



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE UN
GENERADOR ELÉCTRICO A BASE DE ENERGÍA MECÁNICA ELÁSTICA COMO
ALTERNATIVA DE FUENTE RENOVABLE**

Carlos Enrique Espino Turuy

Asesorado por el MSc. Ing. Kenneth Issur Estrada

Guatemala, marzo de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE UN
GENERADOR ELÉCTRICO A BASE DE ENERGÍA MECÁNICA ELÁSTICA COMO
ALTERNATIVA DE FUENTE RENOVABLE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

CARLOS ENRIQUE ESPINO TURUY

ASESORADO POR EL MSC. ING. KENNETH ISSUR ESTRADA RUÍZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, MARZO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Edgar Yanuario Laj
EXAMINADORA	Inga. Ana María Navarro Orozco
EXAMINADOR	Ing. Brian Enrique Chicol Morales
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 LA CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE UN
GENERADOR ELÉCTRICO A BASE DE ENERGÍA MECÁNICA ELÁSTICA COMO
ALTERNATIVA DE FUENTE RENOVABLE**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 17 de noviembre de 2022.

Carlos Enrique Espino Turuy



EEPFI-PP-2135-2022

Guatemala, 17 de noviembre de 2022

Director
Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela Ingeniería Mecánica Eléctrica
Presente.

Estimado Ing. Rivera

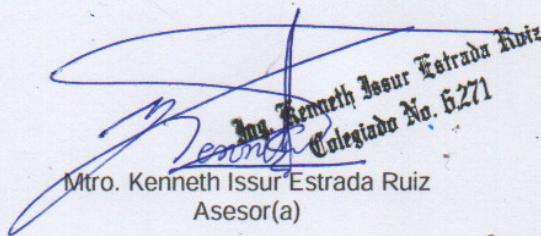
Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE UN GENERADOR ELÉCTRICO A BASE DE ENERGÍA MECÁNICA ELÁSTICA COMO ALTERNATIVA DE FUENTE RENOVABLE.**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Energía Aplicada - Energía Renovable y No Renovable - Fuentes de energía no fósil**, presentado por el estudiante **Carlos Enrique Espino Turuy** carné número **201314670**, 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.

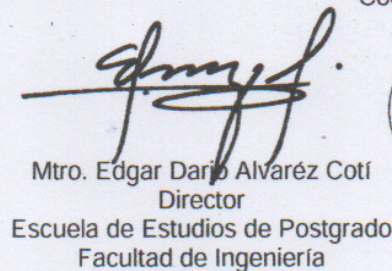
Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para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

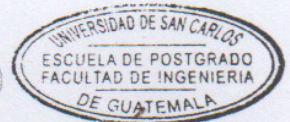
Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz
Colegiado No. 6271
Mtro. Kenneth Issur Estrada Ruiz
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-1745-2022

El Director de la Escuela Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingeniería 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 LA CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE UN GENERADOR ELÉCTRICO A BASE DE ENERGÍA MECÁNICA ELÁSTICA COMO ALTERNATIVA DE FUENTE RENOVABLE.**, presentado por el estudiante universitario **Carlos Enrique Espino Turuy**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

A handwritten signature in black ink, followed by a circular official stamp. The stamp contains the text: "UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA", "DIRECCIÓN ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA", and "FACULTAD DE INGENIERIA".

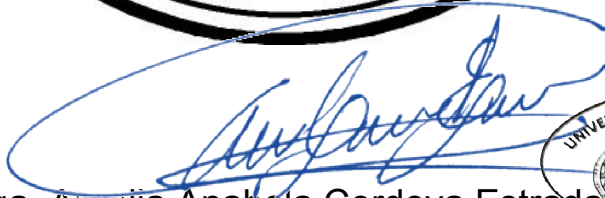
Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
Director
Escuela Ingeniería Mecánica Eléctrica

Guatemala, noviembre de 2022


LNG.DECANATO.OI.309.2023

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE UN GENERADOR ELÉCTRICO A BASE DE ENERGÍA MECÁNICA ELÁSTICA COMO ALTERNATIVA DE FUENTE RENOVABLE**, presentado por: **Carlos Enrique Espino Turay**, 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



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DECANA
FACULTAD DE INGENIERÍA

Guatemala, marzo de 2023

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por ser fiel y quedarse conmigo, por ser mi sustento.

Mis padres

Por todo el sacrificio que hicieron para que hoy pueda estar acá, benditos sean entre todos.

**Mi Hermano y mejor
amigo, Antonio
Espino**

Mi modelo a seguir, espero algún día ser la mitad de bueno que eres en todo.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Gracias por la vida, por tu misericordia y por tu amor.
A mis padres Mely Turuy y Bony Zamora	Gracias por estar conmigo, estuvieron siempre a mi lado en los días más difíciles, junto a Antonio Espino han sido mis mejores guías de vida.
A mi asesor	Ing. Kenneth Estrada. Sus consejos siempre fueron de mucha utilidad.
A mis docentes	Gracias por todas sus enseñanzas, guías y consejos, sus palabras fueron sabias, sus conocimientos rigurosos y precisos.
A mis compañeros	Gracias por el apoyo, por las horas de trabajo, estudio y proyectos a lo largo de nuestra formación.
A mis hermanos	Gracias por todos sus consejos y apoyo incondicional
Universidad de San Carlos de Guatemala	Mi casa de estudios, mi <i>alma mater</i> , id y enseñad a todos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
4. JUSTIFICACIÓN	11
5. OBJETIVOS	13
5.1. General	13
5.2. Específicos	13
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	15
7. MARCO TEÓRICO	17
7.1. Generador eléctrico	17
7.1.1. Potencia	17
7.1.2. Características mecánicas	19
7.1.3. Rotor	19
7.1.4. Estator	21

7.2.	Tipos de generadores eléctricos	21
7.2.1.	Generador de inducción (GI), rotor de jaula de ardilla, banco de capacitores y arrancador	22
7.2.2.	Generador de inducción (GI) con rotor de jaula de ardilla y convertidor de frecuencia.....	23
7.2.3.	Generador de inducción (GI) con rotor bobinado y deslizamiento controlado	23
7.2.4.	Generador de inducción (GI) con rotor bobinado y doble alimentación	24
7.2.5.	Generador síncrono (GS)	25
7.2.6.	Generador con imán permanente.....	25
7.2.7.	Generador síncrono (GS) con rotor bobinado excitado por convertidor de potencia.....	26
7.2.8.	Generador síncrono (GS) empleando dos convertidores de potencia.....	27
7.2.9.	Generador síncrono (GS) de múltiples polos con rotor bobinado	28
7.3.	Energía renovable	28
7.3.1.	Energía solar	29
7.3.2.	Solar fotovoltaica.....	29
7.3.3.	Energía hidroeléctrica	30
7.3.4.	Energía de la biomasa	30
7.3.5.	Energía geotérmica.....	31
7.3.6.	Energía mecánica	32
7.3.7.	Energía potencial	32
7.3.8.	Energía cinética.....	33
7.3.9.	Energía eólica	33
7.4.	Factor de potencia	34

8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	35
9.	METODOLOGÍA	39
9.1.	Clase de diseño	39
9.2.	Tipo de estudio	39
9.3.	Variables	39
9.4.	Fases	40
9.4.1.	Revisión documental.....	40
9.4.2.	Plan de diseño.....	41
9.4.3.	Trabajo de campo	43
9.4.4.	Trabajo de laboratorio.....	43
9.4.5.	Resultados esperados	43
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS	45
11.	CRONOGRAMA	47
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	49
13.	REFERENCIAS	51

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Árbol de problemas.....	8
2.	Rotor de polos no salientes.....	20
3.	Rotor de polos salientes.....	21
4.	GI con banco de capacitores.....	22
5.	GI con convertidor de frecuencia	23
6.	GI con rotor bobinado.....	24
7.	GI con doble alimentación.....	25
8.	Generador de imán permanente	26
9.	GS rotor bobinado y convertidor	27
10.	GS dos convertidores de potencia.....	27
11.	GS de múltiples polos sin engranajes.....	28
12.	Diseño del eje central.....	42

