



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO DEL
APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA EÓLICA, EN EL EDIFICIO DE LA
MUNICIPALIDAD DE SAN MIGUEL PETAPA, GUATEMALA**

Kevin Indalecio Recinos López

Asesorado por la M.A. Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz

Guatemala, septiembre de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO DEL
APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA EÓLICA, EN EL EDIFICIO DE LA
MUNICIPALIDAD DE SAN MIGUEL PETAPA, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

KEVIN INDALECIO RECINOS LÓPEZ

ASESORADO POR EL M.A. ING. KENNETH ISSUR ESTRADA RUIZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO A. I.	Inga. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir Cruz Llorente
VOCAL V	BR. Fernando José Páz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Jorge Gilberto González Padilla
EXAMINADOR	Ing. Herbert Samuel Figueroa Avendaño
EXAMINADOR	Ing. Ana María Navarro Orozco
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 ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO DEL
APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA EÓLICA, EN EL EDIFICIO DE LA
MUNICIPALIDAD DE SAN MIGUEL PETAPA, GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 26 de abril de 2022.

A handwritten signature in black ink, enclosed within a hand-drawn oval. The signature is cursive and appears to read 'Kevin Indalecio Recinos López'.

Kevin Indalecio Recinos López



EEPFI-PP-0625-2022
Guatemala, 26 de abril de 2022

Director
Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela De Ingeniería Mecánica Eléctrica
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 ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO DEL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA EÓLICA, EN EL EDIFICIO DE LA MUNICIPALIDAD DE SAN MIGUEL PETAPA, GUATEMALA**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Energía Aplicada - Uso Eficiente de la Energía - Uso eficiente en residencias y edificios**, presentado por el estudiante **Kevin Indalecio Recinos Lopez** carné número **201313914**, 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.

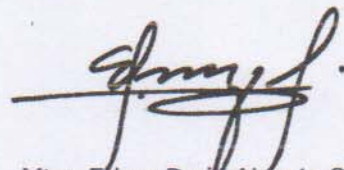
Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Mtro. Kenneth Issur Estrada Ruiz
Asesor(a)
Colegiado No. 6271


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




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





EET-EIME-0625-2022

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 ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO DEL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA EÓLICA, EN EL EDIFICIO DE LA MUNICIPALIDAD DE SAN MIGUEL PETAPA, GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Kevin Indalecio Recinos Lopez**, 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

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

Guatemala, abril de 2022



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad e Ingeniería

24189101- 24189102

LNG.DECANATO.OIE.79.2023

El Decano 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 ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO DEL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA EÓLICA, EN EL EDIFICIO DE LA MUNICIPALIDAD DE SAN MIGUEL PETAPA, GUATEMALA**, presentado por: **Kevin Indalecio Recinos Lopez** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Firmado electrónicamente por: José Francisco Gómez Rivera
Motivo: Orden de impresión
Fecha: 23/09/2023 18:01:54
Lugar: Facultad de Ingeniería, USAC.

Ing. José Francisco Gómez Rivera
Decano a.i.



Guatemala, septiembre de 2023

Para verificar validez de documento ingrese a <https://www.ingenieria.usac.edu.gt/firma-electronica/consultar-documento>

Tipo de documento: Correlativo para orden de impresión Año: 2023 Correlativo: 79 CUI: 2236629760101

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, - Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). Postgrado Maestría en Sistemas Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas. Licenciatura en Matemática. Licenciatura en Física. Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por darme la vida, sabiduría, entendimiento, fortaleza y cumplir este triunfo anhelado.
- Mi esposa** Tania Yasmine Bernal Quiñones, por su apoyo incondicional, por su amor y su fe, este triunfo también es tuyo.
- Mi padre** Efraín Recinos Carrillo, por sus consejos y ayuda en cada momento de la vida.
- Mi madre** Beraly Alicia López Gonzales, por darme su amor, fuerza, motivación, su ejemplo de trabajo, por sus oraciones y consejos.
- Mis hermanos** Jerson Efraín, Edwin Osmaro, Juan Carlos, Christian Iván y Brayan Eduardo Recinos por sus consejos y aprecio.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala

Por ser parte de la educación y guiarme sobre el camino del saber, en el ámbito científico, social y humanista.

Facultad de Ingeniería

Por forjarme en lo que me gusta y ser parte del deseo del saber.

Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

A cada catedrático y auxiliares, por su excelencia en la enseñanza.

Mis amigos

Miguel Carrillo, Noe García y demás compañeros por su apoyo incondicional.

Pueblo de Guatemala

Por tener fe en la enseñanza superior y autónoma.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
3.1. Descripción del problema	7
3.2. Formulación del problema	7
3.2.1. Pregunta central	8
3.2.2. Preguntas de investigación.....	8
3.3. Delimitación del Problema	8
4. JUSTIFICACIÓN	9
5. OBJETIVOS	11
5.1. General.....	11
5.2. Específicos	11
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	13
7. MARCO TEÓRICO.....	15
7.1. Principio de operación de las maquinas eólicas:	15

7.2.	Energía obtenible del viento.....	18
7.3.	Tipo de máquinas eólicas.....	20
7.3.1.	Molino de eje horizontal.....	20
7.3.2.	Molino de eje vertical.....	21
7.4.	Configuración y características de los generadores eólicos aislados.....	24
7.5.	Energías renovables	25
7.6.	Conjuntos fundamentales.....	26
7.7.	Estudio de los sistemas eólicos	28
7.7.1.	Problemas de la energía eólica	29
7.7.2.	Soluciones a las problemáticas	29
7.7.3.	¿Qué tipo de generador se va a escoger?	29
7.8.	¿Qué tipo de conversión mecánico eléctrica debe poseer el aerogenerador?.....	30
7.8.1.	Ubicación de este sistema.....	32
7.9.	Vectores de la velocidad del viento generada en el entorno del edificio	32
7.10.	Estudio técnico.....	34
7.10.1.	Localización del proyecto	34
7.11.	Medidores de Energía	35
7.12.	Dimensionamiento del inversor	35
7.13.	Anemómetro.....	36
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	39
9.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	41
9.1.	Características del estudio	41
9.2.	Unidades de análisis	41
9.3.	Variables	42

9.4.	Fases del estudio	43
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS	47
11.	CRONOGRAMA	49
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	51
13.	REFERENCIAS	53

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Figura 1. Fuerza de sustentación y de arrastre.....	16
Figura 2. Viento aparente.....	17
Figura 3. Molinos de eje horizontal..	21
Figura 4. Molinos de eje vertical.....	23
Figura 5. Aplicaciones de los aereogeneradores..	23
Figura 6. Características de los aereogeneradores.	24
Figura 7. Esquema típico de un sistema eólico para uso residencial.....	25
Figura 8. Conjuntos fundamentales vista general.	27
Figura 9. Conjuntos fundamentales detalle del diseño.....	28
Figura 10. Corriente producida por los generadores contra RPM.....	31
Figura 11. Viento contra un sistema aereodinámico.	32
Figura 12. Vectores de la velocidad del viento.....	33
Figura 13. Inversores	36
Figura 14. Medidor de viento	37
Figura 15. Cronograma	49

TABLAS

Tabla 1.	Definición teórica y definición operativa.....	42
Tabla 2.	Medición de variables.	43
Tabla 3.	Factibilidad del estudio.	51

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Área
ρ	Densidad de un elemento
σ	Desviación estándar
E	Energía
m	Flujo del aire en kilogramos sobre segundos
°C	Grados de temperatura en Centígrados
°F	Grados de temperatura en Fahrenheit
\bar{x}_i	i-ésima variable de estudio
\bar{x}	Media aritmética
P	Potencia
%	Porcentaje
Q	Quetzales
Σ	Sumatoria de una función matemática.
σ^2	Varianza de una muestra
V	Velocidad de un elemento
W	Watts.

GLOSARIO

Aerogenerador	Es un generador eléctrico que funciona convirtiendo la energía cinética del viento en energía mecánica.
Anemómetro	Instrumento utilizado para medir la velocidad del viento.
Aspas	Elemento que permite dirigir el aire hacia la dirección deseada.
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
Molino	Se refiere a una máquina giratoria que aprovecha la energía del viento para diversas utilidades.
SIFGUA	Sistema de Cobertura Forestar de Guatemala.
RPM	Revoluciones por minuto.

1. INTRODUCCIÓN

En la presente investigación se realizará un análisis técnico y económico, que permita el aprovechamiento de la energía eólica para la generación de la energía eléctrica, consumida en el edificio de la municipalidad de San Miguel Petapa, Guatemala. Así mismo, el aprovechamiento de los recursos naturales, favoreciendo la producción de energía eléctrica limpia, ayudando al medio ambiente y reduciendo costos de facturación de energía eléctrica del lugar.

En el presente trabajo se analizará el estudio y diseño de aerogeneradores, que permita la generación de energía eléctrica, consumida en el edificio de San Miguel Petapa, a base del aprovechamiento del viento, como un recurso esencial para la generación de energía eléctrica.

Se propone por medio de esta investigación, el estudio de la generación de energía eléctrica, en el sentido del análisis de lecturas de flujo de corriente en la entrada y salida del consumo eléctrico en contadores bidireccionales del edificio de la municipalidad, permitiendo que entre y salga la energía eléctrica, suministrándola de una forma que ayude a disminuir el consumo. La producción que sobrepasa la demanda generada, retornando a la red, beneficiando un consumo casi cero, en los gastos de facturación.

