UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

DISEÑO Y MODELADO DE UN SISTEMA DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA ELECTROMECÁNICA MEDIANTE EL TRABAJO DE UN ELECTROPISTÓN

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniero Eléctrico

AUTOR: Isaac Orlando Cevallos Figueroa

TUTOR: Ing. Carlos Fernando Chávez Córdova, MScs.

Guayaquil-Ecuador

2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, ISAAC ORLANDO CEVALLOS FIGUEROA con documento de identificación N° 0955095963 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que son fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 07 de septiembre del año 2022

Atentamente,

Isaac Orlando Cevallos Figueroa

0955095963

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

Yo, ISAAC ORLANDO CEVALLOS FIGUEROA con documento de identificación No. 0955095963, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto Técnico: "DISEÑO Y MODELADO DE UN SISTEMA DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA ELECTROMECÁNICA MEDIANTE EL TRABAJO DE UN ELECTROPISTÓN", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de INGENIERO ELÉCTRICO, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Guayaquil, 07 de septiembre del año 2022

Atentamente,

Isaac Orlando Cevallos Figueroa

0955095963

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, CARLOS FERNANDO CHÁVEZ CÓRDOVA, con documento de identificación N° 0919553438, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: "DISEÑO Y MODELADO DE UN SISTEMA DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA ELECTROMECÁNICA MEDIANTE EL TRABAJO DE UN ELECTROPISTÓN" realizado por ISAAC ORLANDO CEVALLOS FIGUEROA, con documento de identificación N° 0955095963, 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.

Guayaquil, 07 de septiembre del año 2022

Atentamente,

Ing. Carlos Fernando Chávez Córdova, MScs.

0919553438

AGRADECIMIENTO

A mis queridos padres por su incondicional apoyo que me han brindado a lo largo de mi carrera profesional que son espectadores directos de todo este esfuerzo y dedicación de este caminar.

Agradezco a Dios por permitirme llegar a esta etapa de mi vida, ofreciéndole honradez y la excelencia profesional

De igual manera agradezco a mi tutor de mi trabajo de titulación, el Ing. Carlos Chávez Córdova por brindarme su experiencia, conocimiento y su predisposición para realizar un buen trabajo.

Por último, agradezco la universidad Politécnica Salesiana (UPS), y a toda su docencia académica y autoridades por mi formación.

ISAAC ORLANDO CEVALLOS FIGUEROA.

DEDICATORIA

Recordar desde el momento que me propuse como meta profesionalizarme y ver que ahora se hace realidad me llena de notable orgullo. por ello, dedico este proyecto técnico a mis padres por su apoyo incondicional, que con sus sabias palabras han ayudado prosperar en este caminar, a mis hermanas que son un pilar fundamental en mi vida y también dedico este trabajo a todas las personas que apostaron por mí, dándome la oportunidad de crecer profesionalmente.

ISAAC ORLANDO CEVALLOS FIGUEROA.

RESUMEN

El estudio principal del prototipo del proyecto del electro pistón fue realizar un diseño de conversión de energía electromecánica, que consta de cinco pistones sobre un eje rotativo, una vez diseñado se logró montar el prototipo del proyecto tal como se muestra en la sección 6.6 de Anexos, para la adquisición de datos se usó un equipo de medición Fluke, el cuál ayudo a exporta los datos en archivo (.xlsx) de Microsoft Excel, de las variables; corriente, posición y voltaje, una vez obtenido estos datos se usó los script de MATLAB® aplicando modelos de regresiones en este caso "polyfit", tal como se muestra en las secciones 6.1 a 6.3 de Anexos con el fin de poder visualizar el comportamiento de las variables que arroja el prototipo del proyecto y comprobar que tanto en las gráficas de Microsoft Excel y las Figuras de MATLAB®, tienen el mismo comportamiento, con el cálculo de cargas se logró dimensionar las baterías para que el sistema electrónico funcione correctamente y no dañe la tarjeta de Arduino, se demostró el funcionamiento del sistema electromecánico con Simulink de MATLAB®, realizando un circuito RL que consta con las características de una sola bobina, en este caso de un solo electro pistón, con este diseño de Circuito RL, se demuestra que el Modelo Dinámico tiene las mismas características de las curvas de corriente y voltaje, se procedió a calcular el rendimiento de nuestro sistema electromecánico dándonos un valor del 99,99% de eficacia.

Palabras claves:

Electropistón, Adquisición de Datos, Microsoft Excel, MATLAB®, Regresiones, Arduino, Simulink, Modelado Dinámico.

ABSTRACT

The main study of the prototype of the electro piston project was to carry out an electromechanical energy conversion design, which consists of five pistons on a rotary axis, once designed, the project prototype was assembled as shown in section 6.6 of Annexes For the acquisition of data, a Fluke measurement equipment was used, which helped to export the data in a file (.xlsx) of Microsoft Excel, of the variables; current, position and voltage, once these data were obtained, the MATLAB® scripts were used, applying regression models in this "polyfit" case, as shown in sections 6.1 to 6.3 of the Annexes in order to be able to visualize the behavior of the variables that the prototype of the project throws and verify that both in the graphics of Microsoft Excel and the Figures of MATLAB®, they have the same behavior, with the calculation of loads it was possible to dimension the batteries so that the electronic system works correctly and does not damage the Arduino card, the operation of the electromechanical system with MATLAB® Simulink was demonstrated, making an RL circuit that consists of the characteristics of a single coil, in this case a single electro piston, with this RL Circuit design, it is demonstrated Since the Dynamic Model has the same characteristics as the current and voltage curves, we proceeded to calculate the performance of our electromechanical system, giving us a vat lor of 99.99% efficiency.

Keywords:

Electropiston, Data Acquisition, Microsoft Excel, MATLAB®, Regressions, Arduino, Simulink, Dynamic Modeling.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN I

