnóstico actual en comunidades aisladas aleatorias del departamento de Guatemala, indica que tienen problemas para tener un servicio de energía en sus hogares como también en las calles comunes de estos lugares, utilizando la generación de energía renovable.
3. Es posible generar energía eléctrica alternativa por medio de la velocidad del viento, por medio de aerogenerador individual, en consecuencia, se determina que puede utilizarse aquellas energías renovables, destacando los beneficios ambientales de esta reproducción energética.
4. La demanda, es bastante alta en estas comunidades, porque no tienen acceso a la red eléctrica nacional para consumo, menos poseer focos de alumbrado público.
5. Según los resultados de la investigación, se estableció la cantidad necesaria de energía para abastecer los requerimientos y toma de decisiones de alumbrado a base de energía eólica en comunidades aisladas aleatorias.

6. Analizando las diversas limitaciones que existen actualmente en la electrificación rural, permite concluir que esta alternativa presenta beneficios sociales y pueden mejorar los servicios básicos.

7. Se estableció un número de luminarias según la capacidad de generación de potencia del aerogenerador, para el beneficio de los habitantes de estas comunidades del departamento de Guatemala.

RECOMENDACIONES

1. Tener como prioridad la implementación de estos proyectos, siendo viables de generar beneficios sociales, el buen desempeño de estos puede impulsar la implementación de sistemas que carecen del servicio eléctrico, como replicarlo en otros municipios, donde los estudios evidencien viable el proyecto.
2. Promover en el corto plazo la implementación de este tipo de generación en las comunidades, puede generar un ahorro de recursos financieros de las municipalidades, donde se podría reorientar posteriormente para la mejora de los servicios esenciales en esas comunidades.
3. Evaluar a varios proveedores formales de sistemas eólicos, estableciendo criterios de selección equívocos, para el cumplimiento de las normativas de compras del Estado.
4. Proveer el apoyo técnico y logístico para gestionar los recursos económicos necesarios para la programación, valoración y realización de proyectos de electrificación rural, una vez diseñados los requerimientos técnicos y características específicas, utilizando sistemas eólicos, como estrategia de expansión de la electrificación rural.
5. Cooperar con arduos esfuerzos en la orientación correcta para ampliar el índice de cobertura eléctrica del país, generando los beneficios sociales y ambientales necesarios para el país.

BIBLIOGRAFÍA

1. BONS, Norbert. *Solar y evaluación de recursos eólicos*. Guatemala: GEF/MEM-DGE/Fundación Solar, 2005. 319 p.
2. BORBELY, Marie; JAN, Kreider. *Distributed generation the power paradigm for the new millennium*. Estados Unidos: CRC Press, 2001. 292 p.
3. CASTELLS, Xavier Elías. *Energía, agua, medioambiente, territorialidad y sostenibilidad*. España: Díaz de Santos, 2012. 211 p.
4. Centro Tecnológico de la Energía y del Medio Ambiente CETENMA. *Generación eléctrica distribuida, potencia de generación de electricidad fotovoltaica sobre cubiertas en la región de Murcia*. España: CETENMA, 2012. 352 p.
5. Comisión Nacional De Energía Eléctrica CNEE. *Norma Técnica de Generación Distribuida Renovable y Usuarios Auto productores con Excedentes de Energía*. Guatemala: CNEE, 2014. 231 p.
6. Comité de Estudio C6. *Sistemas de Distribución y Generación Dispersa*. Argentina: Universidad Nacional de San Juan, 2009. 331 p.
7. Congreso de la República de Guatemala. *Ley General de Electricidad, Decreto 93-96*. Guatemala: Tipografía Nacional, 1996. 27 p.

