



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ANÁLISIS DE LA PREFACTIBILIDAD TÉCNICA Y
ECONÓMICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE AEROGENERADORES VERTICALES DE
BAJA POTENCIA EN USUARIOS AUTOPRODUCTORES CON EXCEDENTES DE ENERGÍA
EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**

Edgar Iván Osorio Salán

Asesorado por el Msc. Ing. Alan Henry Arfaxad Camajá Tum

Guatemala, octubre de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ANÁLISIS DE LA PREFACTIBILIDAD TÉCNICA Y
ECONÓMICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE AEROGENERADORES VERTICALES DE
BAJA POTENCIA EN USUARIOS AUTOPRODUCTORES CON EXCEDENTE DE ENERGÍA
EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

EDGAR IVÁN OSORIO SALÁN

ASESORADO POR EL MSC. ING. ALAN HENRY ARFAXAD CAMAJÁ TUM

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELÉCTRICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Jorge Gilberto González Padilla
EXAMINADOR	Ing. Fernando Alfredo Moscoso Lira
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
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:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ANÁLISIS DE LA PREFACTIBILIDAD TÉCNICA Y
ECONÓMICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE AEROGENERADORES VERTICALES DE
BAJA POTENCIA EN USUARIOS AUTOPRODUCTORES CON EXCEDENTE DE ENERGÍA
EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 11 de mayo de 2022.

Edgar Iván Osorio Salan

EEPFI-PP-0637-2022

Guatemala, 26 de abril de 2022

Director
Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica
Presente.

Estimado Ing. Rivera

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

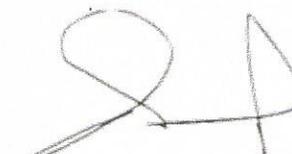
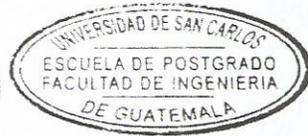
El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ANÁLISIS DE LA PREFACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE AEROGENERADORES VERTICALES DE BAJA POTENCIA EN USUARIOS AUTOPRODUCTORES CON EXCEDENTE DE ENERGÍA EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA.**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Gestión y uso eficiente de la energía - Recursos energéticos y su potencial**, presentado por el estudiante **Edgar Iván Osorio Salan** carné número **9713431**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Energía Y Ambiente.

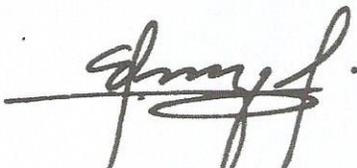
Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Atentamente,

Id y Enseñad a Todos "

Alan Henry Arfaxad Camajá Tum
Ingeniero Electricista
Colegiado: 15714
Mtro. Alan Henry Arfaxad Camajá Tum
Asesor(a)


Mtro. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador(a) de Maestría



Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería




EEP-EIME-0637-2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica de la Facultad de Ingenieria de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ANÁLISIS DE LA PREFACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE AEROGENERADORES VERTICALES DE BAJA POTENCIA EN USUARIOS AUTOPRODUCTORES CON EXCEDENTE DE ENERGÍA EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA.**, presentado por el estudiante universitario **Edgar Iván Osorio Salan**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingenieria en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
Director
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica

Guatemala, abril de 2022

LNG.DECANATO.OI.688.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ANÁLISIS DE LA PREFACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE AEROGENERADORES VERTICALES DE BAJA POTENCIA EN USUARIOS AUTOPRODUCTORES CON EXCEDENTES DE ENERGÍA EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**, presentado por: **Edgar Iván Osorio Salán**, 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, octubre de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por darme la fuerza necesaria para lograr mi meta.
Mi esposa	Claudia Garavito, por ser mi apoyo incondicional en todo momento y darme siempre palabras de aliento.
Mi madre	María Salan, por el simple hecho de darme la vida y apoyarme siempre a salir adelante.
Mis hermanos	Eddie, Walter, Alex y Nancy Osorio por su ayuda y consejos en los momentos oportunos de mi vida.
Familia y amigos	Que siempre han estado animándome.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser el <i>alma mater</i> que me permitió el acceso a un mundo de nuevos conocimientos.
Facultad de Ingeniería	Por darme las herramientas y conocimientos que me han permitido realizar este trabajo de graduación.
Instituciones Diversas	Por haberme ayudado con toda la información necesaria para terminar este diseño de investigación.
Mi asesor	Msc. Ing. Alan Camajá por ser una excelente guía durante este trabajo de graduación.
Mi suegro	Profesor Carlos Garavito, por su apreciada y valiosa ayuda a lo largo de esta investigación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
3.1 Descripción del problema	10
3.2 Formulación del problema	11
3.2.1 Pregunta central	11
3.2.2 Preguntas auxiliares	11
3.3 Delimitación del problema.....	12
4. JUSTIFICACIÓN	15
5. OBJETIVOS.....	17
5.1 General.....	17
5.2 Específicos	17
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	19
7. MARCO TEÓRICO.....	21

7.1	Marco legal	21
7.1.1	Aspectos generales de la Ley General de Electricidad	21
7.1.2	Definición de usuario regulado de energía eléctrica	22
7.2	Pliego tarifario	22
7.3	Definición de usuario autoprodutor con excedente de energía	25
7.4	Autorizaciones para ser un usuario autoprodutor con excedentes de energía	25
7.5	Inspección técnica.....	26
7.6	Informe de usuarios autoprodutor con excedente de energía.....	26
7.7	Medición del excedente de energía	27
7.8	Formulario de unidades de generación distribuida de la EEGSA	28
7.9	Energía eólica	30
7.9.1	Origen del viento	30
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	37
9.	METODOLOGÍA	41
9.1	Características del estudio	42
9.2	Unidades de análisis	43
9.3	Variables	43
9.4	Fases del estudio	46
9.4.1	Fase 1: revisión bibliográfica	46
9.4.2	Fase 2: desarrollo de la investigación	47
9.4.3	Fase 3: análisis estadístico.....	47

9.4.4	Fase 4: evaluación técnico-financiera	47
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	49
11.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	51
12.	REFERENCIAS.....	53

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Formulario de autoprodutor con excedente de energía sección I.....	28
2.	Formulario de autoprodutor con excedente de energía sección II.....	29
3.	Circulación general del viento en la atmósfera	31
4.	Viento de brisa tierra-mar	33
5.	Vientos catabáticos	34
6.	Efecto Föhn.....	35
7.	El viento y la topografía	35

TABLAS

I.	Potencia instalada total por regiones del mundo en los años 2017 y 2018.....	8
II.	Pliego tarifario marzo 2022.....	23
III.	Variables del estudio	43
IV.	Datos de velocidad promedio diarios del viento en la ciudad de Guatemala.....	44
V.	Datos de velocidad de viento año 2,020.....	50
VI.	Recursos necesarios para la investigación.....	51

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
H	Altura
CO ₂	Dióxido de carbono
\$	Dólar estadounidense
E	Este
°C	Grados Celsius
°	Grados
Hz	Hercio
h	Horas
=	Igual que
kW	Kilovatio
km	Kilómetro
kV	Kilovoltio
kBEP	Kilo barriles equivalentes de petróleo
>	Mayor que
MW	Megavatio
MWh	Megavatio hora
<	Menor que
m	Metro
m ² /s	Metro cuadrado por segundo
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar
'	Pies o minutos
mm	Milímetro
N	Norte

O	Oeste
%	Porcentaje
P	Potencia
Q	Quetzales
Q/KWh	Quetzales por kilovatio hora
RPM	Revoluciones por minuto
S	Sur
Ns	Velocidad angular o velocidad específica
W	Vatio

GLOSARIO

AMM	Administrador del Mercado Mayorista.
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
C/B	Costo beneficio
EEGSA	Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A.
Energía cinética	Energía debida a un movimiento determinado.
Energía potencial	Energía que contiene el agua debido a la altura y es aprovechable para generar electricidad a partir de la misma.
IVA	Impuesto al valor agregado.
INDE	Instituto Nacional de Electrificación.
INSIVUMEH	Instituto Nacional de sismología, vulcanología, meteorología e hidrología de Guatemala.
MEN	Ministerio de Energía y Minas
NTGDR	Norma técnica de generación distribuida renovable y usuarios autoprodutores con excedentes de energía.

NTSD	Normas Técnicas de Servicio de Distribución.
Net metering	Medición neta.
Recurso eólico	Viento.
TIR	Tasa interna de retorno.
Tensión	Diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos, medida en Voltios.
Turbina eólica	Aprovecha la energía del viento y la convierte en energía mecánica rotativa.
UAEE	Usuario autoprodutor con excedente de energía.
Vatio	Unidad de medida de potencia.
VPN	Valor presente neto.

RESUMEN

La energía eólica es la energía obtenida del viento, es el aprovechamiento de la energía cinética del viento para convertirla en energía eléctrica a través de un generador. Es una energía limpia que se puede aprovechar para sustituir a la energía eléctrica producida por los combustibles fósiles.