Se realizará una investigación bibliográfica sobre los temas de las energías renovables, su definición y parámetros, también la investigación preliminar del consumo histórico de la energía eléctrica, en el edificio de la municipalidad de San Miguel Petapa.

Se hará una investigación de campo, que se complementará con los parámetros medidos, en el anemómetro para medir parámetros de velocidad.

Se realizará el estudio técnico donde habla con respecto, la factibilidad de la instalación de este equipo de generación, en la terraza del edificio de la municipalidad de San Miguel Petapa, ya que este pueda permitir el aprovechamiento máximo de la velocidad del viento, con ello se darán diferentes alternativas para la selección del equipo adecuado que se utilizará a la situación del lugar, así como las instalaciones adecuadas.

En la investigación, se procederá a realizar el estudio en la recopilación de información existente, sobre el consumo de energía eléctrica del edificio e inspecciones en el área de estudio.

2. ANTECEDENTES

Este tema principalmente se basa en el sistema de aerogeneradores de viento, una alternativa viable para beneficiar a las áreas rurales en Guatemala en la generación de energía eléctrica. Esta tecnología da un gran aporte no solo a la economía del beneficiario, si no también ayuda al medio ambiente, ya que reduce el uso de combustibles fósiles y origen de las emisiones de efecto invernadero, que causan el calentamiento global.

Según el Instituto Argentino de la Energía General Mosconi (2003), denota que las características de los molinos eólicos y la rapidez del viento en un momento dado, es fácil calcular la cantidad de energía útil. La problemática se experimenta en que, la rapidez del aire no es uniforme y, por ende, es fundamental ver su evolución contemporánea, para estimar la energía útil que un mecanismo de viento es capaz de la entrega final.

“Los molinos de viento, aeromotores, máquinas eólicas (términos que pueden ser considerados sinónimos), o los aerogeneradores, o turbinas eólicas en su acepción, son dispositivos que convierten la energía cinética del viento en energía mecánica” (Instituto Argentino de Energía General Mosconi, 2003, p. 8).

Así también Villarrubia (2013), menciona que la energía eólica en la última década, ha realizado importantes progresos tanto en el aspecto técnico como económico. Ha mostrado su mejoramiento en las variantes tales como: la gestión y mantenimiento de parques de energía eólica, el acoplamiento de la energía eléctrica en la red, la versatilidad del diseño de la energía eólica, etc., la energía

a base del aire ha tomado auge en la fase técnica y económica, siendo una tecnología madura.

Las dos principales fuentes de energía son la energía primaria, donde las más importantes son la hidráulica y eólica. La primera es muy conocida desde hace mucho tiempo en la antigüedad, la segunda que es la eólica, está es más moderna, ya que alcanza un enfoque tecnológico y económico que evidencia la viabilidad, con unos costos de producción muy buenos en el mercado.

Fernández (2007), indica que este tipo de generación de energía eléctrica estableció la fabricación de mecanismos de viento, con una cantidad de energía que son elevadas, esto gracias a las compañías que se han dedicado a este modelo de técnica, creando la confianza de la maquinaria y bajando costos de facturación. Optando a una generación de molinos de viento de grandes y bajas potencias, lo que muestra que el alto enfoque tecnológico a nuevas generaciones.

Considerando que el viento es generado por una masa de aire en movimiento, ya que este proviene por la problemática del efecto invernadero, teniendo en cuenta que la energía a base del aire es la más limpia y pura.

López (2008) referencia que en la actualidad los molinos eólicos ejecutan uno de los suministros de energía más cómoda y con una ciencia de aprovechamiento totalmente madura, a la par que competitiva con las fuentes tradicionales de producción energética.

En vista de que los precios de la energía subirán a mediano plazo y el clima se verá cada vez más amenazado, se puede pronosticar que las energías renovables, tendrán buenas perspectivas de mercado en el futuro. De hecho,

constituirá el gran reto tecnológico del siglo XXI, (López, 2008).

Los generadores eólicos son sistemas de producción de energía renovable, que adquieren su energía de la circulación del aire que pasa a través de sus aspas. Estos sistemas son muy usados a nivel mundial, para la generación de energía, convirtiéndose en los más usados. Pero ellos como todos los sistemas de generación de energía renovable, poseen inconvenientes, como es la producción de energía, cuando no hay flujo de viento, o como evitar el daño en las baterías por la carga y descarga en los sistemas autónomos. La figura de investigación teórica de laboratorio arroja que todas estas interrogantes tienen una solución bastante sencilla, que es la utilización de un sistema heterogéneo, la configuración de una proyección de elevación con poca energía para dicho funcionamiento, la energía suministrada por los molinos de viento y la creación de un controlador de carga híbrido especial, con un control robusto al momento del suministro de energía. (Fula y Vilora, 2015, p.32)

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Descripción del problema

Aunque el uso de energía renovable en Guatemala, ha beneficiado de gran manera al país con determinados recursos naturales, contando con la atención de mejoras integrales de las comunidades donde se presentan los centros de generación y distribución de energía.

En la mayoría de los pobladores de las comunidades en el país, un gran porcentaje de la demanda en Guatemala, son las fuentes de energía provenientes de la leña. El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (2020) revela que el país cuenta con una superficie de tres millones 574 mil 244 hectáreas cubiertas de bosque, que equivalen a un 33 % del territorio. Del total de bosque nacional, el 52.7 % está ubicado dentro del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas.

La matriz de generación Eléctrica del país actualizado hasta el año 2021, el porcentaje que depende de la energía renovable es de 74.65 % y el porcentaje que depende de la energía no renovable es de 25.4 %. (Comisión Nacional de Energía Eléctrica -CNEE-, 2021).

3.2. Formulación del problema

A continuación, en los siguientes incisos se describen las preguntas necesarias para esta investigación.

3.2.1. Pregunta central

¿Será viable técnica y económicamente el uso de aerogeneradores de viento para la producción de energía eléctrica en el edificio de la municipalidad de San Miguel Petapa, Guatemala?

3.2.2. Preguntas de investigación

- ¿Cuál es el consumo eléctrico actual del edificio?
- ¿Qué tipo de aerogeneradores se recomienda más, para su uso en el edificio de la municipalidad de San Miguel Petapa, Guatemala?
- ¿En qué plazo se puede devolver la inversión?
- ¿Habrá condiciones climáticas adecuadas para la implementación de estos aerogeneradores?

3.3. Delimitación del Problema

En el edificio de la municipalidad de San Miguel petapa, Guatemala, tiende al alto consumo de la energía eléctrica en todos sus equipos e instalaciones. Por ende, este conlleva elevados costos de facturación, utilizando fuentes de energía eléctrica mediante el uso de energías no renovables, que proviene del servicio público.

Por lo tanto, se analizará el problema por medio de un estudio técnico económico, donde se podrá observar el tiempo de aerogenerador de viento, el posicionamiento de estos aerogeneradores y si es viable la implementación de las misma.

4. JUSTIFICACIÓN

Por medio de este trabajo se busca conceptualizar el tema, darlo a conocer más a fondo y proporcionar nuevas posibilidades de generar energía, que ayuden a disminuir la contaminación ambiental aprovechando los recursos naturales, en especial el viento, esta energía extraída del viento se llama energía eólica, que está relacionada con el movimiento de las masas de aire, que se desplazan de áreas de alta presión atmosférica, hacia áreas adyacentes de baja presión, con velocidades proporcionales al gradiente de presión. Los vientos son generados a causa del calentamiento, no uniforme de la superficie terrestre por parte de la radiación solar, entre el 1 y 2 % de la energía proveniente del sol se convierte en viento.

Dado el tema en el presente trabajo, se muestra las líneas de investigación relacionadas con los aerogeneradores de viento, en la maestría de energía y ambiente optando las siguientes líneas de investigación:

Gestión y uso eficiente de la energía

- Aspectos técnicos, económicos y ambientales en el uso y aprovechamiento de recursos energéticos.

Energías renovables

- Diseño y operación de proyectos eólicos y solares

La energía del viento, es utilizada mediante el uso de máquinas eólicas (o aeromotores), capaces de transformar la energía eólica en energía mecánica de rotación utilizable, ya sea para accionar directamente las máquinas de operación, como para la producción de energía eléctrica. En este último caso, el sistema de conversión, (que comprende un generador eléctrico con sus sistemas de control y de conexión a la red), es conocido como aerogenerador.

La baja densidad energética, de la energía eólica por unidad de superficie, trae como consecuencia la necesidad de proceder a la instalación de un número mayor de máquinas para el aprovechamiento de los recursos disponibles.

Lo que busca este proyecto, es reducir los costos mensuales del consumo eléctrico, debido a la alta carga en el sistema, de los equipos utilizados en el edificio de la municipalidad de San Miguel Petapa.

Llegando a una mejor cuantificación de energía, mediante la implementación de aerogeneradores, que ayuda al medio también, obteniendo energía limpia como una energía renovable.

Busca beneficiar la reducción de consumo energético por la red, evitando los altos costos en la facturación de la municipalidad y el aprovechamiento de los recursos estatales en los pobladores del municipio.

Esta energía ayuda al medio ambiente disminuyendo la contaminación, ya que esta energía es inagotable y reduce el uso de combustibles fósiles, que da origen a las emisiones del efecto invernadero, que causan la contaminación ambiental.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Evaluar técnica económicamente la viabilidad de la generación de energía eléctrica mediante el uso de energía eólica en el edificio de la municipalidad de San Miguel Petapa, Guatemala.