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

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN III

AGRADECIMIENTO IV

DEDICATORIA V

RESUMEN VI

Palabras claves: VI

ABSTRACT VII

Keywords: VII

ÍNDICE DE CONTENIDO VIII

ÍNDICE DE FIGURAS XIII

ÍNDICE DE TABLAS XVII

ÍNDICE DE ECUACIONES XVIII

GLOSARIO DE ABREVIATURAS XIX

GLOSARIO DE SIMBOLOGÍA XXII

GLOSARIO DE UNIDADES XXIII

1 CAPITULO I 1

1.1 Descripción del problema. 1

1.2 Alcance y beneficiarios. 1

1.3 Justificación. 2

1.4 Delimitación. 2

1.5 Objetivo. 3

1.5.1 Objetivo General. 3

1.5.2 Objetivo Específicos. 3

1.6 Marco Metodológico. 3

2 CAPITULO II 5

2.1 Sistema de conversión de energía electromecánica. 5

2.2 Técnicas de captación de energía. 6

2.3 Limitaciones de las baterías. 7

2.4 Modelado de parámetros agrupados en la parte mecánica. 8

2.5 Conservación de energía. 9

2.5.1 Energía electromecánica. 11

2.6 Diferencia entre cilindro y pistón eléctricos. 11

2.6.1 Estructura. 12

2.6.2 Material. 12

2.6.3 Control. 12

2.6.4 Empuje. 13

2.7 Diseño y modelado de un sistema de conversión de energía electromecánica. 13

2.8 Modelado dinámico y control de acoplamiento electromecánico para sistema de almacenamiento de energía mecánica. 15

2.9 Sistemas electromecánicos. 16

2.9.1 Motores eléctricos..... 16

2.9.2 Motor de CC con escobillas..... 17

2.9.3 Motor de CC sin escobillas..... 18

2.9.4 Motor paso a paso..... 19

2.9.5 Solenoides..... 19

2.9.6 Mecatrónica..... 21

3 CAPITULO III..... 22

3.1 Diseño..... 22

3.1.1 Diseño de una bobina..... 22

3.1.2 Diseño de un electro pistón y un cilindro..... 31

3.1.3 Diseño de cuerpo mecánico y sistema giratorio..... 35

3.2 Automatización..... 38

3.2.1 Modulo controlador Arduino..... 39

3.2.2 Módulo de relé de 5 vías..... 41

3.3 Modelos aplicados para las tendencias de las funciones..... 43

3.3.1 Regresión Lineal..... 43

3.3.2 Regresión Exponencial..... 43

3.3.3 Regresión Polinomial..... 43

3.3.4 Regresión Logarítmica..... 44

3.4 Adquisición de Datos..... 44

3.4.1 Aplicaciones más comunes..... 45

3.4.2 Datos Experimentales de la Corriente..... 50

3.4.3 Datos Experimentales de la Posición. 51

3.4.4 Datos Experimentales del Voltaje. 52

3.4.5 Datos Experimentales de la Resistencia. 53

3.5 Análisis Matemático del Electro pistón modelado como Circuito RL. 55

3.5.1 Ley de Voltajes de Kirchhoff aplicada en el Circuito RL 55

3.5.2 Aplicación del factor Integrante de las EDO. 56

3.5.3 Cálculo de cargas para la dimensión de una batería para una autonomía propuesta. 58

4 CAPITULO IV 60

4.1 Ecuaciones y Gráficas en Microsoft Excel: 60

4.1.1 Gráfica Experimental de la Corriente en Microsoft Excel. 60

4.1.2 Gráfica Experimental de la Posición en Microsoft Excel..... 61

4.1.3 Gráfica Experimental del Voltaje en Microsoft Excel. 62

4.2 Ecuaciones y Gráficas en MATLAB®: 63

4.2.1 Resultado Experimental de la Corriente en el Command Window..... 63

4.2.2 Gráfica Experimental de la Corriente en MATLAB. 64

4.2.3 Resultado Experimental de la Posición en el Command Window. 65

4.2.4 Gráfica Experimental de la Posición en MATLAB..... 66

4.2.5 Resultado Experimental del Voltaje en el Command Window. 67

4.2.6 Gráfica Experimental del Voltaje en MATLAB. 69

4.3 Modelado del Electro Pistón como un Circuito RL en Simulink de MATLAB®. 70

4.3.1 Elementos principales que conforman el sistema. 71

4.3.2 Gráfica de los Resultados del Modelado del Electro Pistón como un Circuito RL en Simulink de MATLAB®. 74

4.3.3 Rendimiento del Modelado del Electro Pistón como un Circuito RL en Simulink de MATLAB®. 76

5 CAPITULO V 77

5.1 Conclusiones 77

5.2 Observación 77

5.3 Recomendaciones 78

6 ANEXOS 79

6.1 Código Experimental de la Corriente en MATLAB. 79

6.2 Código Experimental de la Posición en MATLAB. 81

6.3 Código Experimental del Voltaje en MATLAB. 83

6.4 Código con Potenciómetro de Arduino. 86

6.5 Código con Pulsador de Arduino. 88

6.6 Procedimiento del diseño del Electro pistón. 90

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación de la Universidad Politécnica Salesiana - Sede Guayaquil, fuente: Google Maps. 3

Figura 2: Líneas de fuerza magnética alrededor de una barra imantada, fuente: [17, p. 371]. 23

Figura 3: Tubos Monterrey Rígido Tipo M, fuente: [18]. 25

Figura 4: Listado de Cables y sus características y propiedades, fuente: [19]. 26

Figura 5: Diseño del Cilindro y sus medidas, fuente: El Autor. 32

Figura 6: Diseño del Cilindro y Bobina con sus medidas, fuente: El Autor. 33

Figura 7: Diseño del Pistón y sus medidas, fuente: El Autor. 34

Figura 8: Carcasa Exterior y sus medidas, fuente: El Autor. 36

Figura 9: Eje Giratorio y sus medidas, fuente: El Autor. 37

Figura 10: Anillo de Sujeción y sus medidas, fuente: El Autor. 38

Figura 11: Arduino, fuente: [21]. 39

Figura 12: Especificaciones técnicas del Arduino primera parte, fuente: [21]. 40

Figura 13: Especificaciones técnicas del Arduino segunda parte, fuente: [21]. 40

Figura 14: Especificaciones técnicas del Arduino tercera parte, fuente: [21]. 41

Figura 15: Asignación de pines del Arduino, fuente: [21]. 41

Figura 16: Módulo de control de relé de 5 voltios, 5 canales, 10 amperios, fuente: [23]. 42

Figura 17: Símbolos de visualización, fuente: [26]. 45

Figura 18: Elementos de control, fuente: [26]. 46

Figura 19: Conectores de Power Logger, fuente: [26]. 46

Figura 20: Resumen del menú, fuente: [26]. 47

Figura 21: Menú del Registro, fuente: [26]. 48

Figura 22: Conexiones de fase individuales y divididas, fuente: [26]. 48

Figura 23: Conexiones de fase única, fuente: [26]. 49

Figura 24: Nota de Advertencia, fuente: [26]. 49

Figura 25: Toma de Dato Experimental de la Resistencia, fuente: El Autor. 53

Figura 26: Conexión al circuito bajo prueba, fuente: [27]. 53

Figura 27: Medición de la resistencia, fuente: [27]. 54

Figura 28: Medición de baja resistencia y advertencias, fuente: [27]. 54

Figura 29: Circuito RL modelado en Simulink de MATLAB®, fuente: El Autor. 55

Figura 30: Gráfica Experimental de la Corriente en Microsoft Excel, fuente: El Autor. 60

Figura 31: Gráfica Experimental de la Posición en Microsoft Excel, fuente: El Autor. 61

Figura 32: Gráfica Experimental del Voltaje en Microsoft Excel, fuente: El Autor. 62

Figura 33: Resultado Experimental de la Corriente en el Command Window, fuente: El Autor. 63

Figura 34: Gráfica Experimental de la Corriente, fuente: El Autor. 64

Figura 35: Resultado Experimental de la Posición en el Command Window, fuente: El Autor. 65

Figura 36: Gráfica Experimental de la Posición, fuente: El Autor. 66

Figura 37: Resultado Experimental del Voltaje en el Command Window Primera Parte, fuente: El Autor. 67

Figura 38: Resultado Experimental del Voltaje en el Command Window Segunda Parte, fuente: El Autor. 68

Figura 39: Gráfica Experimental del Voltaje, fuente: El Autor. 69

Figura 40: Modelado del Electro Pistón como un Circuito RL en Simulink de MATLAB®., fuente: El Autor. 70

Figura 41: Fuente de voltaje DC del Circuito RL en Simulink de MATLAB®, fuente: El Autor. *71*

Figura 42: Resistencia del Circuito RL en Simulink de MATLAB®, fuente: El Autor. . *71*

Figura 43: Inductancia del Circuito RL en Simulink de MATLAB®. fuente: El Autor. *72*

Figura 44: Sensor de Corriente o Amperímetro del Circuito RL en Simulink de MATLAB®. fuente: El Autor. *73*

Figura 45: Sensor de Voltaje o Voltímetro del Circuito RL en Simulink de MATLAB®. fuente: El Autor. *73*

Figura 46: Curvas del voltaje y corriente del circuito RL en Simulink de MATLAB®., fuente: El Autor. *74*

Figura 47: Curvas de las Potencias de Entrada y Salida del circuito RL en Simulink de MATLAB®., fuente: El Autor. *75*

Figura 48: Cálculo del Rendimiento del circuito RL en Simulink de MATLAB®., fuente: El Autor. *76*

Figura 49: Bobina de 300 espiras de 300 espiras y de alambra de cobre esmaltado calibre numero 18 AWG, enrollado sobre un cilindro hueco de cobre, fuente: El Autor. *90*

Figura 50: Vista superior de la construcción de la bobina en un cilindro de cobre con su respectivo pistón diseñado a la medida necesaria para el funcionamiento requerido, fuente: El Autor. *91*

Figura 51: Vista lateral del pistón con su respectivo cilindro de cobre, fuente: El Autor. *92*

Figura 52: Construcción del pistón de hierro, y del sistema mecánico que hace posible la unión del brazo de biela y de los pasadores o topes como punto de sujeción de ambas piezas, fuente: El Autor. *93*

Figura 53: Pistón y sus componentes, libre de impurezas y polvo, garantizando así el perfecto deslizamiento dentro del cilindro lugar donde opera al ser sometido a campos magnéticos, fuente: El Autor. *94*

Figura 54: Cilindro con su respectiva bobina, fuente: El Autor. *95*

Figura 55: Perspectiva para la visualización de los muelles de soporte del pistón, fuente: El Autor. *96*

Figura 56: Eje mecánico de rotación sobre el eje y del anillo de sujeción de bielas respectivamente, que consta de pasadores o pines que hacen posible la unión de los cuerpos mecánicos en el eje, fuente: El Autor. *97*

Figura 57: Vista superior del montaje del sistema electromecánico y todo sus componentes y piezas internas, fuente: El Autor. *98*

Figura 58: Conexiones eléctricas de la bobina, fuente: El Autor. *99*

Figura 59: Vista lateral del montaje de la bobina sobre sus ejes de sujeción y el conexionado eléctrico, fuente: El Autor. *100*

Figura 60: Vista inferior del sistema de sujeción mecánica de los componentes electromecánicos respectivamente, fuente: El Autor. *101*

Figura 61: Ensamble de todos los componentes del sistema electromecánico, fuente: El Autor. *102*

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Descripción del Proyecto, fuente: El Autor. *22*

Tabla 2: Características y tipo de material del conductor, fuente: El Autor. *27*

Tabla 3: Valores de la permeabilidad relativa de algunos materiales, fuente: [20, p. 28]. *28*

Tabla 4: Datos Experimentales de la Corriente, fuente: El Autor. *50*

Tabla 5: Datos Experimentales de la Posición, fuente: El Autor. *51*

Tabla 6: Datos Experimentales del Voltaje, fuente: El Autor. *52*

Tabla 7: Cálculo de cargas para la dimensión de una batería para una autonomía propuesta, fuente: El Autor. *58*

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Flujo Magnético, fuente: El Autor. *27*