Existen muchos tipos de aerogeneradores, dentro de los cuales están: Los conformados por una torre con un sistema de orientación ubicado en su extremo superior; un armario de acoplamiento a la red eléctrica pegado a la base de la torre; una góndola que donde se resguardan todos los componentes mecánicos y que sirve de base a las aspas, estas aspas están conectadas a su vez a una turbina que se encarga de mover el generador y de esta manera es como se hace el proceso de conversión de energía cinética del viento a energía eléctrica.

En este trabajo de investigación, se buscará analizar la factibilidad técnica y económica para el uso de pequeños generadores eólicos conectados a la red de distribución para que cualquier usuario regulado de energía eléctrica sin importar si éste es un usuario residencial, comercial o industrial. Puedan hacer uso de estos generadore eólicos para la autoproducción de energía y suplir así sus necesidades energéticas.

1. INTRODUCCIÓN

La energía eólica es una energía que el ser humano ha aprovechado a lo largo de la historia, actualmente la demanda de energía eléctrica está creciendo considerablemente y la dependencia de combustibles fósiles para la producción de energía sigue teniendo una relevancia muy alta en la matriz eléctrica de nuestro país, afectando no solo los bolsillos de la población, sino también, al medio ambiente, ya que la producción de energía eléctrica es uno de los rubros de la industria que produce más contaminantes para el medio ambiente.

Derivado de esta situación es imperativo el poder dar soluciones de fondo y al alcance para la población en general y poder visualizar cambios reales en nuestro medio ambiente. El aprovechamiento del recurso energético que nos ofrece el viento es muy alto en Guatemala, por lo que se propone la evaluación financiera y técnica para la implementación de aerogeneradores verticales de baja potencia para la autoproducción de energía eléctrica conectada a la red de distribución, bajo la figura de usuarios auto productores con excedentes de energía (UAEE).

Actualmente en Guatemala existen soluciones que se enfocan a buscar la autoproducción de energía eléctrica con excedente de energía, pero en su mayoría están basadas en el aprovechamiento de la energía solar y muy escasas, por no decir que casi ninguna, se basan en el aprovechamiento del potencial eólico.

La propuesta siguiente se basa en hacer un análisis técnico y financiero de la prefactibilidad de poder hacer uso de aerogeneradores de baja potencia en

aplicaciones residenciales, comerciales o incluso industriales para qué, de esta manera, puedan participar en la generación de energía eléctrica y, por ende, contribuir al cambio de la matriz energética y poder reducir nuestra dependencia de combustibles fósiles para la producción de energía eléctrica.

En el siguiente ensayo se realizará estudio del potencial energético del viento tomando como base las mediciones de velocidad para la Ciudad de Guatemala, datos obtenidos del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH).

Estos datos provenientes de la estación meteorológica del Aeropuerto La Aurora, servirán para el análisis financiero y técnico de la posible implementación de aerogeneradores de baja potencia, instalados en usuarios regulados de energía eléctrica, y si la cantidad de viento promedio en la ciudad de Guatemala es suficiente para poder considerar a estos aerogeneradores como una fuente viable de energía alternativa conectada directamente a la red eléctrica de distribución de baja tensión.

Como la información de las mediciones de velocidad de viento son de carácter público, y ésta es la información medular de este estudio y que también es posible obtener datos comerciales del costo, modelos y potencias disponibles de aerogeneradores verticales de distintos fabricantes, se considera entonces que es factible poder realizar la presente investigación para el beneficio de cualquier persona individual o jurídica que así desee poder analizar la implementación de un sistema como este dentro de sus instalaciones.

Para dar un sustento a esta investigación, en el primer capítulo se presentan los antecedentes relacionados con el tema de esta investigación, así como

investigaciones previas que servirán para dar toda la base teórica técnica que nos llevará al desarrollo de este trabajo.

Dado que, para poder conectar un sistema de generación de energía renovable al sistema de distribución de energía eléctrica, es un proceso que está normalizado, en el segundo capítulo se desarrollará todo el marco legal necesario vigente que autoriza el poder hacer usos de la red de media tensión para entregar cualquier excedente de energía proveniente de un sistema de energía renovable conectado a la red.

En este capítulo se hará énfasis de los aspectos generales de la Ley General de Electricidad relacionados con el tema, así como de todos los aspectos técnicos que se deben de cumplir según las disposiciones de la Norma Técnica de Generación Distribuida Renovable y Usuarios Autoroductores con Excedentes de Energía (NTGDR), de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), terminando con un ejemplo práctico de los datos que debe de llevar el Formulario de Unidades de Generación Distribuida de la Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A. (EEGSA).

En el tercer capítulo encontrará todo el sustento teórico sobre los orígenes del viento, potencial energético del viento, mediciones relacionadas con el viento (velocidad y dirección), como variaciones que estas magnitudes sufren con los obstáculos que puedan encontrar en su trayectoria y la altura. Terminado con una breve descripción de cómo se comporta el viento en Guatemala.

En el cuarto capítulo se desarrollará toda la base teórica y técnica del funcionamiento de los aerogeneradores eólicos, empezando con datos históricos de la utilización de este tipo de energía a lo largo de la historia y tipos de generadores eólicos que existen, terminado con una tabla comparativa entre los

tipos de generadores, misma que servirá para dar una idea de cómo poder seleccionar un aerogenerador según el tipo de tecnología.

Para poder hacer un correcto análisis de los datos de viento obtenidos de la base de datos de INSIVUMEH, en el capítulo cinco se hará todo el desarrollo de los cálculos de tendencia central, mismos que servirán para poder utilizar el modelo probabilístico de Weibull, técnica mayormente utilizada para el análisis de datos asumidos o medidos, como lo son la base de datos de viento obtenida.

En el sexto capítulo se desarrollará todo el análisis financiero, haciendo uso de indicadores como la tasa interna de retorno (TIR), valor presente neto (VPN) y cálculo de la relación costo beneficio (C/B). Indicadores que servirán para poder determinar si la utilización de los aerogeneradores verticales propuestos es financieramente viable.

2. ANTECEDENTES

Los generadores eólicos han tenido grandes avances en su desarrollo y tecnología en los últimos 20 años, son cada vez más eficientes, confiables y con los nuevos materiales disponibles para su fabricación son cada vez más económicos.

Algunas personas aún tienen sus reservas en cuanto a su durabilidad, ya que lo más común es asegurar que las turbinas eólicas solamente tienen una vida útil de 20 años, dado a que esta tecnología es relativamente nueva en el proceso de producción de energía eléctrica, todavía no se tiene registro que alguna turbina que haya llegado a su vida útil, por lo que habrá que esperar un poco más de tiempo para saber si realmente cumplen con esta expectativa de vida.

La utilización de la fuerza del viento es histórica y su aprovechamiento como fuente de energía data de 4 o 5 siglos antes de Cristo, cuando en el antiguo Egipto la utilizaban para la navegación a vela. Así como éstas existen muchas otras referencias más antiguas de como las primeras civilizaciones ya hacían uso de la energía eólica para el movimiento de molinos de viento para poder regar las llanuras de Mesopotamia y en la molienda de granos (Díez, 2012).

Dentro de los principales aportes, podemos encontrar datos generales de la formación y circulación de los vientos, tipos de vientos, como hacer representaciones estadísticas de los vientos, así como fundamentos aerodinámicos de las máquinas eólicas y los métodos más utilizados para

calcular las cargas que los generadores eólicos deben de soportar según la orientación.

La formación del viento es causa del calentamiento de la superficie de la tierra al recibir la irradiación solar y como el aire frío que se encuentra en los polos, bajan y desplazan al aire caliente, provocando la circulación del viento, mismo que pueden luego ser aprovechados, así como las maneras en la que la humanidad los ha utilizado a través de su historia. Haciendo énfasis en la importancia de entender la manera de como calcular el potencial energético de las corrientes de viento (Morgues y Rapallini, 2003).

Las turbinas eólicas han experimentado grandes avances en el transcurso de los últimos 20 años y se espera que sigan progresando con forme la tecnología también lo haga. Cada generación de generadores ha tenido avances que los hace cada vez más confiables y eficientes. Por lo general cuando se diseña un generador eólico se le da una vida útil de 20 años, pero en la actualidad aún no hay registro de algún generador que los haya alcanzado. Desde las pequeñas centrales hasta las grandes conectadas a redes de transporte de energía, los generadores eólicos tienen la capacidad de competir con las fuentes convencionales de generación, pero quizá la falta de conocimiento hace que esta tecnología no pueda tener los alcances suficientes (Morgues y Rapallini, 2003).

Las fluctuaciones en los precios finales de la energía eléctrica derivados de los constantes cambios en los costos de los combustibles fósiles hacen evidente nuestra alta dependencia éstos para la generación de energía y siendo la generación de energía eléctrica uno de los rubros del sector industrial que más contamina y contribuye a las emanaciones de gases de efecto invernadero, podemos decir que es imperativo buscar mejores maneras de generación de

energía eléctrica más limpias, eficientes y amigables con el medio ambiente (Chicojay Coloma, 2010).

