



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE
GENERACIÓN ELÉCTRICA
IMPULSADO POR LOS SALTOS DE
UNA PERSONA**

Trabajo de titulación previo a la obtención
del Título de Ingeniero Electrónico

AUTORES: José Luis Báez Calvopiña

Stalyn Alexander Monteros Jiménez

TUTOR: Andrés Sebastián Calero Calero

Quito-Ecuador

2024

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Nosotros, José Luis Báez Calvopiña , con documento de identificación No. 1721033023 y Stalyn Alexander Monteros Jiménez, con documento de identificación No. 1723076632; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 15 de julio del año 2024.

Atentamente,



José Luis Báez Calvopiña

1721033023



Stalyn Alexander Monteros Jiménez

1723076632

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, José Luis Báez Calvopiña , con documento de identificación No. 1721033023 y Stalyn Alexander Monteros Jiménez, con documento de identificación No. 1723076632, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del proyecto técnico: “Desarrollo de un sistema de generación eléctrica impulsado por los saltos de una persona”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 15 de julio del año 2024.

Atentamente,



José Luis Báez Calvopiña

1721033023



Stalyn Alexander Monteros Jiménez

1723076632

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Andrés Sebastián Calero Calero con documento de identificación No.1719252346 docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DESARROLLO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA IMPULSADO POR LOS SALTOS DE UNA PERSONA, realizado por José Luis Báez Calvopiña , con documento de identificación No. 172103302-3 y Stalyn Alexander Monteros Jiménez, con documento de identificación No. 172307663-2, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 15 de julio del año 2024.

Atentamente,



Ing. Andrés Sebastián Calero Calero Msc.

1719252346

DEDICATORIA

Dedico este proyecto y toda mi carrera universitaria a Dios porque me ha ayudado día tras día en seguir adelante. Le agradezco a mi padre Luis Oswaldo Báez Monteros, a mi tía María Rosa Elvira Báez Monteros y a mi hermano Diego Báez porque ellos me dieron su apoyo en los momentos más difíciles de mi carrera, ese cariño y calor humano necesario, ya que ellos son las que han velado por mi salud y mis estudios. A mi madre Olga Josefina Calvopiña ya que lamentablemente no la tengo con vida, pero fue el motor de mi niñez y adolescencia para poder ser una persona de valores y principios. En fin, a todos los que están vinculados a mí y me ayudaron de forma desinteresada, gracias.

José Luis Báez Calvopiña

Dedicado a mis amados padres Gladys y Efraín quienes me han enseñado el valor de la perseverancia y amor por el conocimiento. A mi querido hermano Eric, su apoyo y complicidad han sido fundamentales en este camino académico. A mis abuelitos Luis y Luz por sus sabias palabras y el cariño que me han otorgado siendo soporte en mi vida. A mi amada Karlita que ha sido mi compañera incondicional durante todo este proceso haciéndome saber que a su lado todo es posible. Esta tesis es el resultado del amor y apoyo de cada uno de ustedes gracias por ser mi inspiración.

Stalyn Alexander Monteros Jiménez

AGRADECIMIENTOS

En la culminación de este arduo proceso, deseo expresar mi sincero agradecimiento a quienes han sido fuentes invaluable de apoyo y estímulo durante la realización de esta tesis de grado, a mi querido padre Luis Báez, cuya experiencia y guía fueron fundamentales para dar forma a esta investigación. Su sabiduría y dedicación dejaron una huella significativa en este trabajo. A Rosa Báez, mi fuente constante de aliento y comprensión. Su apoyo incondicional fue un faro que iluminó los momentos desafiantes de este viaje académico, mi hermano Diego Báez, por sus valiosas contribuciones y perspectivas que enriquecieron cada capítulo de esta tesis. Su colaboración ha sido fundamental para alcanzar los estándares de excelencia que nos propusimos, mi madre Olga Calvopiña, cuya paciencia y orientación fueron pilares cruciales en el desarrollo de este proyecto. Su experiencia ha sido una inspiración constante.

José Luis Báez Calvopiña

En primer lugar, deseo expresar mi profundo agradecimiento a Dios por haberme dado la oportunidad de culminar este proceso. Asimismo, quiero agradecer a mí a madre Gladys Jimenez quien ha sido mi roca, mi gran ángel de apoyo, le agradezco por su amor incondicional, su constante aliento, comprensión y paciencia, proporcionándome la tranquilidad y estabilidad para enfrentar los desafíos, obstáculos de este camino. En segundo lugar, agradezco a mi querido padre por cada paso de crecimiento académico y personal, aunque ya no estes terrenalmente sus enseñanzas están latentes en cada logro que alcanzo, un agradecimiento sincero a mis profesores y mentores que han déjalo una huella imborrable en mi formación académica. Sabiduría y orientación han sido esenciales para mi crecimiento intelectual y profesional, han dejado una huella en mi camino para inspirarme y seguir adelante para nunca dejar de aprender y crecer. Gracias a todos de corazón.

Stalyn Alexander Monteros Jiménez

Los Autores

ÍNDICE

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	II
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.....	III
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTOS	VI
RESUMEN	XIV
ABSTRACT	XV
CAPÍTULO 1.....	1
ANTECEDENTES	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Justificación	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo General.....	2
1.3.2 Objetivos Específicos.	2
1.3.3 Metodología.....	3
CAPÍTULO 2.....	4
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	4
2.1 Máquinas rotativas	4
2.2 Sistemas de transmisión de poleas	5

2.3	Transformación de movimiento vertical a movimiento circular	6
2.4	Tipos de generación eléctrica	9
2.5	Generación eléctrica por máquinas rotativas	10
2.6	Dínamo.....	10
2.6.1	Eficiencia de los Dínamos.	11
2.7	Conmutadores de voltaje	11
2.7.1	Tipos de configuraciones de las fuentes conmutadas.	13
2.7.2	Convertidor Buck y su principio de funcionamiento.....	13
2.7.3	Fundamento Matemático del convertidor Buck	14
2.7.4	Balance de Voltaje en el inductor.....	14
2.8	Corrientes en el Convertidor Reductor	16
2.9	Balance de carga del capacitor.....	17
2.10	Control de Histéresis	17
2.11	Arduino Nano	18
2.12	AutoCAD	19
2.13	Energías renovables.....	19
CAPÍTULO 3.....		20
DISEÑO DEL PROTOTIPO DE GENERACION ELÉCTRICA.....		20
3.1	Diseño del prototipo mecánico	20
3.2	Detalle del movimiento.....	22
3.3	Estructura del prototipo de salto	23
3.4	Diseño del circuito convertidor tipo Buck (reductor).....	25

3.5	Simulación del diseño del circuito convertidor tipo Buck.....	28
3.6	Diagrama de Flujo del convertidor Buck para adquisición de datos	30
CAPÍTULO 4.....		32
IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS		32
4.1	Prototipo mecánico	32
4.2	Pruebas de funcionamiento del prototipo mecánico	37
4.3	Pruebas de funcionamiento del convertidor en protoboard	39
4.4	Diseño de la PCB en el software Proteus.....	45
4.5	Análisis de resultados convertidor reductor.....	49
4.6	Error porcentual	49
CAPÍTULO 5.....		50
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		50
REFERENCIAS		52
ANEXOS		54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura:2.1 Sistema simple de poleas en distribución de máquinas eléctricas rotativas ...4	4
Figura:2.2 Sistema de poleas simple5	5
Figura:2.3 Funcionamiento del sistema de poleas simple5	5
Figura:2.4 Spin Mop modelo de limpieza7	7
Figura:2.5 Vista del interior del eje de acero inoxidable Spin Mop 360.....8	8
Figura:2.6 Circuito esquemático de un convertidor tipo Buck.....12	12
Figura:2.7 Convertidor reductor en estado ON15	15
Figura:2.8 Convertidor reductor en estado OFF.....15	15
Figura:2.9 Esquema y formas de onda18	18
Figura:3.1 Transmisión de movimientos de polea por correa20	20
Figura:3.2 Sistema de Poleas vista Superior21	21
Figura:3.3 Transmisión de movimiento de polea por correa en el generador22	22
Figura:3.3 Acople para la banda del generador22	22
Figura:3.4 Prototipo de generación eléctrica por medio de saltos.....24	24
Figura:3.5 Prototipo de generación eléctrica por medio de saltos (Vista lateral).....24	24
Figura:3.6 Prototipo de generación eléctrica por medio de saltos (Vista Frontal)25	25
Figura:3.8 Señal de corriente conmutador Buck (PSIM) Cambiar por las nuevas.....28	28
Figura:3.9 Señal de Voltaje conmutador Buck (PSIM).....29	29
Figura:3.10 Simulación Circuito Convertidor29	29
Figura:3.11 Simulación Circuito Convertidor Buck.....30	30
Figura:3.12 Diagrama de flujo corrector voltaje salida.....31	31
Figura:4.1 Creación del marco externo del prototipo de generación eléctrica.....32	32
Figura:4.2 Estructura inicial de posicionamiento de salto.....33	33
Figura:4.3 Posicionamiento centrado de plataforma33	33

Figura:4.4 Resorte macizo de soporte	34
Figura:4.5 Vástago de movimiento vertical Spin Mop	35
Figura:4.6 Acoplamiento del vástago al plato principal de la bicicleta.....	35
Figura:4.7 Acoplamiento de la parte trasera de la bicicleta	36
Figura:4.9 Sistema de polea simple.....	37
Figura:4.10 Voltaje de salida producida por el generador de voltaje.....	38
Figura:4.11 Voltaje de salida producida por el generador de voltaje.....	39
Figura:4.12 Circuito armado del convertidor tipo Buck.....	40
Figura:4.13 Valor de tensión de salida del convertidor DC	40
Figura:4.14 Grafica de representación V_o vs I_o	41
Figura:4.15 Forma de onda del Voltaje de Salida del convertidor Buck	42
Figura:4.16 Grafica de representación V_o vs I_o con carga de 100Ω	43
Figura:4.17 Onda generada por osciloscopio V_o vs I_o con carga de 100Ω	43
Figura:4.18 Grafica de representación V_o vs I_o con carga de 330Ω	44
Figura:4.19 Onda generada por osciloscopio V_o vs I_o con carga de 330Ω	44
Figura:4.20 Circuito impreso del convertidor tipo Buck.....	45
Figura:4.21 Prototipo de ensamblaje del convertidor de voltaje Buck	45
Figura:4.22 Prototipo ensamblado en circuito PCB	46
Figura:4.23 Prototipo para conversión DC.....	47
Figura:4.22 Grafica de representación V_o vs I_o con cargas de 100Ω y 330Ω	48
Figura:4.23 Onda generada por osciloscopio V_o vs I_o con cargas de 100Ω y 330Ω con comparación de histéresis.....	48
Figura:4.24 Prototipo para conversión DC.....	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Componentes por separado del Spin Mop.....	9
Tabla 2.2 Características microcontroladores.	23
Tabla 3.1 Componentes por separado del prototipo saltarín.	27
Tabla 3.2 Valores iniciales del diseño del convertidor buck.	36
Tabla 4.1 Prueba de generación de Voltaje por prototipo mecánico	53
Tabla 4.2 Prueba de funcionamiento del circuito conmutador tipo buck sin carga.....	58
Tabla 4.3 Prueba de funcionamiento del circuito conmutador tipo buck carga 100.....	59
Tabla 4.4 Prueba de funcionamiento del circuito conmutador tipo buck Carga 330Ω.....	61
Tabla 4.5 Prueba de funcionamiento del circuito conmutador tipo buck carga con histresis con cargas de 100 Ω y 300Ω.....	62

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.- Programación del Histéresis en el software de programación Mikro C	54
Anexo 2 Diseño en Proteus de la PCB del convertidor reductor (Ares)	56
Anexo 3 Medidas soporte del vástago	57
Anexo 4 Medidas de resorte y base de soporte	58
Anexo 5 Medidas cubo interior del prototipo de generación	59
Anexo 6 Medidas de la bicicleta para guardado cinético	60
Anexo 7 Altura máxima de la llanta de bicicleta para guardado cinético	61
Anexo 8 Medidas del Generador de voltaje DC	62
Anexo 9 Medidas del Acoplamiento al guardado Cinético	63
Anexo 10 Acople implementado de la Polea conducida	64
Anexo 12 Salida de voltaje Dc variable del generador.	65
Anexo 13 Pruebas de Salto en la plataforma del prototipo de generación eléctrica	66
Anexo 14 Videos de evidencia del funcionamiento del prototipo de Generación eléctrica se adjunta link.	86

RESUMEN

El presente proyecto hace referencia al diseño de un sistema de generación eléctrica impulsado por saltos de una persona dando como resultado 5 VDC constante para suministrar energía a dispositivos electrónicos, se basó en un sistema motriz comercial que obtiene movimiento circular a partir de un impulso vertical, mediante una adaptación que permite a una persona saltar en la parte superior, este sistema impulsará un generador, obteniendo un voltaje DC lineal de amplitud y frecuencia constante por lo que se incluirá una etapa de rectificación de circuitos conmutados para disminuir esta afectación, mediante un convertidor DC/DC de control en lazo cerrado se obtendrá un nivel de voltaje constante sin importar la intensidad o frecuencia del salto de una persona. El cambio climático se ha convertido en una preocupación principal de la comunidad mundial, destacando la urgente necesidad de proteger el medio ambiente. La transición energética global se encuentra actualmente en una etapa temprana, en donde el análisis en conjunto pone en juego el desarrollo de un prototipo piloto de generación de energía eléctrica, tal que la energía producida sea basada en movimientos verticales como un subibaja o el salto de un individuo, además del diseño de una estructura para la transmisión de energía cinética, el control de suministro eléctrico y la conservación de recursos son el éxito para funcionar como fuente sustentable de alimentación.

Palabras clave: dutty, mosfet, pwm, generación, convertidores.

ABSTRACT

This project refers to the design of an electrical generation system driven by jumps of a person resulting in a constant 5 VDC to supply power to electronic devices, it was based on a commercial motor system that obtains circular motion from a vertical impulse, through an adaptation that allows a person to jump on top, This system will drive a generator, obtaining a linear DC voltage of constant amplitude and frequency so a rectification stage of switched circuits will be included to reduce this affectation, by means of a closed loop control DC/DC converter, a constant voltage level will be obtained regardless of the intensity or frequency of a person's jump. Climate change has become a major concern of the world community, highlighting the urgent need to protect the environment. The global energy transition is currently at an early stage, where the analysis as a whole brings into play the development of a pilot prototype of electric power generation, such that the energy produced is based on vertical movements such as a see-saw or the jump of an individual, in addition to the design of a structure for the transmission of kinetic energy, power supply control and resource conservation are the success to function as a sustainable source of power.

Keywords: dutty, mosfet, pwm, generation, converters.

INTRODUCCIÓN

El proyecto muestra el desarrollo de un sistema de generación eléctrica impulsado por saltos de persona que permitirá energizar un dispositivo electrónico de 5 VDC, para lo que se utiliza un sistema motriz comercial que obtiene movimiento circular a partir de un impulso vertical, mediante la adaptación que permita a una persona saltar en la parte superior con un prototipo. A continuación, se describe los puntos a tratar para el desarrollo del proyecto:

En el capítulo 1, se indica los aspectos generales del proyecto, su justificación, el planteamiento del problema, los objetivos y la metodología utilizada en el desarrollo del mismo.

En el capítulo 2, se describe la fundamentación teórica, la cual está basada en recopilación de información sobre máquinas rotativas, proyectos, conceptos y características de los elementos que componen el sistema de generación eléctrica.

En el capítulo 3, se indica el diseño tanto de la parte mecánica, como la placa donde se conectan los elementos de control eléctrico, además del diseño del prototipo en 3D.

En el capítulo 4, se describe las pruebas de funcionamiento realizadas del prototipo mecánico en conjunto con el prototipo eléctrico, mediante la verificación del voltaje que se obtiene a la salida del convertidor reductor.

En el capítulo 5, se muestran las conclusiones del proyecto respaldado en el desarrollo del sistema de energización como en las pruebas de funcionamiento realizadas, además se detalla las recomendaciones adquiridas durante el desarrollo del proyecto sentando bases para posibles investigaciones que tengan que ver con generación de energía limpia.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

1.1 Planteamiento del problema

La demanda energética actual ha creado la necesidad de una buena planificación de los recursos renovables para la obtención de energía limpia, no obstante, existe una limitada alternativa de proyectos que utilizan recursos renovables, por lo que se orientan a medidas de no conservación ambiental. En el panorama del 2015 la explotación y producción se hacía en su gran mayoría de combustibles fósiles, carbón mineral, petróleo y gas natural, se habla del 93% que son utilizados de tal modo que solo el 4% son de generación hídrica y el restante 3% a partir de biomasa y residuos (Dindha, 2020).

Por las problemáticas identificadas se necesitan nuevos métodos que garanticen un suministro eléctrico constante a circuitos de baja alimentación, en esta búsqueda se proponen métodos que no dependerían de una red ni infraestructuras de transmisión convencional. En cambio, se prevé el uso de generadores como fuentes de energía eléctrica en el cual el generador se alimenta por un movimiento dinámico que transforma la energía mecánica en eléctrica, pues lograr aprovechar la energía cinética en un prototipo versátil y adaptable a la comodidad del hogar (Posligua, 2017.)

A medida que el cambio climático se convierte en una preocupación central a nivel mundial, la implementación de sistemas energéticos de bajas emisiones de carbono se ha transformado en una meta compartida por diversas naciones. Actualmente, la transición energética global está en sus primeras etapas. En este contexto, el desarrollo de un prototipo piloto para la generación de energía eléctrica autosostenible es crucial. Este sistema generará energía aprovechando movimientos verticales, como los de un subibaja o el salto de una persona. Además, el diseño de una estructura adecuada para transmitir energía cinética, junto con un eficiente control del suministro eléctrico y la conservación de recursos, será fundamental para asegurar su éxito como fuente sostenible de energía (Gielen , 2020.)

1.2 Justificación

El desarrollo de la humanidad está avanzando a gran escala, así mismo las nuevas tecnologías no se hacen esperar, debido a que es un factor visible el no aprovechamiento de energías renovables, por ende evidenciamos que dependemos del combustible fósil en mayor parte, dejando de lado de otros tipos de generación de energía y como especie nos vemos obligados a encontrar en proyectos que eviten el impacto ambiental además de una ejecución limpia que se pueda considerar como fuentes de energía viables a futuro (Diaz, 2021).

Con el estudio de nuevas fuentes de energía renovable se pretende proveer energía no contaminante que contribuya a la disminución de gases de efecto invernadero, con el seguimiento de la emisión nula de (CO₂) se busca que las personas conozcan sobre fuentes alternativas de obtención de energía, incluso incentive la creación de proyectos que utilicen energía limpia. En base al conocimiento actual, la energía eléctrica se ha convertido en una necesidad de primer orden, es de interés una producción eficaz de energética, empleando invocación tecnológica como previo camino al uso de recursos renovables. (Mariscal, 2019).

El plan para la recuperación mundial debe ser una estrategia verde, puesto que los nuevos proyectos de generación de energía renovable ahora están ganando terreno a las plantas de carbón existentes. En promedio, la nueva energía renovable tendrá un costo menor que la preservación de las plantas de carbón en funcionamiento, debido a que la energía renovable se está convirtiendo en la fuente más barata de electricidad, y ofrece un enorme potencial para estimular la economía mundial. Por tanto, las personas están muy interesadas en disponer de sus propios medios para generación y así disminuir costo por esta energía y esto incluso representa una ayuda para los grandes sistemas interconectados (Agency, 2020).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General.

Desarrollar un prototipo impulsado por movimientos verticales para la transformación de energía mecánica en energía eléctrica mediante el salto de una persona.

1.3.2 Objetivos Específicos.

Investigar sobre las diferentes estrategias de impulso para generación eléctrica basada en máquinas rotativas para la identificación de recursos y variables de control.

Diseñar un sistema para la transformación de energía mecánica a energía eléctrica mediante un software CAD.

Implementar un conversor electrónico en lazo cerrado en un prototipo impulsado por movimiento mecánico para la obtención de voltaje DC constante.

Verificar el funcionamiento del prototipo de energía alternativa para su validación mediante pruebas de experimentación.

1.3.3 Metodología

Con el método analítico se analizó el tipo de sistema que nos permitió generar energía eléctrica para el proyecto, se usó el método deductivo que, según la información recolectada, se creará el sistema electrónico y mecánico para su funcionamiento, mediante el método experimental, se realizó las pruebas para verificación y el funcionamiento del sistema, constatando el rendimiento del proceso de generación eléctrica renovable.