Ecuación 2: Permeabilidad Relativa, fuente: El Autor. *28*

Ecuación 3: Reluctancia formula normal, fuente: El Autor. *29*

Ecuación 4: Reluctancia con su unidad, fuente: El Autor. *29*

Ecuación 5: Densidad de Flujo Magnético, fuente: El Autor. *29*

Ecuación 6: Fuerza Magnetomotriz, fuente: El Autor. *30*

Ecuación 7: Intensidad de Campo Magnético, fuente: El Autor. *30*

Ecuación 8: Regresión Lineal, fuente: [24]. *43*

Ecuación 9: Regresión Exponencial, fuente: [24]. *43*

Ecuación 10: Regresión Polinomial, fuente: [24] *43*

Ecuación 11: Regresión Logarítmica, fuente: [24] *44*

Ecuación 12: Ley de Voltajes de Kirchhoff, fuente: [28]. *55*

Ecuación 13: Factor Integrante aplicado en el Circuito RL, fuente: [29] *56*

Ecuación 14: Corriente en función del tiempo, con la condición inicial de $io = 0$ *[A], fuente: El Autor.* *58*

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

A	→	Área.
ANSI	→	Instituto Americano de Estándares Nacionales.
ASTM	→	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.
AUTOCAD	→	Software de Diseño Asistido por Computadora.
AUTODESK	→	Software para el Diseño en 2D y 3D.
AWG	→	Calibre de Alambre Estadounidense.
B	→	Densidad de Flujo Magnético.
BLE	→	Bluetooth Low Energy (Bluetooth de Baja Energía).
CA	→	Corriente Alterna.
CC	→	Corriente Continua.
Cu	→	Cobre.
DC	→	Corriente Continua.
DSLR	→	Lentes Monoculares Réflex Digitales.
EDO	→	Ecuaciones Diferenciales Ordinarias.
ES	→	Almacenamiento de Energía.
Etc.	→	Etcétera.
FD	→	Factor de Demanda.
FEM	→	Fuerza Electromotriz.
Fmm	→	Fuerza Magnetomotriz.

Gral.	→	General.
H	→	Intensidad de Campo Magnético.
HPC	→	Herramienta Innovadora de Computación de Alto Rendimiento.
INEN	→	Instituto Ecuatoriano de Normalización.
I	→	Intensidad o Corriente.
IoT	→	Internet de las Cosas.
KCL	→	Ley de Corrientes de Kirchhoff.
KVL	→	Ley de Voltajes de Kirchhoff.
L	→	Longitud.
M	→	Tipo M (Modelo).
MATLAB	→	MATrix LABoratory, (Laboratorio de Matrices).
MScs.	→	Máster en Ciencias en Ingeniería Eléctrica.
N	→	Norte (En Texto).
N	→	Número de Vueltas (En Ecuaciones).
NEMA	→	Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos.
NETA	→	Asociación Internacional de Pruebas Eléctricas.
NTE	→	Normas Técnica Ecuatoriana.
PMU	→	Unidad de Medición Fasorial.
S.F.	→	Sin Fecha.
S	→	Sur.

SDOF	→	Análisis de un Solo Grado de Libertad.
SNI	→	Sistema Nacional Interconectado.
T	→	Tesla.
UPS	→	Universidad Politécnica Salesiana.
USB	→	Universal Serial Bus.
VAC	→	Voltaje en Corriente Alterna.
VDC	→	Voltaje en Corriente Directa.
WAMS	→	Sistema de Monitoreo de Área Extendida.
WIFI	→	Wireless Fidelity (Fidelidad inalámbrica).

GLOSARIO DE SIMBOLOGÍA

®	→	Marca Registrada.
°C	→	Grados Centígrados.
°F	→	Grados Fahrenheit.
Ø	→	Phi o Flujo Magnético.
μ	→	Permeabilidad.
μr	→	Permeabilidad Relativa.
π	→	Pi.
ℜ	→	Reluctancia.
Ω	→	Ohmio(s).
₡	→	Constante(s).
3Ø	→	Trifásico(s).

GLOSARIO DE UNIDADES

A	→	Amperio(s).
Ah	→	Amperio(s) Hora(s).
At	→	Amperio(s) Vuelta(s).
At/m	→	Amperio(s) Vuelta(s) sobre metro(s).
G/ml	→	Gramo(s) por mililitro(s).
G/mol	→	Gramo(s) por mol.
Kg	→	Kilo gramo(s).
Kg/Km	→	Kilo gramo(s) sobre Kilo metro(s).
Km	→	Kilo metro(s).
m/Kg	→	Metro(s) sobre Kilo gramo(s).
mm	→	Mili-Metro(s).
m^2	→	Metro(s) Cuadrado(s).
min	→	Minuto(s).
Ohm/Km	→	Ohm(ios) sobre Kilo metro(s).
V	→	Voltio(s).
VA	→	Voltio(s) Amperio(s).
W	→	Watt(s) o Vatio(s).
Wb	→	Weber(s).
Wb/At	→	Weber(s) por Amperio(s)-Vuelta(s).

Wb/At.m → Weber(s) por Amperio(s)-Vuelta(s) metro(s).

Wb/m^2 → Weber(s) sobre Metro(s) Cuadrado(s).

1 CAPITULO I

1.1 Descripción del problema.

Como es de conocimiento general, los motores que utilizan en su sistema combustibles fósiles (gasolina, gasóleo) presentan varios tipos de impactos en el medio ambiente, empezando por los problemas de contaminación ambiental por su alto grado de emisión de gases, lo cual genera de manera progresiva la destrucción de la capa de ozono, una alteración en el efecto invernadero, lluvias acidas, entre otros.

Además, las reservas petroleras generadoras de tipos de combustibles fósiles son limitadas, es decir, llegara a un momento en el que estos recursos van a escasear. Por lo tanto, mediante este tema se pretende desarrollar un sistema que aproveche la energía magnética como propulsión.

El desarrollo del tema propuesto se visualiza como una opción para erradicar todos los problemas antes mencionados, con esto se presenta una idea sustentable que será beneficioso en la conservación, preservación y protección de los diversos recursos naturales.

1.2 Alcance y beneficiarios.

Este proyecto se enfoca en el estudio de un electro pistón planteando un diseño de conversión de energía electromecánica de cinco pistones sobre un eje rotativo, obteniendo como resultado el análisis del voltaje, corriente y potencia que ejerce el campo magnético creado por una bobina sobre un pistón.

El principal beneficiario del presente proyecto de titulación son los diversos estudiantes de las carreras de Ingeniería, en especial los de la carrera de Ingeniería en Electricidad de la UPS sede Guayaquil, con el objetivo de que este desarrollo sirva como material didáctico y análisis para un mejor desarrollo de la materia “Dinámica de las maquinas”.

Este proyecto servirá además para que futuros investigadores puedan seguir analizando y estudiando el comportamiento de la fuerza de los campos magnéticos que ejercen sobre un pistón, y así poder implementarlo y proponerlo como una alternativa para reducir la contaminación ambiental, misma que es causada por los motores de eje rotativo convencionales que emanan gases tóxicos al ambiente.

1.3 Justificación.

En la actualidad se han desarrollado diversos tipos motores que buscan minimizar los impactos y problemas ambientales, las industrias automotrices han buscado generar opciones amigables con el medio ambiente. La visión es prescindir de la utilización de los combustibles fósiles (nafta y gasoil) para así reducir los índices de contaminación ambiental.

Este proyecto busca ser parte de la iniciativa antes mencionada, enfocándose en proponer un sistema rotativo magnetomotriz que no utilice combustibles fósiles, sino que aproveche la energía resultante de la fuerza de campo magnético de una bobina.

Además, esta propuesta busca colaborar en la formación académica de los diferentes estudiantes de las carreras de Ingeniería, en especial los de la carrera de Ingeniería en Electricidad de la UPS sede Guayaquil

1.4 Delimitación.

El diseño y modelado del sistema electromecánico será realizado en el laboratorio de motores (Edificio Bloque F) de la UPS sede Guayaquil, Campus Centenario, y la ubicación se encuentra en la calle General Francisco Robles 107.