Uno de los principales aportes que se puede tener de incrementar la generación eólica a un aproximado de 57.3 MW, el equivalente a un 2.5 % del total de la matriz eléctrica de Guatemala, es que el CO₂ equivalente que se evitaría que llegue a la atmósfera es de 112.7 toneladas al año (Chicojay Coloma, 2010).

Debido a los efectos del cambio climático se ha tenido la necesidad de buscar maneras de poder generar energía eléctrica de una manera más eficiente y de ser posible, a bajo costo. La fabricación de un generador eólico se consideró por mucho tiempo como una solución costosa, pero en la etapa constructiva del modelo se registran los resultados experimentales demostrando que es posible construir un generador eólico vertical con materiales accesibles y se proponen mejoras para futuras investigaciones (Crespo Cuestas, 2011).

En los últimos años, la energía eólica ha tenido un crecimiento significativo, a tal grado que se ha convertido en la segunda energía renovable más utilizada a nivel mundial. Los datos de la potencia instalada de acuerdo con cada región en el mundo nos demuestran este gran crecimiento, como el ocurrido en los años 2017 y 2018, cuyos datos de crecimiento son presentados en la tabla 1. Siendo la región asiática la de mayor crecimiento con 26,735 MW de potencia eólica instalada, y China el mayor participante con 23,000 MW instalados en el año 2018 (Bahamonde García , 2019).

Tabla I. **Potencia instalada total por regiones del mundo en los años 2017 y 2018**

Región	Potencia en (Mw) 2017	Potencia en (Mw) 2018	Tasa de Variación en (%)
Europa	178.136	189.606	6.440
Asía – Pacífico	234.417	261.152	11.40
Norteamérica	101.317	109.481	8.06
América Latina y El Caribe	21.804	25.590	17.36
África y Oriente Medio	4.758	5.720	20.22
Total	540.432	591.549	9.46

Fuente: Bahamonde (2019); *Estudio del potencial eólico en mar abierto y optimización de la producción energética en la implantación de parques eólicos marinos 2.*

Es claro entonces que, aunque el poder del viento como fuente alternativa de energía no es nada realmente nuevo, si logramos entender cómo es que se forman y en qué puntos son más fuertes, podremos llegar a aprovechar grandemente este recurso energético y de esta manera poder cambiar la distribución de cómo es generada la energía de acuerdo con el tipo de tecnología en todo el globo terrestre y reducir la dependencia del petróleo en la producción de energía eléctrica.

Al tener los análisis correctos incluso se puede aprovechar este recurso en lugares no tan convencionales como lo serían las ciudades, ya que al recordar que mucha de la demanda energética se concentra en estos lugares, las vuelve sitios que con los incentivos adecuados se podrían llegar a desarrollar proyectos eólicos interesantes de baja escala, ya que se cuenta con el recurso principal que es el viento y el desarrollo tecnológico para implementarlos.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La necesidad de hacer cambios en la matriz energética del país, específicamente en la matriz eléctrica, es un reto que se ha planteado desde que se estableció la Ley General de Electricidad, Decreto 93-96, donde se plantea la necesidad de liberar el mercado para la producción de energía eléctrica, ya que el sector presentaba muchas deficiencias y que la producción no era suficiente para cubrir la creciente demanda de la población.

En la actualidad existe la posibilidad de que toda persona individual o jurídica, que tenga interés en buscar una manera de producir energía eléctrica con fuentes de energía renovables, tales como la energía fotovoltaica, eólica, biomasa y todas las que estén aprobadas por el Ministerio de Energía y Minas, (MEN), con el propósito de que la energía que produzca sea para el autoconsumo y de ser posible, dar el excedente a la distribuidora eléctrica que le provea el servicio de energía eléctrica, para que dicho excedente sea aprovechado por otros usuarios, toda vez al momento de hacer entrega del excedente de energía no se vulnera la calidad del servicio de la distribuidora.

De esta manera se abre la oportunidad para dar una solución a los altos costos de generación de energía eléctrica y permite acercar las energías renovables a los hogares, comercios e industrias que tengan la disposición de hacer la inversión correspondiente.

No hay que pasar por alto que esto puede abrir un nicho comercial para que todo profesional calificado pueda desarrollarse en este campo y que todos los sectores de la sociedad puedan verse beneficiados.

3.1 Descripción del problema

El alto costo de la energía eléctrica da lugar a pensar en nuevas soluciones de producción de energía, debido a la alta dependencia de los combustibles fósiles para la producción de energía.

Al considerar que, según el Ministerio de Energía y Minas en su reporte de Balance Energético (2017), dice que el consumo energético residencial representa un 59.54 % en kBEP (Kilo Barriles Equivalentes de Petróleo), comparado con el 8.15 % que representa la industria. (pág. 5).

Es evidente entonces que el impacto que tiene el consumo energético residencial es alto y aunado a la dependencia a los combustibles fósiles, esto no permite que los precios de la energía bajen para la población en general. Al proponer formas de suplir la demanda de energía eléctrica con medios más económicos y técnicamente viables, puede que al fin se tenga una solución a la continua alza de los precios, sin dejar por un lado el beneficio ambiental que esto trae al descarbonizar la matriz de energía eléctrica. Por lo que fomentar el uso de energías verdes a pequeña escala puede llegar a tener un alto impacto energético y ambiental en Guatemala.

3.2 Formulación del problema

Para determinar si un usuario regulado de energía eléctrica puede hacer un aprovechamiento de la energía eólica, es necesario plantear las siguientes preguntas:

3.2.1 Pregunta central

¿Puede realmente un usuario regulado de energía eléctrica convertirse en un UAEE, haciendo uso de un aerogenerador vertical de baja potencia?

3.2.2 Preguntas auxiliares

Para responder a esta interrogante se deberán contestar las siguientes preguntas auxiliares:

- ¿Cuál es el marco legal con el que debe cumplir un usuario de energía eléctrica para implementar un generador eólico vertical en sus instalaciones?
- ¿Puede un aerogenerador vertical de baja potencia producir suficiente energía con las velocidades de viento registradas en la ciudad de Guatemala?
- ¿Representa un aerogenerador eléctrico una fuente de energía renovable viable, técnica y financieramente?

3.3 Delimitación del problema

Según la Empresa Eléctrica de Guatemala (2019) en su Informe Avanzado, la EEGSA para ese entonces contaba con 1,307,950 clientes y con una red que transportaba 5,239.52 GWh de energía a través de 17,118.20 Km de redes de media y baja tensión.

Esta información cobra relevancia cuando se analiza que del total de los clientes de EEGSA, el 87.31 % son clientes regulados residenciales, 11.62 % son clientes comerciales y solamente el 0.21 % son clientes industriales. Podemos ver entonces que la mayor clientela de dicha distribuidora de energía son clientes residenciales (Grupo EMP, 2019)

De los 5,239.52 GWh de energía que la EEGSA transporta, el 69.96 %, es decir GWh, son destinados para suplir las necesidades de los clientes residenciales en tarifa social y no social. En otras palabras, el 87.31 % de los clientes de EEGSA en el año 2019, consumieron el 69.96% de la energía que esta empresa compró. (Grupo EMP, 2019).

Según el informe, el 59 % de la energía consumida por los usuarios residenciales proviene de fuentes renovables, por lo que queda un 26.75 % que proviene de generación a carbón y que, energías como la solar y la eólica tienen solamente un 9.28 % de incidencia en la matriz energética de la EEGSA (Grupo EMP, 2019).

Para el año 2,019, del 1,307,950 clientes con los que contaba EEGSA, solamente 294 clientes estaban registrados como UAEE, es decir, qué, únicamente 0.0227 % de los clientes de EEGSA para el año 2019 estaban registrados como UAEE, en su mayoría autoproduciendo con energía solar.

Una de las causas principales del número tan bajo de clientes autoprodutores, puede ser el costo elevado de las soluciones que se encuentran en el mercado que suelen ser más enfocadas a la utilización de paneles solares como medio de producción de energía para el auto consumo.

Esto lleva a plantear la pregunta principal de este trabajo de investigación.

¿Puede realmente un usuario regulado de energía eléctrica convertirse en un usuario UAEE, haciendo uso de un aerogenerador vertical de baja potencia?

Con el fin de buscar una solución técnica y económicamente viable para todos esos usuarios residenciales y comerciales que son el mayor número de consumidores de energía, no solo en la región central, sino también en todo el país; y que estos usuarios puedan tener acceso al aprovechamiento de energías limpias para su auto consumo y así reducir los costos de facturación mensual de energía eléctrica.

4. JUSTIFICACIÓN

El aprovechamiento de la energía eólica no es algo nuevo, desde la antigüedad la energía cinética del viento ha sido aprovechada para mover los molinos de viento, para mover los barcos a vela y en tiempos más modernos, para la generación de energía eléctrica. Los sistemas de generación de energía eólica son sistemas que aprovechan la energía cinética proveniente del viento que a través del concepto la conservación de la energía, estos convierten la energía cinética en energía eléctrica. Esto enmarca a la presente investigación dentro de las líneas de investigación de la Maestría de Energía y Ambiente, específicamente en recursos energéticos y su potencial.