8. DE JUANA, José Maria. *Energías renovables para el Desarrollo*. España: Paraninfo, 2003. 231 p.
9. DE LUCAS MARTÍNEZ, Antonio. *Termotecnia básica para ingenieros químicos: procesos termodinámicos y máquinas*. España: Ediciones de la Universidad de Castilla de la Mancha, 2007. 419 p.
10. Fundación Gas Natural. *Energía y Ambiente. La Micro generación, ¿Qué es la Micro generación?* España: FENOSA, 2010. 543 p.
11. GIPE, Paul. *Energía eólica práctica*. España: PROGNSA, Promotora General de Estudios, S.A. 2000. 123 p.
12. GONZÁLEZ, Francisco M. *Tecnologías de generación distribuida: Costos y eficiencia*. Venezuela: UNEXPO, 2004. 320 p.
13. HAU, Erich. *Wind turbines: fundamentals, technologies, application, economics*. 2a ed. Estados Unidos de América: Springer, 2006. 231 p.
14. Instituto Nacional De Estadística INE. *XII Censo Nacional de Población y Vivienda*. Guatemala: INE, 2018. 200 p.
15. Instituto Nacional De Electrificación -INDE-. *Proyecto de Electrificación Rural INDE contenido en el Programa de Electrificación Rural, año 2011*. Guatemala: INDE, 2011. 320 p.
16. ISLAS SAMPERIO, Jorge M. *Hacia un sistema energético mexicano bajo en carbono: desplegando el potencial de las energías renovables y*

del ahorro y uso eficiente de la energía. México: Reflexio Ediciones, 2015. 96 p.

17. JAÉN GONZÁLEZ, Antoni. *Tecnología energética y medio ambiente II*. Universidad Politécnica de Cataluña, 2009. 207 p.
18. Labein Tecnalia. *Guía básica de la generación distribuida*. España: Gráficas Elisa, S.A., 2012. 320 p.
19. LÓPEZ LEZAMA, Jesús María. *Ubicación y dimensionamiento óptimo de la generación distribuida en sistemas de energía eléctrica*. Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira, 2009. 217 p.
20. MATAIX PLANA, Claudio. *Turbomáquinas hidráulicas: turbinas hidráulicas, bombas, ventiladores*. España: Universidad Pontificia de Comillas, 2009. 188 p.
21. Ministerio de Energía y Minas MEM. *Balance energético nacional. Manuscrito no publicado. Dirección General de Energía*. Guatemala: MEM. 2006. 321 p.
22. Ministerio de Energía y Minas -MEM-. *Plan de expansión del sistema de generación y transporte 2018-2032*. Guatemala: MEM, 2017. 72 p.
23. PACHECO, Hernán F. *Adecuación de la Generación Distribuida en los sistemas de Distribución Actual*. Venezuela: Ener Dossier, 2009. 210 p.

24. ROLDÁN VILORIA, José. *Energías renovables. Lo que hay que saber*. España: Ediciones Paraninfo, 2013. 190 p.
25. ROSITO MONZÓN, Juan Carlos; ZURITA FUENTES, Ana Cecilia. *Perfil energético de Guatemala*. Guatemala: Universidad Rafael Landívar, 2018. 194 p.
26. SÁNCHEZ, Eduardo. *Smart energy. TIC y energía: Un futuro eficiente*. España: Ariel, 2013. 231 p.
27. Siemens Power Technologies International. *Technical assesments of Sri Lankas's renewable resources based electricity generation*. Inglaterra: Siemens, 2005. 158 p.
28. TOAPANTA AGUILAR, Rodrigo Sebastián; HIDALGO GUERRERO, Jorge Luis. *Análisis e Implementación de una Pico Central Híbrida Solar Eólica*. Ecuador: Universidad Técnica de Cotopaxi, 2016. 176 p.
29. WILDI, Theodore. *Máquinas eléctricas y sistemas de potencia*. 6a ed. México: Academia, 2007. 177 p.
30. YEBRA MORÓN, Juan Antonio. *Sistemas eléctricos de distribución*. España: Reverté, 2009. 183 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. **Tabla para referencias de pérdidas en los equipos y/ o dispositivos**