En la investigación realizada se consideran condiciones aceptables del proyecto, tales como el voltaje obtenido a la salida, el cual se basa en la experimentación, respaldando las decisiones tomadas para asegurar el éxito del estudio. Estos datos son necesarios para la toma de mejores decisiones y alternativas en función de la investigación de varios métodos de generación sustentados en el aprovechamiento continuo de la energía cinética en un sistema mecánico.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Máquinas rotativas

Las máquinas rotativas son pilares de la producción y distribución de energía eléctrica hasta hoy, esta tecnología se ha convertido en punto de observación de investigaciones y avances para los últimos años, con el objetivo de mejorar su fiabilidad, eficiencia y sostenibilidad. Según Smith (2017), menciona que los generadores síncronos y de inducción son los principales tipos de máquinas rotativas que son utilizadas para la generación de energía eléctrica, siendo que, tienen sincronía con la frecuencia de la red eléctrica la cual ofrece un alto grado de eficiencia en las aplicaciones de gran escala.

Este modo de obtener electricidad dinámica es mediante la transformación de energía mecánica en energía eléctrica, lo que se consigue con generadores eléctricos. Estas máquinas se componen de una parte fija, llamada «estator», y una parte móvil, llamada «rotor». Cuando está en funcionamiento, uno de los dos elementos induce una corriente eléctrica en el otro elemento, existiendo dos tipos: Los dínamos, generan corriente continua, y los alternadores, generan corriente alterna, son usados hoy día para la generación de electricidad a partir de la energía mecánica (Fresco, 2018.)

Por otro lado, en los últimos años el avance en el diseño y optimización de máquinas rotativas, ha sido significativo para la generación eléctrica. Se ha reducido pérdidas en los sistemas, logrando una mayor sostenibilidad y rentabilidad. Para Johnson (2019), la integración de máquinas rotativas con tecnologías de almacenamiento de energía, siendo una de estas las baterías de ion-litio, y sistemas de almacenamiento de energía térmica, han dado estabilidad y flexibilidad a los sistemas de generación.



Figura:2.1 Sistema simple de poleas en distribución de máquinas eléctricas rotativas

Fuente: STM, 2023.

2.2 Sistemas de transmisión de poleas

Cuando se necesita transmisión de energía y velocidad, se debe tener en cuenta las disposiciones que se hallan en cada polea, para que el mecanismo sea flexible a cambios en el movimiento dado. Este movimiento se conoce como transmisión simple. La combinación de dos o más poleas, que dependen de sus diámetros para transmitir fuerza y movimiento rotativo, siempre está vinculada a la relación de velocidad entre un eje conductor y un eje conducido, donde la polea del eje conductor es cinco veces más grande que la del eje conducido.

El sistema de enlace flexible está compuesto por una polea conductora, que transmite el movimiento, y una polea conducida, que lo recibe. Este sistema es adecuado para transmitir velocidad, siempre y cuando la distancia entre los ejes se mantenga dentro de un rango aceptable de un metro (González y López, 2022).

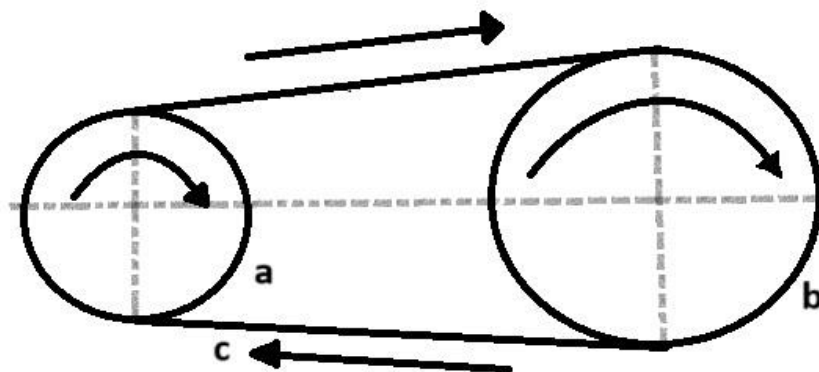


Figura:2.2 Sistema de poleas simple

Fuente: Elaboración propia.

Las poleas acanaladas impiden que la correa se salga cuando existe poca alineación entre los ejes, este tipo de poleas están hechas de hierro fundido, otras de aluminio o acero tratado, para esto se debe realizar un dimensionamiento en las poleas y la velocidad que tiene para la transmisión, aplicando formulas necesarias para su ejecución.

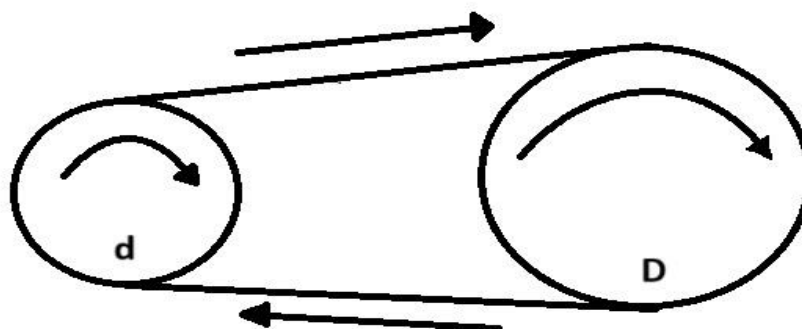


Figura:2.3 Funcionamiento del sistema de poleas simple

Fuente: Elaboración propia.

Se tiene en el sistema de poleas dos diámetros, d y D , que están conectados entre sí por una correa, además, de contar con dos variables, N y n , que representan las revoluciones del sistema simple. Se tiene una fundamentación matemática para comprobar y calcular velocidades resultantes en función de las variables antes mencionadas.

$$D \times N = d \times n \quad \text{Ec. (2.1)}$$

Se infiere las siguientes fórmulas

D = Diámetro de la polea motriz (conductora).

d = Diámetro de la polea conducida.

N = Revoluciones por minuto de la polea conductora.

n = Revoluciones por minuto de la polea conducida.

$$n = \frac{D \times N}{d} \quad \text{Ec. (2.2)}$$

$$d = \frac{D \times N}{n} \quad \text{Ec. (2.3)}$$

$$N = \frac{n \times d}{D} \quad \text{Ec. (2.4)}$$

2.3 Transformación de movimiento vertical a movimiento circular

Se encuentra a disposición un dispositivo capaz de transformar un movimiento vertical a un movimiento giratorio, su funcionamiento se basa en elementos mecánicos diseñados para ejercer una fuerza centrífuga en su proceso de limpieza.

Este dispositivo es un trapeador casero, está equipado con un cabezal que puede girar a 360 grados desde su inicio. Por la conexión a un mecanismo interno es posible el movimiento de rotación, este mecanismo está constituido por una varilla de acero que a la vez hace de eje. La varilla tiene una torción que permite el movimiento giratorio. Con la finalidad de vincular el movimiento mecánico que activa la rotación del trapeador Spin Mop 360 aprovechando la acción para la obtención de energía eléctrica.



Figura:2.4 Spin Mop modelo de limpieza

Fuente: OnBuy (2023).

El Spin Mop tiene un mango para que el usuario pueda ejercer una fuerza vertical, esto produce un giro en la parte final del dispositivo, dando el efecto de centrifugado. En la figura 2.4 se indica el mecanismo que utiliza para girar el trapeador. Consta de una varilla girada y una pieza de plástico que embona dentro del eje y así da un movimiento circular al disco del trapeador.

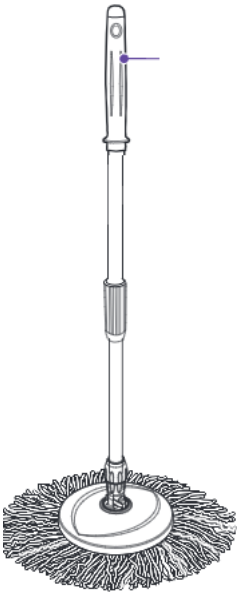




Figura:2.5 Vista del interior del eje de acero inoxidable Spin Mop 360

Fuente: OnBuy (2023).

Tabla 2.1

Componentes por separado del Spin Mop

SPIN MOP 360	COMPONENTES	LEYENDA
		<p>Mango ergonómico</p> <p>1. Eje de acero inoxidable 2. Seguro 3. Terminal de acero</p>
		<p>4. Pieza de ensamblaje plástica. 5. disco plástico para el trapeador.</p>

Fuente: Elaborada por el autor.

2.4 Tipos de generación eléctrica

Dentro del mundo moderno la generación eléctrica es un aspecto vital. Existen diversos métodos para la creación y reproducción de electricidad, considerando que sea de manera eficiente y sostenible. Como lo explica Taylor, Harold y Sonia (2019), la generación eléctrica que se da a partir de fuentes convencionales como la quema de combustibles fósiles, en centrales térmicas, ha sido durante décadas el suministro de energía principal. Sin embargo, la desventaja radica en las emisiones de gases de efecto invernadero, los cuales influyen en el cambio climático. Estos cambios se ven con efecto longitudinal en ciertos fenómenos de importancia en el equilibrio climático mundial.

En el ámbito de las energías renovables, se ha observado un crecimiento significativo en la energía eólica como una opción prometedora para la generación eléctrica a gran escala, debido a su capacidad para evitar la emisión de gases contaminantes. Además, que ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años. Sin embargo, la ocupación de fuentes convencionales como lo menciona Smith (2019), la energía nuclear ha sido una opción en la que destaca su baja emisión directa de CO₂, en cambio se plantean desafíos de los residuos nucleares y los riesgos que tienen asociados a la seguridad.

El uso de la energía solar se considera hasta el día de hoy un avance energético. Para García (2022), plantea que la energía solar aun enfrenta desafíos con dependencia a la eficiencia y al costo, limitando de esta manera su aplicación en una a gran escala. Por otro lado, Pomilio, Arzuaga y Ramírez (2016), reparte que la eficiencia de los generadores ha tenido un gran debate entre varios investigadores, ciertos científicos argumentan que se puede mejorar esta eficiencia modificando diferentes factores de diseño, como materiales magnéticos y técnicas de diseño futurista.

Se reconoce que las fuentes de energía eléctrica son recursos naturales y artificiales que se utilizan en la producción y distribución de algún tipo de energía. Muchas fuentes son utilizadas para generar calor, producir electricidad para la toma de hogares y ambientes comerciales, proporcionar desplazamiento de vehículos, además, las fuentes de generación de energía eléctrica pueden ser renovables o no renovables., siendo la primera opción, las que pueden reponerse de forma natural (Dindha, 2020).

La generación eléctrica mediante máquinas rotativas tiene un amplio rango de investigación con una constante evolución en mejoras de eficiencia, tamaño e integrando nuevas tecnologías en almacenamiento de energía, es de vital importancia el desarrollo de soluciones garantizando un suministro fiable para las futuras generaciones.

2.5 Generación eléctrica por máquinas rotativas

Es la base fundamental en la producción y distribución de energía eléctrica en la actualidad. Según Fitzgerald, Kingsley y Umans (2016), este tipo de energía se basa en la inducción electromagnética, donde el movimiento de un conductor dentro de un campo magnético produce una corriente eléctrica, siendo los generadores síncronos y de inducción los más comunes en máquinas rotativas. Es de conocimiento que los generadores síncronos mantienen una velocidad constante en relación con la frecuencia de la red eléctrica. Por otro lado, los generadores de inducción tienen la capacidad de ajustarse a la velocidad para adoptar diferentes cargas.

Para Schmidt et al. (2018) es importante a la optimización de diseños en donde se garantiza la máxima eficiencia y reducción de pérdidas, considera la necesidad de adoptar tecnologías limpias que plantean concientizar sobre el impacto ambiental, se sabe que el cambio climático avanza a gran escala siendo tan peligroso en punto de no retorno del equilibrio natural. Al contrario, López, Regalado y Miranda (2022), sugieren que si bien la eficiencia es incondicional entonces los sistemas de generación eléctrica deben estar diseñados para hacer frente a las variaciones en el servicio energético y perturbaciones que los usuarios puedan generar.

Dentro de la aplicación práctica como lo menciona Tsuboi, Imanishi y Shigeta (2015), destaca el sistema de generación distribuida debido al uso de generadores síncronos en la aplicación de energía renovable, como la energía eólica y la energía hidroeléctrica, resaltando la importancia del mantenimiento adecuado para garantizar la vida útil y el rendimiento de las máquinas rotativas.

2.6 Dínamo

Según Tsuboi et al. (2015) asegura que los dínamos son máquinas que desempeñan un rol crucial en el ámbito de la generación eléctrica renovable. También son conocidos como generadores de corriente continua, dichos artefactos se basan en el principio de funcionamiento de Faraday. Según el cual un conductor eléctrico se moviliza dentro de un campo magnético consecuentemente, este experimenta una fuerza electromotriz que se refiere al voltaje generado en un conductor. Esta teoría tiene fundamento en los conceptos de flujo magnético, esta conversión se logra mediante la rotación de un rotor dentro de un área magnética generando un flujo de corriente continua.

2.6.1 Eficiencia de los Dínamos.

Para Kim y Rim (2017), la implementación correcta del dinamo es crucial para la generación de energía eléctrica, esto requiere de una optimización de control preciso y así aumentar la estabilidad del sistema. A pesar de sus ventajas también ofrecen desafíos como las fluctuaciones generadas por los armónicos. En los avances que se ha tenido en la actualidad se propone una mejor solución, el probar una modulación de ancho de pulso o mejor conocido como (PWM) para solventar una calidad optima en cuanto a la salida y eficiencia global.

2.7 Conmutadores de voltaje

Los conmutadores de voltaje son parte esencial en la electrónica y el control de sistemas. Estos componentes permiten manejar el flujo de la corriente eléctrica al manipular la conexión entre distintos circuitos, que los hace candidatos idóneos para el control de sistemas eléctricos de conmutación. Según Li et al. (2017) menciona que los conmutadores de voltaje tienen una clasificación ya sean interruptores electromecánicos, relés y transistores de potencia, en específico cada conmutador tiene sus propias características y aplicaciones que permite una amplia gama en el desarrollo de diversas configuraciones de conmutadores.

La postura de Smith (2017), define que las fuentes conmutadas operan en un tiempo de régimen de encendido y un tiempo de apagado, permitiendo de esta manera bloquear el paso de corriente eléctrica, además, los conmutadores tradicionales les incluyen partes mecánicas que a grandes frecuencias sufren un desgaste natural en sus partes y estos son ampliamente utilizados en aplicaciones industriales.

El avance de la electrónica de potencia, tanto los conmutadores de estado sólido como transistores MOSFET (Metal-Oxide-semiconductor Field-Effect Transistor) y los IGBT (Isulated Gate Bipolar Transistor) han ganado reconocimiento gracias a su grado alto de eficiencia y la rapidez que estos tienen en su conmutación, ofreciendo ventajas significativas en términos de tamaño, control preciso de procesos y durabilidad de corriente.

Guo, Wu y Li (2018) describen los conmutadores de estado sólido como dispositivos electrónicos que permiten un control competente y rápido del flujo de corriente eléctrica en un circuito.

Existen ciertas características y ventajas de los conmutadores en estado sólido. Para Mohan, Undeland, y Robbins (2018), menciona a la alta eficiencia como una ventaja en la conversión de energía, es decir los conmutadores tienen una baja resistencia interna, lo que significa un mejor rendimiento en la operación del circuito. La rapidez de conmutación, pudiendo estos

cambiar de su estado de conducción (ON) a un estado de bloqueo (OFF) y viceversa de una manera muy rápida, lo que permite tener un control preciso de la corriente y la tensión en el circuito.

El tamaño compacto es otra ventaja considerada, al ser dispositivos semiconductores, les permite tener un tamaño físico alusivamente pequeño, muy funcional para la aplicación en un espacio limitado. La durabilidad y vida útil de los conmutadores en estados sólidos al no tener fragmentos móviles, los hace resistentes y duraderos, también son beneficiosos en la reducción de costos de mantenimiento y remplazo de equipos.

La eficiencia y fiabilidad que maneja los conmutadores de estado sólido como los transistores MOSFET tienen una pérdida menor de energía y una vida útil más larga si se lo compara con los conmutadores mecánicos. Sin embargo, Johnson (2020), refuta y explica con más detalle que los conmutadores de estado sólido tienden a ser más susceptibles a las sobrecargas y fluctuaciones de voltaje, lo que ocasiona desafíos en su confiabilidad. Esta afirmación resalta que al existir una sobrecarga puede provocar un aumento de temperatura en el dispositivo y dañar sus componentes internos.

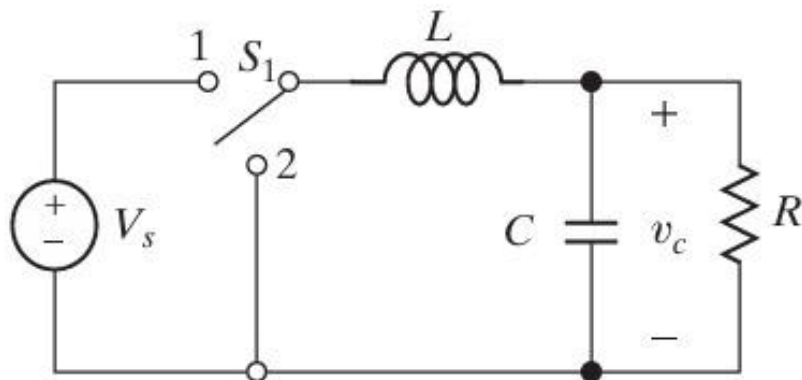


Figura:2.6 Circuito esquemático de un convertidor tipo Buck

Fuente: Rashid, 2016.

2.7.1 Tipos de configuraciones de las fuentes conmutadas.

En la electrónica moderna las fuentes conmutadas son fundamentales para la conversión eficiente de energía eléctrica en diferentes niveles de voltaje y corriente, existiendo diferentes combinaciones de convertidores específicos para cada aplicación práctica, con diferentes funcionamientos y ventajas. Entre los circuitos de fuente más utilizados para diferentes áreas de la electrónica son: El convertidor Buck, convertidor Boost, convertidor Flyback y convertidor Forward.

Según Rashid (2016), el convertidor Buck es un circuito que disminuye el voltaje de salida referente a la tensión de entrada, es un circuito ampliamente utilizado en electrónica de consumo, en el uso de fuentes de alimentación para dispositivos móviles, equipos de escritorio, laptops, debido a su simplicidad y alta eficiencia que garantiza un funcionamiento constante y estable en la salida de alimentación de la fuente conmutada. La salida de tensión reducida se debe generalmente a un interruptor en estado sólido MOSFET, que apaga y prende un circuito de tipo RLC, el cual almacena la corriente para transferir la energía en intervalos de tiempo definidos, manteniendo un rendimiento estable en las cargas conectadas.

Por su lado, Mohan et al. (2018) en su estudio explica que el circuito reductor también se lo conoce como step- down, el que se encarga de la disminución de tensión de entrada antes de ser suministrada la carga.

2.7.2 Convertidor Buck y su principio de funcionamiento.

El convertidor Buck tiene un comportamiento de trabajo cíclico del interruptor, por lo general es un MOSFET, además viene acompañado de un inductor que almacena la energía en forma de campo magnético, cuando el conmutador de estado sólido se encuentra cerrado. Por lo contrario, cuando está abierto provoca que la corriente almacenada en el inductor se descargue hacia la carga, y causa que el voltaje sea una salida regulada. Para Rashid (2016), cuando el circuito opera de modo continuo la forma de onda de la corriente en el inductor nunca llega a cero durante el ciclo de la conmutación, mientras que en el modo discontinuo la corriente se reduce a cero antes de que vuelva a cerrar el interruptor, de este modo, el funcionamiento depende de la relación que existe entre el voltaje de entrada y el voltaje de salida sin dejar de lado la corriente de carga.

El funcionamiento básico del convertidor Buck sobresale en su alta eficiencia y versatilidad en la aplicación de reguladores de voltaje. Pomilio et al. (2016) pronuncia que, el convertidor reductor es utilizado para la alimentación de circuitos electrónicos. No obstante, para Marulanda, Ordoñez, y Mosquera (2017), señala que el conmutador Buck puede representar perturbaciones en la corriente de salida en especial si se tiene una carga variable.

Según los autores Li, Xiujie, Yaxue, Dalin y Shaozhou (2022), sugieren que mediante el uso de técnicas de control y modulación es posible minimizar las fluctuaciones desarrollando la mejora en precisión en la obtención de un voltaje regulado en el convertidor mencionado.