Actualmente debido al alto crecimiento de la demanda de energía eléctrica y a la continua alza en los precios de ésta, es imperativo poder dar paso a soluciones que sean técnicamente viables sin dejar por un lado la parte económica y legal. Dando una guía a todo aquel que esté interesado en poder hacer uso de energías limpias para el auto consumo y de poder convertirse en algún momento en un usuario UAEE y poder suplir su propia demanda energética a través de este tipo de tecnología.

Cuantas más personas se logren interesar y pueda existir un crecimiento en la aplicación de estas tecnologías a nivel nacional, podemos mejorar la producción de energía y contribuir a cambiar la matriz de generación eléctrica, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica. Por lo que se pretende que toda persona o usuario regulado de energía eléctrica que esté interesada en tener o incrementar sus conocimientos respecto a este tema, pueda beneficiarse de este estudio y tener una metodología para poder hacer

uso de aerogeneradores de baja potencia en la autoproducción de energía eléctrica y pueda obtener de manera resumida las consideraciones técnicas y legales que debe cumplir para poder registrarse como un UAEE, figura legal que permite hacer uso de energías limpias renovables como medio de generación eléctrica conectados a la red de distribución.

De esta manera se busca poder hacer un aporte a nivel nacional al poder facilitar el análisis del rendimiento de sistemas de generación eólica de baja potencia, ya que entre más sistemas de estos puedan ser implementados de una manera eficiente sin causar problemas a la red de distribución, se contribuye a disminuir la dependencia que tienen las distribuidoras de energía en cuanto a la compra a generadores eléctricos que aún generan con combustibles fósiles, especialmente en la hora pico que es en un horario de 18:00 a 22:00 horas, horario denominado como hora en punta, en la que la energía eléctrica tiene un precio más alto y generalmente es el horario en que la mayoría de la población se encuentra en sus casas.

Al lograr instalar aerogeneradores de baja potencia que pueden funcionar a su máxima capacidad en el mayor tiempo posible durante el día, estos pueden mantenerse inyectando energía al sistema de distribución, incluso en horas en las que el usuario autoprodutor no la necesite, y está pueda ser utilizada por otro usuario.

5. OBJETIVOS

5.1 General

Determinar las condiciones necesarias para poder hacer uso de un aerogenerador eólico de baja potencia bajo la figura de UAEE, en el departamento de Guatemala.

5.2 Específicos

- Establecer el procedimiento correcto de acuerdo con el marco legal vigente para poder hacer uso de un generador eólico vertical de baja potencia para la autoproducción de energía eléctrica con excedente de energía.
- Analizar si con las velocidades de viento registradas en la ciudad de Guatemala en los dos últimos años, es posible convertirse en un UAEE.
- Definir si un aerogenerador eléctrico vertical de baja potencia realmente puede ser utilizado como una fuente de energía renovable técnica y financieramente viable para ser utilizados por un UAEE.

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

Con este trabajo se pretende determinar el potencial que existe para la utilización de aerogeneradores verticales de baja potencia para la autoproducción de energía eléctrica. Esto podría representar un futuro nicho de puestos de trabajo dedicados a este tipo de actividad, que, para poder instalar un equipo de esta naturaleza en una vivienda o comercio, requerirá de personal calificado para la correcta implementación de dichos sistemas de generación.

Al poder determinar que es factible la utilización de nuevas tecnologías para la autoproducción de energía eléctrica, podemos apostar a reducir la dependencia de combustibles fósiles en la matriz de generación eléctrica, pero principalmente en la matriz energética de las distribuidoras.

Se pretende dar una guía amplia desde las bases de lo que es la energía eólica, los tipos de generadores eólicos verticales y como es que estos se pueden aprovechar de acuerdo con nuestras condiciones climáticas de viento para la generación de energía eléctrica bajo el esquema de UAEE. Lo anterior cumpliendo con las normativas dadas en la Ley General de Electricidad Decreto 93-96 y en las NTGDR de la CNEE.

El uso de generadores eólicos se ha quedado como una solución para los Generadores Distribuidos Renovables a gran escala, si bien es cierto que existen sistemas eólicos pequeños ya en funcionamiento, éstos generalmente funcionan de forma aislada y no se ha explotado la posibilidad de los generadores eólicos de baja potencia que pueden ser conectados directamente a red como se hace con los sistemas solares, a pesar de que la producción de energía solar depende

mucho de las horas solar pico, que en promedio suelen ser de 5 horas al día; a diferencia de la energía eólica que puede funcionar tanto de día como de noche, toda vez el viento tenga la velocidad necesaria para poder mover las aspas.

7. MARCO TEÓRICO

En este trabajo de investigación se hará un detalle de todo lo que el lector necesita saber para poder implementar un aerogenerador como sistema de energía renovable destinado al autoconsumo, se inicia dando a conocer el marco legal para que sirvan de guía en cuanto a los requisitos necesarios que se exigen según las leyes vigentes. Luego se hace todo el análisis teórico que dará sustento a la parte financiera, que servirá para demostrar la hipótesis planteada.

7.1 Marco legal

Es importan antes de entrar a conocer todos los aspectos técnicos, dar a conocer al lector cuales son los requisitos legales necesarios que debe de tener en cuenta antes de dar inicio con cualquier proyecto de implementación de una fuente de energía verde o renovable en su inmueble, como medio de producción de energía alternativa conectada directamente en la red de distribución de energía pública.

Por lo que en este capítulo se pretende dar una guía completa a los aspectos legales y técnicos que se deben de cumplir con base a las leyes y normativas vigentes de Guatemala para la generación distribuida.

7.1.1 Aspectos generales de la Ley General de Electricidad

Según lo establecido en el primer considerando de La Ley General de Electricidad consolida que la oferta de energía no es suficiente para cubrir la

creciente demanda de los guatemaltecos, por lo que es de urgencia nacional incrementar la producción, transmisión y distribución de energía eléctrica y es necesario liberar el sector para que todo aquel que esté interesado en participar en el subsector eléctrico lo pueda hacer. (Congreso de la República de Guatemala, 1996)

7.1.2 Definición de usuario regulado de energía eléctrica

Según el artículo número 59 de la Ley General de Electricidad, establece qué, todo aquel usuario final de energía eléctrica que tenga la necesidad de conectarse al servicio de distribución y que su demanda máxima de potencia esté por debajo del máximo establecido en este artículo, es un usuario regulado y está sujeto a los precios establecidos en esta ley (Congreso de la República de Guatemala, 1996).

7.2 Pliego tarifario

En Guatemala existen distintas tarifas aplicables para el cobro de energía eléctrica, tarifas que se aplican según el tipo de cliente o cantidad de potencia y energía que este cliente necesite. Dado que este estudio se limita al departamento de Guatemala, se presenta a continuación el pliego tarifario autorizado a la EEGSA como la distribuidora de energía del departamento, con los precios autorizados por la CNEE para el mes de marzo de 2022 para los cargos de energía en Q/KWh, no se toman en cuenta los cargos fijos, ni cargos por potencia máxima, potencia contratada entre otros que apliquen según la tarifa bajo la que esté operando el cliente.

Tabla II. **Pliego tarifario marzo 2022**

Tipo de tarifa	Descripción	Precio (Q/KWh)
Baja tensión simple social (BTSS)	Esta tarifa es tarifa social, subsidiada por el INDE y aplica a usuarios regulados que consumen de 1 a 60Kw, 61 a 88Kw en un período de 30 días	1.257705
Baja tensión simple (BTS)	Tarifa de uso general y aplicable a todo usuario regulado cuya demanda de potencia máxima no pase de 11Kw	1.346068
Baja tensión simple horaria (BTSH)	Tarifa destinada a usuarios no mayores a los 11Kw y que idealmente puedan ajustar sus consumos en horarios nocturnos.	1.461529
Baja tensión simple atoproductores (BTSA)	Tarifa en baja tensión con sistema de medición bidireccional sin medición de potencia, dirigida a usuarios autoproducidos con excedentes de energía.	1.396125
Baja tensión simple prepago (BTSPP)	Tarifa de baja tensión con sistema de medición para la compra de energía prepago. Aplicable a usuarios que cumplan con lo dispuesto por CNEE	
Baja tensión horaria con demanda (BTHD)	Tarifa de uso general para usuarios en baja tensión con una demanda máxima mayor a los 11Kw, con medición de potencia en la banda horaria	0.990702
Media tensión horaria con demanda (MTHD)	Tarifa de uso general para usuarios en media tensión con una demanda máxima mayor a los 11Kw, con medición de potencia en la banda horaria	0.936888
Baja tensión con demanda autoproducidos (BTDA)	Tarifa en baja tensión con sistema de medición bidireccional, medición de potencia máxima, para autoproducidos con excedentes de energía con potencia mayor a 11Kw.	0.972408

Continuación Tabla II.