TABLAS

I.	Variables.....	40
II.	Resultados.....	46
III.	Valores promedio medidos.....	46
IV.	Cronograma.....	47
V.	Factibilidad del estudio.....	49

SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperios
HP	Caballos de Fuerza
C	Corriente
FP	Factor de Potencia
J	Joule
P	Potencia
V	Voltaje
W	Watts

GLOSARIO

Alternador	Es el encargado de transformar la energía mecánica en energía eléctrica, su función es la de un generador síncrono.
Bobina	Son arrollamientos de alambre conocido como reactor o inductor, es un elemento pasivo de un circuito eléctrico y almacena energía en forma de campo magnético.
Corriente	Flujo de carga eléctrica que recorre un material.
Estator	Es la parte fija de la máquina rotativa es importante para la transmisión de potencia.
Energía eléctrica	La energía eléctrica es la diferencia de potencial entre dos puntos, cuando un conductor eléctrico une dichos puntos se establece una corriente eléctrica.
Flujo axial	La dirección del flujo en la salida es paralela al eje.
Irradiación solar	Es la potencia por unidad de área que se recibe del sol en forma de radiación.

Matriz energética	La matriz energética representa un gráfico con todas las tecnologías de generación de un país, incluyendo el aporte de cada una de estas.
Método empírico	Se utiliza para dar respuesta a situaciones a través de la observación, experimentación para llegar a una conclusión.
Potencia activa	Es la potencia que podemos aprovechar para realizar un trabajo en una instalación eléctrica.
Potencia aparente	Es la suma vectorial de las potencias activa y reactiva.
Potencia reactiva	Es una potencia que no produce un trabajo.
Rotor	Es un electroimán que gira en el centro del motor, también conocido como armadura, parte fundamental para la transmisión de potencia.
Variables continuas	Las variables continuas son las que toman un valor numérico entre un intervalo infinito de valores.
Variables cuantitativas	Las variables cuantitativas son aquellas que representan un valor el cual podemos medir.

RESUMEN

En la actualidad la mayor parte de actividades cotidianas e industriales dependen directamente de la energía eléctrica, proveniente de diferentes fuentes renovables o no renovables. Las tecnologías para la generación de energía renovable cada vez son más eficientes, el problema es que dependen directamente de factores que en su mayoría no se pueden controlar, por ejemplo: La velocidad y dirección del viento, la radiación solar, el caudal de los ríos, entre otros.

Por lo anterior es difícil tener una matriz energética que dependa únicamente de fuentes renovables, por lo cual hacemos uso de la generación no renovable incrementando la producción de gases de efecto invernadero y la contaminación en aire afectando directamente en el cambio climático.

El objetivo de esta investigación es diseñar y construir un generador eléctrico que utilice la energía mecánica elástica como fuente renovable, que no dependa de condiciones climáticas que claramente no podemos controlar, con este fin la pregunta de investigación es la siguiente: ¿Existen generadores eléctricos a base de energía mecánica elástica como fuente de energía renovable? En este contexto, existen generadores eléctricos que no dependan de fuentes naturales para la generación de energía renovable. Es por esto que la investigación responde al diseño del prototipo del generador, el enfoque que se realizó es de carácter empírico experimental, basado en el diseño y construcción del prototipo y mediciones de variables continuas cuantitativas, mismas que representan parámetros para evaluar el diseño.

1. INTRODUCCIÓN

A través de la historia la humanidad se ha visto obligada a considerar el uso de energías alternativas que sean limpias y amigables con el medio ambiente, cuyas fuentes son los recursos naturales renovables, sin embargo, son pocos los estudios de nuevas alternativas de generación de energía eléctrica a partir de energía mecánica elástica, que dependan únicamente de piezas mecánicas y no únicamente de recursos naturales los cuales varían dependiendo del clima, temporada o ubicación geográfica.

El interés en la energía renovable y la generación de energía eléctrica viene dado por la problemática en la contaminación del medio ambiente, y la dependencia de recursos naturales para generar energía eléctrica renovable, para ello se diseña y construye un prototipo para generar energía eléctrica, tomará como fuente principal la energía potencial mecánica elástica, lo cual a largo plazo disminuirá la emisión de gases generados por los combustibles fósiles para generar energía.

El plan a largo plazo para este proyecto es profundizar en el estudio de nuevas alternativas de generación renovable, eliminar las líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica, reducir la contaminación y poder brindar a los guatemaltecos el acceso a un generador en sus hogares a un bajo costo de adquisición y mantenimiento de este.

2. ANTECEDENTES

Son bien conocidas las tecnologías de generación por energía solar, eólica y térmica, sin embargo, son tecnologías costosas. Por lo que se impone la necesidad de buscar fuentes alternativas de energía que resulten más baratas.

Utilizar esta energía no es nada nuevo, en el museo tecnológico de la ciudad de México se puede observar una BI ensamblada con una dinamo que hace encender un foco, lo mismo que en el museo del Papalote, y en muchas instituciones educativas se ha implementado, sin embargo, no se le ha dado una visión integral como una nueva alternativa de ahorro de energía y esa experiencia es lo que queremos transmitir, el proyecto se ha arrancado y está dando buenos resultados, lo que sigue es precisamente diseñar los generadores apropiados para esta labor. (Osorio, 2007, p. 25)

La potencia eléctrica la podemos obtener de diferentes fuentes, una de ellas son los imanes permanentes de flujo radial, si utilizamos dispositivos eléctricos como un alternador de carro para generar corriente alterna debemos lograr un giro aproximado de 3600 revoluciones por minuto, para el desarrollo de este generador se toma como base un alternador convencional de carro, el cual genera corriente alterna en condiciones normales de funcionamiento a 3600 RPM en el eje.

La obtención de energía eléctrica a partir de fuentes renovables es una necesidad que se hace cada vez más evidente en nuestra sociedad, por tal razón los sistemas eólicos, hidráulicos, entre otros. Han cobrado importancia en los últimos tiempos. Debido al bajo desarrollo de obtención de energía en nuestro

país es conveniente el desarrollo de máquinas con una alta eficiencia y una buena potencia de salida que permitan el mejor aprovechamiento en sistemas de pequeña generación.

El generador a construir es síncrono y se toma como base un alternador de carro tradicional, para poder conocer qué parámetros se deben modificar en el alternador primero se debe conocer cuáles son las ecuaciones que rigen el desempeño de generación eléctrica de este tipo de máquinas. (Santos, 2004, p. 2)

Los generadores eléctricos están diseñados para funcionar a diferentes velocidades, tomando datos importantes como el flujo axial, refrigeración, montaje, imanes permanentes y herramientas de cálculo, un generador de alta velocidad oscila entre 2,000 a 30,000 RPM con un rendimiento del 95 % podemos obtener valores de voltaje de 237 V. Los generadores eléctricos convencionales ubican los devanados en el estator y la fuente magnética (imanes permanentes) o electromagnética (excitación variable) en el rotor.

El problema geométrico que surge de la alta velocidad de trabajo es cómo sujetar correctamente los imanes al rotor, en una configuración radial es necesario que la cara externa del imán se aproxime en la mayor medida posible al estator para reducir el espacio de aire entre ambos (entrehierro), el espesor de los hierros posteriores se fija en 2 mm, un valor que cierra lo suficiente el campo magnético como para no recibir magnetismo del lado externo al acercarse objetos ferromagnéticos. (Labollita, 2008, p. 95)

Entre las formas de generar energía eléctrica renovable encontramos la generación eólica, la cual utiliza aspas de tal forma que el viento genere un momento par, logrando un giro y a través de imanes permanentes generar

energía, un generador síncrono de imanes permanentes de flujo axial de 4 polos, al cual se le realizaron las pruebas de circuito abierto y bajo carga resistiva. (García, 2013, p. 168)

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El uso generalizado de energías convencionales provenientes de fuentes de combustibles fósiles como el carbón, petróleo y gas, implica un agotamiento de los mismos al no ser fuentes naturales renovables debido a lo finito de estas fuentes, en la actualidad no es posible imaginar vivir sin contar con iluminación, climatización, transporte, entre otras actividades que tienen que ver con el consumo de energía, agravándose estos efectos nocivos al medio ambiente como la contaminación, los gases que producen efecto invernadero y la destrucción de la capa de ozono lo cual genera a su vez el calentamiento global y el cambio climático.