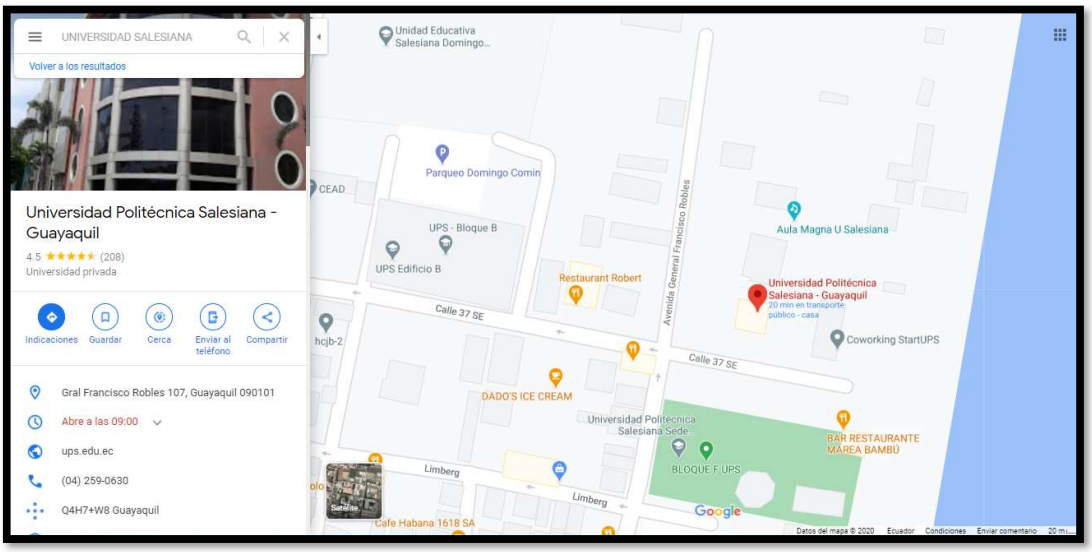


Figura 1: Ubicación de la Universidad Politécnica Salesiana - Sede Guayaquil, fuente: Google Maps.

1.5 Objetivo.

1.5.1 Objetivo General.

Simular el funcionamiento de un sistema electromecánico que demuestre el trabajo de un electro pistón.

1.5.2 Objetivo Específicos.

1. Diseñar e implementar un electro pistón.
2. Dimensionar un sistema de baterías para una autonomía propuesta de funcionamiento.
3. Demostrar el funcionamiento del sistema electromecánico con la simulación matemática.

1.6 Marco Metodológico.

Dado que el objetivo del estudio será simular el funcionamiento de un sistema electromecánico, se iniciará el diseño de una bobina usando un alambre de cobre especifico y un cilindro cuyas medidas específicas darán iniciativa al diseño de un pistón y un cuerpo mecánico con la función de obtener un sistema rotativo. para esta etapa del

desarrollo se utilizará un producto de AUTODESK (AUTOCAD). Con el que obtendremos los siguientes productos validados.

Producto 1. Plano de piezas de una bobina

Producto 2. Plano de piezas de un pistón.

Producto 3. Plano de piezas cuerpo mecánico y sistema giratorio

Posterior a la verificación y funcionabilidad del sistema rotativo mecánico se procede a la construcción de las partes eléctricas y mecánicas del sistema electromecánico.

En este punto se prevé hacer todas las pruebas de laboratorio al sistema electromecánico que nos dará como resultado el giro del rotor a través de la impulsión del pistón resultante a la fuerza de los campos magnéticos creados por la bobina.

En esta etapa se procede al análisis y la obtención de los datos experimentales y comportamiento eléctrico utilizando un analizador de redes Fluke 1735 y mecánico.

Eléctrico: Corriente(A) Y voltaje(V) en unidades de tiempo.

Mecánico: Fuerza (Kg).

Para demostrar matemáticamente el funcionamiento del sistema electromecánico, se realiza la propuesta y modelamiento matemático que describa el funcionamiento, analizando la fuerza (Kg) que ejerce un electro pistón. esta simulación matemática se la desarrollara utilizado MATLAB®.

Por último, a la obtención de datos teóricos y experimentales de estudiar la factibilidad de un sistema de batería con una autonomía propuesta para el sistema eléctrico.

2 CAPITULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Sistema de conversión de energía electromecánica.

Un dispositivo electromecánico puede convertir la energía eléctrica en energía mecánica, o viceversa, lo que es posible a través del campo magnético del dispositivo. Los diferentes tipos de dispositivos apelan a este principio y operan de acuerdo con procesos físicos similares. Ejemplos son los transductores usados en instrumentación o los actuadores usados en los accionamientos electromecánicos, denominados motores; si producen fuerza o par, o generadores cuando producen energía eléctrica.

Entre los métodos para generar energía mecánica a partir de energía eléctrica, se destacan los siguientes: la interacción de dos campos magnéticos, por ejemplo, un conductor que transporta corriente en un campo magnético; un material ferromagnético que se desplaza hacia la reducción de la reticencia de su circuito magnético; la magnetostricción o deformación de un material ferromagnético en un campo magnético; y el efecto piezoeléctrico en la aplicación de un potencial eléctrico a un cristal piezoeléctrico.

En el análisis del principio de funcionamiento de un dispositivo electromecánico y el respectivo proceso de conversión de energía, se puede asumir que desde el punto de vista energético se presentan tres ventajas principales: la formulación del problema se simplifica, las metodologías de análisis se deducen fácilmente y se pueden realizar pruebas experimentales para confirmar el análisis adoptado.

Además de las ventajas anteriores, la aplicación del método clásico de trabajo virtual hace que la solución del problema sea independiente de la complejidad geométrica del problema, que puede ser considerable en algunos dispositivos. La renuencia magnética es una medida de la oposición al flujo magnético que atraviesa el circuito magnético.

Si se permite que una de las partes del circuito magnético se mueva, entonces, el sistema intentará reconfigurarse a una nueva forma geométrica, correspondiente a la configuración con la mínima reticencia magnética.

Las máquinas de CC, de inducción y síncronas se utilizan ampliamente para la conversión de energía electromecánica. Cuando la conversión tiene lugar de forma eléctrica a mecánica, el dispositivo se llama motor, y cuando la energía mecánica se transforma en energía eléctrica, el dispositivo es nombrado como generador. En estas máquinas, la conversión de energía de forma eléctrica a mecánica o viceversa resulta de los dos fenómenos electromagnéticos siguientes:

1. Cuando se permite que un conductor circule en un campo magnético, se induce un voltaje en el conductor.
2. Cuando un conductor tiene en su interior corriente se presenta un campo magnético, eso nos indica que el conductor experimenta una fuerza mecánica.

En la acción de monitoreo, la corriente fluye a través de los conductores colocados en un campo magnético. Se produce una fuerza en cada conductor. Los conductores se colocan en el rotor que se puede mover libremente. Un par electromagnético producido en el rotor se transfiere al eje del rotor y se puede utilizar para impulsar una carga mecánica [1].

Si se conecta una carga eléctrica al devanado formado por estos conductores, fluirá una corriente, entregando energía eléctrica a la carga. Además, la corriente que fluye a través de los conductores interactuará con el campo magnético para producir un par de reacción, que tenderá a oponerse al par desarrollado por el motor primario.

2.2 Técnicas de captación de energía.

Es el proceso que consiste en la conversión o transformación de la energía ambiental presente en el medio ambiente en energía eléctrica directamente disponible. Debido a las

pequeñas cantidades de energía disponible en el ambiente circundante, típicamente, la recolección de energía se aplica para suministrar dispositivos electrónicos de baja potencia y pequeña escala [2].

El dispositivo de destino puede accionarse de forma sincrónica, utilizando de inmediato la energía recuperada, o de forma asincrónica, recargando los sistemas de almacenamiento temporal como supercondensadores o baterías de litio de película delgada para uso futuro. Los condensadores se prefieren generalmente como sistemas de almacenamiento temporal por su mayor vida útil, mayor densidad de potencia y recarga rápida.

La energía presente en el ambiente circundante se puede clasificar en cinco categorías diferentes: cinética (movimiento mecánico como energía biológica, fuentes vibratorias o intermitentes), fotónica (como fuentes de luz), térmica (gradientes de temperatura o variación de tiempo), electromagnética (como electromagnética). diferencias de campo u ondas electromagnéticas), y estructura-poder autófago.

2.3 Limitaciones de las baterías.

Los dispositivos electrónicos inalámbricos autónomos son dispositivos muy atractivos. En una red de IoT e incluso en un dispositivo independiente, la ausencia de cables significa facilidad de instalación, implementación y reimplementación. Por lo general, estos dispositivos funcionan con baterías, por lo que, si por un lado presentan la ventaja de ser inalámbricos, por otro lado, se ven afectados por las limitaciones características de las propias baterías [1].

La diferencia entre la vida útil del dispositivo y la batería es fundamental. aspecto. Como el dispositivo siempre está diseñado para funcionar durante un período más largo que la duración de la batería, en algún momento es necesario reemplazarlo o recargarlo. Además

de la interrupción del servicio durante la sustitución, se deben considerar los costos de mantenimiento, especialmente cuando se implementa una gran cantidad de dispositivos en una red.

Otro aspecto por considerar es la autodescarga. En el caso de sistemas electrónicos de muy baja potencia, o sistemas inactivos la mayor parte del tiempo, considerando el consumo de energía promedio y la capacidad de la batería, se puede esperar teóricamente tener un dispositivo operativo durante un período de tiempo muy extenso. Sin embargo, debido a reacciones químicas internas, las baterías se descargan automáticamente con el tiempo y el siguiente agotamiento se convierte en un factor limitante.