5.2. Específicos

1. Revisar el consumo eléctrico actual en el Edificio de la municipalidad de San Miguel Petapa.
2. Evaluar la mejor opción en aerogeneradores disponibles, para colocar en el edificio de la Municipalidad.
3. Analizar la mejor opción de viabilidad económica y financiera de estos aerogeneradores.
4. Observar el movimiento del viento, para ubicar correctamente la posición del aerogenerador en el edificio de la municipalidad.

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

Se propone el estudio técnico económico para la implementación de energía eólica, para reducir costos de consumo eléctrico en el edificio de la municipalidad de San Miguel Petapa.

Reduce de consumo energético suministrado por la red, evitando los altos costos en la facturación de la municipalidad y el aprovechamiento de los recursos estatales en los pobladores del municipio.

El aporte es proporcionar la información debido al estudio técnico económico proporcionado, para mejorar tanto el consumo de energía eléctrica como los costos de facturación.

Es un estudio que se realiza en el campo de la energía renovable, energía eólica, para hacer evidente el uso en área de ingeniería en Guatemala.

En base a la línea de investigación, ya que se trata de la reducción de costos en el edificio mediante los aerogeneradores y va acorde a estas líneas e identificar los problemas, que afectan al medio ambiente sin el uso de esta energía.

Análisis de mediciones mediante el uso del Anemómetro, para poder registrar las velocidades del viento para hacer más certero el uso de esta energía.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Principio de operación de las maquinas eólicas

Acuerdo al Instituto Argentino de la Energía General Mosconi (2003), los aerogeneradores llamados también molinos de viento o aeromotores, son dispositivos que transforman la energía cinética producida por el viento, a una energía en movimiento llamada energía mecánica.

Existen dos tipos de aerogeneradores:

- Los de eje vertical
- Los de eje horizontal

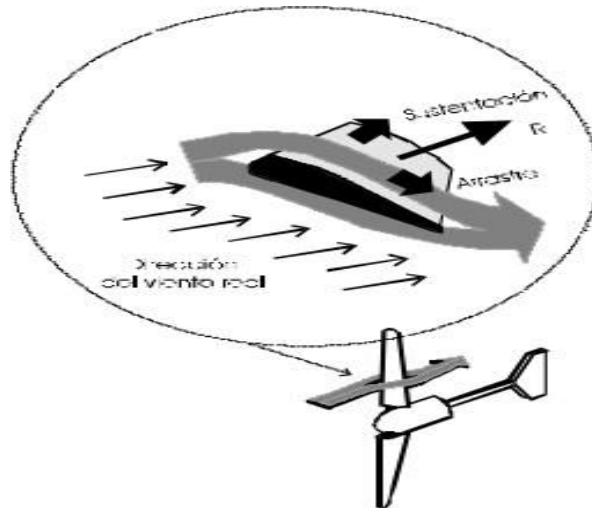
Básicamente ambos tipos de aerogeneradores operan bajo el mismo principio.

Asimismo, el Instituto Argentino de la Energía General Mosconi (2003) indica que la generación de energía producida por el viento, se realiza mediante el movimiento de las aspas. Estos movimientos son generados por masas de aire que circulan por cada aspa o pala, las cuales están unidas por un eje que atraviesa un elemento llamado rotor. Por este principio, el aire incide sobre las caras superiores e inferiores de una pala, generando presiones diferentes en cada cara, dándole origen a una fuerza resultante que actúa sobre área del colapso entre cara y viento, se obtiene:

- La fuerza de sustentación, fuerza que es ejercida perpendicular al viento con respecto al aspa.
- La fuerza de arrastre, fuerza que es ejercida paralelamente al viento con respecto al aspa.

Figura 1.

Fuerza de sustentación y de arrastre



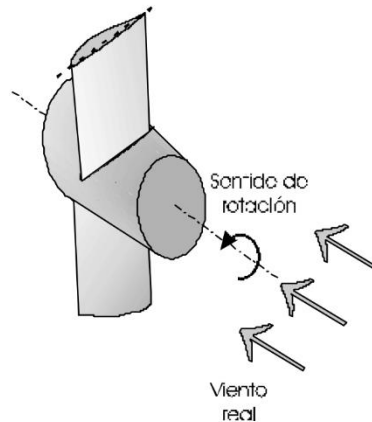
Nota. Diseño que presenta la fuerza de sustentación y de arrastre. Instituto Argentino de la Energía General Mosconi (2003). *Energía Eólica.* (<http://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/1/534/541/2962.pdf>), consultado en julio de 2022. De dominio público.

“La fuerza de sustentación es la que producirá un par motor, que permitirá diseñar el perfil y ubicación de las aspas, posicionándolas de una manera que el ángulo de ataque, para hacer la máxima relación de fuerzas (fuerza de sustentación vs fuerza de arrastre)” (Instituto Argentino de la Energía General Mosconi, 2003, p.8).

“El análisis es válido cuando las aspas de un aerogenerador están totalmente en reposo. Ya que, al permitir el giro de las aspas, afectando el giro del rotor, las fuerzas resultantes sobre las aspas darán como resultado la combinación de la acción directa del viento real” (Instituto Argentino de la Energía General Mosconi, 2003, p.9).

Figura 2.

Viento aparente



Nota. Ilustración del viento aparente. Instituto Argentino de la Energía General Mosconi (2003). *Energía Eólica*. (<http://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/1/534/541/2962.pdf>), consultado en julio de 2022. De dominio público.

“Para producir un arranque en los aerogeneradores, el viento deberá superar el valor mínimo necesario, para predominar el rozamiento y comenzar a producir trabajo útil en su movimiento. Con velocidades mayores, generando movimiento en las aspas, estas se moverán y comenzarán a producir energía entregando potencia, que responde a la ley del cubo de la velocidad” (Instituto Argentino de la Energía General Mosconi, 2003, p.9).

“Esto se mantendrá así, cuando la potencia nominal donde la máquina comienza a trabajar en condiciones ideales según diseño del mecanismo. Este continuará operando a ciertas velocidades, donde no será muy diferente a la nominal, hasta que alcance la velocidad de corte, dado que, si actúa en esta condición, se detendrá por razones de seguridad para no provocar daños en el sistema” (Instituto Argentino de la Energía General Mosconi, 2003, p.9).

7.2. Energía obtenible del viento

Instituto Argentino de la Energía General Mosconi (2003), denota que la energía máxima teórica, puede ser atraída de una masa de aire en movimiento está dado por la expresión:

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2$$

Donde:

E_c = energía cinética (Joules/s)

m = flujo de aire (kg/s)

V = velocidad del viento (m/s)

Se asume que el área barrida por las aspas, perpendicular a la dirección del viento, el flujo constante que pasa a través de ellas será:

$$m = \delta A v$$

Siendo:

δ = densidad del aire (kg/m³)

A = área de captación (m²)

La energía teórica máxima por unidad de tiempo se puede extraer de una masa de aire en movimiento ($A=1$) se obtiene:

$$P_m = 1/2 \delta v^3$$

Dada esta energía, da como resultado la potencia meteorológica expresada en W/m^2 .

Dado que la velocidad del viento atraviesa sobre el área de la superficie del aspa (área de captación), no es nula, ya que la potencia, y tomando en cuenta que ningún rotor es ideal, para ello es necesario saber su eficiencia η , por lo tanto la potencia por unidad de área del rotor esta medida en W/m^2 y esta se expresa de esta manera.

$$P_a = 1/2 \eta \delta V^3$$

Y la potencia total de giro de las palas, $A = \pi r^2 = \pi \frac{D^2}{4}$, expresado en W/m^2 , esto queda como:

$$P_t = 1/2 \eta \delta \left(\pi \frac{D^2}{4} \right) v^3$$

Donde:

D y R, diámetro y radio expresado en metros

Dado que la densidad del viento es 1.25 kg/m^3 valor por el cual se multiplica por $\pi/4$ da como resultado uno. Por ende, se puede expresar la potencia en un aerogenerador, tomando el diámetro en metros y la velocidad del viento en metros sobre segundo, como:

$$P \approx 1/2 \eta v^3$$

Donde el rendimiento de la eficiencia η , depende mucho del tipo de maquinaria y las condiciones en que se encuentra.

7.3. Tipo de máquinas eólicas

Según el Instituto Argentino de la Energía General Mosconi (2003) se establece que el comienzo de la utilización de los aerogeneradores se han utilizado miles de diseños y diversos tipos de aerogeneradores, aunque muchos patentados han superado a cualquier dispositivo que se haya creado. Y entre ellos son escogidos los que llegaron a los requisitos de producción comercial, debido a su diseño y su generación.