Es por eso por lo que a través de la historia la humanidad se ha visto obligada a considerar el uso de energías alternativas que sean limpias y amigables con el medio ambiente, cuyas fuentes son los recursos naturales renovables.

El interés en la energía renovable y la generación de energía eléctrica viene dado por la problemática en la contaminación del medio ambiente, y la dependencia de recursos naturales para generar energía eléctrica renovable, para ello se diseñará e implementará un prototipo para generar energía eléctrica, tomará como fuente principal la energía potencial mecánica y elástica, lo cual a largo plazo disminuirá la emisión de gases generados por los combustibles fósiles para generar energía.

El prototipo de generador será una nueva alternativa de energía renovable el cual disminuirá el uso de los recursos naturales como lo son el aire, los

bosques, agua y el suelo; por motivos geográficos no es accesible instalar en la ciudad una hidroeléctrica, construir un parque eólico o bien desarrollar una generadora geotérmica y debido a ello surge la necesidad de utilizar las líneas de transmisión para transportar la energía eléctrica de la central generadora hacia la carga pasando por una subestación eléctrica.

El plan a largo plazo para este proyecto es poder eliminar las líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica, reducir la contaminación y poder brindar a los guatemaltecos el acceso a un generador en sus hogares a un bajo costo de adquisición y mantenimiento de este. Así mismo se eliminarían las pérdidas que surgen en las líneas de transporte de energía eléctrica y los efectos que se producen ante una falla en las mismas.

Figura 1. **Árbol de problemas**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft PowerPoint.

Las fuentes de energías renovables son el futuro en la producción de energía eléctrica y es importante explorar nuevas alternativas para facilitar el aprovechamiento de las mismas, la investigación, diseño y construcción de un prototipo de energía renovable aportará una nueva alternativa y facilitará el acceso a la energía eléctrica independientemente del lugar geográfico donde se quiera implementar, este proyecto contribuirá en forma directa a minimizar la contaminación del medio ambiente, eliminar las pérdidas que surgen en las líneas de transporte de energía eléctrica y los efectos que se producen ante una falla en las mismas. En consecuencia, se tendría una mejora ambiental, financiera y económica para los hogares guatemaltecos.

La utilidad del proyecto radica en la profundización y desarrollo de nuevas alternativas de energía renovable, diseñando y construyendo un generador que aproveche la energía mecánica elástica como fuente de energía renovable siendo esta una nueva alternativa de generación con la finalidad de reducir la contaminación ambiental y brindar el acceso a una energía eléctrica en cualquier parte donde se quiera implementar.

- Formulación del problema
 - Pregunta central

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente se puede formular la siguiente pregunta general para el desarrollo de la presente investigación: ¿Existen generadores eléctricos a base de energía mecánica elástica como fuente de energía renovable?

- Preguntas secundarias

Adicionalmente se plantean las siguientes preguntas secundarias para soportar la investigación:

- ¿Cuál es el costo de diseñar y construir un prototipo de generador eléctrico a base de energía mecánica elástica?
- ¿Cuál es la potencia que generamos con el prototipo a base de energía mecánica elástica?
- ¿Los generadores eléctricos renovables dependen únicamente de los recursos naturales?

4. JUSTIFICACIÓN

El diseño y construcción de un prototipo de generador eléctrico a base de energía mecánica elástica como alternativa de fuente renovable, parte de la línea de investigación de energía renovable, aportando el estudio y diseño de una nueva alternativa para generar energía renovable, y la evaluación de la energía mecánica para generación.

Las fuentes de energías renovables son el futuro en la producción de energía eléctrica y es importante explorar nuevas alternativas para facilitar el aprovechamiento de las mismas, con el generador a base de energía mecánica elástica se tendría una mejora ambiental, financiera y económica para los hogares guatemaltecos, es pertinente debido a que la utilidad del proyecto radica en la profundización y desarrollo de nuevas alternativas de energía renovable con el diseño y construcción del prototipo de generador, con la finalidad de reducir la contaminación ambiental y brindar el acceso a una energía eléctrica en cualquier parte donde se quiera implementar.

La maestría al encontrarse en el marco de energía y ambiente involucra todo análisis profesional dentro del buen funcionamiento del equipo eléctrico en donde habrá un beneficio ambiental, económico y social.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Diseñar y construir un prototipo de generador eléctrico que utilice la energía mecánica elástica como fuente renovable.

5.2. Específicos

- Determinar el costo de diseño y construcción del prototipo de generador eléctrico a base de energía mecánica elástica.
- Estimar la potencia generada del prototipo a base de energía mecánica elástica.
- Con el prototipo del generador eléctrico, validar si existe dependencia entre los generadores renovables y los recursos naturales.

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

En este trabajo se pretende diseñar e implementar un generador eléctrico a base de energía mecánica elástica como alternativa de fuente renovable, el diseño del generador que aproveche la energía mecánica elástica permitirá ser la base para profundizar en el estudio de energías que no dependan de los recursos naturales renovables de tal forma que se pueda generar energía independiente de la época estacional, la hora, la ubicación geográfica entre otros, dicho generador se podrá implementar a nivel nacional considerando las necesidades de la población.

Para diseñar el generador de energía se tomará como base la energía mecánica elástica dicha energía se podrá aprovechar a través de un eje central que transmitirá el momento generado por contrapesos hacia el generador, para ello es necesario realizar cálculos físicos y matemáticos para establecer la masa de los contrapesos y el largo y peso de los brazos giratorios que unirán el eje central con los contrapesos. El eje central, brazos giratorios y contrapesos serán fijados a una estructura metálica que los soporte.

El generador será una nueva alternativa de energía renovable el cual disminuirá el uso de los recursos naturales como lo son el aire, los bosques, agua y el suelo; por motivos geográficos no es accesible instalar en la ciudad una hidroeléctrica, construir un parque eólico o bien desarrollar una generadora geotérmica y debido a ello surge la necesidad de utilizar las líneas de transmisión para transportar la energía eléctrica de la central generadora hacia la carga pasando por una subestación eléctrica Derivado que la Maestría de Energía y Ambiente, existe el área de energía renovable este proyecto contribuye

específicamente en diseñar y profundizar en el estudio de nuevas alternativas de generación renovable disminuyendo la contaminación del medio ambiente

Al ser un profesional con conocimientos en la ingeniería eléctrica y también en el área ambiental, este proyecto complementa el estudio y desarrollo de nuevas alternativas para generar energía eléctrica renovable, para lo cual se diseña y construye el prototipo del generador, considero será la energía del futuro al disminuir la contaminación ambiental.

- Esquema de solución

En el proyecto se espera explorar, diseñar y construir una nueva alternativa para generar energía eléctrica renovable uno de los aspectos del porqué se está trabaja es debido a que las tecnologías para generar energía eléctrica renovable dependen de los recursos naturales y condiciones climáticas, para ello es necesario diseñar y construir un generador eléctrico que no dependa de dichos recursos.

La forma para realizarlo como primer aspecto es el aprovechamiento de la energía potencial a través de brazos mecánicos utilizando resortes para mantener un movimiento perpetuo.

El proyecto por trabajar es el diseño y construcción de un prototipo de generador eléctrico a base de energía mecánica elástica como alternativa de fuente renovable, el proyecto se ejecutará durante el año 2023

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Generador eléctrico

Los generadores eléctricos son fundamentales para generar energía a partir de la transformación de energía mecánica a energía eléctrica, existen muchos factores que diferencian los tipos de generadores con los cuales varía la eficiencia de la configuración que tengan. Existen generadores monofásicos y generadores trifásicos estos suelen ser más efectivos conectados en delta o estrella.