2.7.3 Fundamento Matemático del convertidor Buck

Cada uno de los diseños de conmutadores se basan en un modelo matemático para precautelar la exactitud de la regulación de tensión en la salida. Existe un ciclo de trabajo que esta dado por la relación del voltaje de salida dividido para el voltaje de entrada, este ciclo de trabajo tiene relación con el tiempo que el circuito permanece encendido y cuando esta apagado. Es observado en la siguiente ecuación.

$$V_o = DV_s \quad \text{Ec. (2.5)}$$

Se infiere las siguientes formulas

V_o = Voltaje de Salida

D= Ciclo de trabajo (Dutty Cycle).

V_s = Voltaje suministrado de la fuente.

2.7.4 Balance de Voltaje en el inductor

Cuando se analiza en términos de transmisión de energía, la bobina determina esa relación que existe entre el voltaje de salida sobre la fuente de energía. Según Estrada, D. (2016) manifiesta que existe una primera instancia de ciclo de trabajo, en el cual se almacena energía en forma de campo magnético. En el segundo ciclo la energía almacenada dentro de la bobina se transfiere al capacitor que a su vez descargará hacia la carga la tensión y corriente adecuados para el sistema.

En la figura 2.7 Se observa el funcionamiento del convertidor reductor en estado ON, la bobina almacena la energía incrementando la corriente a través del tiempo.

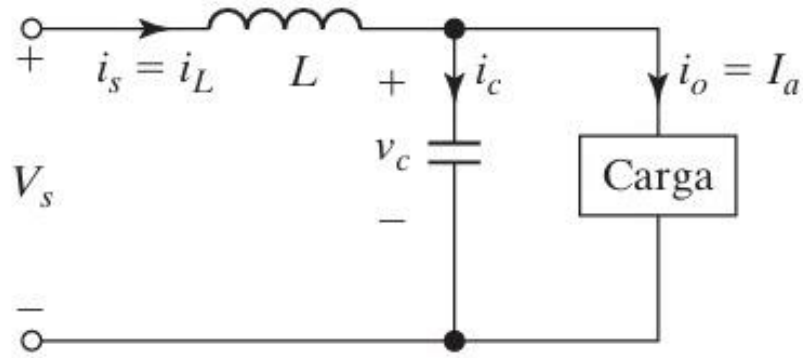


Figura:2.7 Convertidor reductor en estado ON

Fuente: Rashid, 2016.

En donde:

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta T} = \frac{(V_s - V_o)}{L} \quad \text{Ec. (2.6)}$$

La ecuación muestra un importante cambio en la formula basándose en la relación que tiene el periodo de conmutación directamente con el ciclo de trabajo del convertidor reductor.

$$\frac{\Delta i_L}{kT} = \frac{(V_s - V_o)}{L} \quad \text{Ec. (2.7)}$$

La ecuación anterior se encuentra despejada y esta representa la variación o incremento de la corriente en el convertidor reductor.

$$\Delta i_L = \frac{(V_s - V_o)kT}{L} \quad \text{Ec. (2.8)}$$

Se tiene:

Δi_L = Variación de corriente en la bobina.

V_o = Voltaje de Salida.

k = Ciclo de trabajo (Dutty Cycle).

V_s = Voltaje suministrado de la fuente.

T = Periodo de conmutación.

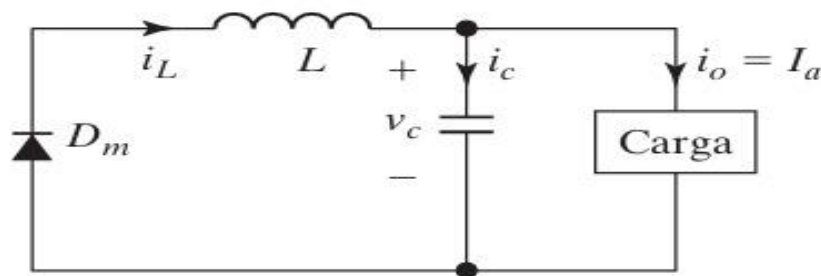


Figura:2.8 Convertidor reductor en estado OFF

Fuente: Elaboración propia.

En donde

$$Vl = -Vo \quad \text{Ec. (2.8)}$$

En la ecuación 2.8 se observa que la tensión de la bobina tiende a ser el inverso del voltaje de salida por ser el tiempo en el que el circuito permanece abierto.

$$L \frac{diL}{dt} = -Vo \quad \text{Ec. (2.9)}$$

$$\frac{diL}{dt} = \frac{Vo}{L} \quad \text{Ec. (2.10)}$$

Las ecuaciones (2.9) y (2.10) muestran el cambio de variables en la ecuación, declarando que la derivada de la corriente con respecto al tiempo representa el voltaje en el inductor, se encuentra despejada y esta representa la variación o incremento de la corriente en el convertidor reductor.

$$\frac{diL}{dt} = \frac{\Delta iL}{\Delta t} \quad \text{Ec. (2.11)}$$

La ecuación 2.11 representa cuando el circuito permanece abierto, el tiempo de desconexión.

$$\frac{\Delta iL}{(1-k)T} = \frac{-Vo}{L} \quad \text{Ec. (2.12)}$$

La ecuación 2.12 representa cuando el circuito opera en régimen permanente dando como resultado que la variación de la corriente en la bobina es nula.

$$\Delta iL = \frac{-Vo(1-k)T}{L} \quad \text{Ec. (2.13)}$$

En la ecuación 2.13 se encuentra la variación neta de la corriente en la bobina cuando está descargando hacia el capacitor.

2.8 Corrientes en el Convertidor Reductor

En el convertidor reductor de voltaje se analiza que la corriente de salida no tenga un valor negativo, puesto que el cambio en estos valores afecta de forma negativa al circuito, teniendo pérdidas de potencia a la salida y pérdidas en forma de calor en cada uno de los componentes.

Donde:

$$ILmax = Vo \left\{ \frac{1}{R} + \frac{(1-k)}{2Lf} \right\} \quad \text{Ec. (2.14)}$$

$$ILmin = Vo \left\{ \frac{1}{R} - \frac{(1-k)}{2Lf} \right\} \quad \text{Ec. (2.15)}$$

Se tiene:

ILmax= Variación de corriente en la bobina.

V_o = Voltaje de Salida.

k = Ciclo de trabajo (Duty Cycle).

L = Voltaje suministrado de la fuente.

f = Frecuencia de conmutación.

En las ecuaciones se determina la corriente máxima que puede entregar la bobina esto permite garantizar que el inductor siempre tenga una corriente positiva para evitar pérdidas energéticas.

$$L = \frac{(1-k)R}{2f} \quad \text{Ec. (2.16)}$$

En la ecuación se muestra el cálculo de la bobina es importante añadir que este valor es la inductancia mínima que debe tener el convertidor de voltaje, sin embargo, este valor debe ser multiplicado por el ciento veinticinco por ciento (1,25%) para que el almacenamiento sea óptimo para mantener la corriente positiva.

2.9 Balance de carga del capacitor

El capacitor de forma similar que la bobina, almacena la energía en forma de campo eléctrico, se carga de voltaje en función del tiempo, el rizado que esta conmutación produce se debe filtrar para que los valores sean adecuados en los estados de funcionamiento del circuito.

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{(1-k)}{8CLf^2} \quad \text{Ec. (2.17)}$$

En la Ecuación 2.17 se muestra el rizado en la señal de voltaje en la salida del convertidor, un dato importante de esta medida es que no puede superar el umbral de 0,6 % esto conforma un límite de rizado en la tensión de salida.

2.10 Control de Histéresis

El comparador de histéresis, también conocido como Trigger de Schmitt, es un componente fundamental en la electrónica, ampliamente utilizado en diversas aplicaciones para mejorar la estabilidad y la precisión de las señales digitales. Este dispositivo convierte una señal analógica en una señal digital, proporcionando una salida binaria clara y estable a partir de una entrada que puede estar sujeta a fluctuaciones o ruido, lo que significa que tiene diferentes umbrales de activación para la transición de alto a bajo y de bajo a alto. Esto permite al dispositivo ignorar pequeñas fluctuaciones o ruido en la señal de entrada, evitando transiciones indeseadas en la salida. En otras palabras, la histéresis crea una banda muerta donde las variaciones menores de la señal no afectan la salida del comparador (Sedra & Smith, 2020).

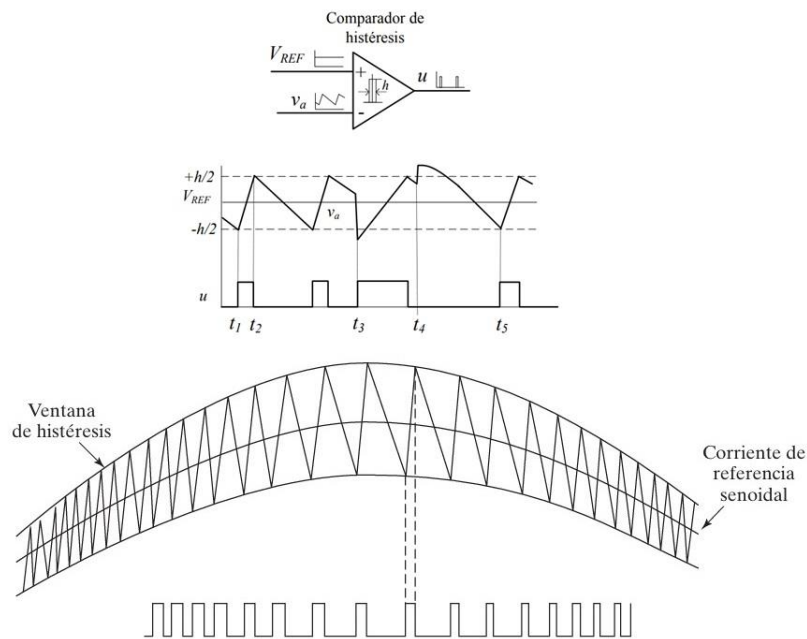


Figura:2.9 Esquema y formas de onda

Fuente: Sedra & Smith, 2020

2.11 Arduino Nano

El Arduino Nano es una versión compacta de la plataforma de desarrollo de tarjetas Arduino. el diseño fue pensado para ser pequeño y fácil de incorporar a proyectos que tienen una cantidad limitada de espacio, desde su lanzamiento ha pasado por varias mejoras incorporando capacidad de procesamiento, eficiencia y conectividad con equipos externos, proporcionando una base sólida para proyectos de investigación y desarrollo e implementación (Arduino Education, 2023.).

Tabla 2.2

Características del Arduino Nano

CARACTERISTICAS	ESPECIFICACIONES
Microcontrolador	ATmega328P
Voltaje de operación	6-12V
Pines digitales de I/O	14
Salidas PWM	6
Pines de Entrada Analógica	2
Corriente máxima por Pin I/O	40 Ma
Memoria de programa flash	32 KB
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Frecuencia del Reloj	16 MHz

Fuente: Elaborada por el autor.

2.12 AutoCAD

Es un software de diseño CAD (diseño asistido por computadora), desarrollado por AutoDesk que ha innovado la forma que se visualiza los diseños de distintas cátedras, AutoCAD basado en vectores permite la creación de dibujos tanto en 2D como en 3D de manera precisa. La interfaz amigable con el usuario facilita la creación y modificación de estructuras de todo tipo, es posible la creación de capas para organizar la información. Se incorpora varias funciones de dimensionamiento que aportara información adicional que asegure la precisión en la presentación (Autodesk, 2021.)

2.13 Energías renovables

Las energías renovables son energías que se obtienen de fuentes naturales inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales. Las energías renovables pueden dividirse en dos categorías: No contaminantes: hidráulica, solar, eólica, geotérmica, mareomotriz. Las contaminantes: biomasa, residuos sólidos urbanos (D'Addario, 2019.)

CAPÍTULO 3

DISEÑO DEL PROTOTIPO DE GENERACION ELÉCTRICA

En el presente capítulo se detalla el desarrollo y diseño de un prototipo de generación eléctrica, para alcanzar el propósito, se procede a elaborar los diseños respectivos, diagramas y circuitos esquemáticos que son vitales en la implementación del proyecto.

3.1 Diseño del prototipo mecánico

Para la transformación de movimientos existen varios métodos de conversión, sin embargo los mecanismos más simples son los que mejor transmiten el movimiento, Se encontró un dispositivo de limpieza que es eficiente y ergonómico en el ambiente casero, aunque no este directamente relacionado con la generación eléctrica es posible adaptar sus características para el funcionamiento de la parte mecánica del generador.

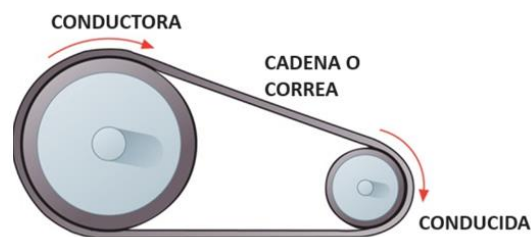


Figura:3.1 Transmisión de movimientos de polea por correa

Fuente: Lizarazo (2015).

El sistema de la Figura 3.1 hacen referencia a la configuración de poleas enlazadas con una correa que se encargara de transmitir el movimiento de una polea a otra, en este tipo de arreglo se mantiene el sentido de giro en las poleas, es decir si gira en sentido horario la polea conducida gira en sentido horario y viceversa.

Se basa el diseño en la transmisión de la energía a través del utensilio de limpieza Sip Mop 360 siendo así que a partir de un movimiento vertical se puede transformar a un movimiento circular, que posteriormente moverá el generador o dínamo de manera constante, existiendo fluctuaciones de voltaje debido al salto producido por la persona.

Se toma como referencia la llanta de la bicicleta para calcular el movimiento transmitido por polea de nailon, se inicia con la ecuación (2.2) vista en la parte dos de marco teórico, donde el movimiento esta dado por:

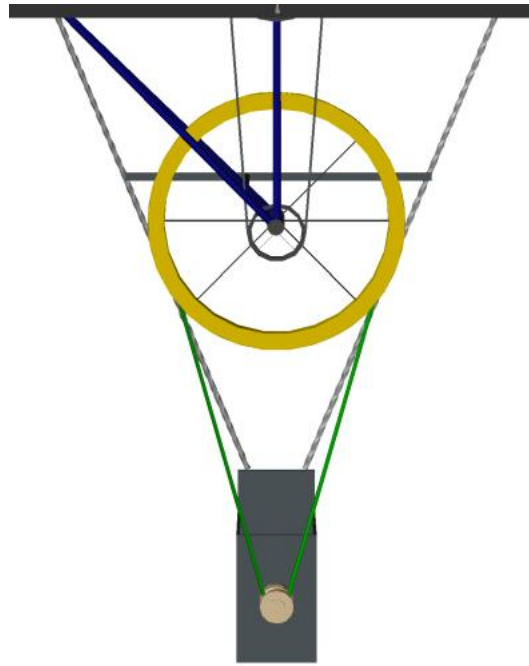


Figura:3.2 Sistema de Poleas vista Superior

Fuente: Elaboración propia.

$$n = \frac{D \times N}{d} \quad \text{Ec. (3.1)}$$

$$n = \frac{32\text{cm} \times 100\text{rev}/\text{min}}{4\text{cm}}$$

$$n = 800\text{rev}/\text{min}$$

Esta velocidad es la mínima que se necesita para poder producir una tensión significativa en el generador de voltaje, cabe recalcar que este voltaje producido es directamente proporcional al movimiento de la persona por lo que su linealidad no es permanente en función del tiempo.

3.2 Detalle del movimiento

Se indica el movimiento que sigue el prototipo para girar rápido el acople del dínamo

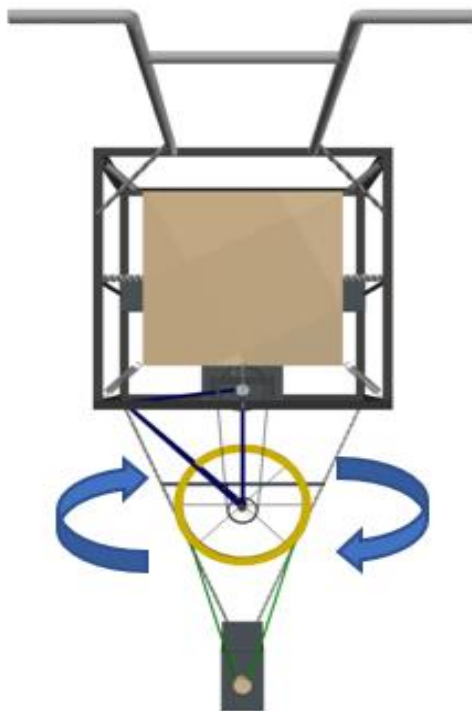


Figura:3.3 Transmisión de movimiento de polea por correa en el generador

Fuente: Elaboración propia.

El movimiento del Spin mop mueve la cadena del pedal haciendo girar la llanta de la bicicleta, consecuente a este acto la correa acoplada con una soga nailon mueve el acople del generador, hasta lograr las revoluciones necesarias para producir un voltaje lo suficientemente alto para energizar componentes.

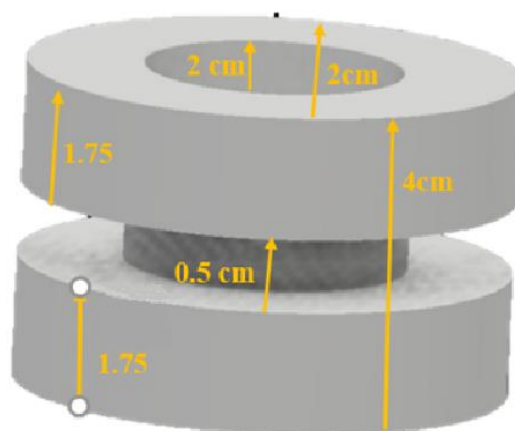


Figura:3.3 Acople para la banda del generador

Fuente: Elaboración propia.

3.3 Estructura del prototipo de salto

El diseño en particular se basa en un trampolín donde la persona sube a la plataforma dando saltos constantes, que mueven el mecanismo produciendo un voltaje en el generador DC. Para este cometido se usa el programa de diseño asistido por computadora AutoCAD el cual permitirá modelar el prototipo en función de diseño y comodidad para el usuario, sin dejar de lado la funcionalidad de movimiento requerido para la generación.

A continuación, se detalla las medidas del proyecto y los diseños AutoCAD que permitirá la implementación de este diseño verificando su funcionamiento.

Tabla 3.1

Componentes por separado del Prototipo saltarín

SECCIÓN DEL PROTOTIPO	MEDIDA
Cubo de soporte	60 cm*60 cm*60 cm
Manubrio	100 cm
Agarradera	15 cm
Plataforma usuario	40 cm*40 cm
Resortes pequeños de estabilidad	10 cm
Resorte grande de salto	31 cm
Tubo de soporte del resorte	35 cm
Vástago sip mop 360	80 cm
Llanta de bicicleta	32 cm DIAMETRO
Base para atornillar motor	21 cm*10 cm
Acople circular generador	4 cm DIAMETRO y 4 cm ALTO
Barras de soporte de motor	14 cm

Fuente: Elaboración propia

Se tiene en la figura 3.4 (Vista en Elevación) el diseño del prototipo de salto, este es generado por el software AutoCAD siendo de ayuda en la visualización general de la máquina que generará energía eléctrica.

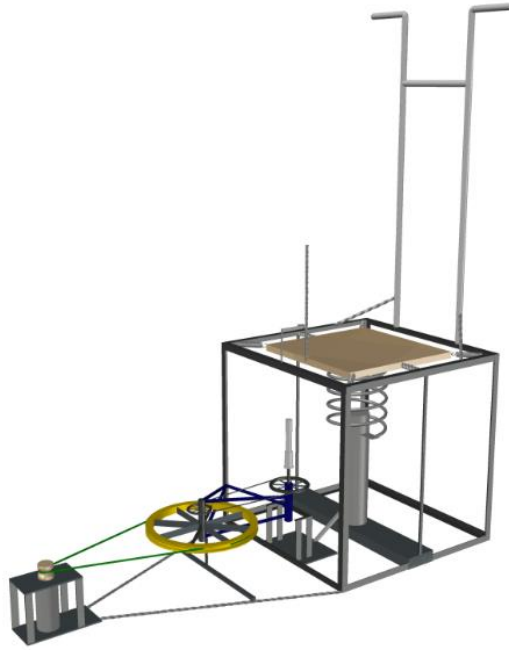


Figura:3.4 Prototipo de generación eléctrica por medio de saltos

Fuente: Elaboración propia.