Por ende, los aerogeneradores se clasifican de dos maneras, según la posición del eje de rotación con respecto a la dirección del viento, en la cual se dividen en dos categorías:

- Aeromotores de eje horizontal
- Aeromotores de eje vertical

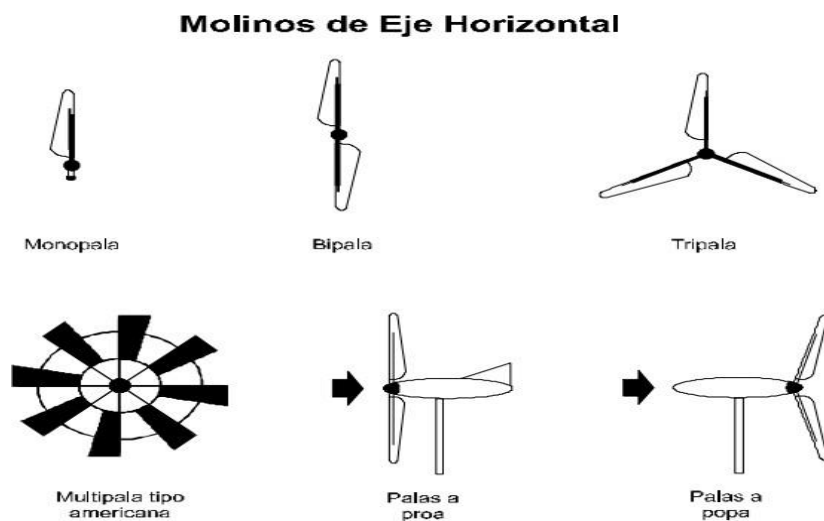
7.3.1. Molino de eje horizontal

Menciona Salas (2017) que los aerogeneradores de eje horizontal se caracterizan por tener un eje de rotor en una posición horizontal, que, a diferencia de los aerogeneradores de eje vertical, estos cuentan con autoarranque. Ya que estos son más fáciles de moverse, conforme al movimiento del viento choca sobre sus aspas, estos aerogeneradores aprovechan más la energía del viento, en las alturas más altas que los aerogeneradores de eje vertical.

Sabiendo que la potencia de salida afecta a los aerogeneradores de eje horizontal, en su ángulo de ajuste de paso de las aspas. Para este tipo de molinos de viento y para el rotor, se utiliza un método donde el perfil de las aspas es diseñado para confirmar que la potencia absorbida, disminuya moderadamente a mayores velocidades de viento, debido a la reducción del coeficiente de potencia a velocidades bajas de punta. Este tipo de control elimina la implementación de partes móviles junto con su mecanismo de control.

Figura 3.

Molinos de eje horizontal



Nota. Diagrama del diseño de los molinos de eje horizontal. Instituto Argentino de la Energía General Mosconi (2003). *Energía Eólica.* (<http://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/1/534/541/2962.pdf>), consultado en julio de 2022. De dominio público.

7.3.2. Molino de eje vertical

Salas (2017) indica que, los aerogeneradores de eje vertical son aquellos aerogeneradores, que no tienen ningún mecanismo de orientación con respecto al viento, ya que no tienen la capacidad de autoarranque como los de eje

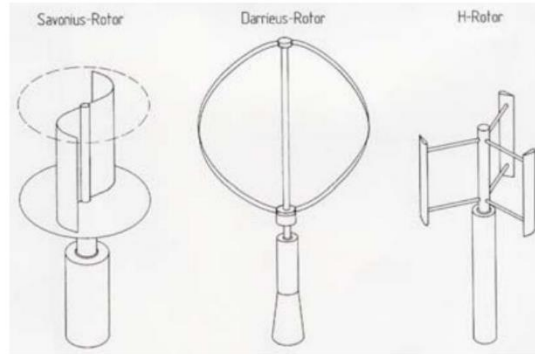
horizontal. La característica que presenta es el sistema de transformación de energía mecánica a energía eléctrica, estando este por el suelo, ya que su operación con respecto a su altura es muy baja. Dándole accesibilidad de un manejo más fácil en su mantenimiento. A su vez este tipo de molinos de viento, se presentan en dos tipos diferentes: Darrieus y Savonius. Los de tipo Darrieus están conformados por varias aspas, centradas alrededor del eje central de una estructura vertical.

Estos molinos de viento funcionan a partir del movimiento rotatorio que produce el viento al chocar con los álabes. Por otro lado, los aerogeneradores Savonius, son sistemas de arrastre de las aspas y estos consisten en dos a tres aspas. Debido que las aspas se mueven con respecto al viento, experimentan menos movimiento, debido al arrastre de las aspas y este movimiento crea diferencias de arrastre, que les permite moverse. Estos aerogeneradores tienen una forma muy peculiar, como sección transversal en forma de "S" cuando se observa visto desde arriba. Ahora bien, las aspas de los aerogeneradores Darrieus, son remplazados por aspas rectas que, vista desde arriba en su sección transversal del perfil del aerogenerador, se observa sus aspas rectas. Estas pueden tener de diferente número de alaba, pero entre las más comunes tienen de dos a tres aspas.

Los aerogeneradores de rotor-H por su forma, están entablados o conformados por tubos de soporte, que están unidos al centro de las aspas.

Figura 4.

Molinos de eje vertical



Nota. Diseño de un Molino de eje vertical. Adaptado de Salas (2017). *Estado del Arte de Aerogeneradores de Eje Horizontal y Vertical*. Jóvenes en la Ciencia, 3(2), 1966-1970. <http://repositorio.ugto.mx/handle/20.500.12059/4745>

Figura 5.

Aplicaciones de los aerogeneradores

Características de rotores eólicos

Eje	Tipo de Rotor	Rendimiento Máximo	Características
HORIZONTAL	Holandés	0,17	-30-60 kW -Alto par de arranque -Velocidades medias(*) -Diseño ineficiente de las palas -4 palas
	Multipala Americano	0,15	-0,4-6 kW -Alto par de arranque -Bajas velocidades -Muchas pérdidas -12-15 palas
	Perfil Aerodinámico (hélices)	0,47	-0,5-3.200 kW -Bajo par de arranque -Altas velocidades -Alto rendimiento -1 a 3 palas
VERTICAL	Savonius	0,30	-0-1,5 kW -No requiere ser orientado -Alto par de arranque -Bajas velocidades -2 a 4 palas
	Darrieus	0,35	-5-500 kW -No requiere ser orientado -No arranca solo -Altas velocidades -Buen rendimiento -2 a 3 palas

Nota. Aplicaciones de los aerogeneradores. Instituto Argentino de la Energía General Mosconi (2003). *Energía Eólica*. (<http://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/1/534/541/2962.pdf>), consultado en julio de 2022. De dominio público.

Figura 6.

Características de los aerogeneradores

APLICACIONES MAS USUALES DE LOS MOLINOS DE VIENTO			
Objetivo	Categoría	Tipo de Rotor	Aplicación
Generación de energía eléctrica	Sistemas aislados o remotos	• Horizontal bipala o tripala rápidos	– radioenlaces – comunicaciones – iluminación – electrodomésticos – seguridad
	Sistemas híbridos diesel eólicos	• Vertical Darrieus Horizontal 1 a 3 palas, rápidos	– Abastecimiento eléctrico de comunidades o industrias aisladas.
	Sistemas conectados a las redes eléctricas	• Vertical Darrieus • Horizontal 1 a 3 palas, rápidos	– Abastecimiento eléctrico a través de redes de distribución
Obtención de Energía mecánica	Sistemas aislados o remotos	• Horizontal multipala • Vertical Savonius • Horizontal 1 a 3 palas, rápidos	– Bombeo de agua – Molienda – Etc.

Nota. Características de los aerogeneradores. Instituto Argentino de la Energía General Mosconi (2003). *Energía Eólica*. (<http://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/1/534/541/2962.pdf>), consultado en julio de 2022. De dominio público.

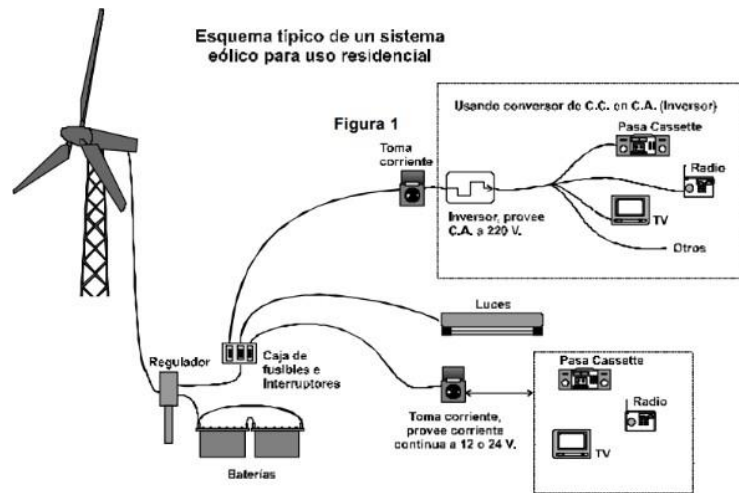
7.4. Configuración y características de los generadores eólicos aislados

La representación típica de un sistema autónomo está representada en la figura 7. Debido a que la potencia va desde 0.15 hasta 10kw. Empleando aerogeneradores de eje horizontal, sabiendo que existen mecanismos de paso variable y de paso fijo. Ya que estas últimas, presentan menos problemas de mantenimiento, aunque en estos casos los dispositivos se hacen necesarios, ya que se necesitan de estar protegidos ante la fluencia de vientos demasiados fuertes. Ya que se ha tratado de solucionar el tema de desalineamiento, debido a que el sistema excéntrico del aerogenerador, da problema cuando enfrenta a vientos con velocidades muy fuertes y para ello han adaptado sistemas de frenado, para que eviten que las aspas giren en condiciones adversas.

Por lo tanto, se han empleado generadores síncronos de imanes permanentes en los aerogeneradores, todo esto para alimentar equipos donde se requiera C.A. en las baterías se requiere utilizar inversores de corriente continua a corriente alterna (Instituto Argentino de la Energía General Mosconi, 2003, p.18).

Figura 7.

Esquema típico de un sistema eólico para uso residencial



Nota. Esquema que describe el funcionamiento típico de un sistema eólico para uso residencial. Instituto Argentino de la Energía General Mosconi (2003). *Energía Eólica*. (<http://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/1/534/541/2962.pdf>), consultado en julio de 2022. De dominio público.