De acuerdo con Chapman (2012), "los generadores eléctricos trifásicos ampliamente usados en industria son los llamados síncronos y están compuestos principalmente de una parte móvil o rotor y de una parte fija o estator, su principio de funcionamiento se basa en la ley de Faraday" (p. 165).

La ley de Faraday expresa cuantitativamente las tensiones inducidas por un campo magnético variable, originándose una conversión electromagnética de energía cuando la variación de flujo está acompañada de un movimiento mecánico, en las máquinas rotativas las tensiones se inducen en los devanados o grupos de bobinas haciéndolos girar mecánicamente dentro del campo magnético. (Fitzgerald, 1975, p. 123)

7.1.1. Potencia

Podemos definir que la potencia depende del trabajo por unidad de tiempo que necesitas las máquinas para trabajar, por lo tanto, por cuánto tiempo

mantengamos este trabajo es la energía que utilizamos para el funcionamiento correcto de la máquina, de acuerdo con Mora (2003) “la potencia es la tasa a la cual se realiza trabajo o el incremento de trabajo por unidad de tiempo” (p. 165).

Otro autor afirma que la ecuación de potencia es:

$$P = \frac{dW}{dt} \quad \text{(Ecuación 1)}$$

La unidad de medida es watts (joules/segundo), dependiendo el sistema de medida también se puede medir en pie-libra por segundo o caballos de fuerza (hp). Si tomamos en cuenta esta definición y suponemos que la fuerza es constante podemos llegar a la siguiente ecuación según, la potencia se representa con la ecuación:

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{d}{dt}(Fr) = F \left(\frac{dr}{dt} \right) = Fv \quad \text{(Ecuación 2)}$$

De la misma forma podemos suponer un par constante, la potencia para el movimiento rotatorio está expresada en la siguiente ecuación:

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{d}{dt}(\tau\omega) = \tau \left(\frac{d\omega}{dt} \right) = \tau\omega \quad \text{(Ecuación 3)}$$

Con esta ecuación podemos estudiar las máquinas eléctricas, con ella se describe la potencia mecánica que se le aplica al eje de un motor o generador.

La ecuación indica la relación correcta entre la potencia, el par y la velocidad si la potencia se mide en watts, el par en newton-metro y la velocidad en radianes por segundo, si se utilizan otras unidades para medir cualquiera de las cantidades

indicadas, se debe introducir una constante en la ecuación como factor de conversión. (Mora, 2003, p. 166)

7.1.2. Características mecánicas

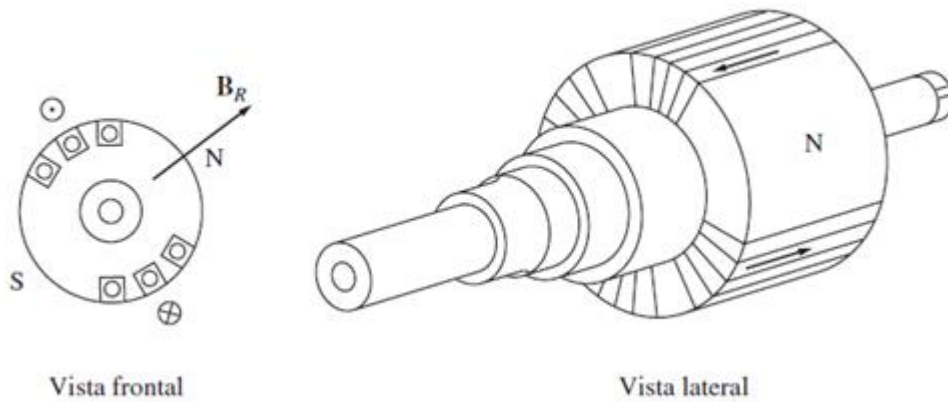
Tenemos varias partes mecánicas que realizan una función fundamental para la transformación de energía, existen pérdidas por el desgaste y rozamiento de las partes mecánicas por eso es importante el diseño adecuado de estas, el rotor y el estator son piezas que influyen mucho en la eficiencia de los generadores, así como lo es el calibre de los arrollamientos o bobinas, entre mayor es el calibre mejor va a ser la eficiencia de estos.

Según En las máquinas de corriente alterna hay dos tipos de rotores: bobinado y jaula de ardilla, cuyo devanado está formado por varillas conductoras alojadas en ranuras practicadas en el hierro del propio rotor y cortocircuitadas en ambos extremos mediante los dos platos conductores a los lados del rotor. La principal característica y ventaja de los motores de inducción es la sencillez y robustez de la construcción del rotor. (Fitzgerald, 1980, p.150)

7.1.3. Rotor

El rotor de un generador síncrono es en esencia un electroimán grande, los polos magnéticos del rotor pueden ser tanto salientes como no salientes. El término saliente significa proyectado hacia afuera o prominente y un polo saliente es un polo magnético proyectado hacia afuera del eje del rotor, por otro lado, un polo no saliente es un polo magnético construido al mismo nivel de la superficie del rotor. (Chapman, 2012, p. 178)

Figura 2. **Rotor de polos no salientes**

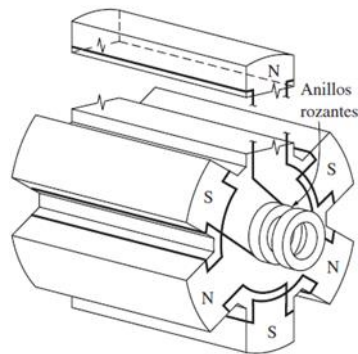


Fuente: Chapman (2012). *Máquinas eléctricas*.

En la figura 3, se puede ver un rotor de polos salientes.

Los devanados del electroimán están cubiertos alrededor del polo mismo, en lugar de estar incrustados en muescas sobre la superficie del rotor, por lo regular, los rotores de polos no salientes se utilizan para rotores de dos o cuatro polos, mientras que los rotores de polos salientes normalmente se usan para rotores con cuatro o más polos. (Chapman, 2012, p. 179)

Figura 3. **Rotor de polos salientes**



Fuente: Chapman (2012). *Máquinas eléctricas*.

7.1.4. Estator

El estator es la parte fija construida de material ferromagnético, de acuerdo a la configuración de los generadores la máquina síncrona puede funcionar como motor síncrono o como un generador de corriente alterna. Según Monje (2020) “un devanado inducido distribuido formando un arrollamiento trifásico recorrido por corriente alterna ubicado en el estator que está construido de un material ferromagnético, generalmente de chapas de acero al silicio” (p. 2).

7.2. Tipos de generadores eléctricos

Los tipos de generadores varían dependiendo la configuración que tengan, entre los factores importantes podemos mencionar que pueden ser generadores de inducción que dependen de banco de capacitores, convertidor de frecuencia, rotor jaula de ardilla o bien puede ser rotor bobinado y deslizamiento controlado, a través de anillos rozantes incluso la doble alimentación.

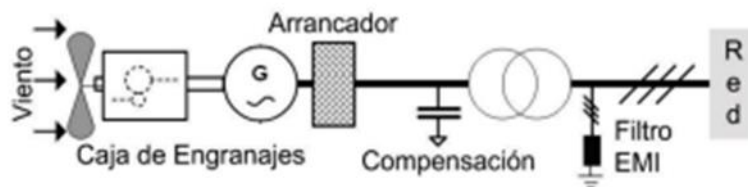
Según Giménez y Gómez (2011) “los diferentes generadores de corriente varían dependiendo la tecnología y fuente primaria, por ejemplo, podemos mencionar generadores eólicos los cuales aprovechan el viento, según lo describe claramente” (pp. 96-99).

7.2.1. Generador de inducción, rotor de jaula de ardilla, banco de capacitores y arrancador

Existen diferentes tipos de generadores como lo es el de inducción a través de rotor jaula de ardilla y banco de capacitores, esta configuración presenta el inconveniente en el sistema mecánico, varían los tiempos de respuesta y van en el orden de varias decenas de milisegundos, de esta forma cuando el viento golpea la turbina se observa la una gran variación en la salida.