2.4 Modelado de parámetros agrupados en la parte mecánica.

En la recolección de energía cinética, el proceso de extracción de energía consiste en transferir la energía mecánica de la fuente a una masa inercial mediante la aplicación directa de una fuerza o haciendo uso de la fuerza inercial. Se considera el modelo de parámetros agrupados que consiste en un sistema de un solo grado de libertad (SDOF) masa-resorte-amortiguador de segundo orden [3].

Sin embargo, siendo este sistema intrínsecamente relativamente pobre desde el punto de vista de la densidad modal, normalmente está presente una clara separación entre el primer modo de flexión y las otras frecuencias de resonancia. Como el primer modo de flexión proporciona la conversión electromecánica más eficaz, el modelo SDOF sigue siendo realista en aras de la simplicidad cuando el sistema mecánico se excita alrededor de su primera frecuencia de resonancia o la masa oscila libremente después de una entrada de choque.

La potencia instantánea que fluye hacia el sistema, lado izquierdo, es igual a la potencia absorbida por el amortiguador, disipada o recolectada, más la tasa de cambio de tiempo

de la suma de las energías cinética y de deformación, lado derecho. Si no hay amortiguación, c = 0, toda la potencia se dirige a la acumulación de energía del sistema, la amplitud de oscilación aumenta y no se alcanza el estado estable.

Esta consideración es importante para evitar considerar posibles escenarios de "no amortiguación" a partir de los resultados obtenidos para condiciones de estado estacionario. En aplicaciones reales, la amortiguación siempre está presente.

Los generadores rotativos que aprovechan la conversión electromagnética se aplican ampliamente en muchos campos, desde generadores de energía a gran escala hasta dínamos de bicicleta o relojes cinéticos, en el campo de la acumulación de energía, un gran atractivo se centra en los transductores lineales para recolectar energía de las vibraciones [4].

La conversión piezoeléctrica es una tecnología bien establecida para convertir energía mecánica en eléctrica y viceversa. Los materiales piezoeléctricos se emplean ampliamente en sensores y actuadores comerciales y representan una forma prometedora en el campo de la recolección de energía cinética. Las propiedades piezoeléctricas se derivan de la estructura dipolar de tales materiales.

Cuando se somete a una fuerza mecánica, el material se polariza eléctricamente. Este fenómeno se denomina efecto directo piezoeléctrico y el nivel de polarización es proporcional a la deformación mecánica inducida por la fuerza aplicada.

2.5 Conservación de energía.

Según el principio de conservación de la energía, está no se logra crearse ni destruirse, solo se logra transformar de un estado a otro, para la conversión de energía entre formas eléctricas y mecánicas, se desarrollan dispositivos electromecánicos. En general, se pueden dividir en tres categorías:

1. Transductores (para medición y control) Estos dispositivos transforman las señales de diferentes formas. Algunos ejemplos son micrófonos, pastillas y altavoces.
2. Dispositivos productores de fuerza (movimiento lineal) Este tipo de dispositivos producen fuerzas principalmente para accionamientos de movimiento lineal, como relés, solenoides (actuadores lineales) y electroimanes [5].
3. Equipos de conversión de energía continua Funcionan en modo rotativo. Un dispositivo sería conocido como generador si convierte energía mecánica en energía eléctrica, o como motor si lo hace al revés (de eléctrico a mecánico).

Dado que la permeabilidad de los materiales ferromagnéticos es mucho mayor que la permitividad de los materiales dieléctricos es más ventajosa utilizar un campo electromagnético como medio para la conversión de energía electromecánica. Consta de un subsistema eléctrico (circuitos eléctricos como devanados), un subsistema magnético (campo magnético en los núcleos magnéticos y espacios de aire) y un subsistema mecánico (partes mecánicamente móviles como un émbolo en un actuador lineal y un rotor en una máquina eléctrica giratoria).

Los voltajes y corrientes se utilizan para describir el estado del subsistema eléctrico y se rigen por las leyes básicas de los circuitos: ley de Ohm, KCL y KVL. Se puede describir en términos de posiciones, velocidades y aceleraciones, y está regido por las leyes de Newton [2].

El subsistema o campo magnéticos encaja entre los subsistemas eléctrico y mecánico y actúa como un "transbordador" en la transformación y conversión de energía. Las cantidades de campo, como el flujo magnético, la densidad de flujo y la intensidad del campo, se rigen por las ecuaciones de Maxwell. Cuando se acopla con un circuito

eléctrico, el flujo magnético que interactúa con la corriente en el circuito produciría una fuerza o par en una parte mecánicamente móvil.

Por otro lado, el movimiento de la parte móvil podría variar el flujo magnético que une el circuito eléctrico e inducir una fuerza electromotriz (FEM) en el circuito. El producto del par y la velocidad (potencia mecánica) es igual al componente activo del producto de la FEM y la corriente. Por lo tanto, la energía eléctrica y mecánica se inter convierten a través del campo magnético.

2.5.1 Energía electromecánica.

La energía electromecánica consta de varios sistemas que son híbridos, los cuales tienen variables mecánicas y eléctricas, para ello tienen aplicaciones en los componentes electromecánicos el cual logran abarcar el espectro o hasta sistemas electrónicos como son el sistema de control de los robots, electrodomésticos, rastreadores, control de precisión, discos duros para computadoras o laptops, o también en sistemas digitales como corriente continua como son los motores DC.

Se conoce que hasta la actualidad el mejor ejemplo de dispositivos electromecánicos son las diversas maquinas eléctricas debido a la frecuencia de uso a nivel diario, ya que estos dispositivos convierten energía mecánica en energía eléctrica, ese principio se lo observa en las centrales de hidroeléctrica como, por ejemplo: La central de Paute, otro convertido de energía es el motor, ya que convierte energía eléctrica en mecánica y eso se lo observa en los ejes de un motor [6].

2.6 Diferencia entre cilindro y pistón eléctricos.

Se conoce que los cilindros que funcionan a partir de energía eléctrica constan de actuadores lineales y eléctricos, y el pistón eléctrico se lo conoce como ariete elevador, el funcionamiento parte del motor eléctrico el cual impulsa varias rotaciones de tornillo

con el fin de transformador la tuerca en un movimiento lineal, el funcionamiento principal es el de empujar, levantar o tirar mediante un movimiento, a continuación, se presenta un análisis especifico:

2.6.1 Estructura.

Para la estructura del pistón, la tuerca que se encuentra en el inferior del pistón eléctrico hay un espacio entre la varilla y la tuerca, por lo general el motor utilizado es uno de corriente alterna, aunque también funciona con corriente continua, ya que la repetibilidad en la posición es muy pequeña y la vida útil se acorta [7].

Dentro de la estructura se implementa un motor como servomotor, y la distancia que une es mínima por lo que se casi nula, por ende, el cilindro eléctrico tiene una alta repetibilidad de posición, puede moverse varias veces a cualquier posición después de la programación, y consta con más aplicaciones y una larga vida útil con una estimación de 100000 km aproximadamente.

2.6.2 Material.

El material en el cual está hecho el pistón eléctrico es con un tornillo trapezoidal que generalmente se encuentra conectado a un motor de engranajes con una varilla tipo turbina la cual sirve para la transmisión, por ende, la eficacia disminuye.

2.6.3 Control.

Para el control del pistón eléctrico solo logra controlar las 2 posiciones de punto 0 y carrera máxima, una ventaja es que el cilindro eléctrico puede arrancar y detenerse en cualquier posición.

2.6.4 Empuje.

El pistón eléctrico y su función principal es lograr realizar una acción de movimiento el cual sea de empuje y tracción, para ello el peso máximo de empuje se estima que no supere las 10 toneladas.

Se conoce que los cilindros eléctricos logran realizar un empuje de hasta 35 toneladas o hasta un poco más de peso, el pistón eléctrico consta con una estructura básica, empuje bajo, ciclo de trabajo bajo, procedimiento de control simple, valor en el mercado bajo y es usado para realizar procesos básicos o complejos [8].

En cuanto a los cilindros eléctricos, netamente los cilindros que son servos eléctricos se utilizan más ampliamente en diferentes industrias.

2.7 Diseño y modelado de un sistema de conversión de energía electromecánica.

Es de conocimiento público que el control robusto de alta eficiencia y el diseño óptimo para una amplia gama de aplicaciones de los sistemas de conversión de energía modernos representan problemas de investigación abiertos y desafiantes. La síntesis de esquemas de control robustos donde se exigen indicadores de alto desempeño debe considerar la supresión de incertidumbres.

Se pueden diseñar nuevos métodos de identificación de sistemas en línea para estimar parámetros desconocidos. Otro tema de investigación pertinente es el desarrollo de técnicas efectivas de estimación en línea para una amplia variedad de perturbaciones para diversos sistemas complejos de conversión de energía. La información oportuna de las perturbaciones y los parámetros del sistema se puede utilizar para un control robusto, implementación, detección de fallas y diagnóstico [4].

Otros temas de interés incluyen la aplicación de tecnologías innovadoras de electrónica de potencia para la implementación de controladores avanzados y técnicas de

identificación, así como el desarrollo de topologías de convertidores de pulsos múltiples para reducir la distorsión armónica no deseada de curvas de onda de tensiones y corrientes.