7.5. Energías renovables

Según Tayalero y Telmo (2011) se denota que el aerogenerador es un elemento que convierte la energía cinética, aprovechada del viento en energía eléctrica, según el diseño y condiciones que se plantea el aerogenerador, ya que este se adapta a varios requerimientos; abarcando un rango de dimensiones

donde la tecnología pueda convertir la energía del aire en energía mecánica, para el aprovechamiento de la misma.

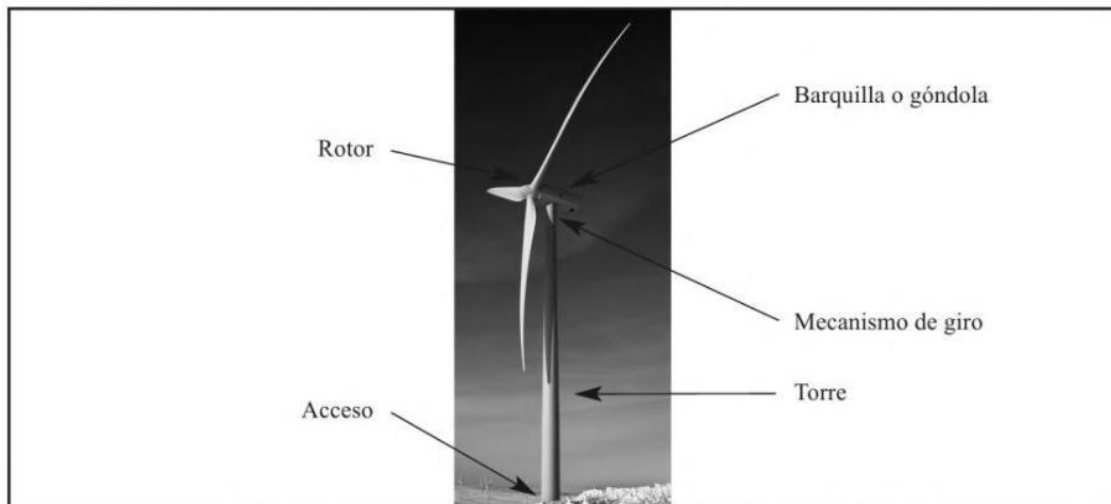
Sabiendo que la tecnología avanza, los aerogeneradores han pasado de ser en su momento como un invento de experimentación, a un modelo de excelencia, donde todas las partes del mundo hacen uso de esta energía. Dando lugar al crecimiento del consumo energético, dentro del entorno de sostenibilidad aumentado la evolución de potencia unitaria y dimensiones que esta tecnología ha experimentado.

7.6. Conjuntos fundamentales

En los parques eólicos para producir energía, el aerogenerador cuenta con un receptáculo orientable al viento, donde está apoyado en el rotor, que hace que se mueva y capture la energía de viento, que dentro de su interior cuenta con una serie de mecanismos, que convierte la energía del viento asociándola con la velocidad a energía eléctrica, este posicionada a una longitud de altura con una estructura de soporte, este con el objetivo de aprovechar la velocidad del viento según el tamaño de producción y del tamaño del aerogenerador. Así pues, los componentes del aerogenerador, lo conforman el rotor que básicamente compuesto por las aspas y el buje o cojinete, la barquilla también llamada góndola y la estructura de la torre. En la siguiente figura se muestra sus partes.

Figura 8.

Conjuntos fundamentales vista general

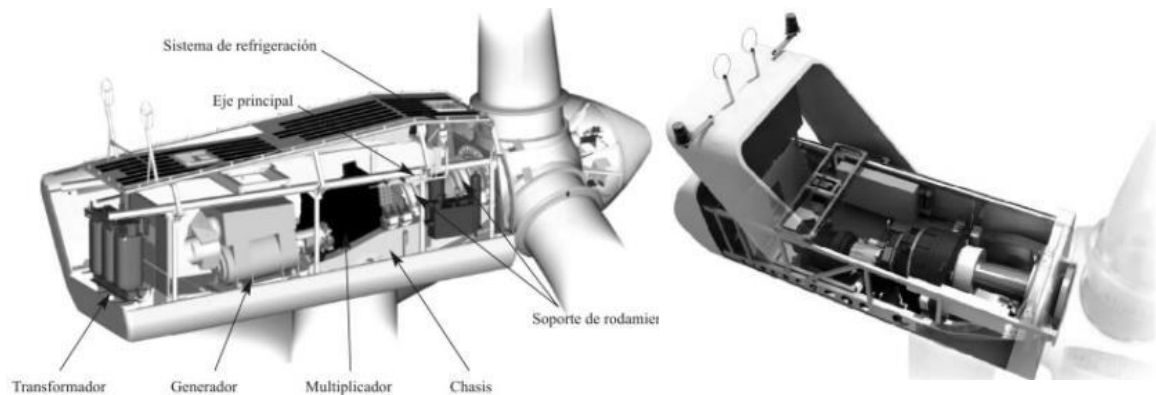


Nota. Conjuntos fundamentales. Obtenido de Talayero, A. y Telmo, E. (2011). *Energía eólica (Serie Energías renovables)*. (p. 9.) Prensas de la Universidad de Zaragoza.

En el interior de la góndola, se encuentra el buje, caja multiplicadora donde eleva la velocidad de entrada con la velocidad de salida, generador eléctrico, freno, sistema de controlador y transformador, que convierte el voltaje desde el punto de vista de generación, a un voltaje adecuado para el trabajo. En la parte superior externa de la góndola, se encuentra el equipo de instrumentación de medición (anemómetro) y veleta. Donde el generador es el punto fundamental del aerogenerador en su tecnología, ya que puede variar la presencia y posición del resto de los elementos. (Talayero y Telmo 2011).

Figura 9.

Conjuntos fundamentales detalle del diseño



Nota. Conjuntos fundamentales, detalle del diseño. Obtenido de Talayero, A. & Telmo, E. (2011). *Energía eólica (Serie Energías renovables)*. (p. 72) Prensas de la Universidad de Zaragoza.

7.7. Estudio de los sistemas eólicos

“Los sistemas eólicos poseen ventajas y desventajas frente a otros sistemas de energía y su utilización requiere de un estudio previo que se debe realizar antes de implementar un sistema como este.” (Fula y Vilora, 2015).

Los sistemas de energías renovables poseen ciertos problemas, cuando estos aerogeneradores comienzan a producir energía, ya que el viento es variable y estos trabajan intermitentemente. Los aerogeneradores no pueden posicionarse en cualquier sitio debido a que la misma calidad de viento cambia con forme a la posición geográfica de su instalación.

7.7.1. Problemas de la energía eólica

“Los huecos de energía se forman a causa que los sistemas de alguna u otra manera, no pueden sostener la alimentación de una carga definida, por lo cual se debe realizar un monitoreo del sistema para su posterior solución.” (Fula, 2015, p.35).

Donde surgen las interrogantes ¿Qué pasa si no hay viento?, ¿Qué pasa si el viento viaja a velocidades muy bajas?, ¿Qué pasa si el sistema de almacenamiento se carga y descarga de manera abrupta?, todos esto se puede corregir estudiando de manera de optimizar el sistema de energía alternativa.

7.7.2. Soluciones a las problemáticas

Cuando se hace la implementación de un sistema de aerogeneradores, se debe de resolver ciertas interrogantes de las inquietudes, que ayudan a mejorar el rendimiento del sistema, para aprovechar y obtener un mejor manejo de este sistema. Ya que si se elige un aerogenerador se pueden tener agujeros de tensión, así también si se instala en un sitio inadecuado. Por lo tanto, se tienen que evaluar diferentes puntos de vista al momento de instalar un sistema eólico.

7.7.3. ¿Qué tipo de generador se va a escoger?

Decidir que generador se usará, tiene gran importancia al implementar este tipo de sistema, ya que al elegir un sistema poco eficiente se genera una baja de tensión. Al escoger el tipo de aerogenerador que se va a implementar en un sitio de debe tener un estudio del promedio de la velocidad del aire, que circula en el área donde se va a implementar uno de estos sistemas. Sabiendo que si hay mucho viento se escoge uno de eje horizontal y si hay poco viento se escoge el aerogenerador de eje vertical. Lo importante también es el diseño del

aerogenerador, derivado que la elección según el tipo de conversión mecánica, incide en la eficiencia del sistema de generación.

Las investigaciones sobre los aerogeneradores a nivel mundial, inciden directamente en mejorar los diseños de dichos aerogeneradores, para eficientizar estos mismo. Se han creado estos tipos llamados generadores ADN, que son los Darrieux y los Savonius y todas las derivaciones que se deben de tener en cuenta al momento de elección de aerogenerador.

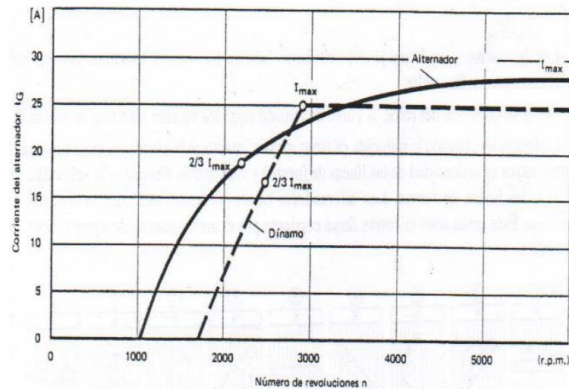
Se sabe que los lugares donde no hay mucho viento no se puede colocar generadores con eje horizontal, si no se debe colocar aerogeneradores de eje vertical, ya que estos aerogeneradores funcionando a altas velocidades de viento la eficiencia es mínima, mientras si estos aerogeneradores trabajan a bajas velocidades de viento la eficiencia es máxima (Fula y Vilora, 2015).