Para una mejor visión del prototipo se adjuntará vista frontal y vista lateral con el fin de ubicar los componentes del sistema de salto y las diferentes etapas que este compone para la generación eléctrica.

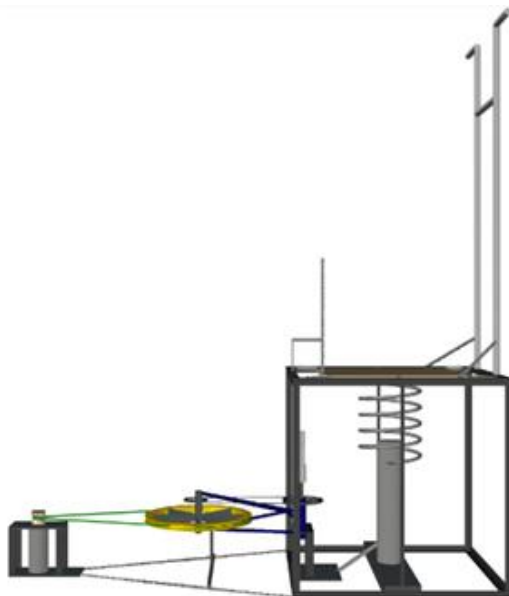


Figura:3.5 Prototipo de generación eléctrica por medio de saltos (Vista lateral)

Fuente: Elaboración propia.

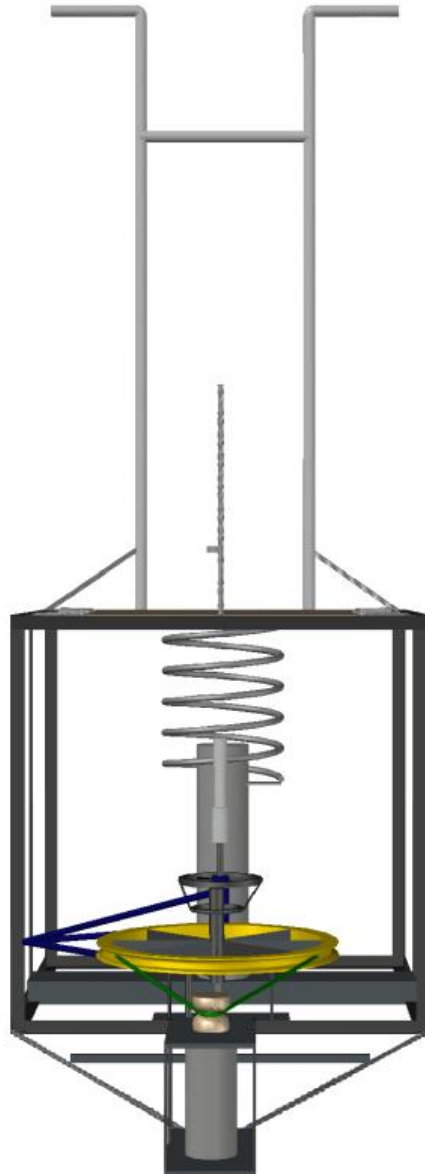


Figura:3.6 Prototipo de generación eléctrica por medio de saltos (Vista Frontal)

Fuente: Elaboración propia.

3.4 Diseño del circuito convertidor tipo Buck (reductor)

El módulo de control de generación eléctrica está compuesto por un sensor de voltaje DC, siendo indispensable en el censado de la energía que sale a la carga, esto se realiza alternando el ciclo de trabajo del convertidor buck. Como consecuencia la fuente conmutada utiliza de forma óptima la energía obtenida a partir de un movimiento vertical.

Tabla 3.2

Valores iniciales del diseño del convertidor Buck

Medidas	Datos del convertidor
Voltaje de entrada	12V
Voltaje de salida	5V
Frecuencia	10 kHz
Resistencia	5 Ω
Rizado $\frac{\Delta V_o}{V_o}$	0,2%

Fuente: Elaboración propia.

Dado que el ciclo de trabajo viene en función del voltaje de entrada y de salida, se hace uso de las ecuaciones descritas en el apartado dos de marco teórico. Se determina el ciclo de trabajo con la Ecuación 2.5, el resultado se observa en la ecuación 3.5.

$$V_o = DV_s \quad \text{Ec. (3.2)}$$

$$D = \frac{V_o}{V_s} \quad \text{Ec. (3.3)}$$

$$D = \frac{5V}{12V} \quad \text{Ec. (3.4)}$$

$$D = 0,4167 \cong 0,42 \quad \text{Ec. (3.5)}$$

La bobina es la responsable de almacenar la energía en forma de campo magnético por lo que es crucial que los niveles de corriente en el inductor sean aceptables, se debe considerar que la forma de onda de la corriente debe permanecer siempre en el lado positivo del plano, puesto que si no se cumple esa condición el diseño tendrá pérdidas de energía en forma de calor y el rendimiento se verá afectado en la salida del conmutador.

Se utiliza de las ecuaciones descritas en el marco teórico en donde se determina el valor de bobina con la ecuación 2.16 y el resultado visible se observa en la ecuación 3.7.

$$L = \frac{(1 - k)R}{2f} \quad \text{Ec. (3.6)}$$

$$L = \frac{(1 - 0,4167)5 \Omega}{2 * (10000)} \quad \text{Ec. (3.7)}$$

$$L = 194,44 \mu\text{H} \quad \text{Ec. (3.8)}$$

El valor calculado de la bobina debe exceder el 0,25% para garantizar que ese valor obtenido pueda mantener la corriente en estándares aceptables de funcionamiento. El incremento de medida garantiza que el almacenamiento de corriente en forma de campo magnético se limite a no llegar a 0 A y mucho menos ser un valor negativo de corriente, se observa este valor prestablecido en la ecuación 3.9.

$$L = 260 \mu H \quad \text{Ec. (3.9)}$$

El circuito convertidor tiene dos rangos de corriente, esta existe cuando la conmutación del elemento MOSFET se lleva a cabo, estos valores son los que se encuentran dentro del inductor para garantizar un funcionamiento en régimen permanente con valores positivos aceptables para la carga, siendo las ecuaciones (3.10) y (3.11) las responsables de limitar estos valores para que sean óptimos.

$$IL_{max} = V_o \left[\frac{1}{5} + \frac{(1-k)}{2Lf} \right] \quad \text{Ec. (3.10)}$$

$$IL_{max} = 5V \left[\frac{1}{5\Omega} + \frac{(1-0,4167)}{2(260 \mu H)(10000)} \right] \quad \text{Ec. (3.11)}$$

$$IL_{max} = 1,75 A \quad \text{Ec. (3.12)}$$

De la misma forma calculamos la corriente mínima que debe tener este inductor para garantizar niveles aceptables.

$$IL_{min} = V_o \left[\frac{1}{R} - \frac{(1-k)}{2Lf} \right] \quad \text{Ec. (3.13)}$$

$$IL_{min} = 5V \left[\frac{1}{5\Omega} - \frac{(1-0,4167)}{2(260 \mu H)(10000)} \right] \quad \text{Ec. (3.14)}$$

$$IL_{min} = 0,25 A \quad \text{Ec. (3.15)}$$

Para que el circuito tenga una estabilidad en la conmutación, se añade un capacitor paralelo a la carga para que así la energía suministrada desde la bobina llegue con estabilidad hacia la salida del convertidor.

Se calcula el valor del capacitor para tener una señal con un rizado mínimo, se obtiene mediante la ecuación (3.16) que no debe superar los 0,6% de la variación del voltaje de entrada sobre el voltaje de salida.

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{(1-k)}{8CLf^2} \quad \text{Ec. (3.16)}$$

$$C = \frac{(1-k)}{8CLf^2 \frac{\Delta V_o}{V_o}} \quad \text{Ec. (3.17)}$$

$$C = \frac{(1 - 0,4167)}{8(194,44 \times 10^{-6})(10000)^2 0,2} \quad \text{Ec. (3.18)}$$

$$C = 937,5 \mu F \quad \text{Ec. (3.19)}$$

3.5 Simulación del diseño del circuito convertidor tipo Buck

Se tiene en la figura 3.7 el diagrama esquemático del conmutador reductor, el voltaje de entrada es acondicionado para su salida mediante una modulación de PWM para el control del Mosfet.

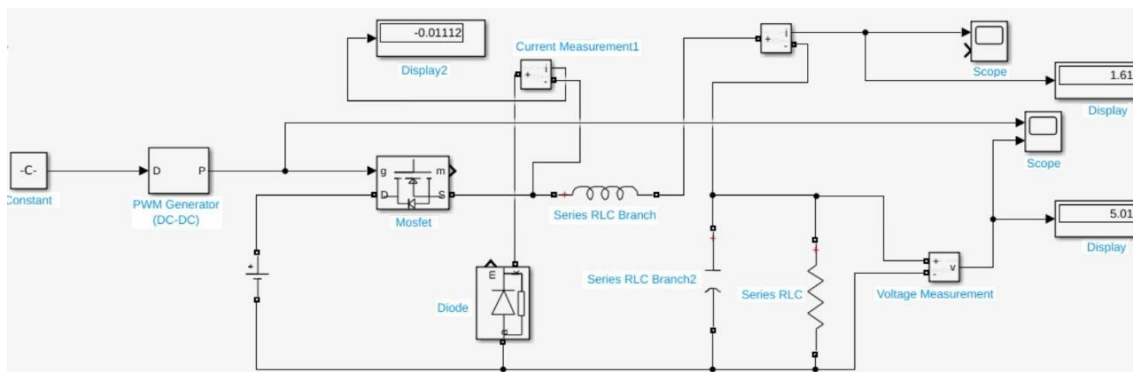


Figura:3.7 Diagrama esquemático conmutador Buck (Simulink).

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 3.8 se observa la forma de onda de corriente a la salida del convertidor, el modelo Simulink ayuda a obtener los valores finales del análisis numérico y para observar el comportamiento de las formas de onda se usó el simulador PSIM ya que obtiene con mayor precisión las gráficas en función del tiempo.

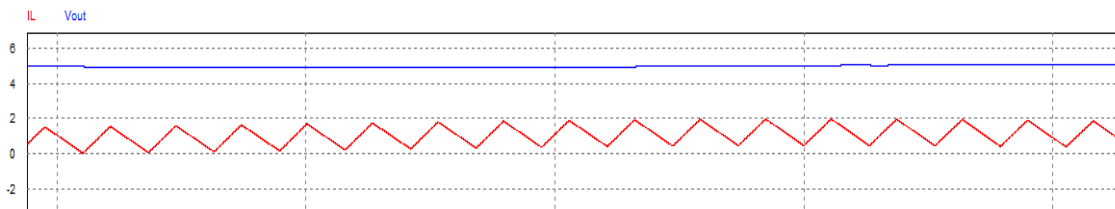


Figura:3.8 Señal de corriente conmutador Buck (PSIM) Cambiar por las nuevas

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 3.9 se observa en la simulación realizada la forma de onda de comportamiento del voltaje del reductor a la salida de la carga, se muestra en alta frecuencia e imagen reducida para mejor visualización.

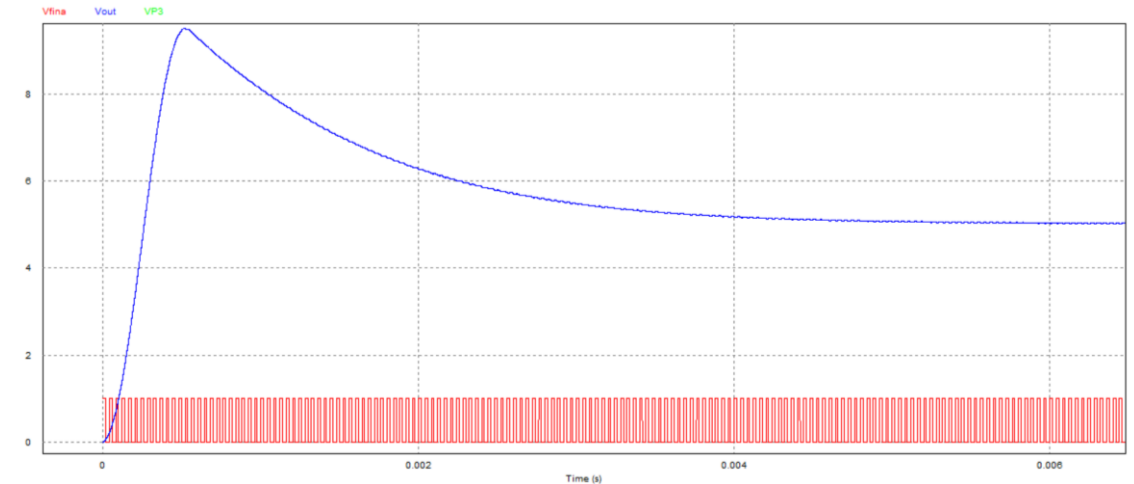


Figura:3.9 Señal de Voltaje conmutador Buck (PSIM)

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 3.10 se muestra la simulación del convertidor reductor añadiendo elementos electrónicos para que su funcionalidad mejore y así a futuro lograr una implementación de un convertidor reductor de continua.

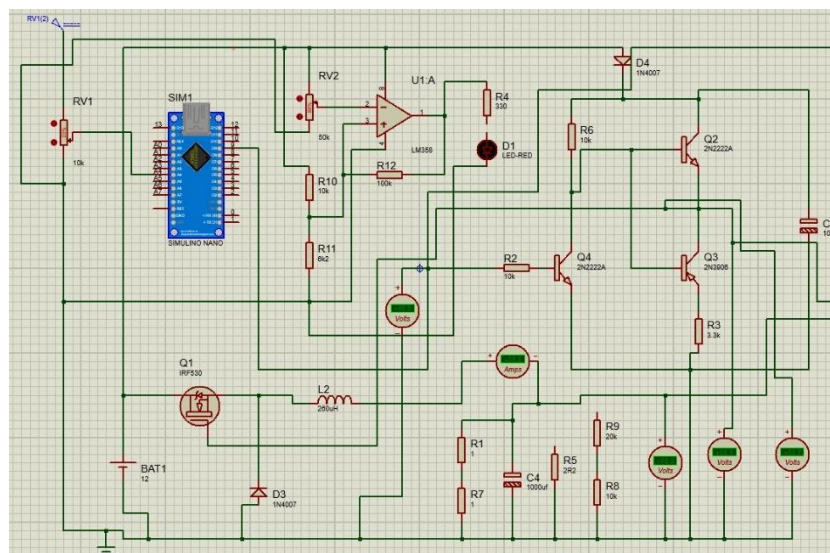


Figura:3.10 Simulación Circuito Convertidor Buck

Fuente: Elaboración propia.

La figura 3.11 muestra las señales obtenidas a la salida del convertidor, donde la salida de voltaje depende de la conmutación del mosfet en sintonía con los pulsos de generación PWM, en primera instancia señal (Amarilla) representa generación PWM, segunda señal (Azul) indica los pulsos conmutados mosfet y la tercera señal (Roja) corresponde a la salida de voltaje del capacitor.

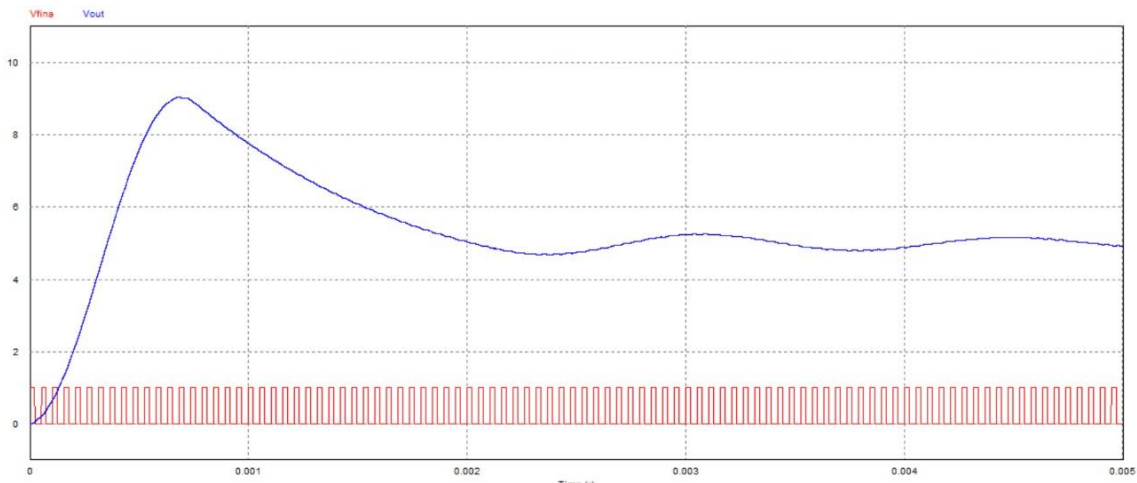


Figura:3.11 Simulación Circuito Convertidor Buck

Fuente: Elaboración propia.

3.6 Diagrama de Flujo del convertidor Buck para adquisición de datos

A continuación, en la Figura 3.12 se indica el diagrama de flujo que tendrá el convertidor de voltaje, siendo indispensable para la recolección de datos mediante el sensor de tensión posicionado a la salida del conmutador reductor.

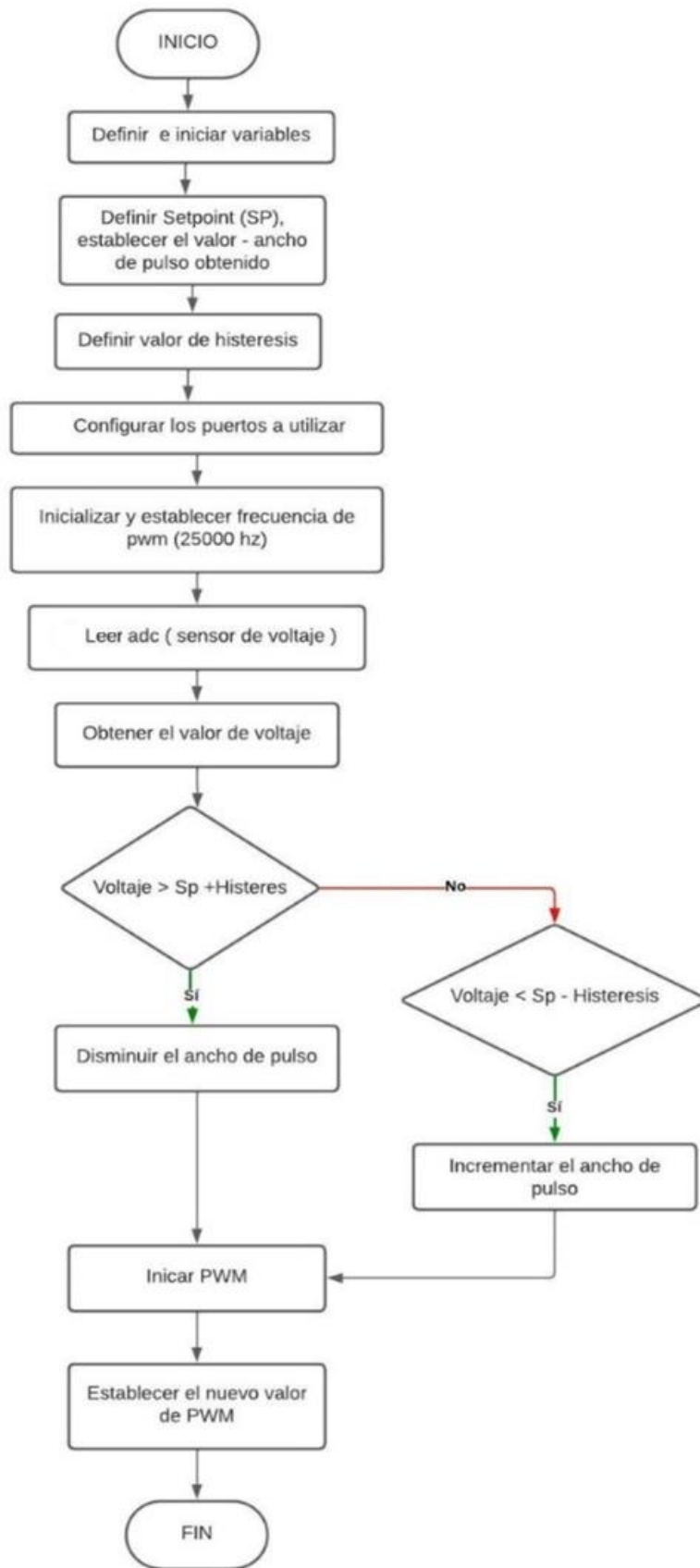


Figura:3.12 Diagrama de flujo corrector voltaje salida

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 4

IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS

Este capítulo detalla la implementación del prototipo de generación eléctrica, este consta de dos partes, un sistema mecánico para generación de energía y un sistema eléctrico para poder acondicionar este voltaje y pueda ser suministrado a un dispositivo como obtención de energía gratuita.