Por otro lado, el aumento exponencial en el uso de componentes electrónicos de potencia en los sistemas modernos de conversión de energía ha creado varios desafíos de diseño interrelacionados, como tensiones dieléctricas, mecánicas y térmicas, contenido de armónicos y pérdidas por corrientes parásitas, debido a los pulsos repetitivos de convertidores modernos de alta potencia que operan a frecuencias de conmutación muy altas.

El uso de herramientas de optimización del diseño puede maximizar la eficiencia al tiempo que reduce los costos de fabricación y operación de dichos sistemas, lo que resulta en diseños altamente eficientes, livianos y rentables. Sin embargo, este es un problema complejo de múltiples objetivos y multifásica que implica una gran carga computacional. Por lo tanto, el desarrollo de herramientas matemáticas y numéricas computacionalmente eficientes para un diseño óptimo sigue siendo un tema abierto y desafiante [3].

Este número especial tiene como objetivo presentar resultados significativos recientes sobre modelado, diseño óptimo, identificación de sistemas, estimación de parámetros, armónicos y perturbaciones, control robusto y detección y diagnóstico de fallas para diversos sistemas de conversión de energía, así como su integración con tecnologías energéticas emergentes.

En este contexto, los estudios novedosos relacionados (pero no limitados) a la energía eólica, solar, química, electromecánica, sistemas de conversión de energía electromagnética, incluidos sus componentes, y otras aplicaciones de control de sistemas

de energía eléctrica y aplicaciones industriales son bienvenidos. Los artículos originales de investigación y revisión son bienvenidos [9].

Los temas potenciales incluyen, entre otros, los siguientes:

- Diseño electromagnético óptimo.
- Transformadores, incluidas aplicaciones de potencia, distribución y electrónica de potencia.
- Materiales novedosos (por ejemplo, materiales magnéticos, conductores o dieléctricos) para el diseño de sistemas modernos de conversión de energía.
- Herramientas innovadoras de computación de alto rendimiento (HPC) para modelado, simulación y diseño de sistemas de conversión.
- Sistemas de conversión de energía renovable.
- Maquinaria eléctrica.
- Distorsión armónica.
- Convertidores de potencia.
- PMU / WAMS para protección y control de sistemas eléctricos modernos.
- Sistemas de almacenamiento de energía de batería para mejorar el rendimiento del sistema de energía.

2.8 Modelado dinámico y control de acoplamiento electromecánico para sistema de almacenamiento de energía mecánica.

El equilibrio de energía es la base para el funcionamiento estable de la misma, que con frecuencia se ve perturbado por algunos factores, como fallas y generaciones de energía intermitentes. Estos comportamientos amenazantes pueden provocar oscilaciones entre las unidades generadoras y los sistemas interconectados, y peor aún, que probablemente provoquen graves apagones a gran escala en el sistema eléctrico [10].

Actualmente, uno de los principales métodos para resolver el desequilibrio de energía es reservar una capacidad de reserva adecuada para el sistema, lo que no solo aumenta la inversión, sino que también reduce la utilización de equipos eléctricos. Con el avance de las tecnologías de almacenamiento de energía (ES), se ha prestado cada vez más atención a una nueva forma de utilizar la tecnología de almacenamiento de energía para resolver el desequilibrio energético.

Los estudios preexistentes han demostrado que revelar la ley de interacción electromecánica desde el punto de vista de la energía es una solución eficaz para investigar las características dinámicas de un sistema electromecánico complejo [11].

El dispositivo mecánico se tiene en cuenta en el análisis del acoplamiento electromecánico, lo que puede acercar la investigación a la realidad. Especialmente para los resortes mecánicos en espiral de gran calidad e inercia, descuidar su influencia hará que los resultados sean inexactos, incluso no disponibles.

2.9 Sistemas electromecánicos.

Casi todos los dispositivos móviles funcionan con un sistema electromecánico. Aquellos están presentes en la mayoría de los motores eléctricos, solenoides y mecatrónica. Desde ventanas y asientos eléctricos de vehículos hasta lavadoras y secadoras, muchos de los productos que usamos en nuestra vida diaria se basan en estos sistemas. Estos son los tres sistemas y dispositivos electromecánicos más comunes y cómo funcionan [12].

2.9.1 Motores eléctricos.

Los motores eléctricos son esencialmente máquinas eléctricas que convierten la energía eléctrica (electricidad) en energía mecánica (par) mediante un sistema de engranajes y campos magnéticos, impulsados por un sistema eléctrico. Pueden derivar energía de varias fuentes de corriente continua (CC) y corriente alterna (CA), incluidas baterías y

rectificadores (fuentes de CC) y redes eléctricas, inversores y generadores eléctricos (fuentes de CA). Los productos comunes que usan motores eléctricos incluyen ventiladores, licuadoras y ventanas eléctricas.

Por supuesto, los motores eléctricos no se limitan solo a aplicaciones domésticas. Están intrínsecamente ligados a algunas de las cosas que hacen posible la globalización. Por ejemplo, los motores eléctricos se utilizan para propulsar algunos de los buques de carga más grandes que entregan mercancías de todo el mundo para el consumo interno [13].

También se utilizan para comprimir petróleo y gas natural para que pueda viajar de manera segura a través de los kilómetros de tuberías que conectan bien y la refinería, una aplicación que se ha vuelto cada vez más vital a medida que la población mundial y el consumo de tecnología continúa creciendo con un apetito por energía para igualar.

En resumen, hay muchos tipos y tamaños de motores eléctricos disponibles, con tres categorías principales que operan en el rango de voltaje más bajo (6-24 voltios). Estos son:

1. Motores de CC con escobillas.
2. Motores sin escobillas.
3. Motores paso a paso.

2.9.2 Motor de CC con escobillas.

Un motor de CC con escobillas es aquel motor eléctrico conmutado internamente diseñado para funcionar con una fuente de alimentación de corriente continua. El motor consta de varias partes clave. Los imanes permanentes, también conocidos como imanes de estator, están ubicados en el exterior de la carcasa del motor, son positivos en un lado y negativos en el otro [14].

Durante el funcionamiento, las escobillas de metal entran en contacto con el conmutador; a medida que se aplica voltaje de CC a las escobillas de metal, la corriente se transfiere al conmutador, lo que hace que el campo magnético alrededor de las bobinas del inducido cambie de modo que las bobinas giren entre imanes permanentes. Las características de velocidad y par de un motor con escobillas se pueden modificar para adaptarse a la fuente de alimentación.

Entre los beneficios asociados con los motores de CC con escobillas se incluyen un costo de adquisición relativamente bajo, facilidad de operación (simplemente conecte una fuente de alimentación de CC) y una salida de alto par a bajas velocidades, lo que puede ser útil cuando hay una carga en el motor al arrancar [15].

Los motores cepillados se usan comúnmente para propulsión eléctrica, grúas, máquinas de papel y laminadores de acero, pero la verdad es que se usan prácticamente en todas partes.

Dado que las escobillas se desgastan y requieren reemplazo, los motores de CC sin escobillas que utilizan dispositivos electrónicos de potencia han desplazado a los motores con escobillas de muchas aplicaciones.

Dicho esto, los motores eléctricos de CC con escobillas deberían merecer cierto grado de reverencia, incluso si los motores de CC sin escobillas los reemplazan en algunas aplicaciones. Los motores de CC con escobillas fueron los primeros en ofrecer viabilidad comercial en términos de impulsar la energía mecánica, por lo que sin duda desempeñaron un papel importante en la configuración del mundo que conocemos hoy.

2.9.3 Motor de CC sin escobillas.

Son motores que funcionan con electricidad de CC. Consiste en imanes permanentes conectados al rotor y bobinas de estator fijas (electroimanes). A medida que el rotor gira,

uno o más sensores cerca de su borde envían una señal a un circuito de control que energiza las bobinas del estator en una secuencia [16].

Las ventajas son la longevidad (las escobillas que se utilizan en los motores con escobillas pueden desgastarse con el tiempo, lo que a su vez reduce la vida útil general del motor), alta relación potencia / peso, alta velocidad y control electrónico. Dado que un motor sin escobillas está controlado por una computadora, es mucho más preciso.

2.9.4 Motor paso a paso.

Los motores paso a paso, a variedad de los motores de CC sin escobillas, los motores paso a paso no requieren ningún sensor. Tienen un rotor de imán permanente en el centro que puede girar libremente dentro de las bobinas fijas del estator. Utilizando un circuito impulsor, se bombea corriente a las bobinas periódicamente, lo que genera un campo magnético.

Repeler el extremo del imán con la misma polaridad que la bobina y atraer al otro hace que el imán gire y el motor funcione. En un nivel más granular, el imán interior está dividido en muchas secciones, parecidas a los dientes que encontraría, por ejemplo, en una rueda dentada utilizada en un reloj.