7.8. ¿Qué tipo de conversión mecánico eléctrica debe poseer el aerogenerador?

Los aerogeneradores cuando no pueden excitar una carga, derivado de las limitaciones, que puede presentar el alternador en su sistema interior, cuando no se llega a un número de revoluciones óptimas para que este funcione, se genera una caída de tensión en el sistema a base del poco viento que existe.

Figura 10.

Corriente producida por los generadores contra RPM



Nota. Modelo de la corriente producida por los generadores contra RPM. Obtenido de Fula y Vilora (2015). *Estudio sobre el abastecimiento constante de energía eólica*. Investigación e Innovación en Ingeniería, 3(2), 32-37. <https://doi.org/10.17081/invinno.3.2.2028>

Como se puede analizar los generadores representados por la línea continua, como una de sus grandes ventajas, estos son más pequeños que los dinamos, ya que son más ligeros y más fácil de acoplarse en el generador, por lo tanto, son la mejor opción en el momento de elegir un aerogenerador, ya que puede ser utilizado en un sistema eficiente.

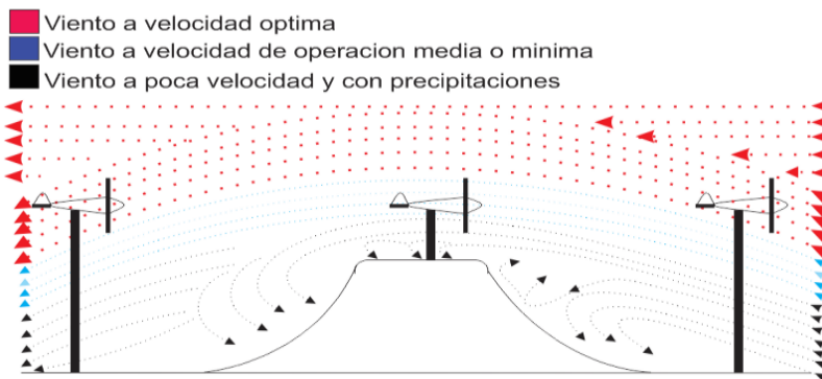
Ahora en el mundo de la tecnología, hay empresas que se dedican al diseño de aerogeneradores con dinamos, pero estos necesitan de velocidades altas para que estos puedan funcionar y esto solo se deben de usarse en lugares donde exista abundante circulación de viento a grandes velocidades. Ya que la circulación de aire sobre obstáculos impide que el aerogenerador tenga una mejor eficiencia.

7.8.1. Ubicación de este sistema

Lo que influye exitosamente en el sistema de la energía renovable es el lugar donde se ubica el sistema, los generadores de viento deben de estar colocados, en una posición donde el viento circule de una manera continua, es decir, no tenga demasiadas variaciones de corriente de aire. Tomando en cuenta también la altura superior, que debe de estar a 6 metros sobre cualquier obstáculo que pueda provocar una cápsula de aire o una precipitación (Fula y Vilora, 2015, p.34).

Figura 11.

Viento contra un sistema aerodinámico



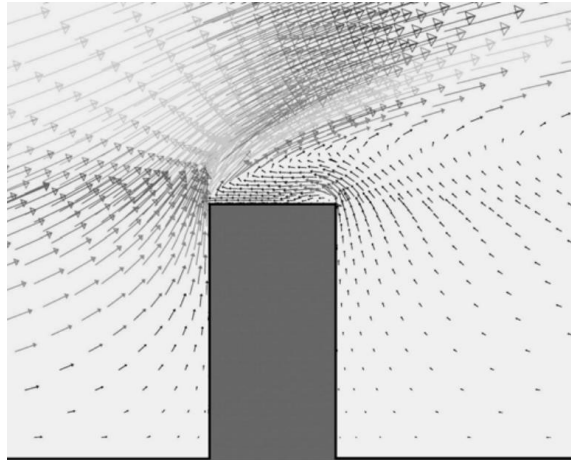
Nota. Modelo del viento contra un sistema aerodinámico. Obtenido de Fula y Vilora (2015). *Estudio sobre el abastecimiento constante de energía eólica.* Investigación e Innovación en Ingeniería, 3(2), 32-37. <https://doi.org/10.17081/invinno.3.2.2028>

7.9. Vectores de la velocidad del viento generada en el entorno del edificio

“Todos los edificios provocan una aceleración del flujo libre en ciertos lugares cercanos al mismo, y a medida que nos alejamos del mismo, la velocidad se aproxima a la velocidad de la corriente libre” (Lassing et al., 2012, p.3).

Figura 12.

Vectores de la velocidad del viento



Nota. Modelo vectorial de la velocidad del viento generada en el entorno del edificio (modelo 2D). Obtenido de Lassing, J., et. al.(2012). *Aprovechamientos eólicos para el edificio de la FI-UNComahue*. In II Congreso Latinoamericano de Ingeniería de Vientos (CLIV) (La Plata, 5, 6 y 7 de diciembre de 2012). <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/100215>

En un edificio con orillas afiladas con respecto a la ráfaga de viento y las burbujas de separación se forma en los extremos y en la parte superior del edificio. El fluido del aire principal se extravía alrededor del mismo, ya que es importante conocer el tamaño de la región, de donde circulación debe de evitar el desplazo de los aerogeneradores. Para calcular la mejor zona de ubicación de los aerogeneradores sobre el techo de un edificio, debiendo conocer sobre las características esenciales del viento en el lugar de estudio, el tamaño y formas del edificio, y hacer uso de la herramienta analítica y experimental para resolver el problema (Lassig et al., 2012, p.3).

7.10. Estudio técnico

Orozco y Zhagui (2013) indican que se puede corroborar la posibilidad técnica de elaboración de productos, para poder alcanzar los objetivos del proyecto, porque el resultado depende mucho de las demás formulaciones, es decir, ni el estudio técnico ni es estudio financiero, se realizan a menos que se presente una demanda real. La importancia del estudio radica en toda la información sobre los productos que suministrará el proyecto. El estudio de mercado se asimila a los cimientos de las construcciones.

El estudio técnico debe de ir de la mano con el estudio de mercado, porque la producción se realiza para atender las ventas, que se identifican en este último estudio. Donde el estudio técnico es realizado por expertos en el área objetiva del proyecto.

Si la investigación del mercado se realiza profesionalmente y se profundiza en aquellos elementos, que pueden afectar el funcionamiento futuro de la empresa, el estudio será consistente y se podrá recabar información que permita bajar la incertidumbre.

El estudio técnico señalalos siguientes aspectos fundamentales, tales como la localización del proyecto, tamaño del proyecto y la selección de la tecnología.

7.10.1. Localización del proyecto

El objetivo es, perseguir la localización del proyecto con una posición basada en aspectos menores de transporte y en la brevedad del servicio. Es importante porque una vez ya construida y localizada las instalaciones del proyecto, no es una cosa fácil cambiar el domicilio. Lo ideal en los proyectos de

inversión, es que, a la hora de la toma de decisiones, en seleccionar el sitio de donde se va a construir el proyecto a escoger, de una futura empresa.

En el siguiente estudio se debe de localizar el proyecto donde se analiza las variables, tales como transporte de insumos de productos, costos laborales, (insumos, disponibilidad y costos), limitaciones tecnológicas, políticas nacionales o regionales.

7.11. Medidores de Energía

Estos medidores llamados así contadores de energía o de facturación. Son aquellos elementos encargados de cuantificar la cantidad de energía que ingresa a un sistema de carga, o a la cantidad de energía que sale del sistema de generación.

Existe un contador especial, el contador de energía eléctrica, que es el contador bidireccional, que este cuantifica la cantidad de energía que uno consume de la red y así los excesos de energía consumida (Serván, 2015).

7.12. Dimensionamiento del inversor

En el uso de electrodomésticos o equipos, que se desean instalar para los usuarios, acorde a la necesidad energética que comprende en corriente alterna, esto varia conforme el factor de potencia. Teniendo en cuenta el criterio del rango de la potencia generada y esto se calcula así: (Medrano, 2015).

$$0.75\Sigma P_{ne_{CAC}} \geq P_{Inv} \geq 0.5\Sigma P_{ne_{CAC}}$$

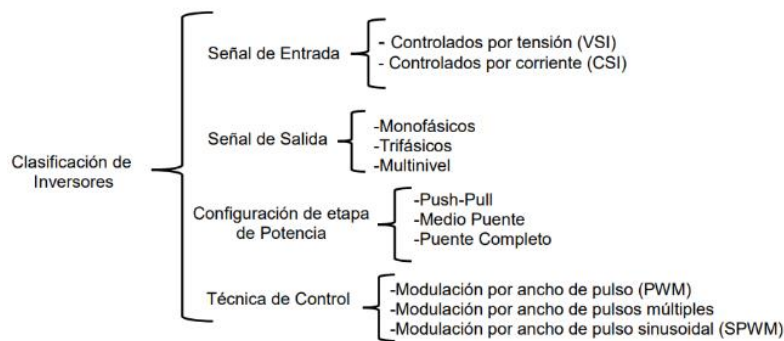
Donde:

P_{Inv} : potencia del inversor

Pne_{CAC} : necesidades en corriente alterna ó potencia total instalada [W]

Figura 13.