4.1 Prototipo mecánico

El prototipo mecánico es un diseño propio que tiene varios antecedentes en su implementación, que van desde rediseño estructural hasta modificaciones para guardar movimientos circulares como son los dínamos macizos de hierro, esta sección muestra paso a paso como se logró implementar esta idea desde cero en distintos tiempos de ejecución.

La figura 4.1 muestra el proceso de creación del prototipo mecánico, consta de un cubo donde toda medida es 60 cm en todos los lados, el mecanismo diseñado para poder mantener el peso de una persona mientras esta salta para poner en movimiento el sistema mecánico.



Figura:4.1 Creación del marco externo del prototipo de generación eléctrica

Fuente: Elaboración propia.



Figura:4.2 Estructura inicial de posicionamiento de salto

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.2 se muestra la primera estructura realizada que cuenta con partes limitadas para que un usuario pueda tomar el prototipo con las manos y ejecutar un salto de manera segura sin afectar su integridad.



Figura:4.3 Posicionamiento centrado de plataforma

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.3 se muestra el posicionamiento de la plataforma de salto que ira anclada con resortes que soportan 10 kg cada uno, tenemos cuatro resortes uno por cada esquina de la estructura cúbica, son dimensionados para que la plataforma pueda funcionar correctamente dando así una estabilidad en el centro al saltar.

En la figura 4.4 se ubica el resorte principal que sostiene el peso de la persona en su totalidad, dicho resorte soporta un peso estimado de 80 kg que son suficientes para que la plataforma se desplace de manera vertical en la estructura cúbica inicial.



Figura:4.4 Resorte macizo de soporte

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.5 se observa el vástago del SPIN MOP, este elemento es crucial en el desarrollo de conversión de movimientos porque realiza la trasformación de movimiento vertical a movimiento circular mediante una varilla que tiene torción en el interior del vástago.



Figura:4.5 Vástago de movimiento vertical Spin Mop

Fuente: Elaboración propia.

Se indica en la figura 4.6 el acoplamiento que existe entre el vástago y el engrane principal de la bicicleta acoplada, puesto que este engrane transmite movimiento hacia el plato más pequeño que da movimiento a la llanta trasera de la bicicleta.



Figura:4.6 Acoplamiento del vástago al plato principal de la bicicleta

Fuente: Elaboración propia.

Para que el movimiento no pierda perpetuidad, se debe asegurar que la energía transmitida hacia el generador sea constante ya que depende bastante del número de revoluciones que se obtenga desde la llanta para producir un voltaje visible en los terminales del generador, el acoplamiento se observa en la figura 4.7.



Figura:4.7 Acoplamiento de la parte trasera de la bicicleta

Fuente: Elaboración propia

El generador de voltaje es un elemento necesario para la generación de energía gratuita, se realizó una base para el generador porque está sujeto siempre a un movimiento constante para la producción de un voltaje DC, se muestra la base en la figura 4.8.



Figura:4.8 Base soldada del generador

Fuente: Elaboración propia

Para que el movimiento se transmita de manera eficiente se utiliza un arreglo de poleas, en donde se tiene dos partes esenciales, la polea conductora y la polea conducida, las cuales están unidas mediante una correa que permite la transmisión de movimientos angulares hacia el generador DC, la vista superior del sistema de polea implementado se observa en la figura 4.9.



Figura:4.9 Sistema de polea simple

Fuente: Elaboración propia

4.2 Pruebas de funcionamiento del prototipo mecánico

Durante la experimentación del salto en la plataforma, siendo este un movimiento vertical, se vio una ligera perturbación en los estabilizadores de la plataforma. Al saltar, el vástago tiene un movimiento irregular, no baja de manera recta sino en forma de zigzag. Siendo esto un aspecto negativo en la experimentación, por tal motivo se añadió rieles para evitar que se salga del lugar el vástago y así producir un movimiento más limpio con una señal de voltaje de menos perturbaciones.

El tiempo de pruebas excedió el límite de lo planificado, debido a los rediseños que se implementaron para lograr la transmisión de movimiento constante hacia el generador. Los problemas principales en el diseño primario se dieron por el mal acoplamiento del vástago directo hacia el generador. Se producía niveles de voltaje DC variable en el tiempo, donde se tenía picos demasiado altos y en instantes energía nula. La solución al error mecánico fue dada al guardar el movimiento cinético en la llanta de bicicleta, dando siempre al generador un movimiento casi constante a la salida. Se tiene perturbaciones de voltaje que oscilan entre los 13,6 V a 18,9 V, de forma proporcional al número de saltos que realiza el sujeto.

A continuación, en la tabla 4.1 se expresa el número de saltos que el sujeto realizó en la prueba de experimentación, dando como resultado que cuando excede los 20 saltos el voltaje más alto permanece relativamente constante con una variación de ± 1 V a la salida del generador.

Tabla 4.1

Prueba de generación de Voltaje por prototipo mecánico

Numero de saltos	Voltaje generado [V]
1	6,2
2	7,86
3	8,05
4	10,2
5	12,35
6	12,40
7	14,3
8	15,7
9	17,41
10	19,01
11	19,42
12	20,2
13	20,9
14	21,3
15	21,7

Fuente: Elaboración propia

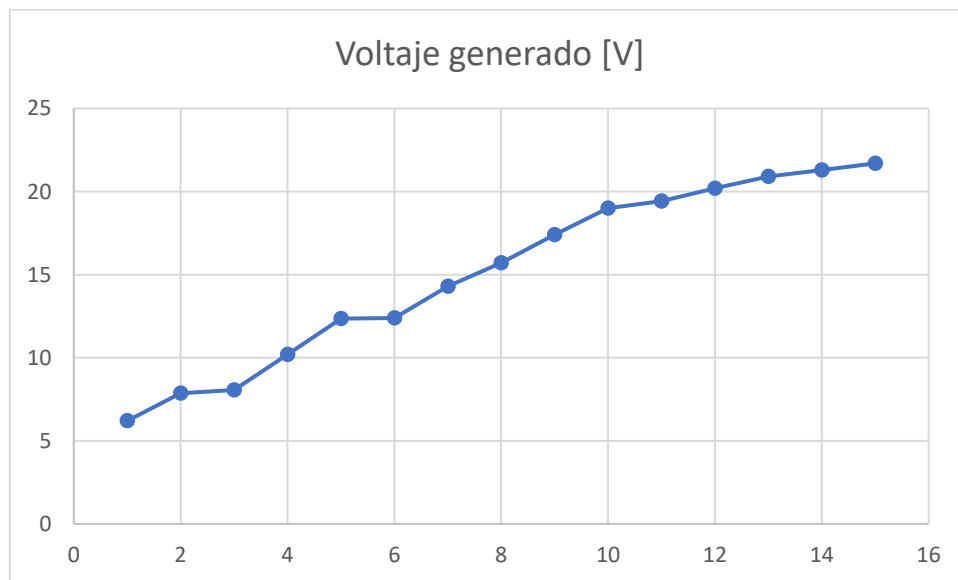


Figura:4.10 Voltaje de salida producida por el generador de voltaje.

Fuente: Elaboración propia



Figura:4.11 Voltaje de salida producida por el generador de voltaje.

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.11 se observa el voltaje generado por el sistema de poleas, esta medida se mantiene fluctuante dependiendo los saltos que el sujeto realice. La prueba de experimentación dio como resultados varios valores de voltaje, siendo los saltos constantes los limitantes que pueden fijar un valor lineal a la salida.

4.3 Pruebas de funcionamiento del convertidor en protoboard

La fase de experimentación del circuito se realizó en un pizarrón de pruebas, donde se utilizó diferentes elementos electrónicos para mejorar la estabilidad del voltaje de salida, se utiliza el Arduino Nano para producir una señal de PWM con el fin de obtener un óptimo funcionamiento del elemento Mosfet en el conmutador de voltaje, se indica el armado en la Figura 4.12.

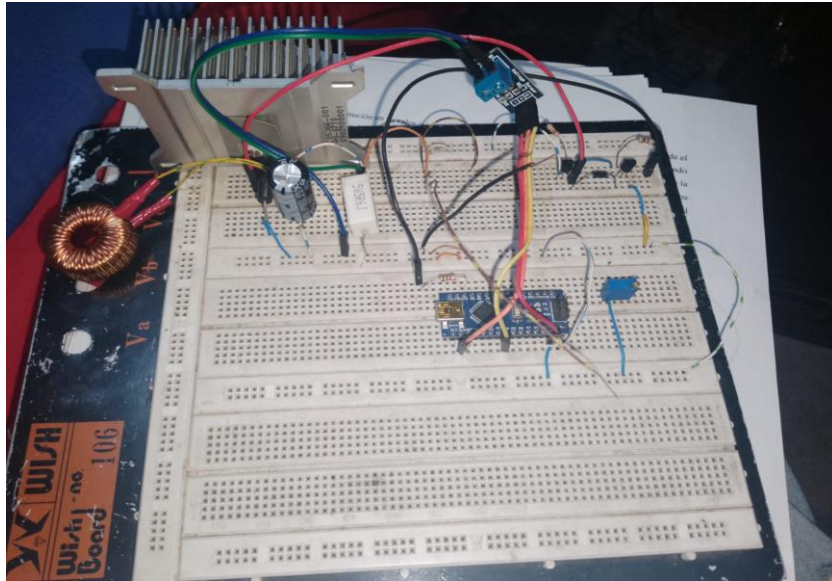


Figura:4.12 Circuito armado del convertidor tipo Buck

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.13 se observa como el voltaje de salida resultante en la pizarra de pruebas se encuentra cambiante debido a la corrección de voltaje que realiza la programación de histéresis, ya que estos valores de ciclo de trabajo, se corrige en valores $\pm 0,5$ unidades dando como resultado mantener el voltaje en el rango de 5 V en la resultante.



Figura:4.13 Valor de tensión de salida del convertidor DC

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.2

Prueba de funcionamiento del circuito conmutador tipo Buck sin carga.

Voltaje Generado[V]	Voltaje de salida[V]	Corriente de salida [mA]
5,5	0,4	0,03
6,5	1,15	0,19
7,1	1,6	0,26
7,8	2,09	0,35
8,2	2,31	0,4
9,5	3,12	0,54
10,03	3,61	0,62
11,1	4,13	0,72
12,1	4,82	0,84
12,9	5,2	0,9
13,8	5,3	1,01

Fuente: Elaboración propia

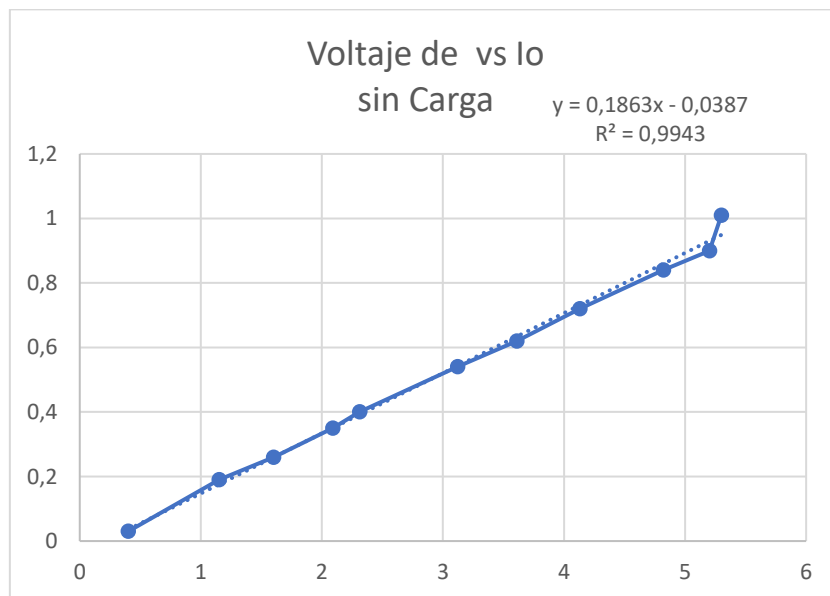


Figura:4.14 Grafica de representación Vo vs Io

Fuente: Elaboración propia

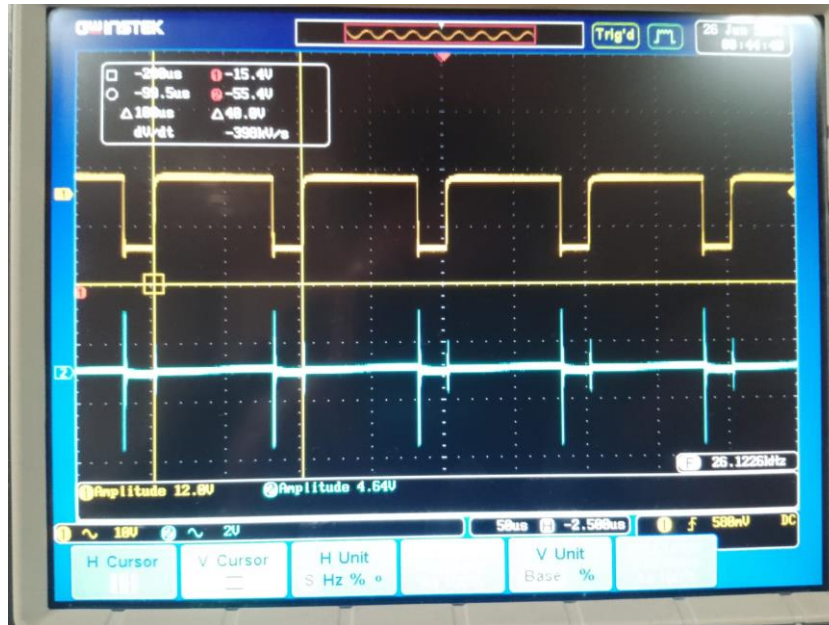


Figura:4.15 Forma de onda del Voltaje de Salida del convertidor Buck

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.3

Prueba de funcionamiento del circuito conmutador tipo Buck con carga 100 Ω.

Voltaje Generado[V]	Voltaje de salida[V]	Corriente de salida [mA]
5,5	0,5	9,09
6,5	1,28	57,57
7,1	1,63	78,78
7,8	1,79	106,05
8,2	1,82	121,2
9,5	1,87	163,62
10,03	1,91	187,86
11,1	1,93	218,16
12,1	1,95	254,52
12,9	1,97	272,7
13,8	1,98	306,03

Fuente: Elaboración propia

Salida de Voltaje vs Corriente de Salida con Carga
 $100\ \Omega$

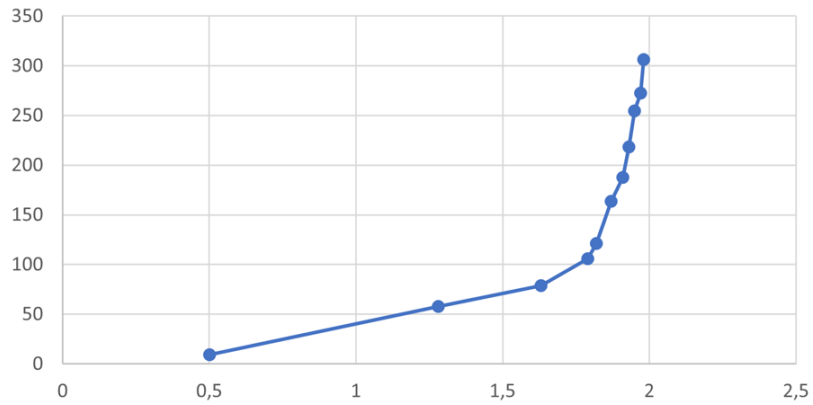


Figura:4.16 Grafica de representación V_o vs I_o con carga de $100\ \Omega$

Fuente: Elaboración propia

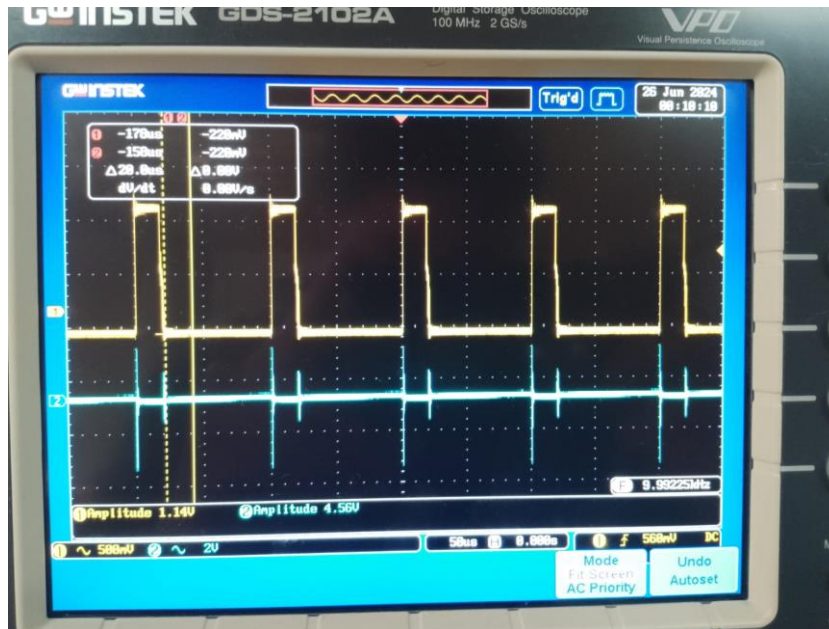


Figura:4.17 Onda generada por osciloscopio V_o vs I_o con carga de $100\ \Omega$

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.4

Prueba de funcionamiento del circuito conmutador tipo Buck con carga 330 Ω .

Voltaje Generado[V]	Voltaje de salida[V]	Corriente de salida [mA]
5,5	0,5	9,03
6,5	1,29	57,19
7,1	1,64	78,26
7,8	2,16	105,35
8,2	2,45	120,4
9,5	2,84	162,54
10,03	2,95	186,62
11,1	3,05	216,72
12,1	3,13	252,84
12,9	3,18	270,9
13,8	3,2	304,01

Fuente: Elaboración propia

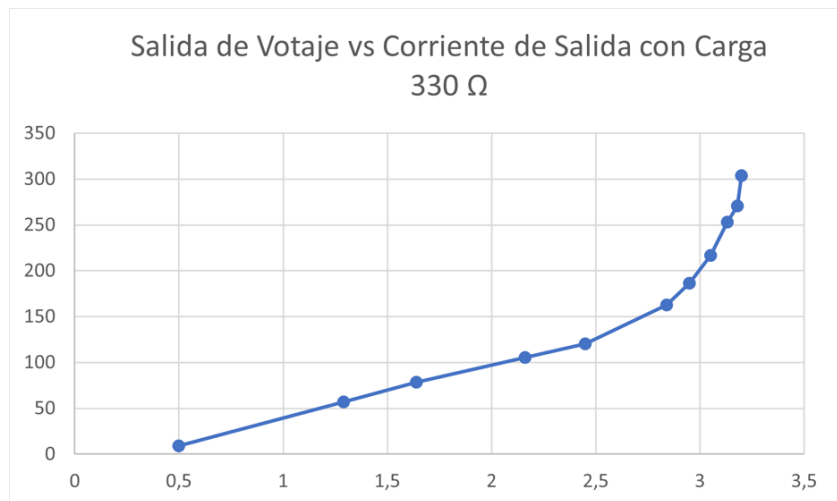


Figura:4.18 Grafica de representación V_o vs I_o con carga de 330 Ω

Fuente: Elaboración propia

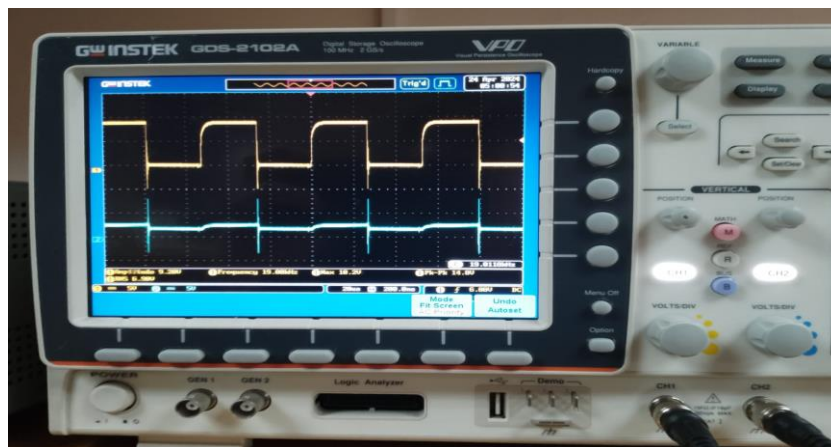


Figura:4.19 Onda generada por osciloscopio V_o vs I_o con carga de 330 Ω

Fuente: Elaboración propia

4.4 Diseño de la PCB en el software Proteus

Después de las pruebas realizadas de funcionamiento, se procede a la creación del circuito impreso del convertidor de voltaje reductor. El prototipo se diseña a partir de la simulación hecha en ISIS de Proteus, en donde todos los elementos colocados en el área de simulación pasan a una segunda ventana llamada ARES, de cierta manera cumple la función de diseñar la circuitería interna que se quema en la placa PCB y así se obtiene el módulo convertidor de voltaje ensamblado, esto se puede observar en la figura 4.20.