2.9.5 Solenoides.

Un solenoide es un tipo de electroimán que genera un campo magnético controlado cuando la corriente pasa a través de su cable para crear un movimiento lineal. También se puede utilizar como inductor, en lugar de electroimán, lo que impide cambios en la corriente eléctrica. Un solenoide consiste en una bobina de alambre en forma de sacacorchos envuelto alrededor de un pistón, a menudo de hierro [3] .

Dado que los solenoides usan electroimanes, que pueden encenderse y apagarse mediante una aplicación informática o quitando la corriente, son especialmente útiles como

interruptores o válvulas, y se encuentran comúnmente en productos como llaves de automóviles, timbres y una gran cantidad de sistemas industriales automatizados. Hay varios tipos de solenoides, incluidos los siguientes:

● Solenoides electromecánicos: consisten en una bobina electromagnéticamente inductiva, enrollada alrededor de una barra móvil de acero o hierro, y se ven comúnmente en marcadores electrónicos de paintball, máquinas de pinball, impresoras matriciales e inyectores de combustible.

● Solenoides giratorios: se utilizan para girar un mecanismo de trinquete cuando se aplica energía y se aplicaron por primera vez en la década de 1950 para la automatización de interruptores automáticos giratorios en controles electromecánicos.

● Bobinas de tornillo de banco giratorias: son la versión giratoria de un solenoide y son dispositivos ampliamente utilizados, como unidades de disco.

● Bobinas de solenoide neumáticas: este es un interruptor para dirigir el aire a cualquier dispositivo neumático, lo que permite que una señal relativamente pequeña controle un dispositivo grande. También es la interfaz entre los controladores electrónicos y los sistemas neumáticos [10].

● Válvulas de solenoide hidráulicas: estas son válvulas que controlan el flujo de fluido hidráulico y se encuentran en artículos domésticos cotidianos como lavadoras para controlar el flujo y la cantidad de agua en el tambor.

● Solenoides de arranque del automóvil: forman parte del sistema de arranque del automóvil que se utiliza para arrancar el motor transmitiendo una gran corriente eléctrica desde la batería del automóvil y una pequeña corriente desde el interruptor de encendido.

2.9.6 Mecatrónica.

La mecatrónica es un área interdisciplinaria de la ingeniería que combina la ingeniería mecánica, eléctrica y la informática y, a menudo, se considera la combinación de conjuntos de habilidades que se requieren y serán necesarios para impulsar la fabricación automatizada avanzada en el futuro. Las personas que trabajan en el nexo de estas disciplinas también pueden tener un amplio conocimiento de robótica, electrónica y telecomunicaciones y tienen la tarea de crear sistemas más simples e inteligentes [1].

Un sistema mecatrónico típico capta señales del entorno, las procesa para generar señales de salida y las transforma en fuerzas, movimientos y acciones. Muchos productos que solían ser puramente mecánicos ahora dependen de la mecatrónica para funcionar, incluida una variedad de sistemas automotrices como frenos antibloqueo, así como artículos para el hogar como cámaras DSLR. Este tipo de sistemas representan el futuro del campo electromecánico.

Algunas de las cosas que hacen los ingenieros en mecatrónica van desde trabajar con robótica industrial grande hasta construir sistemas de control receptivos y desarrollar prototipos. La amplitud de industrias en las que se puede encontrar un ingeniero en mecatrónica es tan variada como los proyectos en sí; Los ingenieros en mecatrónica calificados están ciertamente en demanda en el sector manufacturero, pero las industrias de aviación, minería, defensa y transporte también lo tienen.

3 CAPITULO III

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Actualmente el proyecto está conformado por las etapas descritas a continuación con ayuda de materiales y software.

Tabla 1: Descripción del Proyecto, fuente: El Autor.

DISEÑO - DISEÑO DE UNA BOBINA. - DISEÑO DE UN ELECTROPISTON EN UN CILINDRO. - DISEÑO DE CUERPO MECÁNICO Y SISTEMA GIRATORIO.	***AUTOMATIZACIÓN*** - SISTEMA CONEXIÓN ELÉCTRICA. - DIAGRAMA DE CARGAS.	***PLANTEAMIENTO DEL MODELAMIENTO MATEMÁTICO*** - CAMPO MAGNÉTICO GENERADO POR UNA ESPIRA CIRCULAR. - DEFINICIÓN DEL MOMENTO DIPOLAR MAGNÉTICO. - FUERZA MAGNÉTICA SOBRE UN DIPOLO. - FUERZA SOBRE UN PISTÓN. - POTENCIA ENTREGADA.

3.1 Diseño.

3.1.1 Diseño de una bobina.

Un imán, posee un campo magnético a su alrededor de sí mismo, como se muestra en la figura 2, al presentarse el campo magnético consiste en líneas o se puede decir capas de fuerza que parten desde el polo norte (N) hasta el polo sur (S), siendo el retorno de las líneas de fuera al polo de inicio (Norte) a través del material magnético.

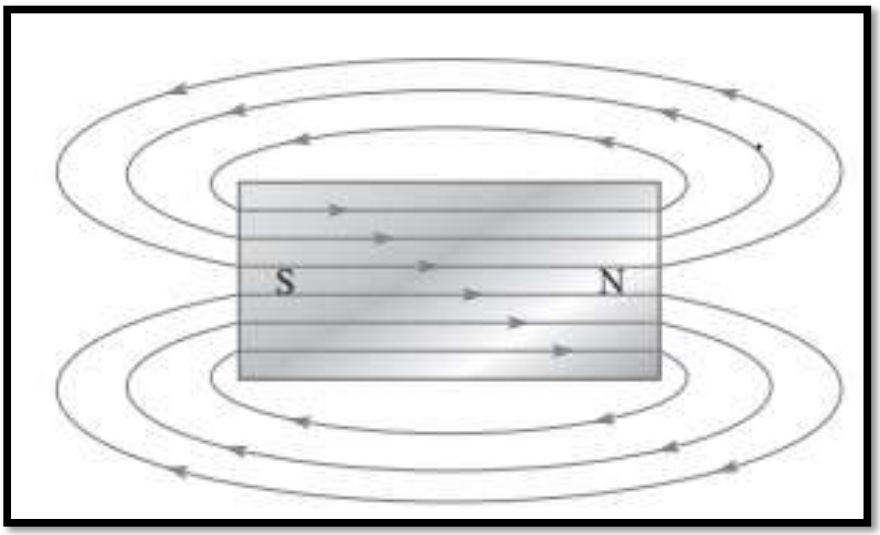


Figura 2: Líneas de fuerza magnética alrededor de una barra imantada, fuente: [17, p. 371].

El diseño de nuestra bobina se contempla en el análisis de los campos magnéticos que creara la corriente al pasar por un conductor determinado, esta parte se enfoca en el estudio del Flujo magnético, Densidad de flujo magnético, electromagnetismo, calibre y tipo de material del conductor y el diseño de un cilindro como núcleo (entrehierro) y tipo de material.

Para el desarrollo del diseño se ha decretado utilizar una fuente de voltaje de 12 voltios DC.

3.1.1.1 Diseño de un cilindro como núcleo (metálico) y tipo de material.

Dadas las diversas experimentaciones para ubicar el metal que cumpla con el comportamiento requerido al ser sumergido en campos magnéticos, se ha visto que cumple satisfactoriamente el uso de cobre como núcleo de la bobina en forma de cilindro, ya que nos permite tener el movimiento esperado del pistón dentro de sí, al ser el cobre (Cu.) diamagnético este repele los campos magnéticos por su exterior físico.

Características del cobre.

Una característica primordial del cobre es que es un metal de color rojizo, que tiene una conductividad eléctrica y térmica muy elevada, solo superada por la conductividad térmica del oro y la conductividad térmica de la plata.

Las propiedades mecánicas principales, resaltan su excepcional capacidad de deformación y ductilidad.

Las propiedades físicas más comunes son:

- Acromio: Cu.
- Masa atómica: 63.54 g/mol.
- Densidad: 8.96 g/ml.
- Punto de ebullición: 2595 °C.
- Punto de fusión: 1083°C.
- Solubilidad en el agua: Ninguna.

Características, procedencia y Dimensiones del cilindro.

En el desarrollo se ha utilizado una tubería de cobre tipo M como modelo que nos permite usarlo perfectamente como un cilindro que consta de paredes lizas y sin costuras de soldaduras ideal para el núcleo metálico de la bobina.

Cumple con las normas de construcción (NORMA B88) (NORMA NMX-W-101).

Es necesario mencionar que la selección de este material con las medidas y propiedades del cobre es el pilar fundamental de este proyecto, en el siguiente cuadro nos permite saber las dimensiones comerciales.