Coeficiente de pérdidas (rendimiento del acumulador)	kb	0,05
Coeficiente de pérdidas en el inversor	Kc	0,005
Coeficiente de pérdidas (Transmisión, efecto Joule, entre otros).	Kv	0,05
Coeficiente de autodescarga de las baterías	Ka	0,05
Días de autonomía de la instalación	Da	2
Profundidad de descarga de la batería	Pd	80 %

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Apéndice 2. **Tabla de características técnicas del inversor**

Potencia Max. DC	11 500	W
Voltaje Máximo	600	V
Rango Voltaje Mínimo	230	V
Rango Voltaje Máximo	500	V
Corriente Máxima Entrada	46,7	A
Potencia Nominal	9 995	W
Potencia Máxima	9 995	W
Voltaje Nominal AC	208	V
Rango Voltaje AC Mínimo	183	V
Rango Voltaje AC Máximo	229	V
Eficiencia Máxima	90,0 a 95,0 %	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Apéndice 3. **Modelo 600Vdc-208Vac**

Voltaje Inversor	Watts	Tamaño del cable (AWG)
12	600	2
12	800	2
12	1 000	2/0
12	1 500	4/0

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

ANEXOS

Anexo 1. Capacidades permitibles de corriente en conductores

Calibre AWG o Kcmil	Capacidad nominal de temperatura del conductor (véase la Tabla 310-13)						Calibre AWG o Kcmil
	60 °C (140°F)	75 °C (167°F)	90 °C (194°F)	60 °C (140°F)	75 °C (167°F)	90 °C (194°F)	
	TIPOS TW, UF	TIPOS FEPW, RH, RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE, ZW	TIPOS TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH, RHW-2, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, USE- 2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	TIPOS TW, UF	TIPOS RH, RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE	TIPOS TBS, SA, SIS, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, RHH, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE				
18	—	—	14	—	—	—	—
16	—	—	18	—	—	—	—
14*	20	20	25	—	—	—	—
12*	25	25	30	20	20	25	12*
10*	30	35	40	25	30	35	10*
8	40	50	55	30	40	45	8
6	55	65	75	40	50	60	6
4	70	85	95	55	65	75	4
3	85	100	110	65	75	85	3
2	95	115	130	75	90	100	2
1	110	130	150	85	100	115	1
1/0	125	150	170	100	120	135	1/0
2/0	145	175	195	115	135	150	2/0
3/0	165	200	225	130	155	175	3/0
4/0	195	230	260	150	180	205	4/0
250	215	255	290	170	205	230	250
300	240	285	320	190	230	255	300
350	260	310	350	210	250	280	350
400	280	335	380	225	270	305	400
500	320	380	430	260	310	350	500
600	355	420	475	285	340	385	600
700	385	460	520	310	375	420	700
750	400	475	535	320	385	435	750
800	410	490	555	330	395	450	800
900	435	520	585	355	425	480	900
1000	455	545	615	375	445	500	1000
1250	495	590	665	405	485	545	1250
1500	520	625	705	435	520	585	1500
1750	545	650	735	455	545	615	1750
2000	560	665	750	470	560	630	2000

FACTORES DE CORRECCIÓN							
Temp. ambiente en °C	Para temperaturas ambientes distintas de 30°C (86°F), se multiplican las anteriores capacidades de corriente por el factor apropiado de los siguientes:						Temp. ambiente en °F
21-25	1.08	1.05	1.04	1.08	1.05	1.04	70-77
26-30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	78-86
31-35	0.91	0.94	0.96	0.91	0.94	0.96	87-95
36-40	0.82	0.88	0.91	0.82	0.88	0.91	96-104
41-45	0.71	0.82	0.87	0.71	0.82	0.87	105-113
46-50	0.58	0.75	0.82	0.58	0.75	0.82	114-122
51-55	0.41	0.67	0.76	0.41	0.67	0.76	123-131
56-60	—	0.58	0.71	—	0.58	0.71	132-140
61-70	—	0.33	0.58	—	0.33	0.58	141-158
71-80	—	—	0.41	—	—	0.41	159-176

Fuente: Ocal. NEC 310-16 Allowable Ampacities of Insulated Conductors. p. B35.