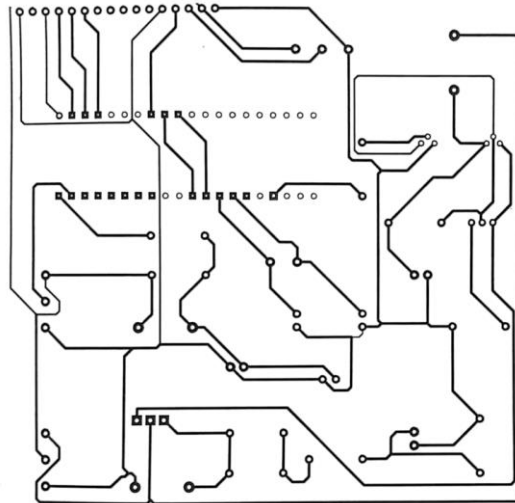


Figura:4.20 Circuito impreso del convertidor tipo Buck

Fuente: Elaboración propia

Se observa en la figura 4.21 la visión general del circuito impreso, con sus respectivos componentes.

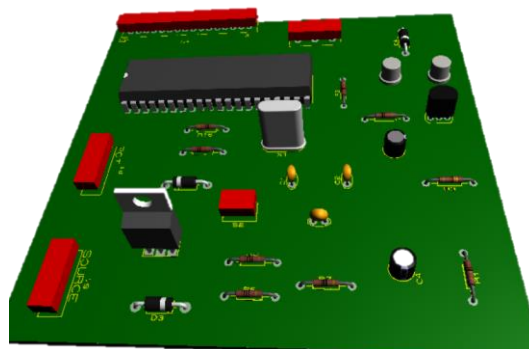


Figura:4.21 Prototipo de ensamblaje del convertidor de voltaje Buck

Fuente: Elaboración propia

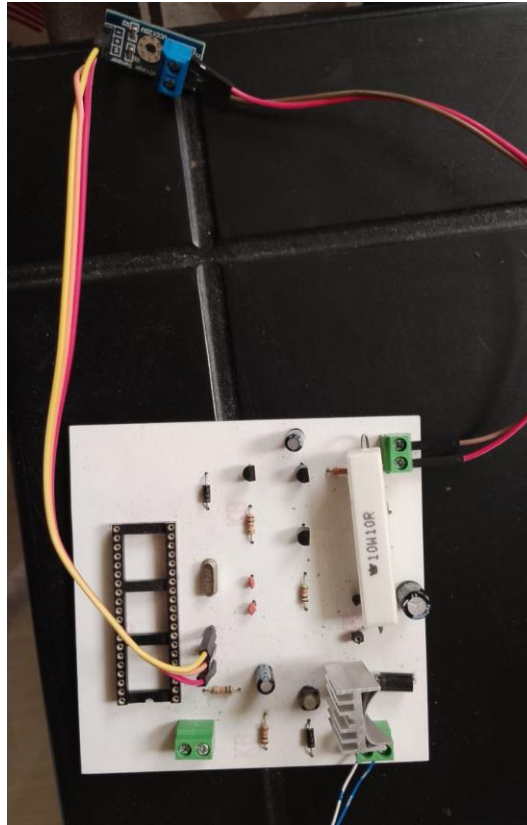


Figura:4.22 Prototipo ensamblado en circuito PCB

Fuente: Elaboración propia

Se realiza pruebas en conjunto entre el convertidor de voltaje ensamblado con el sistema Mecánico de generación eléctrica. En la fase experimental los voltajes de entrada fluctúan entre los 14 V a 18 V con el salto de sujeto de prueba, el circuito ensamblado es capaz de reducir el voltaje y mantenerlo constante, mientras el sujeto de prueba supere los 12,8 V de entrada mientras salta, aumentando este rango de voltaje el sistema eléctrico actúa para que la señal de tensión de salida no supere los 5 V o baje de este rango mínimo como se observa en la Figura 4.23.

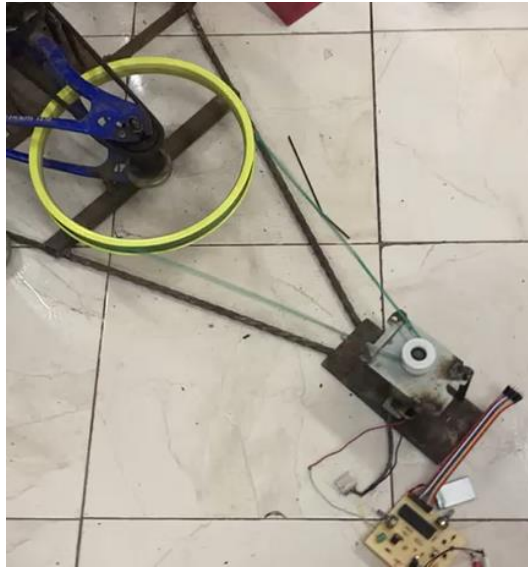


Figura:4.23 Prototipo para conversión DC

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.5

Prueba de funcionamiento del circuito conmutador tipo Buck con histéresis y cargas de 100 Ω y 330 Ω

Voltaje Generado[V]	Voltaje de salida[V]	Corriente de Salida[A]
11,82	4,87	0,83
11,89	4,82	0,83
11,98	4,93	0,83
12,01	5,01	0,85
12,02	5,05	0,85
12,1	5,1	0,88
12,2	5,12	0,89
12,33	5,15	0,89
12,4	5,23	0,95
12,5	5,25	1,01

Fuente: Elaboración propia

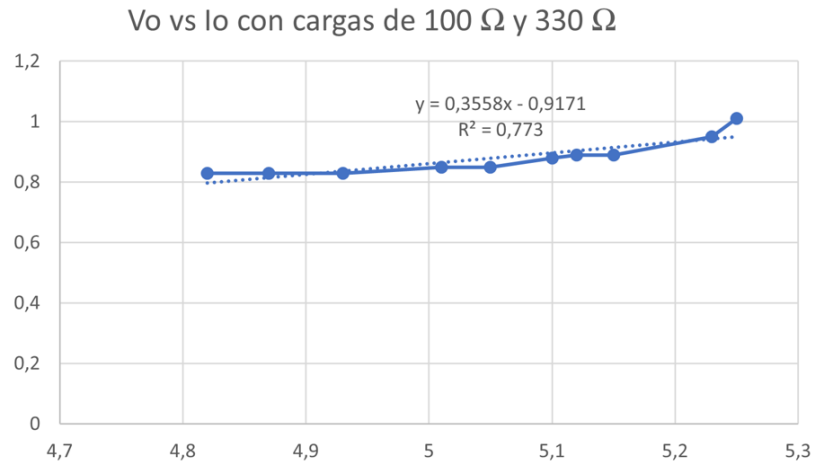


Figura:4.22 Grafica de representación Vo vs Io con cargas de 100 Ω y 330Ω.

Fuente: Elaboración propia

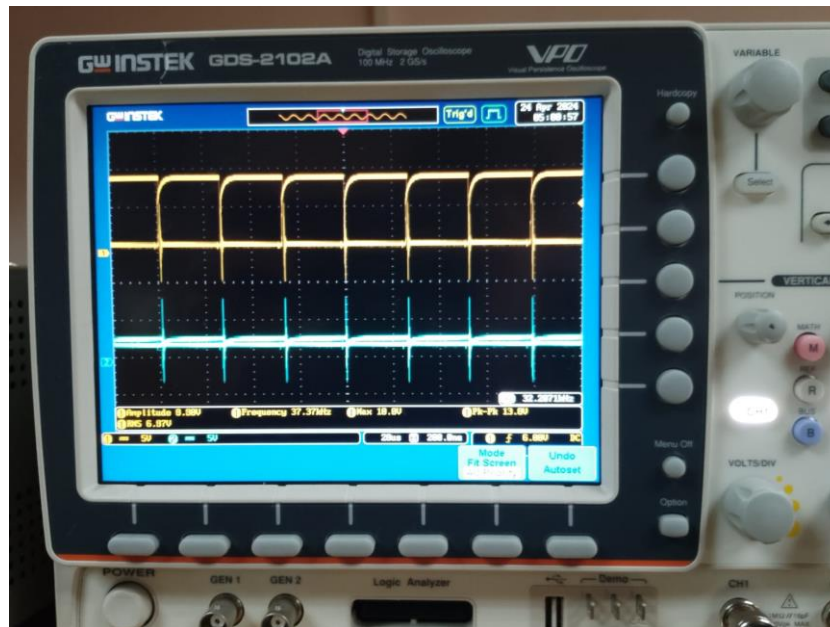


Figura:4.23 Onda generada por osciloscopio Vo vs Io con cargas de 100 Ω y 330Ω con comparación de histéresis.

Fuente: Elaboración propia

4.5 Análisis de resultados convertidor reductor

En las pruebas realizadas en distintos momentos se observa que cuando el voltaje de generación está en ascenso el ciclo de trabajo del convertidor se ve afectado con una disminución en su valor inicial, esto permite modificar la señal de ancho de pulso y por ende el voltaje de salida se mantiene en el valor preestablecido de 5 V (Set Point). Al contrario, cuando el voltaje generado baja de los 12 V el ciclo de trabajo del Mosfet aumenta garantizando que la salida de voltaje sean 5 V, como indica en la Tabla 4.2 y 4.3, donde se expresa los distintos niveles de voltaje teniéndose una similitud en los voltajes de salida generados por el convertidor reductor, este resultado se puede observar en la figura 4.24 que muestra la corrección dependiendo del voltaje generado a la entrada, el valor máximo que la salida puede producir no excede los 5,87 V .



Figura:4.24 Prototipo para conversión DC

Fuente: Elaboración propia

4.6 Error porcentual

$$\%e = \frac{\text{valor ideal} - \text{valor medido}}{\text{valor ideal}} * 100 \quad \text{Ec. (4.5)}$$

$$\%e = \frac{5,01V - 5,05V}{5,01V} * 100 \quad \text{Ec. (4.6)}$$

$$\%e = 0,7843 \quad \text{Ec. (4.7)}$$

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como resultado de lo expuesto, el desarrollo del prototipo de generación eléctrica representa un avance significativo en la búsqueda de nuevas fuentes de energía alternativa, los logros y objetivos alcanzados proporcionan una base sólida en la evaluación del movimiento y rendimiento del sistema, no obstante el prototipo presentó varios desafíos mecánicos como la perpetuidad del movimiento y las oscilaciones de voltaje producidas por el generador, dichas señales digitales dificultaron la estabilidad y controlabilidad del prototipo, se optó por un comparador de histéresis proporcionando una salida binaria clara y estable que esta sujeta a fluctuaciones o ruido.

En base a la investigación el prototipo desarrollado demostró un notable desempeño en la transformación de energía mecánica en energía eléctrica, los voltajes generados oscilaron entre los 11,82V y 12,5 V a la entrada del generador, lo que indica una consistente obtención de energía útil, las pruebas de experimentación validaron que la salida de voltaje es estable siendo 5,12 V obtenidos si están en los valores antes mencionados, sin embargo con los valores generados de 4,82 V y 5,25 V en inicios de salto, el voltaje de salida se ve afectado y el convertidor pasa a un régimen discontinuo en donde no se puede observar valores de voltaje ni corriente adecuados para energizar un dispositivo electrónico.

La referencia de set point 5,01 V y una ventana de histéresis de 0,2 permiten que la fluctuación producida por el generador se vea aplacada por los pulsos enviados al Mosfet que modifican el ciclo de trabajo(Duty Cycle) manteniendo la fiabilidad de la salida de voltaje constante de 5 VDC.

En base a la investigación sobre generación eléctrica, se empleó un software CAD que no solo facilitó la visualización y optimización del diseño, sino que también garantizó la precisión en la fabricación del prototipo. Este prototipo, sometido a diversas pruebas en distintos entornos experimentales, pasó por múltiples ajustes. El desafío cinético fue fundamental para el desarrollo de un acoplamiento mecánico en el generador, lo cual resultó ser una solución eficaz para mantener la continuidad en la generación de energía, reduciendo significativamente las fluctuaciones extremas en el voltaje generado.

Se desarrolló un comparador de histéresis específicamente para este tipo de convertidor. Utilizando los valores calculados, se realizó la simulación y experimentación para comparar su desempeño con un sistema sin histéresis. Los resultados mostraron que el comparador de histéresis permite modificar rápidamente el ciclo de trabajo del MOSFET para mantener el voltaje de salida deseado. En contraste, un sistema sin histéresis muestra que el voltaje

generado en la entrada afecta directamente el voltaje y la corriente de salida del convertidor Buck. Un ejemplo claro se observa en la tabla 4,2, donde un voltaje de entrada de 10,3 V produce una salida de 3,12 V, ya que el ciclo de trabajo no se ajusta, manteniendo el valor estático y no cumpliendo con la condición de salida deseada. Sin embargo, en la tabla 4,5, se ve cómo el ciclo de trabajo se modifica dependiendo del voltaje censado en la salida, incluso si el voltaje de entrada es menor. La histéresis asegura que el ciclo de trabajo se ajuste para mantener el voltaje de salida deseado.

Finalizando el análisis, se evidenció la necesidad de asegurar un movimiento cinético constante para minimizar las fluctuaciones digitales en la entrada del generador y así optimizar la corrección mediante histéresis. Como se muestra en el Anexo 14, el monitor serial de Arduino ilustra cómo varían los valores de voltaje en función de la entrada generada. Estos valores fluctúan entre 4,87V, 4,92V, 4,98V, 5,02V, 5,12V, y 5,15V. El ciclo de trabajo se ajusta continuamente para alcanzar el set point deseado de 5V DC a la salida.

Este ajuste del ciclo de trabajo, que varía entre 41,60% y 42,60%, permite estabilizar el voltaje de salida en 5V DC, independientemente de las cargas conectadas. Para verificar la capacidad de manejo de corriente y las limitaciones en la energización de dispositivos electrónicos, se realizaron experimentaciones con resistencias comerciales de 100 Ω y 330 Ω . Estas pruebas confirmaron la robustez del sistema y su aptitud para mantener un voltaje de salida estable bajo diferentes condiciones de carga.

La metodología y los resultados de esta tesis pueden servir como base para futuras investigaciones en la optimización de la conversión de energía mecánica y el desarrollo de nuevas tecnologías de energía limpia y eficiente.

REFERENCIAS

- Autodesk. (2021). "AutoCAD 2022 Documentation." Recuperado de <https://knowledge.autodesk.com/support/autocad>
- Canteli, M. M. (2017). *Convertidores Electrónicos de Potencia*. Cantabria: Despacho S2-53.
- Cely, A. X., Cuervo, M. C., & Guerrero, M. A. (2022). *Control digital de orientación, posición y velocidad basado en movimientos de l cabeza para un prototipode simulacion de silla de rueda*. Tunja-Boyaca: Editorial de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia - UPTC, 2022 M03.
- D'Addario, M. (2019). *Manual de Energías Renovables: Fundamentos, tipos, usos, infografías y ejercicios*. Independently Published.
- Dindha, A. (2020). Prototipo de generacion eléctrica autosustentable. *UNIVERSIDAD NACIONAL DE CIENCIAS BASICAS TECNOLOGIA E INGENIERIA*.
- Gielen, D., Boshell, F., Saygin, D., Bazilian, M. D., Wagner, N., & Gorini, R. (2020). The role of renewable energy in the global energy transformation. *Energy Strategy Reviews*, 24, 38-50.
- Fitzgerald, A. E., Kingsley Jr, C., & Umans, S. D. (2016). *Electric Machinery*. McGraw-Hill Education.
- Fresco, P. (2018). *El futuro de la energía en 100 preguntas*. Nowtilus.
- García, C. (2022). Predictive Control Algorithms for Power Generation. *IEEE Transactions on Power Systems*
- Guo, S., Wu, Q., y Li, W. (2018). "A Study on Miniaturized Permanent Magnet Dynamo and Its Application for Low-Speed Wind Power Generation". *Energies*, 11(5), 1133. DOI: 10.3390/en11051133.
- Johnson, A. (2019). Modeling and Simulation of Electric Generators. *Control and Automation Engineering Review*, 23(4), 112-128.
- Johnson, A. (2020). Advances in Electric Power Generation Technologies. *Engineering Journal*, 22(4), 103-118.
- Keyhani, A., Marwali, M. N., & Husain, M. M. (2010). Control Techniques for DC–DC Converters in Renewable Energy Systems. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 57(12), 4089-4101. DOI: <https://doi.org/10.1109/TIE.2010.2049715>
- Kim, J., & Rim, C. (2017). Design and Analysis of an Axial-Flux Permanent Magnet Dynamo for a Low-Speed Wind Power Generator. *Energies*, 10(2), 162. DOI: <https://doi.org/10.3390/en10020162>

- Lizarazo, J. E. F. (2015). *TRANSMISIÓN POR FRICCIÓN*. Recuperado de <https://tecnoinfonc2014.blogspot.com/2015/09/sitios-turisticos-de-bogota.html>
- López, G., Regalado Jacobo, & Miranda Galindo. (2022). Los efectos del cambio climático: otra razón para repensar las políticas migratorias. *Revista de Derecho*.
- Marulanda, J., Ordoñez, J., & Mosquera, L. (2017). Diseño y construcción de un convertidor dc/dc tipo Boost con PWM ajustable. *Dialnet*, 9-14.
- Microchip Technology Inc. (2003). "PIC16F87XA Data Sheet." Recuperado de <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/PIC16F877A>
- Mohan, N., Undeland, T. M., & Robbins, W. P. (2018). *Power Electronics: Converters, Applications, and Design*. John Wiley & Sons.
- Pomilio, J. A., Arzuaga, J. L., & Ramírez, M. A. (2016). Review of Non-Isolated High Step-Up DC/DC Converters in Photovoltaic Grid-Connected Applications. *Energies*, 9(7), 494. DOI: <https://doi.org/10.3390/en9070494>
- Posligua, R. (2017). Diseño y construcción de un banco de pruebas para alternadores. 69.
- Rashid, M. H. (2016). *Power Electronics: Circuits, Devices, and Applications*. Pearson.
- Sanz, A. B. (2023). Controlador de histéresis de bajo coste para convertidos Buck síncrono multifase. <https://doi.org/10.5821/dissertation-2117-94993>
- Smith, J. (2017). Optimization of Dynamo Performance for Mechanical-to-Electrical Energy Conversion. *Journal of Electrical Engineering*, 10(2), 45-62.
- Smith, J. (2019). History of Electric Power Generation. *Electrical Engineering Review*, 14(2), 67-82.
- Taylor, M., Pablo Ralon, Harold Anuta, & Sonia Al-Zoghoul. (2019). RENEWABLE POWER GENERATION COSTS 2019 . *International Renewable Energy Agency*, 144.
- Tsuboi, T., Imanishi, M., & Shigeta, M. (2015). Development of a Dynamo for Bicycle Power Generation. *Journal of Applied Physics*, 118(16), 164907. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.4933442>
- Sedra, A. S., & Smith, K. C. (2020). *Microelectronic Circuits*. Oxford University Press.