En este sistema el rotor de la turbina eólica se encuentra acoplado al eje del generador a través de una caja de engranajes de relación fija, ver en la figura 4. “Algunos generadores de inducción usan configuraciones de bobinados de polos ajustables para permitir una operación a distintas velocidades sincrónicas, en cualquier punto de operación esta configuración tiene que funcionar a velocidad constante” (Giménez y Gómez, 2011, pp. 96-99).

Figura 4. Generador de inducción (GI) con banco de capacitores



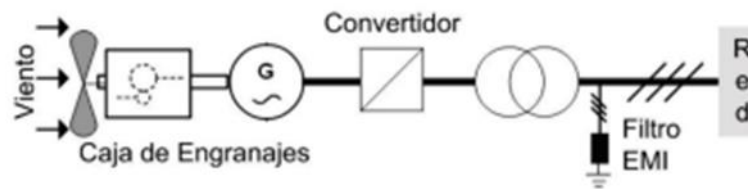
Fuente: Giménez y Gómez (2011). *Generador de inducción*.

7.2.2. Generador de inducción (GI) con rotor de jaula de ardilla y convertidor de frecuencia

Este sistema de generación depende del generador de inducción ya que se necesita la producción de corriente alterna con frecuencia variable para después mantener fija la frecuencia a través de un convertidor.

En este sistema se emplea un generador de inducción para producir corriente alterna de frecuencia variable, que luego es convertida en corriente alterna de frecuencia fija por medio de un convertidor de potencia conectado en serie con el generador. La ventaja de emplear este convertidor es que permite una variación de la velocidad del generador en función de las variaciones de velocidad del viento. (Giménez y Gómez, 2011, pp. 96-99)

Figura 5. **GI con convertidor de frecuencia**



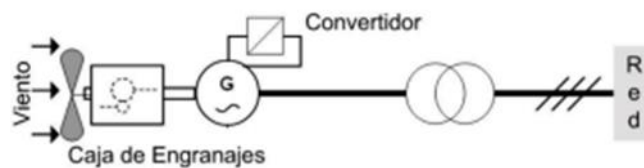
Fuente: Giménez y Gómez (2011). *Generador de inducción*.

7.2.3. Generador de inducción (GI) con rotor bobinado y deslizamiento controlado

El deslizamiento del generador de inducción suele ser muy pequeño por cuestiones de eficiencia, por lo que la velocidad de giro varía alrededor de un 3

% entre el régimen en vacío y a plena carga. El deslizamiento es función de la resistencia de los devanados del rotor del generador. A mayor resistencia, mayor deslizamiento. Por lo que una de las formas de variar el deslizamiento es variar la resistencia del rotor. Esto suele hacerse mediante un rotor bobinado conectado a resistencias.

Figura 6. **GI rotor bobinado**



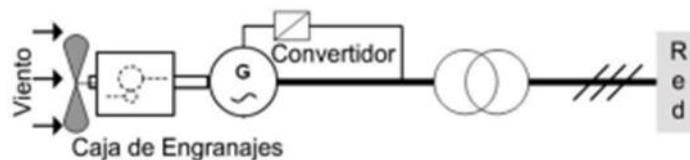
Fuente: Giménez y Gómez (2011). *Generador de inducción*.

La configuración es a través de escobillas y anillos rozantes, los cuales se desgastan con el uso del mismo, por ellos es necesario realizar inspecciones recurrentes y brindar mantenimiento adicional para garantizar el funcionamiento correcto, algo muy importante es que para disminuir los problemas que presentan estos dispositivos se montan directamente en el rotor. (Giménez y Gómez, 2011, pp. 96-99)

7.2.4. Generador de inducción (GI) con rotor bobinado y doble alimentación

Este sistema consiste en un generador de inducción de rotor bobinado, alimentado por estator y por rotor, conocido como generador de inducción de doble alimentación. Posee un convertidor de cuatro cuadrantes (alterna continua-alterna), basado en transistores bipolares de puerta aislada (IGBT) conectados a los bobinados del rotor. (Giménez y Gómez, 2011, pp. 96-99)

Figura 7. **GI con doble alimentación**



Fuente: Giménez y Gómez (2011). *Generador de inducción*.

7.2.5. **Generador síncrono (GS)**

Las turbinas eólicas utilizan en su mayoría generadores síncronos para realizar la generación de energía a partir del viento, en la generación existen varias configuraciones la cual una de ellas es a través de imanes permanentes, también existen turbinas eólicas con generador sincrónico y el rotor es bobinado, para ello tenemos tres. (Giménez y Gómez, 2011, pp. 96-99)

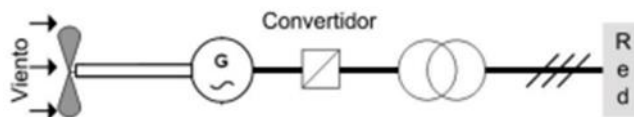
Describiremos de una forma corta pero entendible estas configuraciones y su funcionamiento.

7.2.6. **Generadores con imán permanente**

Directamente en esta configuración encontramos el generador de imán permanente, la entrada mecánica va directamente al eje de las palas, por lo que es correcto pensar que no utiliza caja de engranajes, por lo que los generadores normalmente tienen una potencia de hasta 1 kW, seguidamente del generador encontramos el rectificador el que se utiliza para las baterías y por lo regular este tipo de instalaciones las podemos encontrar en zonas rurales.

Una turbina eólica que utiliza este concepto, con potencia realmente importante y de conexión indirecta al sistema de potencia, ha sido desarrollada, la que se conoce con el nombre de Windformer. Se utiliza en turbinas eólicas que se instalan en el mar (offshore), cuya potencia de salida es típicamente de 3 a 5 MW. El diseño básico de esta configuración está caracterizado por bobinados del estator con cables de alta tensión (HV - cable) y con campo magnético permanente en el rotor, acoplamiento directo entre el rotor y la turbina sin caja de engranajes y un sistema de colectores de corriente continua. (Giménez y Gómez, 2011, pp. 96-99)

Figura 8. **Generador de imán permanente**

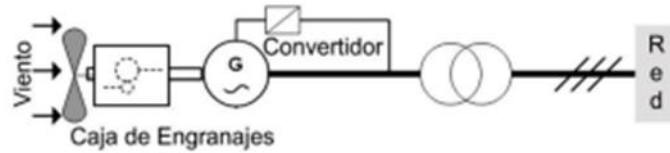


Fuente: Giménez y Gómez (2011). *Generador síncrono*.

7.2.7. **Generador sincrónico (GS) con rotor bobinado excitado por convertidor de potencia**

Esta configuración es muy común en generadores eólicos, básicamente utiliza un generador sincrónico donde el bobinado del rotor es excitado con corriente continua a través de un convertidor de potencia. La baja utilización en comparación a la configuración anterior se debe a la necesidad de un circuito de excitación y a la necesidad de contar con anillos rozantes para ingresar a los bobinados del rotor. (Giménez y Gómez, 2011, pp. 96-99)

Figura 9. **GS rotor bobinado y convertidor**

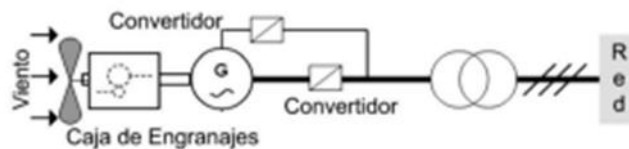


Fuente: Giménez y Gómez, (2011). *Generador síncrono*.

7.2.8. **Generador sincrónico empleando dos convertidores de potencia**

Esta configuración es muy parecida a la anterior con la diferencia que además del primer convertidor de potencia se utiliza un convertidor extra de corriente alterna de frecuencia variable, a corriente alterna de frecuencia fija, dependiendo el sistema y ubicación pueden ser 50 o 60 Hz. Otro aspecto muy importante comparado con la configuración anterior es que ésta puede producir potencia a diferentes velocidades del viento. (Giménez y Gómez, 2011, pp. 96-99)

Figura 10. **GS dos convertidores de potencia**

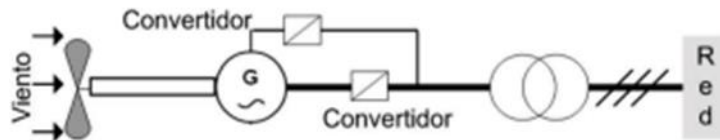


Fuente: Giménez y Gómez (2011). *Generador síncrono*.