Inversores



Nota. Clasificación de los Inversores de corriente. Castellanos (2020). *Construcción y Evaluación de un Inversor para un Aereogenerador de Baja Potencia Interconectado a Red*. <https://repositorio.unicach.mx/handle/20.500.12753/1478>

7.13. Anemómetro

Los anemómetros esencialmente miden la velocidad el viento para los molinos eólicos, ya que son aplicados a mediciones metodologías y lo que son montados en los molinos eólicos.

Es decir, estos anemómetros solo se utilizan para determinar si el aire sopla suficientemente fuerte, como para que valga la pena orientar el rotor del molino eólico en contra del viento y ponerlo en marcha. Existen varios tipos de anemómetros, entre algunos importante está el de anemómetro de rotación, ya que puede ser de cazoleta o de hélice. Así también esta los anemómetros sónicos y entre otros (Amada, s/f).

Figura 14.

Medidor de viento



Nota. Ilustración de un medidor de viento. Obtenido de Espinoza, G., et al. (2015) *Diseño e implementación de un Túnel de viento para pruebas de aereogeneradores*. Mundo Eléctrico, 100(1), 84-88. <https://doi.org/10.48779/8m30-3w61>

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

OBJETIVOS

RESUMEN MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO REFERENCIAL

- 1.1. Estudios previos (recientes)
- 1.2. Antecedentes

2. MARCO TEÓRICO

- 2.1. Principio y operación de las maquinas eólicas
- 2.2. Energía obtenible del viento
- 2.3. Tipos de máquinas eólicas
 - 2.3.1. Molino de eje Horizontal
 - 2.3.2. Molino de eje vertical
- 2.4. Configuración y características de los generadores eólicos aislados
- 2.5. Energías renovables
 - 2.5.1. Conjuntos fundamentales
- 2.6. Estudio de los sistemas eólicos
 - 2.6.1. problemas de la energía eólica

- 2.6.2. Soluciones a las problemáticas
- 2.6.3. ¿Qué tipo de generador se va a escoger?
- 2.7. ¿Qué tipo de conversión mecánico eléctrica debe poseer el aerogenerador?
 - 2.7.1. ¿Dónde ubicar este sistema?
- 2.8. Vectores de la velocidad del viento generada en el entorno del edificio.
- 2.9. Estudio técnico
 - 2.9.1. Localización del proyecto
- 2.10. Medidores de energía
- 2.11. Dimensionamiento del inversor
- 2.12. Anemómetro

- 3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN
- 4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS
- 5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

ANEXOS

9. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

9.1. Características del estudio

En la siguiente investigación tendrá como variable discreta y continua, derivado del tipo de estudio cuantitativo. Así mismo, este se trabajará bajo el término positivista, ya que se puede controlar, explicar y predecir los términos de dicha investigación.

Por otro lado, este tendrá un alcance del tipo descriptiva, ya que este definirá la recolección de datos de viento a través de un anemómetro, midiendo estas en determinados tiempos para obtener promedios de medición. El tipo de generador que se usará, donde ubicar el sistema de generación eólica. También la cantidad de generación de energía eléctrica, producida por los aerogeneradores de viento. Y así mismo, será de diseño de estudio no experimental ya que es un estudio sistemático y empírico, de una situación donde recolectarán las mediciones de variables de interés.

9.2. Unidades de análisis

En la unidad de análisis o población analizada, será la disminución de costos de facturación en la generación de energía eléctrica a base de aerogeneradores. Iniciando con el estudio de aerogeneradores eólicos, como la ubicación de este en el edificio y la toma de mediciones de viento en base a un instrumento llamado anemómetro.

9.3. Variables

Las variables que se analizaran son las siguientes:

Tabla 1.

Definición teórica y definición operativa

Variable	Definición teórica	Definición operativa
Estudio técnico económico	Se refiere a los recursos económicos-financieros requeridos para la implementación del proyecto considerando los costos y beneficios de cada alternativa del proyecto.	Permite proponer y analizar las diferentes opciones de aerogeneradores que existen en el mercado y además admite verificar la factibilidad técnica de cada una de ellas. Este análisis identifica los equipos y las instalaciones necesarias para el estudio, y por lo tanto los costos de inversión y de operación requeridos, como también como el capital necesario para dicha inversión. Este se medirá en Q (Quetzales)
Energía Eólica	La energía eólica es una fuente de energía renovable que se obtiene de la energía cinética del viento que mueve las palas de un aerogenerador el cual a su vez pone en funcionamiento una turbina que la convierte en energía eléctrica.	La energía eólica es un tipo de energía renovable que se capta a través de aerogeneradores, los cuales funcionan por medio de la energía cinética del viento. Este aprovechamiento de la energía cinética que lleva consigo las masas de aire cuando este alcanza cierta velocidad. Además, se utiliza para producir energía eléctrica a nivel bajo de producción para un edificio con la medición en potencia en (WATT).

Nota. Definición teórica y definición operativa de las variables de la investigación. Elaboración propia, realizado con Word.

Para la realización de las variables planteadas se utilizará un anemómetro portátil, para las mediciones de viento en diferentes horas consecutivas, para obtener medidas de velocidad del viento y a la vez temperaturas, debido al aprovechamiento de la luz solar durante el día.

Tabla 2.

Medición de variables

Horas	Km/h	m/s	°F	°C

Nota. Modelo para la medición de las variables de investigación. Elaboración propia, realizado con Word.

9.4. Fases del estudio

A continuación, se muestran una serie de fases, donde describirá los estudios propuestos, donde se analizará los criterios a tomar para su elaboración en dicho estudio. Donde la primera fase se enfocará en los objetivos generales, luego las otras fases se enfocarán en los objetivos específicos.

- Fase 1: Investigación bibliográfica

En esta primera fase de la investigación se llevará a cabo la búsqueda, consulta y profundizar la investigación, fundamentándose en fuentes bibliográficas para la evaluación técnica, económica y financiera del estudio de los aerogeneradores de viento en el edificio de la municipalidad de San Miguel Petapa.

- Fase 2: recopilación de datos geográficos y documentales

En la segunda fase, se podrá investigar todo lo relacionado con el edificio de la municipalidad de San Miguel Petapa, a la vez recopilar información correspondiente a los siguientes puntos.

- Ubicación geográfica del edificio
- Coordenadas
- Extensión territorial
- Factura de consumo eléctrico
- Condiciones atmosféricas
- Altura sobre el nivel del mar

- Fase 3: Estudio técnico

En esta fase se procederá a realizar el estudio técnico, sobre la factibilidad de la instalación de este equipo de generación, en la terraza del edificio de la municipalidad de San Miguel Petapa, ya que este pueda permitir el aprovechamiento máximo de la velocidad del viento, con ello se darán diferentes

alternativas para la selección del equipo adecuado, que se utilizará a la situación del lugar, así como las instalaciones adecuadas.

- Fase 4: Estudio Económico

En esta fase de la investigación, se procederá a realizar el estudio en la recopilación de información existente, sobre el consumo de energía eléctrica del edificio e inspecciones en el área de estudio.

Se solicitó a la municipalidad de San Miguel Petapa, los permisos pertinentes para la investigación de campo necesarios para dicho estudio. Así mismo la obtención de información histórica, para establecer datos sobre los consumos de energía eléctrica del edificio.

- Fase 5: Análisis e interpretación de resultados

En esta última fase de investigación, se llevará a cabo el análisis de resultados obtenidos, esto deberá indicar si es factible ejecutar o no este proyecto en el área de estudio.

Donde se observará varios aspectos como evolución técnica, evaluación económica, factibilidad del estudio y las comparaciones de viento en diferentes horarios en el lugar.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS

Para el análisis de la evaluación técnica, se harpa del uso de la estadística descriptiva, donde se utilizarán promedios para la determinación de la velocidad del viento, en metros sobre segundo, comparándolos con toma de datos en tiempos determinados.

Así mismo, utilizando la desviación estándar de los datos anteriores de velocidad, como la toma de velocidades máximas y mínimas}, durante lapsos de tiempos. Y a la vez la toma de temperatura ambiente medida en grados °C.

Para la velocidad del viento se usará un anemómetro digital, el cual medirá las velocidades de viento en la terraza de dicho edificio. Comparando así los datos históricos, que proporciona el INSIVUMEH y así mismo la medición de temperatura °C correspondiente.

Así mismo, se usará la implementación de tablas y graficas en Microsoft Excel, para su análisis de estadística descriptiva.

- $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$
- **Mediana** = $(n + 1) / 2$
- **Moda** = *datos X_i mas repetido*
- $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N}}$
- $\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N}$

Donde:

- \bar{x} media aritmética
- \bar{x}_i i-ésima variable de estudio
- σ desviación estándar
- σ^2 varianza de una muestra

La densidad de la potencia eólica: donde esta se obtendrán la constante de lambda y k del modelo estadístico de Weibull para los datos. Todo esto es para encontrar la potencia eólica útil, en base a valores de probabilidad.