ANEXOS

Anexo 1.- Programación del Comparador de Histéresis en el software de programación Arduino IDE.

```
#include <PWM.h>
int32_t frequency = 10000; // Establezca la Frecuencia en Hertz (HZ), se pueden operar frecuencias de
10Hz a 300kHz aprox
float dutyCycle= 41.6;
const float hysteresis = 0.2;
float salidaop= 5.0;
float voltage;
void setup()
{
  InitTimersSafe();
  Serial.begin(9600);
  //Establece la frecuencia para el pin especificado
  bool success = SetPinFrequencySafe(9, frequency);
  //SI LA FRECUENCIA DEL PIN SE CONFIGURO CORRECTAMENTE, ENCIENDA EL PIN 13.
  if(success) {
    pinMode(13, OUTPUT);
    digitalWrite(13, HIGH);
  }
}

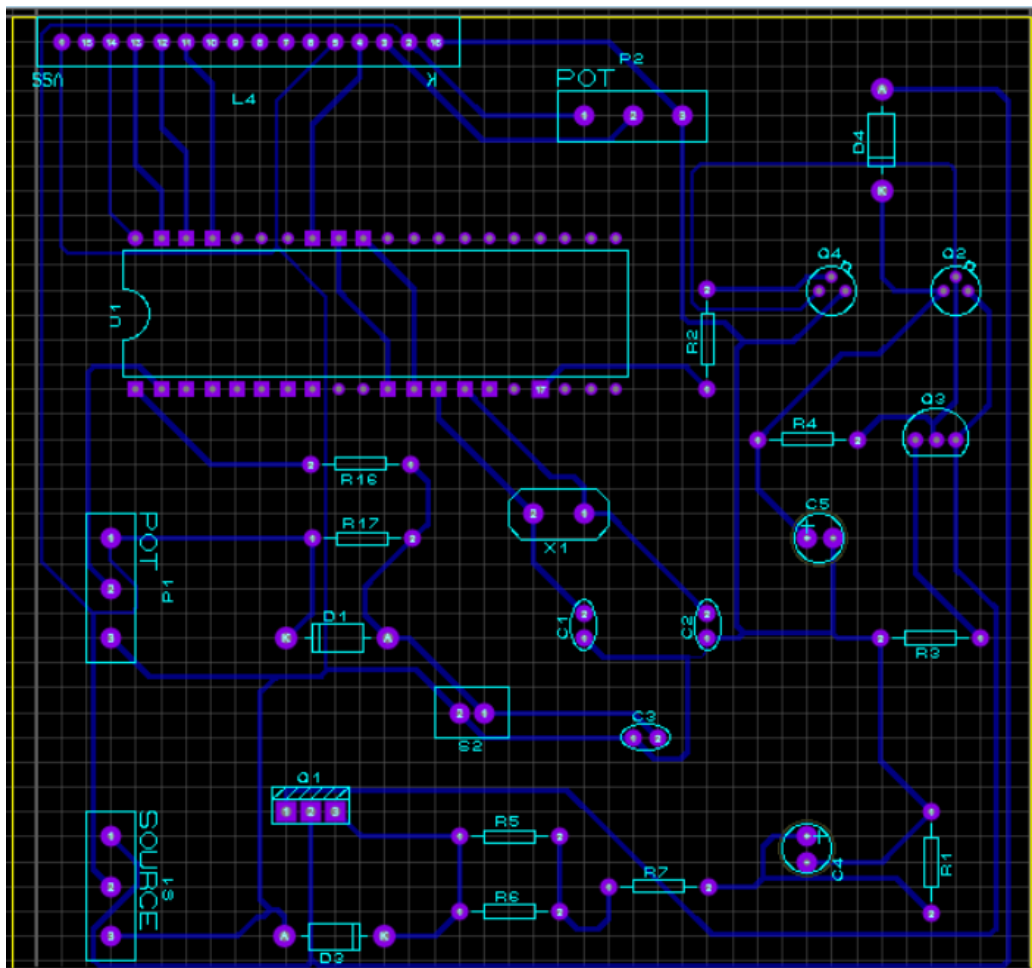
void loop()
{
  //Potenciometro para ajustar el DUTY CYCLE de 10Kohms
  float sensorValue = analogRead(A4); //Conectar las dos terminales laterales del potenciometro a +5V y
Gnd
  voltage = 20.0 * sensorValue / 1023.0; // Convertir el valor ADC a voltaje //Lado
izquierdo(pin 1) a GND y lado derecho (Pin 3) a +5V
  //pwmWrite(9, sensorValue / 4); //la terminal de enmedio(2) conectarla a una entrada analogica (A2)

  Serial.print(voltage);
  Serial.print(" | ");
  Serial.println(dutyCycle);
  delay(30);
  if (voltage <= (salidaop - hysteresis) && dutyCycle > 0) {
    dutyCycle--;
  } else if (voltage > (salidaop + hysteresis) && dutyCycle < 255) {
    dutyCycle++;
  }

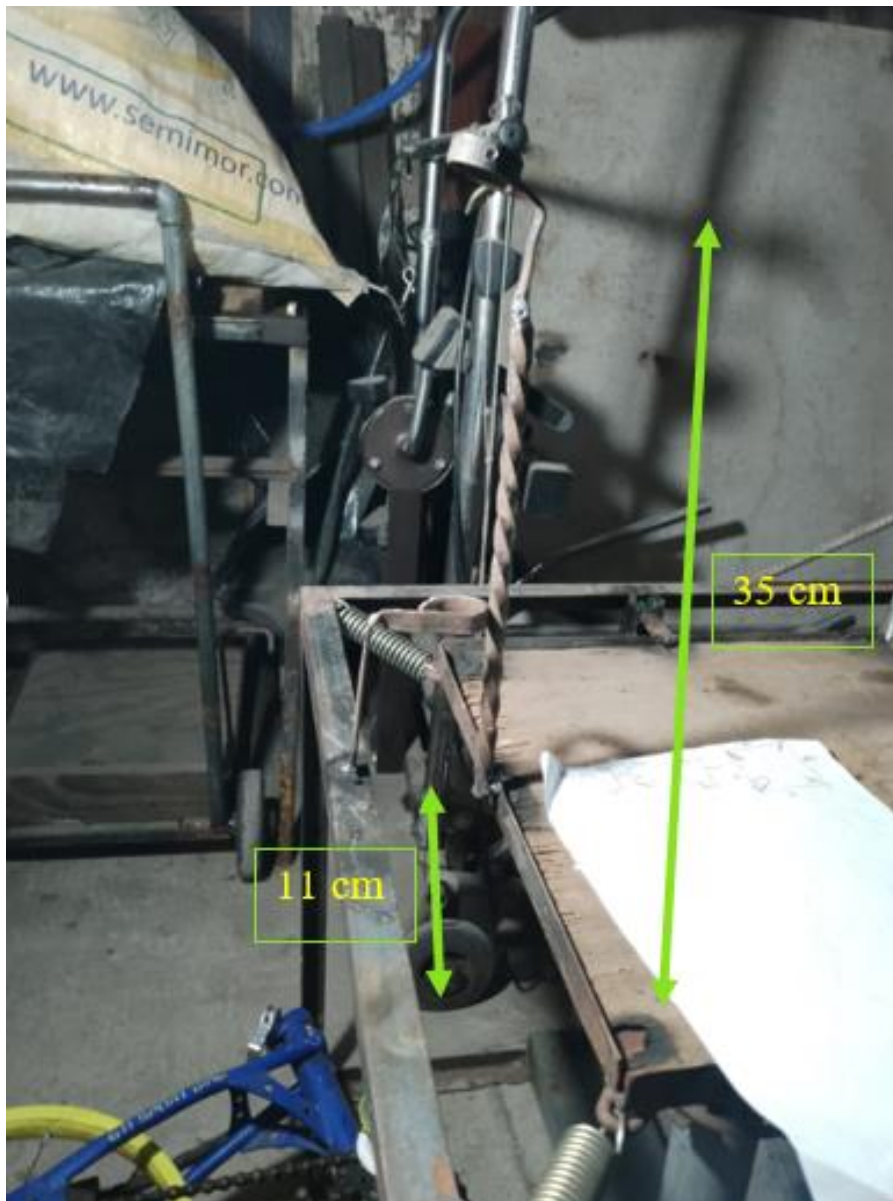
  pwmWrite(9, dutyCycle); // Ajustar el ciclo de trabajo del PWM

  delay(500); // Esperar 500 milisegundos
  //La salida PWM será el pin digital (9) con respecto a tierra.
}
```

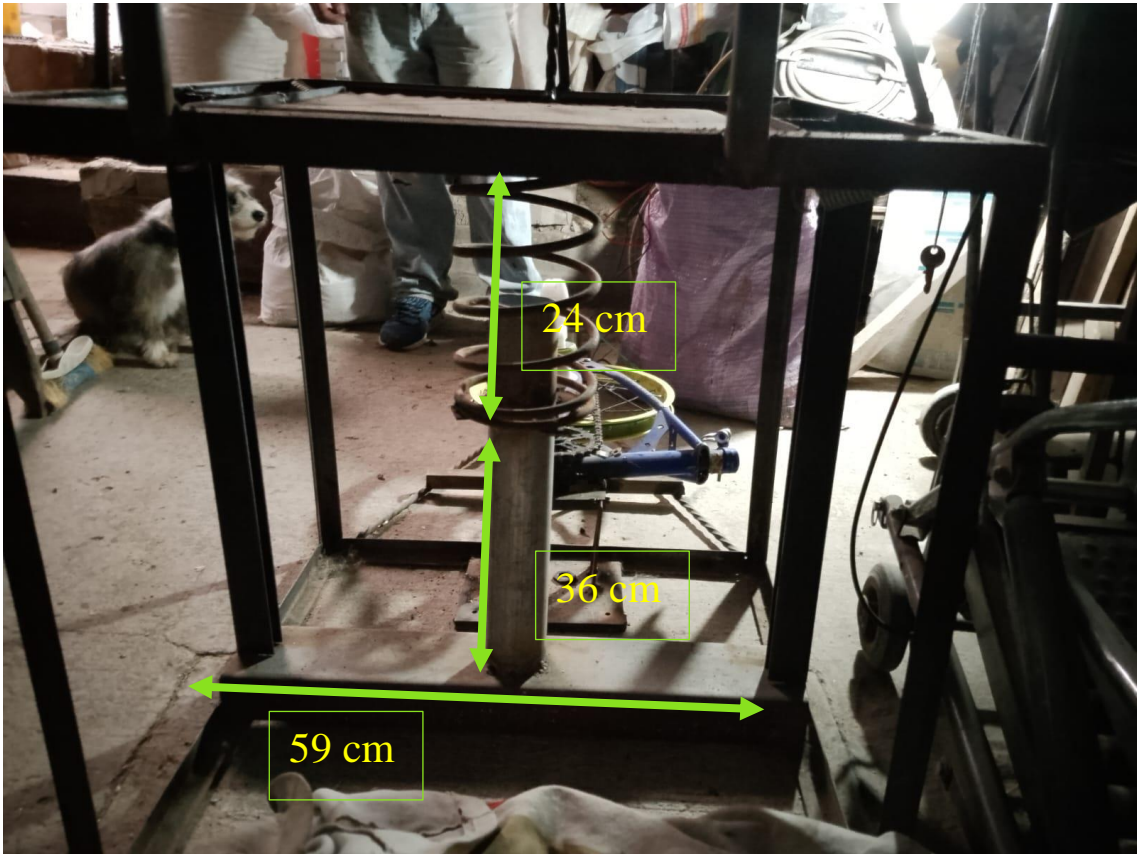

Anexo 2 Diseño en Proteus de la PCB del convertidor reductor (Ares)



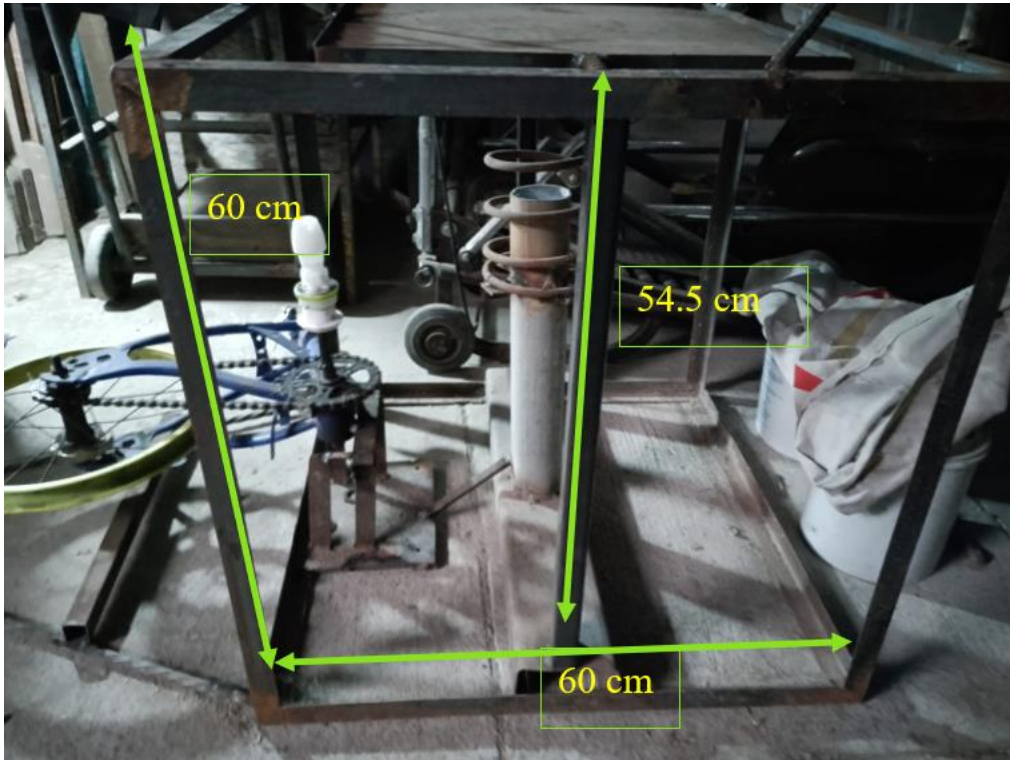
Anexo 3 Medidas soporte del vástago



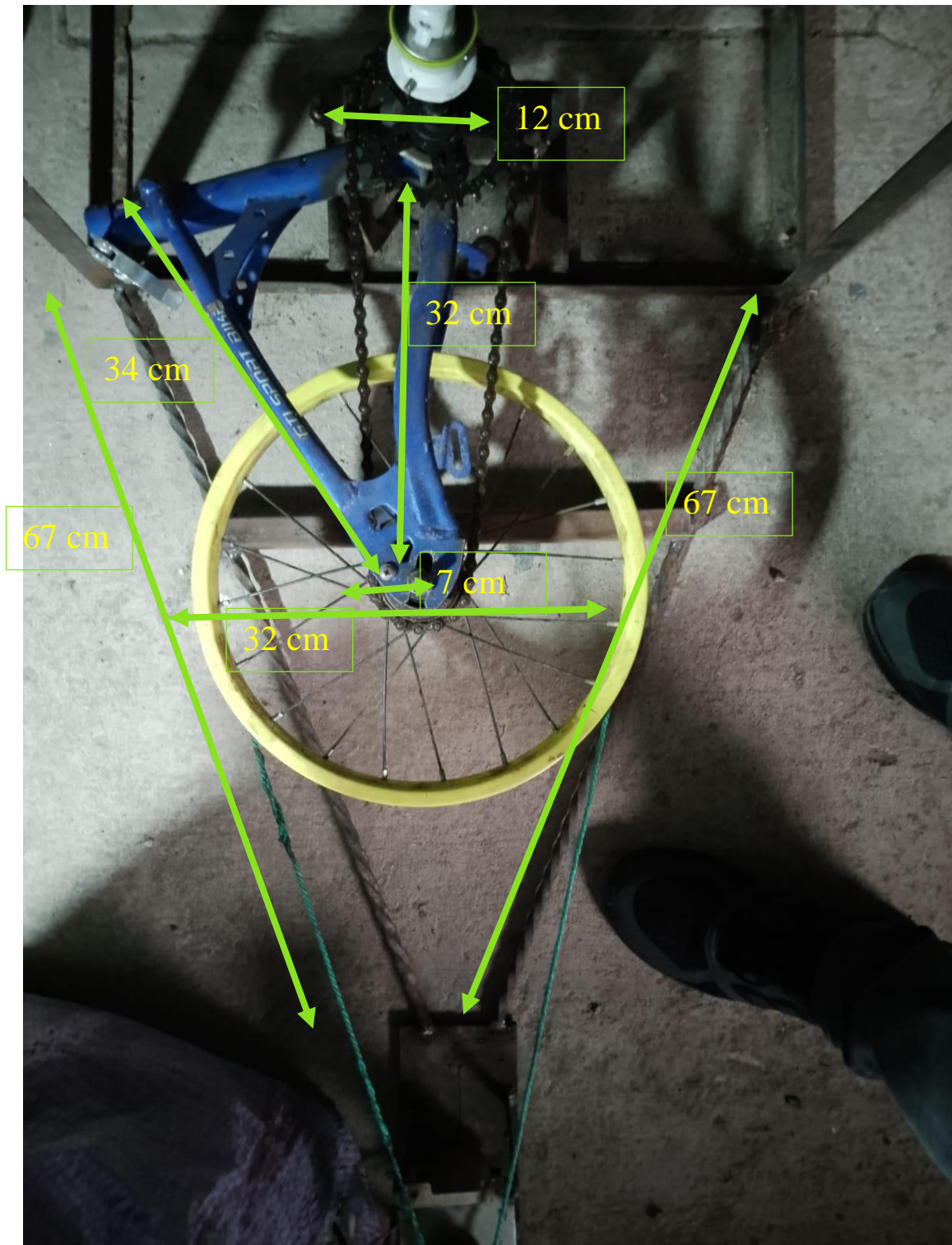
Anexo 4 Medidas de resorte y base de soporte



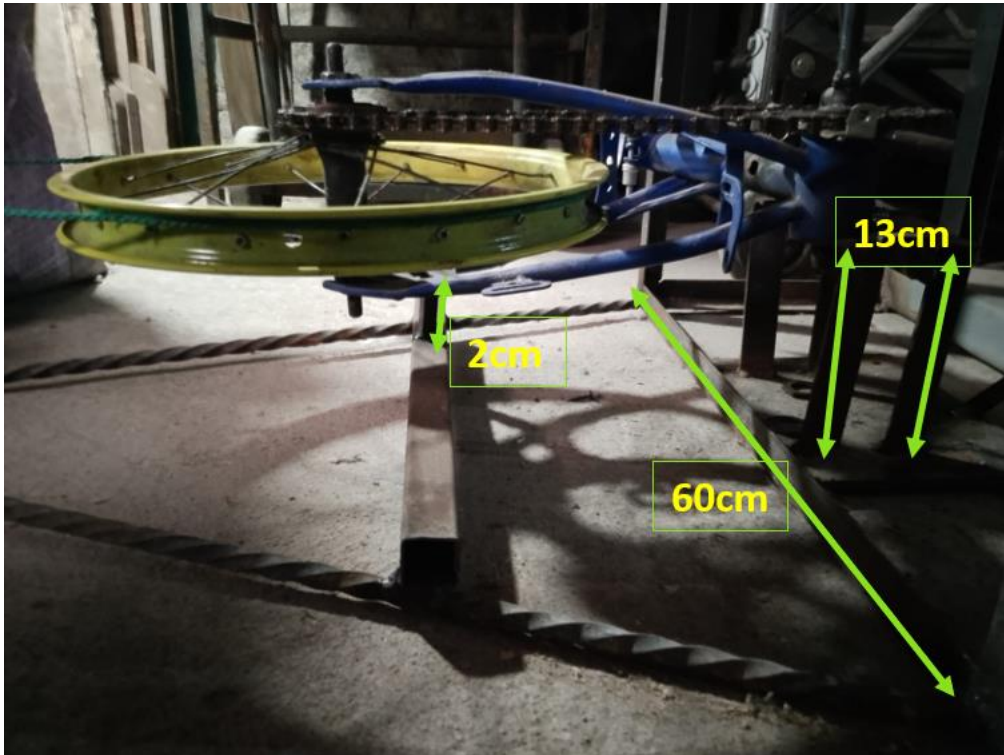
Anexo 5 Medidas cubo interior del prototipo de generación