7.2.9. Generador sincrónico de múltiples polos con rotor bobinado

De acuerdo con Giménez y Gómez (2011) “esta configuración es muy parecida a la anterior con la diferencia que no tiene caja de engranaje y el rotor que utiliza es el de múltiples polos con generador síncrono” (pp. 98).

Figura 11. **GS de múltiples polos, sin engranajes**



Fuente: Giménez y Gómez (2011). *Generador síncrono*.

7.3. Energía renovable

El origen de las energías renovables es el sol, que mediante la energía que irradia y nos llega a la Tierra, produce las fuentes de energía renovable (energía solar, energía eólica, energía de la biomasa, energía térmica)

La energía renovable representa una cifra estimada de 62 % de la capacidad instalada para generación de electricidad de Centroamérica. La mayor parte de esto proviene de grandes plantas de energía hidroeléctrica, con un 49 % de la capacidad total en 2011. Aun así, la generación restante renovable que no es de energía hidroeléctrica representa una notable cifra del 13 %, principalmente a partir de energía geotérmica, de biomasa agrícola y energía eólica. (Dolezal, 2013, p. 24)

Las energías renovables en la Comunidad de Madrid, menciona que las energías renovables son aquellas fuentes que, de forma periódica, se ponen a disposición del hombre y que éste es capaz de aprovechar y transformar en energía útil, para satisfacer sus necesidades. (Cayetano, 2018, p. 18)

A continuación, de acuerdo con el autor se comentarán cada una de las energías renovables:

7.3.1. Energía solar

El Sol constituye un yacimiento energético tan importante, que es razonable considerarlo inagotable. La radiación solar que nos llega a la Tierra se denomina global y se divide en radiación difusa y radiación directa. La radiación difusa se difunde a través de las moléculas de gas y las gotas de agua y, finalmente, llega al suelo. (Cayetano, 2018, p. 18)

7.3.2. Solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es una de las energías pioneras de las energías renovables, la tecnología en la generación de energía cada vez es mejor por lo que la eficiencia de los paneles solares va en aumento, la generación de energía depende de la radiación solar. En este caso se aprovecha la radiación solar para producir energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico, la situación actual de esta tecnología es que su competencia con los combustibles convencionales es una realidad y la solar fotovoltaica. (Cayetano, 2018, p. 19)

7.3.3. Energía hidroeléctrica

En Guatemala la energía que producimos a partir de las hidroeléctricas es muy importante ya que representa gran porcentaje en la matriz energética del país por lo que es importante el aprovechamiento de la misma, si bien lo menciona el autor a continuación:

Las instalaciones hidroeléctricas consisten en aprovechar que un determinado caudal de agua tenga que salvar una diferencia de nivel, empleando la energía potencial de esa caída, existen instalaciones en pies de presa, en cauces de río, en abastecimiento de aguas, entre otros. La energía cinética obtenida mediante la utilización de las turbinas hidráulicas es empleada en la generación de electricidad. (Hernández, 2018, pp. 15-16)

7.3.4. Energía de la biomasa

La energía que podemos generar a partir de la biomasa es la más utilizada en regiones rurales porque la emplean para calefacción, cocción de alimentos, entre otros.

Se entiende esta energía como la utilización de las leñas, los residuos de los bosques y los residuos de la agricultura, para producir calor y calentar las casas. Sin embargo, al añadir los residuos de las industrias agroalimentarias, por ejemplo, los huesos de aceitunas o los residuos de las industrias papeleras, se aprecia la complejidad de la energía denominada biomasa. (Hernández, 2018, pp. 15-16)

La clasificación de la biomasa de cara a su aprovechamiento energético: La biomasa, esta suele clasificarse en biomasa primaria y biomasa secundaria. La biomasa primaria es aquella que se obtiene directamente de un ecosistema natural para su utilización energética. La biomasa secundaria también llamada residual, es la obtenida como residuo o subproducto de una actividad humana. Se podría hablar de un tercer tipo de biomasa, la consistente de un producto procesado previamente a su utilización energética final. (Nogués, 2010, p. 20)

7.3.5. Energía geotérmica

Dentro de la estructura interna de la Tierra, existe una gran diferencia de temperatura entre la superficie y su interior. Este gradiente térmico origina un flujo de calor desde el interior a la superficie, el recurso geotérmico es la parte de la energía geotérmica contenida en las rocas del subsuelo y que puede ser extraída por el hombre mediante dispositivos técnicos. (Hernández, 2018, pp. 15-16)

De acuerdo con Dickson y Fanelli (2004), el sistema lo podemos construir a partir de 3 elementos principales:

- La fuente de calor puede ser tanto una intrusión magmática a muy alta temperatura $> 600\text{ }^{\circ}\text{C}$, emplazada a profundidades relativamente someras de 5-10 km o bien, como en sistemas de baja temperatura donde el gradiente geotérmico normal el calor.
- El reservorio es un volumen de rocas calientes permeables del cual los fluidos circulantes extraen el calor. Generalmente el reservorio está cubierto por rocas impermeables y está conectado a un área de

recarga superficial a través de la cual el agua meteórica puede reemplazar los fluidos que se escapan del reservorio a través de las fuentes termales o que son extraídos mediante pozos.

- El fluido geotermal es agua en la mayoría de los casos de origen meteórico, ya sea en la fase líquida o en la fase vapor, dependiendo de su temperatura y presión. (pp. 15-16)

7.3.6. Energía mecánica

Podemos definir a la energía mecánica como la suma de energía cinética y energía potencial que puede adquirir un cuerpo en un sistema físico el cual depende de la posición y el punto de referencia, de acuerdo con Concepto (2022) “el principio de conservación de la energía establece que la energía mecánica se conserva (permanece constante) siempre que las fuerzas que actúen sobre el cuerpo o sistema sean conservadoras, es decir, no le haga perder energía al sistema.” (p. 10)

7.3.7. Energía potencial

La energía potencial se desglosa de la energía mecánica y está directamente asociada a la posición respecto al suelo o un punto de referencia, normalmente es el suelo de acuerdo con Hewitt (2007) “un objeto puede almacenar energía debido a su posición respecto a algún otro objeto, a esta energía se le llama energía potencial, porque en su estado almacenado tiene el potencial de efectuar un trabajo” (p. 107).

La energía potencial gravitatoria es debida a la capacidad que tienen los objetos de caer. Tiene su origen en la existencia del campo gravitatorio

terrestre. Se puede decir que su magnitud está asociada y es directamente proporcional a la altura en la que se encuentra el objeto, respecto de un punto de referencia u origen que colocamos, y a la masa del objeto. (Sevilla, 2016, p.1)

7.3.8. Energía cinética

La energía cinética depende del trabajo que necesita un cuerpo para moverse y acelerar, es importante que su estado y posición sean diferente de cero, de acuerdo con Cinética (2018) “se llama energía cinética a la energía asociada a un objeto que se encuentra en movimiento” (p. 2).

Por lo que en el generador de energía eléctrica es indispensable para producir energía en el cambio de velocidad y dirección.

7.3.9. Energía eólica

La energía eólica es una tecnología que necesita del aire para hacer girar las paletas de la turbina para generar energía eléctrica, uno de los inconvenientes que puede llegar a tener es el espacio que se necesita para instalar un parque eólico, ya que la distancia entre un aerogenerador y otro es grande.

La energía contenida en el viento se está utilizando a gran escala en nuestro país, siendo la potencia instalada de 23.020 MW y la generación eléctrica de 48.927 GWh, que representa el 18.4 % de toda la demanda de electricidad de España. (Hernández, 2018, pp. 15-16)

De acuerdo con Escudero (2008), “una potencia eólica más repartida geográficamente incidiría de forma positiva en el balance energético nacional,

causando pocas afectaciones a las grandes líneas de transporte al disponerse los consumos muy cercanos a los puntos de generación” (p. 99).