Tipo de tarifa	Descripción	Precio (Q/KWh)
Media tensión con demanda autoprodutores (MTDA)	Tarifa en media tensión con sistema de medición bidireccional, medición de potencia máxima, dirigida a usuarios autoprodutores con excedentes de energía con potencia superior a 11Kw	0.922483
Alumbrado público (AP)	Tarifa aplicada al alumbrado público municipal conectado a la red de distribución asociados a un sistema fotosensor y que no cuenta con un sistema de medición. La tarifa será calculada por la CNEE	1.451938
Alumbrado privado o publicitario nocturno (APPN)	Tarifa aplicada al alumbrado privado e instalaciones de publicidad conectados a la red de distribución asociados a un sistema fotosensor y que no cuenta con un sistema de medición.	1.451938
Vigilancia señalización o comunicaciones (VSC)	Tarifa aplicada a equipos conectados al sistema de distribución como: semáforos, cámaras, etc. La metodología de cobro será establecida por la CNEE	1.224409

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica (2014). Pliego tarifario. Consultado el 03 de marzo de 2022. Recuperado de <https://cnee.gob.gt/Calculadora/pliegos.php>

Esta Información será vital más adelante para el análisis financiero porque será la base para la estimación económica y poder determinar los indicadores financieros determinarán si es rentable o no la utilización de un generador eólico en cualquiera de las tres tarifas destinadas a usuarios autoprodutores.

7.3 Definición de usuario autoprodutor con excedente de energía

La liberación del mercado eléctrico regulado abrió la oportunidad no sólo a las grandes generadoras eléctricas para que puedan participar en el mercado nacional de producción de energía, si no también da la pauta para que todo el que pueda estar interesado en ser un autoprodutor de energía haciendo uso de cualquier método de generación de energías renovable, pueda hacerlo toda vez cumpla con las disposiciones técnicas y legales que se requieren.

La Ley General de Electricidad en su capítulo III, artículo 6, define que “Un autoprodutor es toda persona individual o jurídica, titular o poseedora de una central de generación de energía eléctrica, cuya producción destina exclusivamente a su propio consumo”. (Congreso de la República de Guatemala, 1996, p. 4).

7.4 Autorizaciones para ser un usuario autoprodutor con excedentes de energía

El artículo 36 de las NTGDR, establecen qué, todo usuario que cuente dentro de sus instalaciones con un excedente de energía proveniente de un sistema de energía renovable para ser inyectada a la red de distribución, y que no esté interesado en participar como proveedor de energía eléctrica, debe de informar a la distribuidora de energía que le provea el servicio, de tal situación, por medio del formulario correspondiente (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2014).

Toda vez haya cumplido con la notificación a través del formulario antes mencionado, el usuario no requerirá autorización alguna de la distribuidora de energía, pero si debe de instalar todas las protecciones necesarias que

garanticen que el sistema instalado de generación se desconecte de forma automática de la red eléctrica para que éste no inyecte energía ante cualquier falla o cuando el nivel de voltaje de la red eléctrica no se encuentre dentro del valor de tolerancia establecido por las Normas Técnicas de Servicio de Distribución (NTSD) (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2014).

7.5 Inspección técnica

Toda vez la persona interesada en instalar un sistemas de autoproducción de energía por medios renovables, ha notificado a la compañía distribuidora del servicio, el artículo 37 de la NTGDR, indica que, la distribuidora tiene un plazo de quince días para llevar a cabo una inspección en las instalaciones del interesado, con el fin de verificar que cumplen con lo establecido en la NTGDR, si el resultado de la inspección es positivo, se emitirá una constancia al interesado y la distribuidora tendrá un plazo no mayor a 28 días para la instalación del medidor bidireccional que hará la medición de la energía entregada y recibida (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2014).

7.6 Informe de usuarios autoprodutor con excedente de energía

La Comisión Nacional de Energía Eléctrica estableció que: “La distribuidora de energía eléctrica está obligada a informar trimestralmente a la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, de todos los nuevos usuarios autoprodutores con excedentes de energía que se conecten a su red de distribución”, esto en cumplimiento con el artículo 38 de la NTGDR (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2014).

7.7 Medición del excedente de energía

Todo usuario autoprodutor con excedente de energía deberá de contar con un medidor bidireccional, capaz de medir la energía entregada por el usuario y la recibida por la distribuidora, este medidor será proporcionado para el caso del departamento de Guatemala por la Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A. para cualquier usuario regulado, para los usuarios no regulados o grandes usuarios, será responsabilidad propia el suministro del medidor. (Comisión Nacional de Energía Eléctrica (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2014).

Las NTGDR en su artículo número 40 establece que:

Los usuarios autoprodutores con excedentes de energía no recibirán ningún pago por la energía entregada al sistema de distribución. Para realizar la facturación mensual, la distribuidora leerá el registro de energía del medidor correspondiente y si la medición neta corresponde a un consumo de energía, la distribuidora cobrará este consumo de acuerdo con la tarifa que le corresponda al usuario. Si, por el contrario, la medición neta corresponde a una inyección de energía del usuario hacia la red de distribución, se le reconocerá dicha energía como un crédito a favor del usuario, hasta que dicho crédito se agote contra el consumo de energía (Resolución-Comisión Nacional de Energía Eléctrica-227, 2014, p. 20).

Lo anterior es lo que se conoce como “Net metering”, o medición neta, y solamente aplica a los cargos de energía, la distribuidora aún puede cobrar los cargos fijos y los cargos por potencia que le apliquen al usuario de acuerdo con la tarifa bajo la que esté operando el usuario.

7.8 Formulario de unidades de generación distribuida de la EEGSA

Todo interesado en poder ser un usuario autoprodutor con excedentes de energía, debe de presentar ante la EEGSA como la distribuidora de energía eléctrica para en el departamento de Guatemala, el siguiente formulario.

Figura 1. Formulario de autoprodutor con excedente de energía sección I

EEGSA Departamento de Atención al Cliente
Grupo-epgp Formulario para usuario autoprodutor con excedente de energía

FIRMA DEL SOLICITANTE: _____

FORMULARIO para que los usuarios AUTOPRODUCTORES CON EXCEDENTES DE ENERGÍA, Proporcionen datos sobre las unidades de GENERACION DISTRIBUIDA RENOVABLE ubicadas dentro en su instalación.

1. Datos generales del usuario:

Nombre del usuario o representante legal: _____

Razón social de la empresa o entidad: _____

Dirección: _____

Teléfono fijo: _____ Celular: _____ E-mail: _____

2. Localización de la instalación:

Dirección: _____

Número de contador: _____ Correlativo: _____

3. Datos generales del proyecto:

3.1 Fuente de energía renovable: marque la(s) que correspondá(n):

Hidráulica	<input type="checkbox"/>	Eólica	<input type="checkbox"/>	Biomasa	<input type="checkbox"/>
Vapor	<input type="checkbox"/>	Micro turbina	<input type="checkbox"/>	Solar	<input type="checkbox"/>
Geotérmica	<input type="checkbox"/>	Otra:	_____		

3.2 Especificaciones técnicas:

Número de Unidades Generadoras: _____ Potencia total instalada: _____ KW

Favor describir las características: _____

3.3 Estatus del Sistema generador:

Instalado En Proceso

3.4 Tipo de Acometida:

100 Amperios	<input type="checkbox"/>	200 Amperios	<input type="checkbox"/>	Medición Primaria	<input type="checkbox"/>
Medición secundaria	<input type="checkbox"/>	Tablero Múltiple	<input type="checkbox"/>	Otros	<input type="checkbox"/>

Fuente: Empresa Eléctrica de Guatemala, SA (2018), *Formulario para usuario autoprodutor con excedente de energía*. Consultado el 8 de marzo de 2022. Recuperado de <https://eegsa.com/wp-content/uploads/2018/09/Formulario-para-usuario-autoprodutor-con-excedente-de-energ%C3%ADa.pdf>

Figura 2. **Formulario de autoprodutor con excedente de energía
sección II**

Hoja No. 2
Formulario para usuario autoprodutor

3.5 Voltaje y carga contratada del servicio:

Monofásico (hasta 48 KW) Voltaje _____ Carga (KW) _____

Trifásico Voltaje _____ Carga (KW) _____

3.6 Condición actual de la acometida:

Acoplada Independiente Dentro de la propiedad privada

4. Inversor:

Fabricante: _____ Modelo: _____

Número de Serie: _____

Tipo de Conmutación: _____

5. Datos de la Empresa Constructora:

Nombre de la Empresa constructora: _____

Teléfono Contacto: _____ E-mail: _____

6. Documentos que debe adjuntar:

6.1 Fotocopia de DPI de la persona que se constituirá como usuario autoprodutor.

6.2 Si el servicio se solicita a nombre de una empresa o razón social, fotocopia de DPI y del nombramiento del representante legal.