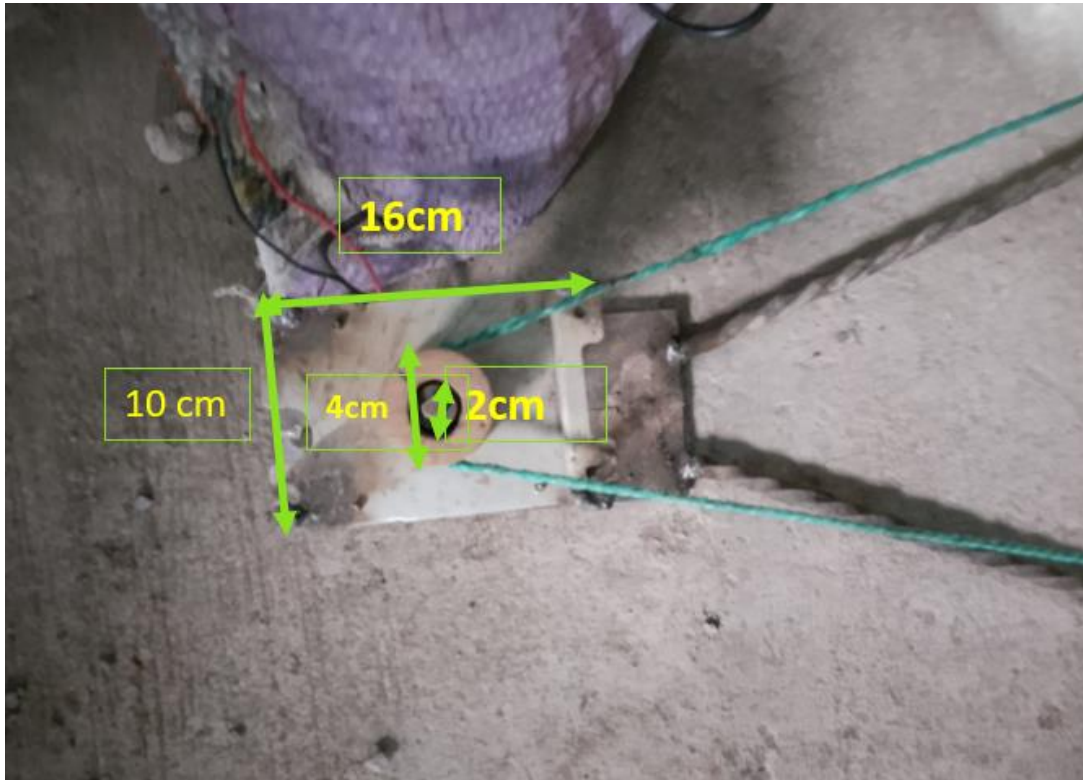
Anexo 6 Medidas de la bicicleta para guardado cinético



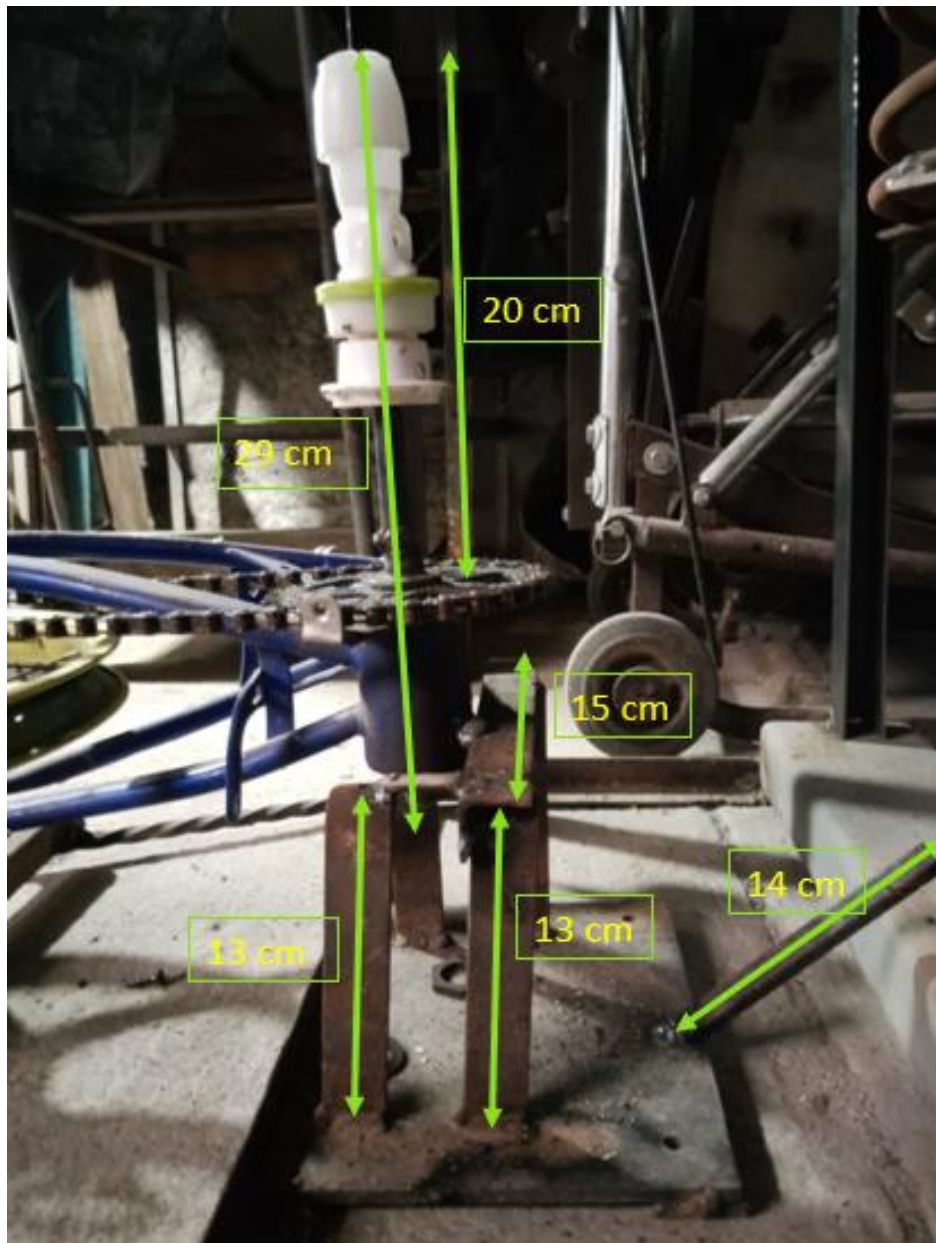
Anexo 7 Altura máxima de la llanta de bicicleta para guardado cinético



Anexo 8 Medidas del Generador de voltaje DC



Anexo 9 Medidas del Acoplamiento al guardado Cinético



Anexo 10 Acople implementado de la Polea conducida



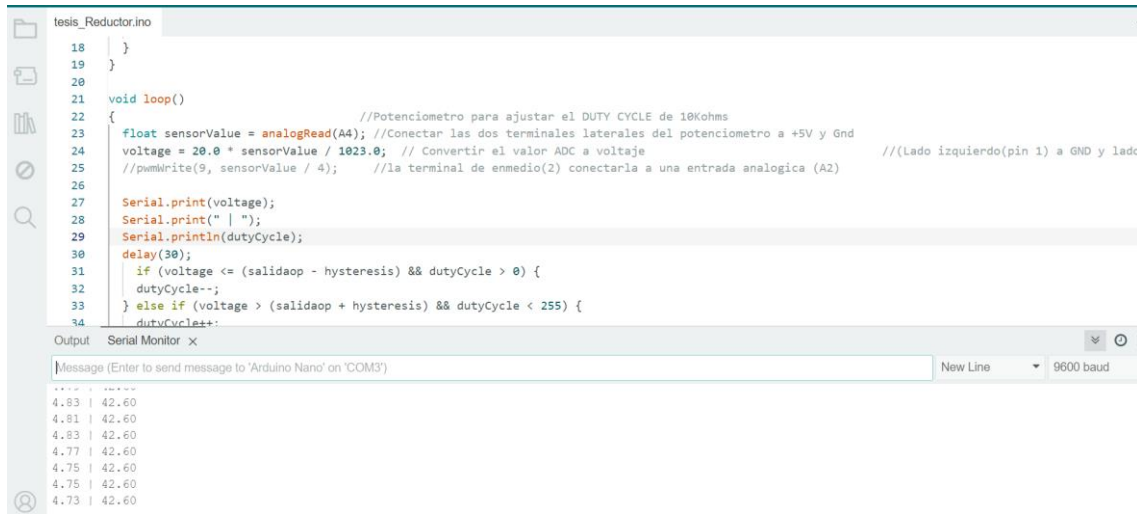
Anexo 12 Salida de voltaje Dc variable del generador.



Anexo 13 Pruebas de Salto en la plataforma del prototipo de generación eléctrica



Anexo 14 Imagen puerto serial Arduino en cambios de voltaje y ajuste del Coclo de trabajo (Dutty Cycle)



```
tesis_Reductor.ino
18 }
19 }
20
21 void loop()
22 {
23     //Potenciometro para ajustar el DUTY CYCLE de 10Kohms
24     float sensorValue = analogRead(A4); //Conectar las dos terminales laterales del potenciometro a +5V y Gnd
25     voltage = 20.0 * sensorValue / 1023.0; // Convertir el valor ADC a voltaje //Lado izquierdo(pin 1) a GND y lado
26     //pwmWrite(9, sensorValue / 4); //la terminal de enmedio(2) conectarla a una entrada analogica (A2)
27
28     Serial.print(voltage);
29     Serial.print(" | ");
30     Serial.println(dutyCycle);
31     delay(30);
32     if (voltage <= (salidaop - hysteresis) && dutyCycle > 0) {
33         dutyCycle--;
34     } else if (voltage > (salidaop + hysteresis) && dutyCycle < 255) {
35         dutyCycle++;
36     }
37 }
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000
1001
1002
1003
1004
1005
1006
1007
1008
1009
1010
1011
1012
1013
1014
1015
1016
1017
1018
1019
1020
1021
1022
1023
1024
1025
1026
1027
1028
1029
1030
1031
1032
1033
1034
1035
1036
1037
1038
1039
1040
1041
1042
1043
1044
1045
1046
1047
1048
1049
1050
1051
1052
1053
1054
1055
1056
1057
1058
1059
1060
1061
1062
1063
1064
1065
1066
1067
1068
1069
1070
1071
1072
1073
1074
1075
1076
1077
1078
1079
1080
1081
1082
1083
1084
1085
1086
1087
1088
1089
1090
1091
1092
1093
1094
1095
1096
1097
1098
1099
1100
1101
1102
1103
1104
1105
1106
1107
1108
1109
1110
1111
1112
1113
1114
1115
1116
1117
1118
1119
1120
1121
1122
1123
1124
1125
1126
1127
1128
1129
1130
1131
1132
1133
1134
1135
1136
1137
1138
1139
1140
1141
1142
1143
1144
1145
1146
1147
1148
1149
1150
1151
1152
1153
1154
1155
1156
1157
1158
1159
1160
1161
1162
1163
1164
1165
1166
1167
1168
1169
1170
1171
1172
1173
1174
1175
1176
1177
1178
1179
1180
1181
1182
1183
1184
1185
1186
1187
1188
1189
1190
1191
1192
1193
1194
1195
1196
1197
1198
1199
1200
1201
1202
1203
1204
1205
1206
1207
1208
1209
1210
1211
1212
1213
1214
1215
1216
1217
1218
1219
1220
1221
1222
1223
1224
1225
1226
1227
1228
1229
1230
1231
1232
1233
1234
1235
1236
1237
1238
1239
1240
1241
1242
1243
1244
1245
1246
1247
1248
1249
1250
1251
1252
1253
1254
1255
1256
1257
1258
1259
1260
1261
1262
1263
1264
1265
1266
1267
1268
1269
1270
1271
1272
1273
1274
1275
1276
1277
1278
1279
1280
1281
1282
1283
1284
1285
1286
1287
1288
1289
1290
1291
1292
1293
1294
1295
1296
1297
1298
1299
1300
1301
1302
1303
1304
1305
1306
1307
1308
1309
1310
1311
1312
1313
1314
1315
1316
1317
1318
1319
1320
1321
1322
1323
1324
1325
1326
1327
1328
1329
1330
1331
1332
1333
1334
1335
1336
1337
1338
1339
1340
1341
1342
1343
1344
1345
1346
1347
1348
1349
1350
1351
1352
1353
1354
1355
1356
1357
1358
1359
1360
1361
1362
1363
1364
1365
1366
1367
1368
1369
1370
1371
1372
1373
1374
1375
1376
1377
1378
1379
1380
1381
1382
1383
1384
1385
1386
1387
1388
1389
1390
1391
1392
1393
1394
1395
1396
1397
1398
1399
1400
1401
1402
1403
1404
1405
1406
1407
1408
1409
1410
1411
1412
1413
1414
1415
1416
1417
1418
1419
1420
1421
1422
1423
1424
1425
1426
1427
1428
1429
1430
1431
1432
1433
1434
1435
1436
1437
1438
1439
1440
1441
1442
1443
1444
1445
1446
1447
1448
1449
1450
1451
1452
1453
1454
1455
1456
1457
1458
1459
1460
1461
1462
1463
1464
1465
1466
1467
1468
1469
1470
1471
1472
1473
1474
1475
1476
1477
1478
1479
1480
1481
1482
1483
1484
1485
1486
1487
1488
1489
1490
1491
1492
1493
1494
1495
1496
1497
1498
1499
1500
1501
1502
1503
1504
1505
1506
1507
1508
1509
1510
1511
1512
1513
1514
1515
1516
1517
1518
1519
1520
1521
1522
1523
1524
1525
1526
1527
1528
1529
1530
1531
1532
1533
1534
1535
1536
1537
1538
1539
1540
1541
1542
1543
1544
1545
1546
1547
1548
1549
1550
1551
1552
1553
1554
1555
1556
1557
1558
1559
1560
1561
1562
1563
1564
1565
1566
1567
1568
1569
1570
1571
1572
1573
1574
1575
1576
1577
1578
1579
1580
1581
1582
1583
1584
1585
1586
1587
1588
1589
1590
1591
1592
1593
1594
1595
1596
1597
1598
1599
1600
1601
1602
1603
1604
1605
1606
1607
1608
1609
1610
1611
1612
1613
1614
1615
1616
1617
1618
1619
1620
1621
1622
1623
1624
1625
1626
1627
1628
1629
1630
1631
1632
1633
1634
1635
1636
1637
1638
1639
1640
1641
1642
1643
1644
1645
1646
1647
1648
1649
1650
1651
1652
1653
1654
1655
1656
1657
1658
1659
1660
1661
1662
1663
1664
1665
1666
1667
1668
1669
1670
1671
1672
1673
1674
1675
1676
1677
1678
1679
1680
1681
1682
1683
1684
1685
1686
1687
1688
1689
1690
1691
1692
1693
1694
1695
1696
1697
1698
1699
1700
1701
1702
1703
1704
1705
1706
1707
1708
1709
1710
1711
1712
1713
1714
1715
1716
1717
1718
1719
1720
1721
1722
1723
1724
1725
1726
1727
1728
1729
1730
1731
1732
1733
1734
1735
1736
1737
1738
1739
1740
1741
1742
1743
1744
1745
1746
1747
1748
1749
1750
1751
1752
1753
1754
1755
1756
1757
1758
1759
1760
1761
1762
1763
1764
1765
1766
1767
1768
1769
1770
1771
1772
1773
1774
1775
1776
1777
1778
1779
1780
1781
1782
1783
1784
1785
1786
1787
1788
1789
1790
1791
1792
1793
1794
1795
1796
1797
1798
1799
1800
1801
1802
1803
1804
1805
1806
1807
1808
1809
1810
1811
1812
1813
1814
1815
1816
1817
1818
1819
1820
1821
1822
1823
1824
1825
1826
1827
1828
1829
1830
1831
1832
1833
1834
1835
1836
1837
1838
1839
1840
1841
1842
1843
1844
1845
1846
1847
1848
1849
1850
1851
1852
1853
1854
1855
1856
1857
1858
1859
1860
1861
1862
1863
1864
1865
1866
1867
1868
1869
1870
1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1889
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1898
1899
1900
1901
1902
1903
1904
1905
1906
1907
1908
1909
1910
1911
1912
1913
1914
1915
1916
1917
1918
1919
1920
1921
1922
1923
1924
1925
1926
1927
1928
1929
1930
1931
1932
1933
1934
1935
1936
1937
1938
1939
1940
1941
1942
1943
1944
1945
1946
1947
1948
1949
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025
2026
2027
2028
2029
2030
2031
2032
2033
2034
2035
2036
2037
2038
2039
2040
2041
2042
2043
2044
2045
2046
2047
2048
2049
2050
2051
2052
2053
2054
2055
2056
2057
2058
2059
2060
2061
2062
2063
2064
2065
2066
2067
2068
2069
2070
2071
2072
2073
2074
2075
2076
2077
2078
2079
2080
2081
2082
2083
2084
2085
2086
2087
2088
2089
2090
2091
2092
2093
2094
2095
2096
2097
2098
2099
2100
2101
2102
2103
2104
2105
2106
2107
2108
2109
2110
2111
2112
2113
2114
2115
2116
2117
2118
2119
2120
2121
2122
2123
2124
2125
2126
2127
2128
2129
2130
2131
2132
2133
2134
2135
2136
2137
2138
2139
2140
2141
2142
2143
2144
2145
2146
2147
2148
2149
2150
2151
2152
2153
2154
2155
2156
2157
2158
2159
2160
2161
2162
2163
2164
2165
2166
2167
2168
2169
2170
2171
2172
2173
2174
2175
2176
2177
2178
2179
2180
2181
2182
2183
2184
2185
2186
2187
2188
2189
2190
2191
2192
2193
2194
2195
2196
2197
2198
2199
2200
2201
2202
2203
2204
2205
2206
2207
2208
2209
2210
2211
2212
2213
2214
2215
2216
2217
2218
2219
2220
2221
2222
2223
2224
2225
2226
2227
2228
2229
2230
2231
2232
2233
2234
2235
2236
2237
2238
2239
2240
2241
2242
2243
2244
2245
2246
2247
2248
2249
2250
2251
2252
2253
2254
2255
2256
2257
2258
2259
2260
2261
2262
2263
2264
2265
2266
2267
2268
2269
2270
2271
2272
2273
2274
2275
2276
2277
2278
2279
2280
2281
2282
2283
2284
2285
2286
2287
2288
2289
2290
2291
2292
2293
2294
2295
2296
2297
2298
2299
2300
2301
2302
2303
2304
2305
2306
2307
2308
2309
2310
2311
2312
2313
2314
2315
2316
2317
2318
2319
2320
2321
2322
2323
2324
2325
2326
2327
2328
2329
2330
2331
2332
2333
2334
2335
2336
2337
2338
2339
2340
2341
2342
2343
2344
2345
2346
2347
2348
2349
2350
2351
2352
2353
2354
2355
2356
2357
2358
2359
2360
2361
2362
2363
2364
2365
2366
2367
2368
2369
2370
2371
2372
2373
2374
2375
2376
2377
2378
2379
2380
2381
2382
2383
2384
2385
2386
2387
2388
2389
2390
2391
2392
2393
2394
2395
2396
2397
2398
2399
2400
2401
2402
2403
2404
2405
2406
2407
2408
2409
2410
2411
2412
2413
2414
2415
2416
2417
2418
2419
2420
2421
2422
2423
2424
2425
2426
2427
2428
2429
2430
2431
2432
2433
2434
2435
2436
2437
2438
2439
2440
2441
2442
2443
2444
2445
2446
2447
2448
2449
2450
2451
2452
2453
2454
2455
2456
2457
2458
2459
2460
2461
2462
2463
2464
2465
2466
2467
2468
2469
2470
2471
2472
2473
2474
2475
2476
2477
2478
2479
2480
2481
2482
2483
2484
2485
2486
2487
2488
2489
2490
2491
2492
2493
2494
2495
2496
2497
2498
2499
2500
2501
2502
2503
2504
2505
2506
2507
2508
2509
2510
2511
2512
2513
2514
2515
2516
2517
2518
2519
2520
2521
2522
2523
2524
2525
2526
2527
2528
2529
2530
2531
2532
2533
2534
2535
2536
2537
2538
2539
2540
2541
2542
2543
2544
2545
2546
2547
2548
2549
2550
2551
2552
2553
2554
2555
2556
2557
2558
2559
2560
2561
2562
2563
2564
2565
2566
2567
2568
2569
2570
2571
2572
2573
2574
2575
2576
2577
2578
2579
2580
2581
2582
2583
2584
2585
2586
2587
2588
2589
2590
2591
2592
2593
2594
2595
2596
2597
2598
2599
2600
2601
2602
2603
2604
2605
2606
2607
2608
2609
2610
2611
2612
2613
2614
2615
2616
2617
2618
2619
2620
2621
2622
262
```

Anexo 15 Videos de evidencia del funcionamiento del prototipo de Generación eléctrica se adjunta link.

[Videos De evidencia Prototipo generación](#)