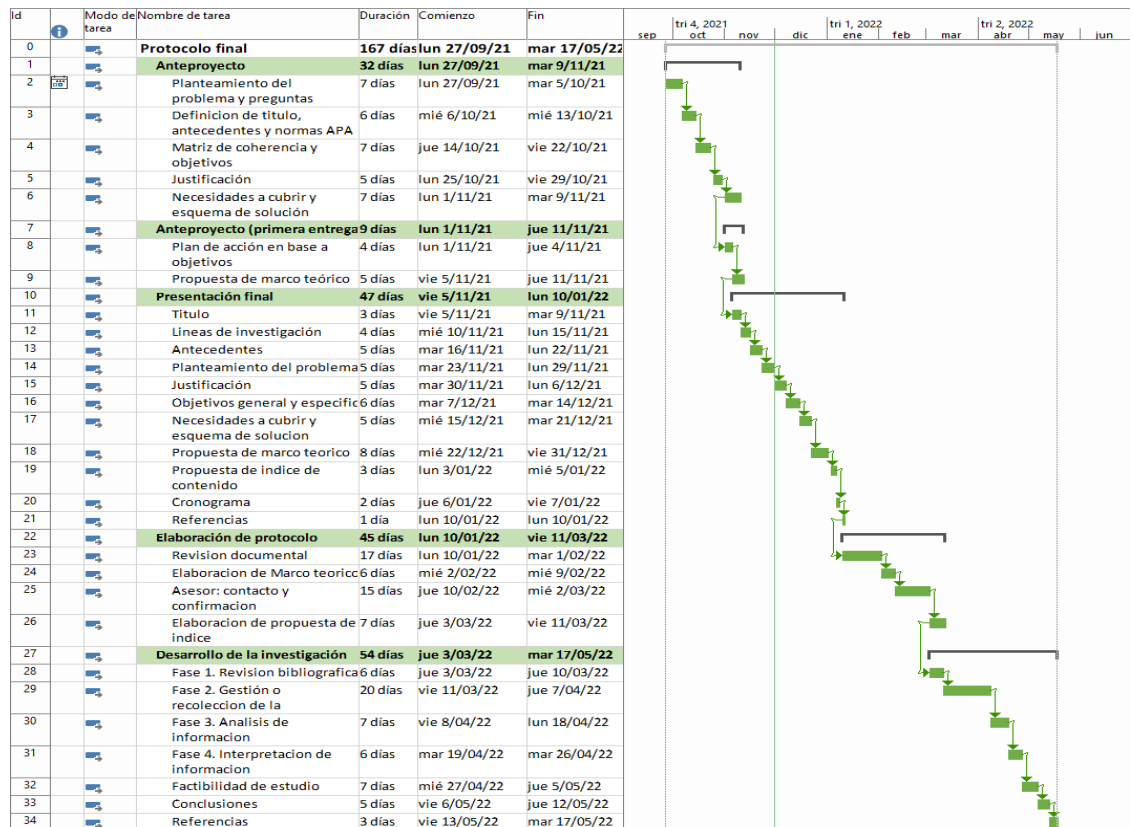
$$D.E = \frac{1}{2} \rho V^2 W / m^2$$

Este análisis de evaluación económica utilizará las matemáticas financieras, con el fin de analizar la factibilidad financiera del estudio del sistema de aerogeneradores de viento. Se utilizarán indicadores financieros donde se obtendrá la TIR, VAN Y B/C (relación beneficio costo).

11. CRONOGRAMA

Figura 15.

Cronograma



Nota. Cronograma que modela el ciclo de ejecución de la presente investigación. Elaboración propia, realizado con Project.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se presenta los recursos que se usarán para el diseño de esta investigación.

Tabla 3.

Factibilidad del estudio

Tipos de recursos	Disponibilidad		
Humano	Investigador Asesor		
Financiero	Anemómetro financiamiento propio La compra de aerogeneradores financiado por la entidad, beneficiando no solamente a la municipalidad si no a una población.		
Tecnológicos			
Acceso a la información y permisos	Esta información se obtendrá a base de investigación de libros, documentos, pero así también, la autorización del ingreso a la municipalidad en la toma de medición de terraza y la información con respecto al consumo de energía eléctrica.		
Equipo e infraestructura	Anemómetro que se utilizara para la medición de viento, aerogeneradores en su infraestructura.		
Costos aproximados	Asesor		Q1,000 (10 meses)
	Costo técnico	Q800 (mensual)	Q8,000 (10 meses)
	Costos de insumos	Q 700 (mensual)	Q7,000 (10 meses)
	Otros	Q1500 (mensual)	Q15,000 (10 meses)
	Total:	Q3,000 (mensual)	Q31,000 (10 meses)

Nota. Lineamientos para la factibilidad del estudio. Elaboración propia, realizado con Word.

Los costos que representa el trabajo de investigación son razonables, por lo que se considera que el trabajo de investigación es factible desde un punto de vista económico y técnico.

13. REFERENCIAS

- Amada, J. *Sensores utilizados en la energía eólica*. Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Zaragoza. <https://www.windygrid.org/sensores.pdf>
- Castellanos, G. (2020). *Construcción y Evaluación de un Inversor para un Aereogenerador de Baja Potencia Interconectado a Red*. [Tesis de Maestría, Universidad de Ciencia y Artes de Chiapas]. Archivo digital. <https://repositorio.unicach.mx/handle/20.500.12753/1478>.
- Comision Nacional de Energía Eléctrica (2013). *Informe Estadístico de Mercado*. <https://www.cnee.gob.gt/>.
- Espinoza, G., Abraham, D., López F., & Reyes, C. (2015). *Diseño e implementación de un Túnel de viento para pruebas de aereogeneradores*. *Mundo Eléctrico*, 100(1), 84-88. <https://doi.org/10.48779/8m30-3w61>.
- Fernández, P. (2007). *Energía Eólica*. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética Universidad de Cantabria. <https://www.studocu.com/es/document/universidad-de-cantabria/ingenieria-electrica/energia-eolica/30135093>
- Fula, J., y Vilora, A. (2015). *Estudio sobre el abastecimiento constante de energía eólica*. *Investigación e Innovación en Ingeniería*, 3(2), 32-37. <https://doi.org/10.17081/invinno.3.2.2028>.

Instituto Argentino de la Energía "General Mosconi" (2003). *Energía Eólica*.
https://www.academia.edu/download/46992822/Energia_eolica.pdf.

Lassing, J., Palese, C., Valle, J., Jara, U., y Mazzei, S. (2012). *Aprovechamientos eólicos para el edificio de la FI-UNComahue*. In II Congreso Latinoamericano de Ingeniería de Vientos (CLIV) (La Plata, 5, 6 y 7 de diciembre de 2012). <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/100215>.

López, J. (2008). *Manual de la energía eólica*. Ediciones Mundi-Prensa.
[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=bY33m9Z3NAEC&oi=fnd&pg=PA43&dq=L%C3%B3pez,+E.+\(2008\).+Manual+de+la+energ%C3%ADa+e%C3%B3lica.+Madrid:+Mundo+prensa&ots=X-QBO4cHCD&sig=taYZ_HkmR1yrD7ogvO7xFC-t2uM](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=bY33m9Z3NAEC&oi=fnd&pg=PA43&dq=L%C3%B3pez,+E.+(2008).+Manual+de+la+energ%C3%ADa+e%C3%B3lica.+Madrid:+Mundo+prensa&ots=X-QBO4cHCD&sig=taYZ_HkmR1yrD7ogvO7xFC-t2uM).

Medrano, L. (2015). *Generación de Energía con un Sistema Híbrido Renovable para el abastecimiento básico en vereda sin energización de Yopal-Casanare*. [Tesis doctoral, Universidad nacional de Colombia]. Archivo digital. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/55612>

Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (2020). *MARN contribuye con el aumento de la cobertura forestal del país*.
<https://www.marn.gob.gt/cobertura-forestal-de-guatemala-aumento-1-mil-320-hectareas/>

Orozco, R. y Zhagui N. (2013). *Plan estratégico que permita mejorar las operaciones del almacén de repuestos Lubri-Repuestos el original para satisfacer a sus clientes en la ciudad de Milagro*. [Tesis de maestría, Universidad Estatal de Milagro]. Archivo digital.
<https://repositorio.unemi.edu.ec/handle/123456789/364>

- Salas, A. & Rubio, C. (2017). *Estado del Arte de Aerogeneradores de Eje Horizontal y Vertical*. Jovenes en la Ciencia, 3(2), 1966-1970. <http://repositorio.ugto.mx/handle/20.500.12059/4745>
- Serván, J. (2015). *Análisis Técnico-Económico de un sistema hibrido de baja potencia eólico solar conectado a la red*. [Tesis de maestría, Universidad Piura]. Archivo digital. <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/2038>.
- Talayero, A. & Telmo, E. (2011). *Energía eólica (Serie Energías renovables)*. Prensas de la Universidad de Zaragoza. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=ML7uDAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA7&dq=\(Ana+Patricia+Talayero+Navales+%26+Enrique+Telmo+Martinez,+2011\)&ots=wKjW4YkiFw&sig=Vz5TulPw4o5yrCWd2LN2GIAAt68g](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=ML7uDAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA7&dq=(Ana+Patricia+Talayero+Navales+%26+Enrique+Telmo+Martinez,+2011)&ots=wKjW4YkiFw&sig=Vz5TulPw4o5yrCWd2LN2GIAAt68g)
- Villarrubia, M. (2013). *Ingeniería de la energía eólica*. Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.C., México. [https://instipp.edu.ec/Libreria/libro/Ingenieri%CC%81a%20de%20la%20Energi%CC%81a%20Eo%CC%81lica%20\(Villarrubia\).pdf](https://instipp.edu.ec/Libreria/libro/Ingenieri%CC%81a%20de%20la%20Energi%CC%81a%20Eo%CC%81lica%20(Villarrubia).pdf)