El generador eléctrico acostumbra a ser síncrono de imanes permanentes y está accionado directamente por la turbina eólica sin caja multiplicadora de velocidad (*gear box*) entre el eje del rotor de la turbina y el generador eléctrico o bien asíncrono con rotor jaula dotado de una batería de condensadores para suministro de energía reactiva al generador” (López, 2012, p. 156).

7.4. Factor de potencia

El factor de potencia es la relación que existe entre la potencia activa y la potencia reactiva, existen diferentes formas de calcularlo para verificar el rendimiento de nuestras máquinas si bien lo menciona el autor:

En los motores existen unas bobinas de cobre que generan un campo electromagnético al ser atravesados por una corriente eléctrica. Ese campo eléctrico mueve un eje que es el que produce la energía mecánica (energía útil en nuestro caso) que necesitamos. Pero parte de la energía consumida se pierde en la creación de ese campo electromagnético. Esta energía no es útil porque no termina transformándose en energía mecánica. (Educativo, 2018, p. 78)

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DEL MARCO TEÓRICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Generador eléctrico

1.1.1. Potencia

1.1.2. Características mecánicas

1.1.3. Rotor

1.1.4. Estator

1.2. Tipos de generadores eléctricos

1.2.1. Generador de inducción (GI), rotor de jaula de ardilla, banco de capacitores y arrancador

1.2.2. Generador de inducción (GI) con rotor de jaula de ardilla y convertidor de frecuencia

1.2.3. Generador de inducción (GI) con rotor bobinado y deslizamiento controlado

1.2.4. Generador de inducción (GI) con rotor bobinado y doble alimentación

- 1.2.5. Generador síncrono (GS)
- 1.2.6. Generador con imán permanente
- 1.2.7. Generador síncrono (GS) con rotor bobinado excitado por convertidor de potencia
- 1.2.8. Generador síncrono (GS) empleando dos convertidores de potencia
- 1.2.9. Generador síncrono (GS) de múltiples polos con rotor bobinado
- 1.3. Energía renovable
 - 1.3.1. Energía solar
 - 1.3.2. Solar fotovoltaica
 - 1.3.3. Energía hidroeléctrica
 - 1.3.4. Energía de la biomasa
 - 1.3.5. Energía geotérmica
 - 1.3.6. Energía mecánica
 - 1.3.7. Energía potencial
 - 1.3.8. Energía cinética
- 1.4. Factor de potencia

2. RECOLECCIÓN DE DATOS

3. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4. ANÁLISIS DE COSTOS / ANÁLISIS FINANCIERO

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES
ANEXOS

9. METODOLOGÍA

Ya que las variables establecidas son de tipo cuantitativo la investigación será experimental.

9.1. Clase de diseño

El enfoque que pretendo realizar en mi investigación es empírico experimental se basa en el diseño de estudio experimental apoyándome de información e investigaciones anteriores y prototipos experimentales.

9.2. Tipo de estudio

El estudio será con variables continuas cuantitativas, ya que éstas representan valores del proceso para la medición de parámetros para evaluar el diseño del prototipo de generador de energía a base de energía mecánica elástica

9.3. Variables

A continuación, se muestran las variables a utilizar en el estudio.

Tabla I. **Variables**

Variable	Definición conceptual	Definición
Energía mecánica	La energía mecánica de un cuerpo o de un sistema físico es la suma de su energía cinética y la energía potencial.	Se mide en Joules (J)
Energía eléctrica	La energía eléctrica es un tipo de energía que consiste en el movimiento de los electrones entre dos puntos cuando existe una diferencia de potencial entre ellos, lo cual permite generar la llamada corriente eléctrica.	Se medirá en Kwh (kilovatios/hora)
Potencia	La potencia es la cantidad de trabajo que se realiza por unidad de tiempo.	Se mide en Kilovatios (Kw)
Factor de potencia	Es la relación entre la potencia activa y la potencia aparente	El factor de potencia no tiene unidades.
Energía potencial	La energía potencial es la energía almacenada en un objeto debido a su posición.	Se mide en Joule (J)

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

9.4. Fases

A continuación, se muestran las fases del estudio.

9.4.1. Revisión documental

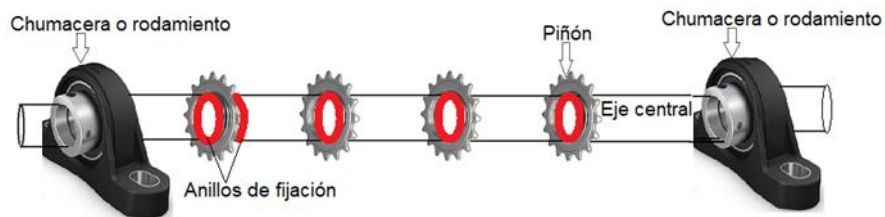
Se revisarán los estudios actuales de prototipos y generadores eléctricos renovables, el levantamiento de todos los equipos actuales características técnicas, y la investigación y desarrollo conceptual de cada una de las variables establecidas.

9.4.2. Plan de diseño

Para el diseño de las piezas mecánicas y estructura metálica se utilizará el programa Autocad, los cálculos para la relación de las poleas del eje y el generador será con base a la velocidad de giro del eje central y las r.p.m. del generador eléctrico, para ello es necesario seguir los siguientes pasos.

- Diseñar el eje central tomando en cuenta el largo, diámetro interior y exterior del eje, calibre del tubo y tipo de material a utilizar. (metal).
- Utilizar 2 chumaceras NTN P207 para soportar el eje central.
- Elegir correctamente los piñones de bicicleta que se van a conectar al eje, dichos piñones deben soporten el momento o torsión que va sufrir el mismo.
- Diseñar anillos metálicos que conectan el eje central con los brazos mecánicos sin obstruir el giro de este.
- Conectar los piñones de bicicleta al eje central utilizando 2 anillos por cada piñón en total serán 4 brazos mecánicos, 4 piñones de bicicleta y 8 anillos de sujeción.
- Conectar y fijar el eje central (debe incluir los piñones y anillos) a las chumaceras NTN P207, según se observa en la figura 12.

Figura 12. **Diseño del eje central**



Fuente: elaboración propia, empleando SketchUp.

- Diseñar los brazos mecánicos, los cuales se fijarán a los piñones.
- Calcular y diseñar los contrapesos que van en el extremo superior de los brazos mecánicos.
- Diseño de la estructura metálica que soporta el eje central, chumaceras, anillos de fijación y piñones.
- Cálculo y diseño de las poleas (relación).
- Fijación del eje central a la estructura metálica.
- Conexión del sistema (eje, anillos, brazos, piñón) al generador.
- Pruebas.
- Calibración y ajuste de las piezas mecánicas.

9.4.3. Trabajo de campo

Con base al diseño del generador de energía eléctrica se plantearán los trabajos de corte, soldadura, ensamble, pruebas de funcionamiento.

9.4.4. Trabajo de laboratorio

Se realizarán las mediciones de corriente, voltaje, factor de potencia, velocidad, temperatura, entre otros, con equipos de medición como multímetro, amperímetro y cámara termográfica.

9.4.5. Resultados esperados

Será la recopilación de toda la información teórica técnica que deben cumplir las variables planteadas para realizar el diseño de un generador eléctrico a base de energía mecánica elástica, presentando los valores medidos de voltaje, corriente, potencia y temperatura

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS

Para poder comprobar la capacidad de cada parámetro considerado, en primer lugar, debemos caracterizar el tipo de perfil (voltaje, corriente, frecuencia, potencia) representado en cada uno de los datos obtenidos.

Estudiaremos la validez de los parámetros de acuerdo al comportamiento que tengan, es decir, realizamos tantas mediciones como sea posible para cada parámetro y después las estudiamos con medidas de tendencia central para verificar el comportamiento normal. La técnica que se utilizará será con variables continuas cuantitativas, ya que éstas representan valores de los parámetros para evaluar el diseño del prototipo de generador de energía a base de energía mecánica elástica.