Anexo 2. Propiedades de los conductores

Calibre (AWG o kcmil)	Área (Mils circulares)	Conductores				Resistencia de corriente continua a 75°C (167°F)			
		Trenzado		Total		Cobre		Aluminio	
		Cantidad	Diámetro (pulgadas)	Diámetro (pulgadas)	Área (pulgadas ²)	No recubiertos (ohm/1000 pies)	Recubiertos (ohm/1000 pies)	(ohm/1000 pies)	
18	1620	1	—	0.040	0.001	7.77	8.08	12.8	
18	1620	7	0.015	0.046	0.002	7.95	8.45	13.1	
16	2580	1	—	0.051	0.002	4.89	5.08	8.05	
16	2580	7	0.019	0.058	0.003	4.99	5.29	8.21	
14	4110	1	—	0.064	0.003	3.07	3.19	5.06	
14	4110	7	0.024	0.073	0.004	3.14	3.26	5.17	
12	6530	1	—	0.081	0.005	1.93	2.01	3.18	
12	6530	7	0.030	0.092	0.006	1.98	2.05	3.25	
10	10380	1	—	0.102	0.008	1.21	1.26	2.00	
10	10380	7	0.038	0.116	0.011	1.24	1.29	2.04	
8	16510	1	—	0.128	0.013	0.764	0.786	1.26	
8	16510	7	0.049	0.146	0.017	0.778	0.809	1.28	
6	26240	7	0.061	0.184	0.027	0.491	0.510	0.808	
4	41740	7	0.077	0.232	0.042	0.308	0.321	0.508	
3	52620	7	0.087	0.260	0.053	0.245	0.254	0.403	
2	66360	7	0.097	0.292	0.067	0.194	0.201	0.319	
1	83690	19	0.066	0.332	0.087	0.154	0.160	0.253	
1/0	105600	19	0.074	0.372	0.109	0.122	0.127	0.201	
2/0	133100	19	0.084	0.418	0.137	0.0967	0.101	0.159	
3/0	167800	19	0.094	0.470	0.173	0.0766	0.0797	0.126	
4/0	211600	19	0.106	0.528	0.219	0.0608	0.0626	0.100	
250	—	37	0.082	0.575	0.260	0.0515	0.0535	0.0847	
300	—	37	0.090	0.630	0.312	0.0429	0.0446	0.0707	
350	—	37	0.097	0.681	0.364	0.0367	0.0382	0.0605	
400	—	37	0.104	0.728	0.416	0.0321	0.0331	0.0529	
500	—	37	0.116	0.813	0.519	0.0258	0.0265	0.0424	
600	—	61	0.099	0.893	0.626	0.0214	0.0223	0.0353	
700	—	61	0.107	0.964	0.730	0.0184	0.0189	0.0303	
750	—	61	0.111	0.998	0.782	0.0171	0.0176	0.0282	
800	—	61	0.114	1.030	0.834	0.0161	0.0166	0.0265	
900	—	61	0.122	1.094	0.940	0.0143	0.0147	0.0235	
1000	—	61	0.128	1.152	1.042	0.0129	0.0132	0.0212	
1250	—	91	0.117	1.289	1.305	0.0103	0.0106	0.0169	
1500	—	91	0.128	1.412	1.566	0.00858	0.00883	0.0141	
1750	—	127	0.117	1.526	1.829	0.00735	0.00756	0.0121	
2000	—	127	0.126	1.632	2.092	0.00643	0.00662	0.0106	

Fuente: Ocal. *NEC 310-16 Allowable Ampacities of Insulated Conductors*. p. B13.