6.3 Si el formulario lo presenta una persona diferente al propietario, presentar carta firmada por el interesado en donde autoriza a una tercera persona o entidad a realizar los trámites correspondientes.

Manifiesto que **NO** deseo participar como vendedor de energía eléctrica y solicito la conexión del medidor bidireccional respectivo para ser registrado como Autoprodutor con excedente de energía, una vez mi instalación cumpla con la Normativa Vigente.

(En el caso de usuarios regulados, el suministro e instalación del medidor respectivo lo cubrirá el distribuidor; mientras que los grandes usuarios son responsables de su sistema de medición).

Lugar y fecha: _____

Firma del usuario: _____

Favor de llenar claramente todos los datos de este formulario, los cuales son de suma importancia para atender su solicitud.

Para mayor información comunicarse a Teleservicio 2277-7000
Consultas@eegsa.net - www.eegsa.com

Distribución Gratuita

Fuente: Empresa Eléctrica de Guatemala, SA (2018), *Formulario para usuario autoprodutor con excedente de energía*. Consultado el 8 de marzo de 2022. Recuperado de <https://eegsa.com/wp-content/uploads/2018/09/Formulario-para-usuario-autoprodutor-con-excedente-de-energ%C3%ADa.pdf>

7.9 Energía eólica

La energía eólica es el aprovechamiento de la energía cinética de las ráfagas de viento que son capaces de producir movimiento. Movimiento capaz de hacer que las aspas de un generador eléctrico conviertan este movimiento en energía eléctrica.

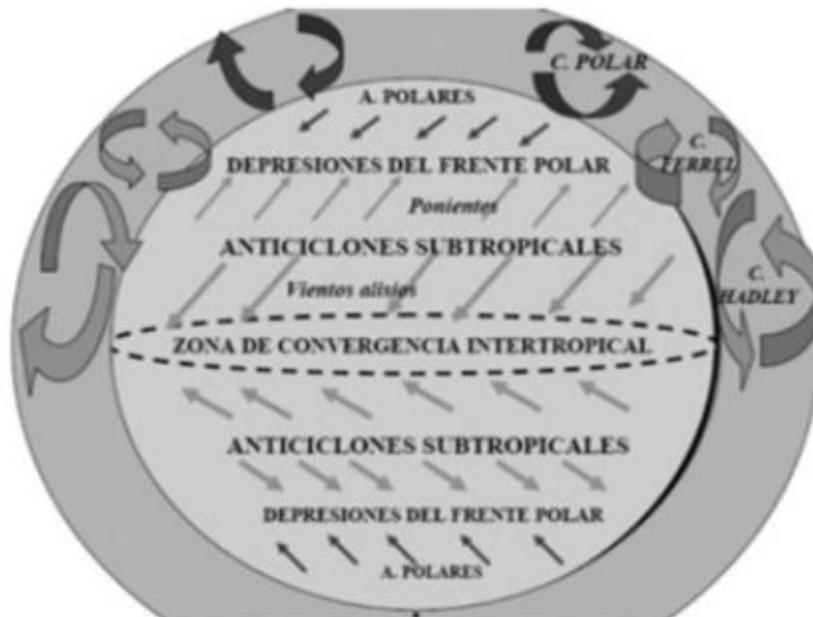
7.9.1 Origen del viento

El viento es básicamente el flujo o movimiento de aire derivado del calentamiento de la superficie terrestre por la radiación solar incidente, la radiación solar calienta la superficie de la tierra de forma irregular, es decir que el calentamiento derivado de la radiación incidente varía según la latitud terrestre y ya que el agua absorbe el calor más rápido que las superficies de tierra, se produce constantemente un diferencial de temperatura entre estas dos superficies, y el viento no es más que flujo de aire que trata de mantener la temperatura terrestre a través de la circulación, a este movimiento del viento se le llama convección natural.

La topografía terrestre de los continentes es responsable de la modificación de los vientos, ya que, los valles y cadenas montañosas tienen distintos efectos en su velocidad y dirección. La energía eólica es la consecuencia indirecta de la energía incidente del sol sobre la tierra, provocando el calentamiento de las masas de aire, calentamiento que provoca el movimiento (Barrios, 2018).

En la siguiente imagen, podemos apreciar como es la circulación de los vientos a nivel atmosférico.

Figura 3. **Circulación general del viento en la atmósfera**



Fuente: Villarrubia, (2012), *Ingeniería de energía eólica*.

Tanto en el emisferio norte y sur podemos observar que se enmarcan tres zonas distintas: la tropical, templada y polar.

En las áreas cercanas al ecuador, la depresión causada por el calentamiento de la toposfera ocasiona un efecto de succión de aires en los dos emisferios, esto es lo que se denomina como zona de convergenica intertropical, esta succión es lo que comunmente conocemos como vientos alisios y se extienden hasta los 30 grados de latitud en dirección norte y sur. (Villarrubia, 2012).

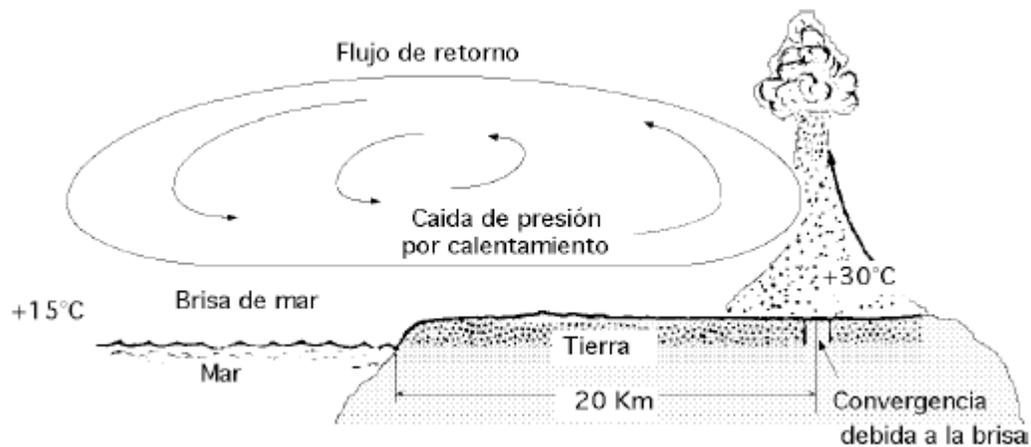
En general a los vientos que circulan en la tierra se les conoce como macro climas, y son los vientos que circulan en las altas atmósferas. Pero ya que los continentes y en general las masas de tierra tienen montañas, valles y todo tipo

de formaciones geológicas que forman en sí el relieve del terreno, dan lugar a la formación de micro climas, gracias a las distintas presiones atmosféricas y estos micro climas tienen sus propios vientos locales, que pueden ser influenciados por las distintas temperaturas y la topografía del terreno y cualquier otro efecto local. (Barrios, 2018).

El poder identificar los vientos generales no es suficiente para poder entender todo el potencial del viento, debemos de hablar de los varios tipos de viento que podemos encontrar según la topografía del terreno, el gradiente de temperatura y por último el gradiente de presión, cuando estos dos gradientes tienen distintas direcciones, se produce la circulación de aire de tal manera que el viento circula buscando el camino más corto entre el gradiente de presión al gradiente de temperatura. Éstos vientos son los que se conocen como vientos verticales y son más pequeños comparados con los desplazamientos horizontales. (Díez, 2012).

En las áreas donde se unen las grandes masas de agua con la tierra, podemos encontrar las brisas, que son los vientos tierra -mar en las costas, o tierra-agua que también se dan en los lagos. Durante el día el aire caliente que es más liviano, sube a las alturas, mientras que en la noche el aire frío que es más pesado, baja a los valles. Podemos ver en la siguiente figura un ejemplo para mayor comprensión. (Díez, 2012).

Figura 4. **Viento de brisa tierra-mar**

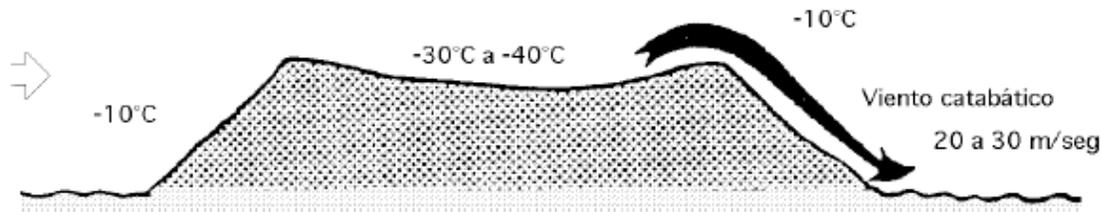


Fuente: Díez, (2012), *Energía eólica*.

Como existe un gradiente de potencial entre la temperatura del mar y la temperatura de la tierra, y como se mencionó anteriormente el viento fluye del punto con menos temperatura hacia el más caliente, la brisa marina fluye del mar durante el día hacia la tierra que está a una temperatura más elevada, provocando esa sensación de alivio en las zonas de costeras, durante la noche se invierten el gradiente de potencial y la tierra se enfría mucho más rápido y es ahora el mar el que tiene una mayor temperatura, provocando la brisa terrestre desde la tierra hacia el mar. Y esto nos demuestra que las condiciones locales pueden influenciar el potencial eólico de una zona o área en particular (Díez, 2012).