El enfoque que pretende realizar en la investigación es empírico experimental se basa en el diseño de estudio experimental apoyándose de información e investigaciones anteriores y prototipos experimentales.

El propósito de utilizar la técnica experimental es profundizar en el estudio de nuevas alternativas de generación eléctrica renovable, recopilando los resultados de las mediciones y analizando la estabilidad de los parámetros como de potencia, factor de potencia, voltaje, corriente, temperatura y frecuencia.

- Presentación de resultados

Tabla II. Resultados

Medición	Voltaje (V)	Corriente (A)	Frecuencia (Hz)	Temperatura (°C)

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

- Discusión de resultados

Tabla III. Valores promedio medidos

Medición	Voltaje Promedio (V)	Corriente Promedio (A)	Frecuencia Promedio (Hz)	Temperatura Promedio (°C)

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

11. CRONOGRAMA

Para el proyecto de diseño de investigación para la construcción del prototipo del generador eléctrico a base de energía mecánica elástica como alternativa de fuente renovables se describen los trabajos y actividades que se realizaron.

Tabla IV. **Cronograma**

Prototipo de generador eléctrico		2023									
Fases	Descripción	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov
	1	Diseñar el prototipo de generador eléctrico									
Diseñar la estructura de soporte del generador eléctrico											
Cuantificar materiales											
Cotizar y adquirir materiales											
2	Construir el eje central y brazos mecánicos										
	Cuantificar el costo del prototipo de generador eléctrico										
	Construir la estructura de soporte del generador										

Continuación tabla IV.

	Ensamblar eje central con estructura				
3	Ensamblar generador con estructura y eje central				
	Puesta en marcha del generador en vacío				
4	Puesta en marcha del generador con carga				
	Realizar mediciones del generador en vacío y bajo carga				
5	Redacción de informe final y artículo científico				
	Presentación				

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se realizará con recursos propios del estudiante.

Tabla V. **Factibilidad del estudio**

Descripción	Cantidad	Medida	C/U	Subtotal
Electricidad	50	horas	5	Q. 250,00
Internet	50	horas	4	Q. 200,00
Impresiones	100	hojas	1	Q. 100,00
M.O.	50	horas	250	Q. 12.500,00
Depreciación	50	horas	5	Q. 250,00
Exploración bibliográfica y reportes				Q. 13.300,00
Alternador	1	12 V	500	Q. 500,00
Tubo metalico 1 "	1	3 m	150	Q. 150,00
Plancha metálica 1/8 "	1	4 pies	200	Q. 200,00
Electrodo 6013	2	libras	25	Q. 50,00
Tubo roscado 1 "	1	3 m	1000	Q. 1.000,00
Chumaceras 1 "	2	1 "	600	Q. 1.200,00
Piñon	4	1 "	500	Q. 2.000,00
Resortes	10	Varios	100	Q. 1.000,00
Tornillería	100	Varios	2,5	Q. 250,00
Contrapesos	8	Varios	100	Q. 800,00
Fajas	2	Varios	300	Q. 600,00
Volante de inercia	1	12 "	2500	Q. 2.500,00
Regulador de voltaje	1	12 v	200	Q. 200,00
Cable THHN	10	m	10	Q. 100,00
Batería	1	12 v	1000	Q. 1.000,00
Cojinetes	6	Varios	100	Q. 600,00

Frecuenciómetro	1	60 Hz	500	Q.	500,00
Transformador	1	120 v	2500	Q.	2.500,00
Imprevistos				Q.	15.150,00
Gasolina	50	galones	35	Q.	1.750,00
Comida	120	tiempos	25	Q.	3.000,00
Depreciación	10 %			Q.	475,00
Viáticos				Q.	5.225,00
Asesor	2	Ing.	5000	Q.	10.000,00
Registro propiedad	1	Prof.	5000	Q.	5.000,00
Recurso humano	1	Ing.	10000	Q.	10.000,00
Otros				Q.	25.000,00
Total				Q.	58.675,00

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Siendo los recursos aportados suficientes para la investigación, se considera que es factible la realización del estudio.

13. REFERENCIAS

1. BBVA. (10 de octubre, 2020). BBVA Sostenibilidad. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-tipos-de-energias-renovables-existen-y-que-papel-juegan/>.
2. Cayetano, H. (2018). Las energías renovables. en Cayetano h., *las energías renovables en la comunidad de madrid*. Madrid, España: Fenercom.
3. Chapman, S. J. (2012). *Máquinas eléctricas*. México: Mc Graw Hill.
4. Cinética. (10 de mayo, 2018). Cinética, energía potencial. [Mensaje en un blog]. Recuperado de https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=energ%C3%ADa+cinetica&btnG=&oq=energ%C3%ADa+cin%C3%A9tica#d=gs_cit&t=1663393869853&u=%2Fscholar%3Fq%3Dinfo%3Aax2fW2ZYHaNYJ%3Ascholar.google.com%2F%26output%3Dcite%26scirp%3D3%26hl%3Des.
5. Concepto. (20 de febrero, 2022). Enciclopedia concepto. [Mensaje en un blog]. Recuperado de Concepto: <https://concepto.de/energia-mecanica/>.
6. Dickson, M., y Fanelli, M. (2004). *¿Qué es la energía geotérmica?* Italia: Istituto di Geoscienze e Georisorse CNR.

7. Dolezal, A., Majano, A., Ochs, A., y Palencia, R. (2013). *Evaluación de la situación actual, mejores prácticas*. Washington, Estados Unidos: Worldwatch Institute.
8. Educativo, R. (2018). *Rincon educativo*. México: Autor.
9. Escudero, L. (2008). *Manual de energía eólica*. Madrid, España: Mundi-Prensa Libros.
10. Fitzgerald, A. E. (1975). *Teoría y análisis de las máquinas eléctricas*. Barcelona, España: Editorial Hispano Europea.
11. Flores M. P. P. y Poveda, Y. E. (2015). *Recursos naturales y energía*. España: Autor.
12. Formación. (2007). *Energía solar fotovoltaica*. España: FC Editorial.
13. García, A. (2013). *Energía eléctrica renovable*. México: Autor.
14. Giménez, J. M. y Gómez, J. C. (julio, 2011). Generación eólica empleando distintos tipos de generadores. *Dyna*, 169, 95-104.
15. Hernández, C. (2018). *Las energías renovables en la comunidad de Madrid*. Madrid: España: Fenercom.
16. Hewitt, P. (2007). *Física conceptual*. México: Pearson Educación.
17. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2019). *Fuentes Naturales*. México: Autor.

18. itzgerald, A. E. (1980). *Teoría y análisis de las máquinas eléctricas*. Barcelona, España: Editorial Hispano Europea.
19. Labollita, S. (2008). *Diseño de Generadores eléctricos de muy alta velocidad de giro*. Argentina: Centro Atómico Bariloche.
20. López, M. (2012). *Ingeniería de la energía Eólica*. España: Marcombo.
21. Monjo, A. (2020). *Motor síncrono*. México: Autor.
22. Mora, J. F. (2003). *Máquinas eléctricas*. Madrid, España: McGraw Hill.
23. Nogués F. S. (2010). *Energía de la Biomasa*. España: Universidad de Zaragoza.
24. Osorio, A. (2007). *Generador eléctrico accionado por fuerza humana*. México: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
25. Puig, P., y Jofra, M. (2018). *Energías renovables para todos*. España: Iberdrola.
26. Rufes, P. (2009). *Energía solar térmica: técnicas para su aprovechamiento*. España: Marcombo.
27. Sanger, A. (2005). *Las fuerzas y su medición*. España: Escuela de Enseñanza media.

28. Santos, A. (2004). *Adaptación de un generador eléctrico de imanes permanentes y flujo radial*. Bogotá, Colombia: Universidad de los Andes.
29. Sevilla, I. (2016). *La energía: energía potencia*. España: Autor.