Otro ejemplo son los valles y áreas entre montañas, el ascenso o descenso de los vientos por los valles y montañas dan lugar a los vientos catabáticos y anabáticos, como se presenta en la siguiente ilustración, el descenso de aire frío por la ladera de una montaña, provoca los vientos catabáticos y están por lo regular entre los 20 a 30 m/s de velocidad (Díez, 2012).

Figura 5. **Vientos catabáticos**

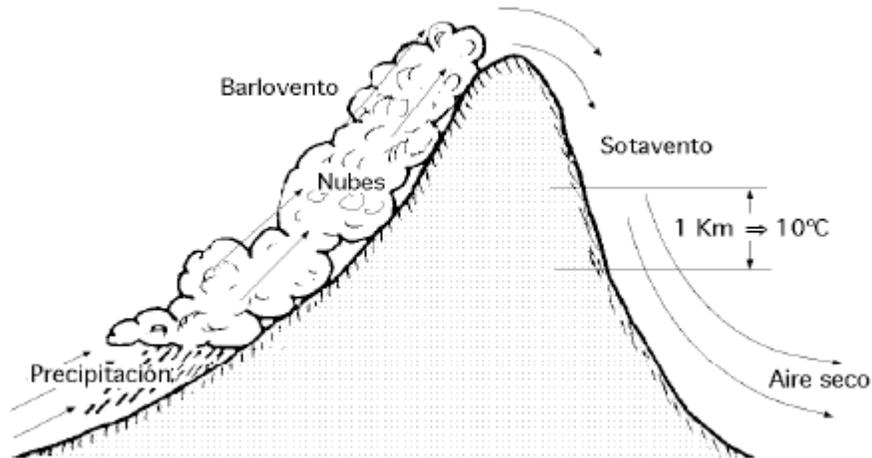


Fuente: Díez, (2012), *Energía eólica*.

En contra parte con los vientos catabáticos que ya se menciono que son los vientos desendentes sobre las laderas o montañas, están los vientos anabáticos que presentnl una componente vertical ascendente.

También existe un viento fuerte llamado Föhn, que se produce en la ladera contraria donde sopla el viento en una montaña, el Föhn generalmente ocasiona fuertes vientos en la troposfera media y alta y cuando este viento choca con una montaña, el viento se enfría rápidamente hasta el punto de condensación, formando nubes que parecieran quedar atrapadas en la ladera de la montaña y esto ocasiona presipitaciones en la ladera opuesta, el aire se calienta rápidamente a razón de 10 grados centógrado por kilómetro, la forma de la ladera y su topografía influye en gran medida la velocidad, alterando así el potencial eólico. (Díez, 2012).

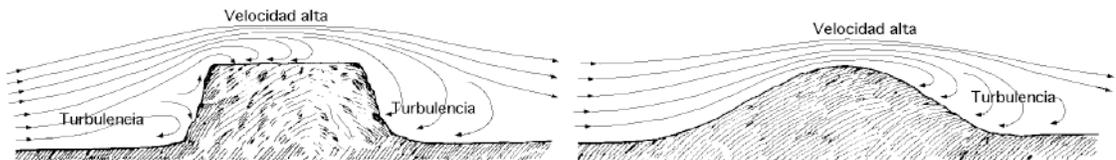
Figura 6. **Efecto Föhn**



Fuente: Díez, (2012), *Energía eólica*.

Las superficies de pendientes ligeras o libres de obstáculos son por lo general los lugares con el mejor potencial eólico ya que reúnen el flujo de aire e incrementan su velocidad, esto se puede apreciar más claramente en la siguiente figura.

Figura 7. **El viento y la topografía**



Fuente: Díez, (2012), *Energía eólica*.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Marco legal

1.1.1. Aspectos generales de la Ley General de Electricidad

1.1.2. Definición de usuario regulado de energía eléctrica

1.2. Pliego tarifario

1.3. Definición de usuario regulado de energía eléctrica

1.4. Autorizaciones para ser un usuario autoprodutor con excedente de energía.

1.5. Inspección técnica

1.6. Informe de usuario autoprodutor con excedente de energía

1.7. Formulario de unidades de generación distribuida de la EESA

1.8. Energía eólica

1.8.1. Origen del viento

1.8.2. Medición del viento

- 1.8.3. Velocidad y dirección del viento
 - 1.8.4. La rosa de los vientos
 - 1.8.5. Cómo varía el viento según la altura
 - 1.8.6. El viento y los obstáculos
 - 1.8.7. Potencial energético del viento
 - 1.8.8. El viento en Guatemala
 - 1.9. El generador eólico
 - 1.9.1. Generalidades del generador eólico
 - 1.9.2. Tipo de generador eólico
 - 1.9.3. Generador de eje horizontal
 - 1.9.4. Generador de eje vertical
 - 1.9.4.1. Rotor Savonius
 - 1.9.4.2. Rotor Darrieus
 - 1.9.5. Tabla comparativa
2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL VIENTO
- 2.1. Base de datos del viento de la ciudad de Guatemala
 - 2.2. Cálculo de medidas de tendencia central de la base de datos de viento
 - 2.3. Escala de viento
 - 2.4. Modelo probabilístico de Weidbull
3. ANÁLISIS ECONÓMICO
- 3.1. Presentación del modelo sugerido
 - 3.2. Cálculo de indicadores económicos
 - 3.2.1. Cálculo de tasa interna de retorno
 - 3.2.2. Cálculo de valor presente neto
 - 3.2.3. Cálculo de la relación costo beneficio

4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Discusión de resultados

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

En la siguiente investigación se hará un análisis de las velocidades de viento en metros por segundo de la ciudad de Guatemala, para determinar si estas poseen el suficiente potencial energético para ser aprovechados en generación eólica a nivel residencial principalmente, pero también podría ser utilizado este potencial eólico a niveles más altos como comerciales e industriales. Para esto, se hará un análisis de tipo hipotético-deductivo de los datos proporcionados por el INSIVUMEH y de la torre de meteorología del Aeropuerto Internacional La Aurora.

Dado que los datos de velocidad de viento son datos que no podemos controlar, se propone un diseño de investigación no experimental con las observaciones meteorológicas de los últimos dos años para poder hacer su análisis posterior. Tomando en cuenta que los datos de velocidad de vientos pueden tomar cualquier valor dentro del conjunto de números positivos, se define a esta variable como una variable continua.

Por otro lado, se analizará una segunda variable que consiste en determinar la posibilidad que toda persona que tenga interés en aprovechar la velocidad de viento para su beneficio personal a través de la implementación de proyectos eólicos privados a nivel residencial tenga todas las herramientas legales para poder implementar un proyecto de esta naturaleza, dado que esta variable no se puede determinar por un valor numérico exacto, podremos definirla como una variable cualitativa nominal.

Puesto que el comportamiento del viento a nivel general es un fenómeno ya conocido y posible de pronosticar, podemos decir que esta investigación es de carácter descriptivo y que el alcance que se pretende tener es cómo las personas que habitan en la Ciudad de Guatemala pueden hacer un aprovechamiento del potencial energético de este recurso para poder así contribuir de alguna manera a la descarbonización de la matriz energética, haciendo uso de pequeños generadores eólicos a nivel residencial.

9.1 Características del estudio

El enfoque del estudio propuesto es mixto continuo, binaria, ya que la variable de velocidad de viento puede tomar valores numéricos exactos o decimales, lo que lo hace una variable más específica y la variable usuario autoproducer, es una variable mixta porque esta variable puede o no ser un usuario autoproducer, sin intermedios.

El alcance es descriptivo, dado que con la información obtenida de las velocidades promedio de cada mes, de los últimos dos años, se puede hacer una estimación del viento en el tiempo a través de estadística descriptiva y las medidas de tendencia central para hacer utilizar el modelo probabilístico de *Weibull*.

El diseño adoptado será no experimental, pues la información de las velocidades de viento a utilizar se estudiará sin ningún tipo de manipulación, tomando en cuenta que el viento es una variable que no podemos controlar.

La presente investigación es de tipo continuo-binaria, ésta considera evaluar el potencial eólico de las velocidades de viento de la ciudad de

Guatemala por los últimos dos años para poder comprobar la hipótesis que este potencial del viento puede ser utilizado para la generación eólica a baja escala

9.2 Unidades de análisis

Lo datos principales para analizar, serán las velocidades de viento promedio mensuales en metros por segundo (m/s) de la ciudad de Guatemala, en un período de dos años consecutivos, datos que serán interpretados en su totalidad.

9.3 Variables

En la tabla III se describen cada una de las variables de estudio:

Tabla III. **Variables del estudio**

Variable	Definición teórica	Definición operativa
Generador eólico vertical	Un aerogenerador eólico vertical convierte la energía cinética del viento en energía eléctrica, capa el viento desde cualquier dirección y pueden funcionar con pequeñas velocidades de viento.	Se utilizarán los datos de velocidad de viento en Km/h de la torre meteorológica ubicada en el aeropuerto internacional La Aurora

Continuación Tabla III.

Variable	Definición teórica	Definición operativa
Autoprodutores de Energía	Un usuario autoprodutor con excedente de energía es el usuario que tiene dentro de sus instalaciones un sistema de generación de energía eléctrica de una fuente renovable y que todo el excedente de energía que no consume, lo puede entregar al sistema de distribución y no recibe remuneración por dichos excedentes.	Se describirá la metodología para medir el excedente de energía según las normativas eléctricas vigentes en el país.

Fuente: elaboración propia.

Para este análisis se tomarán los datos proporcionados por el INSIVUMEH, de las velocidades promedio diarias de la Ciudad de Guatemala, medidos en la torre meteorológica del aeropuerto internacional La Aurora de los años 2,020 y 2,021.

Tabla IV. **Velocidad promedio diaria del viento, ciudad de Guatemala**

Año	Mes	Día	Dirección de viento predominante	Velocidad de viento media (Km/h)	Velocidad de viento media (m/s)
2020	1	1	360	18	30.00
2020	1	2	180	7.6	12.67
2020	1	3	180	14.4	24.00

Continuación Tabla IV.

Año	Mes	Día	Dirección de viento predominante	Velocidad de viento media (Km/h)	Velocidad de viento media (m/s)
2020	1	4	360	21.6	36.00
2020	1	5	360	36	60.00
2020	1	6	360	25.2	42.00
2020	1	7	360	22.8	38.00
2020	1	8	360	30	50.00
2020	1	9	360	33.6	56.00
2020	1	10	360	19.2	32.00
2020	1	11	360	19.2	32.00
2020	1	12	45	20.4	34.00
2020	1	13	360	24	40.00
2020	1	14	360	27.6	46.00
2020	1	15	360	27.6	46.00
2020	1	16	360	26.4	44.00
2020	1	17	360	30	50.00
2020	1	18	360	27.6	46.00
2020	1	19	360	26.4	44.00
2020	1	20	360	30	50.00
2020	1	21	360	31.2	52.00
2020	1	22	360	20.4	34.00
2020	1	23	180	16.8	28.00
2020	1	24	360	18	30.00
2020	1	25	9	13.2	22.00
2020	1	26	360	12.6	21.00

Continuación Tabla IV.

Año	Mes	Día	Dirección de viento predominante	Velocidad de viento media (Km/h)	Velocidad de viento media (m/s)
2020	1	27	9	7.2	12.00
2020	1	28	180	3.6	6.00
2020	1	29	180	13.2	22.00
2020	1	30	9	14.4	24.00
2020	1	31	225	18	30.00

Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala. Sección climatología (2022), *Datos de torre meteorológica, aeropuerto interlacional La Aurora.*

9.4 Fases del estudio

Se describirán a continuación cuatro fases del estudio, iniciando con la etapa de búsqueda y revisión documental, desarrollo de la investigación, análisis estadísticos de la base de datos de las velocidades de viento mencionadas anteriormente y la evaluación técnico-financiera.

9.4.1 Fase 1: revisión bibliográfica

En la primera fase se realizará una consulta de todas las bibliografías posibles relacionadas al tema, para incrementar los conocimientos sobre energía eólica y tener las bases necesarias para saber cómo se puede aprovechar la energía del viento en sistemas conectados a la red de distribución.

9.4.2 Fase 2: desarrollo de la investigación

En la segunda fase se desarrollará todo el trabajo investigativo correspondiente, así como la recolección de toda la información necesaria para dar sustento teórico a la etapa siguiente relacionada con los cálculos y modelos matemáticos.

9.4.3 Fase 3: análisis estadístico

En la tercera etapa se desarrollará toda la estadística descriptiva e inferencial necesaria para poder determinar el modelo probabilístico de Weibull que permita tener una proyección del viento y así establecer el potencial eólico en la Ciudad de Guatemala para el año 2,022. Esta etapa es importante porque es la que le dará la validez a la fase financiera.

9.4.4 Fase 4: evaluación técnico-financiera

En la última etapa se tomarán como base los datos y modelos obtenidos de la etapa anterior para poder hacer un cálculo del potencial energético de los aerogeneradores eólicos de 300w, 500w y 1000w, con el fin de establecer si estos pueden generar la suficiente energía eléctrica y ser financieramente viables. Para establecer esto se hará uso de parámetros financieros como la tasa interna de retorno (TIR), valor presente neto (VPN) y la relación costo-beneficio (C/B).

Con base en la información investigada se podrá tener una guía certera de que sí es posible poner en marcha proyectos de generación conectados a la red de distribución que sean técnica y financieramente viables.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para el análisis de los datos, éstos se dividirán por años y se analizarán con las siguientes medidas:

- Medidas de tendencia central o de posición, (media, mediana, moda, cuartiles)
- Medidas de dispersión, (rango, varianza, desviación estándar, etc.)
- Medidas de forma, (coeficiente de asimetría, curtosis)
- Transformación de variables X^2
- Análisis de frecuencia
- Modelo probabilístico de Weibull

Se hará uso de Microsoft Excel y de InfoStat, como herramientas de cálculo y modelación matemática.

Estos datos serán obtenidos de la tabla resumida de velocidad de viento por año, como la que se muestra a continuación:

Tabla V. **Datos de velocidad de viento año 2,020**

Año 2,020	Tiempo inicial	Tiempo final	Datos no nulos	Datos nulos	Total, de Datos	Promedio de la Velocidad en (m/s)	% de Frecuencia de datos en cero	% de Frecuencia de
Enero	01/01/20	31/01/20	31	0	31	35.28	0	100
Febrero	01/02/20	28/02/20						
Marzo	01/03/20	31/03/20						
Abril	01/02/2	30/04/20						
Mayo	01/05/20	31/05/20						
Junio	01/06/20	30/06/20						
Julio	01/07/20	31/07/20						
Agosto	01/08/20	31/08/20						
Septiembre	01/09/20	30/09/20						
Octubre	01/10/20	31/10/20						
Noviembre	01/11/20	30/11/20						
Diciembre	01/12/20	31/12/20						

Fuente: elaboración propia.

11. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se realizará con recursos del investigador. Teniendo en consideración los siguientes rubros.

Tabla VI. **Recursos necesarios para la investigación**

Recurso	Costo
Gastos por asesoría	Q 2,500.00
Gastos del investigador	Q 2,500.00
Dos resmas de hojas	Q. 150.00
Herramientas informáticas	Q. 1,000.00
Tóner de impresora	Q. 500.00
Recursos de infraestructura	Q. 2,500.00
TOTAL	Q. 9,150.00

Fuente: elaboración propia.

De modo que los recursos satisfacen todo lo requerido para la investigación y se considera que es posible su realización.

12. REFERENCIAS

1. Bahamonde García , M. I. (2019). Estudio del potencial eólico en mar abierto y optimización de la producción energética en la implantación de parques eólicos marinos. Universidad de Huelva.
2. Barrios, J. (2018). Factibilidad técnica económica del uso de la energía eólica en edificio de la Facultad de Ingeniería del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Universidad San Carlos de Guatemala.
3. Chicojay Coloma, C. A. (2010). Impacto en la matriz energética de Guatemala debido a la generación de energía eólica. Universidad de San Carlos de Guatemala.
4. Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE). (2014). Pliegos. Obtenido de <https://www.cnee.gob.gt/Calculadora/pliegos.php>
5. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (2014). cnee.gob.gt. Obtenido de www.cnee.gob.gt/Calculadora/pliegos.php
6. Congreso de la República de Guatemala. (1996). Ley General de Electricidad.
7. Crespo Cuestas, A. D. (2011). Diseño y construcción de un generador eólico tipo savonius de eje verticas. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.

8. Díez, P. (2012). Energía Eólica. Universidad de Cantabria. doi:termica.webhop.info/
9. Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A. (s.f.). eegsa.com. Obtenido de <https://eegsa.com/wp-content/uploads/2018/09/Formulario-para-usuario-autoproduccion-con-excedente-de-energ%C3%ADa.pdf>
10. Grupo EMP. (2019). Informe Avazado. Empresa Eléctrica de Guatemala S.A.
11. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala. (01 de Febrero de 2022). Datos de velocidades de viento Ciudad de Guatemala. Sección climatología. Obtenido de insivumeh.gob.gt
12. Morgues, J., & Rapallini, A. (2003). Energía Eólica. Instituto Argentino de la Energía "General Mosconi".
13. Resolución-Comisión Nacional de Energía Eléctrica-227. (2014). Normas Técnicas de Generación Distribuida Renovable y Usuarios Autoprodutores con Excedentes de Energía . Guatemala.
14. Villarrubia, M. (2012). Ingeniería de la energía eólica (5ta. ed.). Marcombo.