Tubos Monterrey®

Rígido Tipo M

Diámetro Nominal		Diámetro Exterior		Diámetro Interior		Espesor		Peso	Presión Máxima		Presión Constante	
pulg	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg	mm	kg/mt	PSI	kg/cm2	PSI	kg/cm2
1/4	6	3/8	9.525	0.325	8.255	0.025	0.635	0.159	6,133	431.15	1,226	86.18
3/8	10	1/2	12.700	0.450	11.430	0.025	0.635	0.216	4,500	316.35	900	63.27
1/2	13	5/8	15.857	0.569	14.453	0.028	0.711	0.304	4,032	283.25	806	56.66
3/4	19	7/8	22.225	0.811	20.599	0.032	0.812	0.488	3,291	231.35	658	46.25
1	25	1-1/8	28.575	1.054	26.767	0.035	0.889	0.693	2,800	196.84	560	39.36
1-1/4	32	1-3/8	34.925	1.291	32.791	0.042	1.067	1.016	2,794	193.25	550	38.66
1-1/2	38	1-5/8	41.275	1.527	38.791	0.049	1.245	1.400	2,713	190.72	542	38.10
2	51	2-1/8	53.975	2.009	51.029	0.058	1.473	2.176	2,470	173.65	491	34.51
2-1/2	64	2-5/8	66.675	2.495	63.373	0.065	1.651	3.025	2,228	156.62	445	31.28
3	75	3-1/8	79.375	2.981	75.718	0.074	1.889	3.994	2,073	145.73	414	29.10
4	102	4-1/8	104.775	3.935	99.949	0.096	2.431	6.945	2,072	145.65	414	29.10

Figura 3: Tubos Monterrey Rígido Tipo M, fuente: [18].

Este proyecto se ha seleccionado el uso de una tubería circular de cobre de pared lisa de diámetro nominal exterior de 19 mm y un espesor de 0.812 mm respectivamente.

3.1.1.2 Calibre y tipo de material del conductor.

La corriente que produce un campo magnético, que es conocido como campo electromagnético, alrededor de un conductor, las lineras de fuerza son invisibles las cuales forman una figura circular en el contorno del conductor, y con continuas a lo largo de este.

Para la construcción de las bobinas se prevé la utilización de los alambres esmaltados circulares, están formados con cobre de temple suave, y en el conductor metálico se inyecta un recubrimiento de esmalte en base de polyesterimide alterado más una segunda resina a base de polyamide-imide, y se sabe que el rango de calibres en alambres hay en disposición en el mercado eléctrico ecuatoriano va desde 38 hasta 4 AWG, con el límite térmico de 200°C.

Calibre	Alambre Desnudo		Capa Sencilla (1)			Capa Doble			Máxima Tensión de Embobinado(2)	Resistencia D.C. a 20°C	Capacidad de Corriente (3) (A)	
	Diámetro Nominal	Peso Total Aprox.	Mínimo Incremento	Máximo Diámetro	Longitud Aproximada	Mínimo Incremento	Máximo Diámetro	Longitud Aproximada				
AWG	mm	kg/km	mm	mm	m/kg	mm	mm	m/kg	kg	Ohm/km	155°C	200°C
6	4,115	118,23	-	-	-	0,091	4,244	8,4	79,5	1,296	87	131
7	3,665	93,79	-	-	-	0,089	3,787	10,6	63,1	1,634	69	104
8	3,264	74,39	-	-	-	0,089	3,383	13,3	50,0	2,060	55	83
9	2,906	58,96	-	-	-	0,086	3,023	16,8	39,7	2,599	44	65
10	2,588	46,76	-	-	-	0,086	2,703	21,2	31,5	3,278	35	52
11	2,304	37,06	-	-	-	0,084	2,416	26,7	24,9	4,135	27	41
12	2,052	29,40	-	-	-	0,081	2,159	33,6	19,8	5,213	22	33
13	1,829	23,36	-	-	-	0,081	1,935	42,2	15,7	6,562	17	26
14	1,628	18,51	0,041	1,692	53,5	0,081	1,732	53,1	12,4	8,283	14	21
15	1,450	14,68	0,038	1,509	67,4	0,076	1,549	66,9	9,87	10,44	11	16
16	1,290	11,62	0,036	1,349	85,1	0,074	1,384	84,4	7,82	13,19	8,6	13
17	1,151	9,25	0,036	1,207	106,9	0,071	1,240	105,9	6,22	16,57	6,8	10
18	1,024	7,32	0,033	1,077	135,0	0,066	1,110	133,7	4,92	20,93	5,4	8,1
19	0,912	5,81	0,030	0,963	170,0	0,064	0,993	168,2	3,91	26,39	4,3	6,4
20	0,813	4,62	0,030	0,864	213,7	0,061	0,892	211,3	3,10	33,21	3,4	5,1
21	0,724	3,66	0,028	0,770	269,2	0,056	0,800	266,0	2,46	41,88	2,7	4,1
22	0,643	2,89	0,028	0,686	341,1	0,053	0,714	336,7	1,94	53,09	2,1	3,2
23	0,574	2,30	0,025	0,617	427,0	0,051	0,643	421,1	1,55	66,63	1,7	2,6
24	0,511	1,82	0,025	0,551	538,8	0,048	0,577	531,1	1,23	84,07	1,3	2,0
25	0,455	1,445	0,023	0,493	678,9	0,046	0,516	668,4	0,972	106,0	1,07	1,6
26	0,404	1,140	0,023	0,439	859,1	0,043	0,462	844,6	0,767	134,5	0,84	1,26
27	0,361	0,910	0,020	0,396	1076	0,041	0,419	1057	0,612	168,4	0,67	1,01
28	0,320	0,7150	0,020	0,356	1362	0,041	0,373	1337	0,481	214,4	0,53	0,79
29	0,287	0,5751	0,018	0,320	1695	0,038	0,338	1658	0,387	266,5	0,43	0,64
30	0,254	0,4505	0,018	0,284	2160	0,033	0,302	2110	0,303	340,3	0,33	0,50
31	0,226	0,3566	0,015	0,254	2725	0,030	0,274	2653	0,240	429,8	0,26	0,40
32	0,203	0,2877	0,015	0,231	3367	0,028	0,249	3279	0,194	532,7	0,21	0,32
33	0,180	0,2262	0,013	0,206	4274	0,025	0,224	4149	0,152	677,5	0,17	0,25
34	0,160	0,1787	0,013	0,183	5405	0,023	0,198	5263	0,120	857,5	0,13	0,20
35	0,142	0,1408	0,010	0,163	6849	0,023	0,178	6667	0,0947	1089	0,105	0,16
36	0,127	0,1126	0,010	0,147	8621	0,020	0,160	8333	0,0758	1361	0,083	0,13
37	0,114	0,09074	0,010	0,135	10638	0,018	0,145	10309	0,0610	1689	0,068	0,101
38	0,102	0,07264	0,008	0,119	13514	0,018	0,130	12987	0,0489	2110	0,053	0,080
39	0,089	0,05531	0,008	0,104	17544	0,015	0,114	16949	0,0372	2771	0,041	0,061
40	0,079	0,04358	0,008	0,094	22222	0,013	0,102	21739	0,0293	3517	0,032	0,048

Figura 4: Listado de Cables y sus características y propiedades, fuente: [19].

El conductor de cobre tipo alambre circular esmaltado, cuya sección de calibre a trabajar seleccionado es #18 AWG, que cumple con las normas ASTM B-3, ANSI/NEMA MW-100 Y NTE INEN 2344 además de todos los requerimientos del National Electrical Code, según nuestro fabricante seleccionado.

Las características eléctricas de importancia predominante como variables fijas del conductor de cobre tipo alambre esmaltado son las siguientes:

Tabla 2: Características y tipo de material del conductor, fuente: El Autor.

Nombre comercial del conductor de cobre esmaltado.	#18 AWG
Capacidad nominal de conducción de corriente medias en amperios.	8.1 AMPERIOS
Resistencia (medida en ohm y longitud)	20.93 OHM/KM
Diámetro nominal del conductor	1.110 mm

3.1.1.3 Flujo Magnético

Para el flujo magnético se dice que son líneas de fuerzas que van de polo norte al sur de un imán, recibe el nombre de flujo magnético, el efecto se simboliza con la letra griega fi "Φ". En esta etapa vamos a definir el número de líneas de fuerza actuales en el campo magnético, sabiendo que entre más líneas de fuerzas resultantes obtengamos, más elevado es el flujo magnético y por ende más enérgico es el campo magnético.

El flujo magnético se lo puede representar básicamente con la siguiente ecuación.

Ecuación 1: Flujo Magnético, fuente: El Autor.

$$\phi = \frac{Fm}{\mathcal{R}} = \frac{NI}{\mathcal{R}}$$

Para este modelo se ha planteado previamente el uso de 300 espiras como cantidad máxima por análisis de peso y espacio de la bobina. La permeabilidad relativa de los materiales según el estudio de [20] son representado en la siguiente tabla, donde seleccionaremos el material Cobre.

Tabla 3: Valores de la permeabilidad relativa de algunos materiales, fuente: [20, p. 28].

Tipo del Material	Permeabilidad relativa, μ* del Materual
Aluminio	1,000032
Cobre	0,9999902
Magnesio	1,000012
Nitrógeno	1,000000

La permeabilidad relativa (μr) de un material, es la relación de su permeabilidad absoluta y la permeabilidad del aire (vacío), dada por la siguiente ecuación.

Ecuación 2: Permeabilidad Relativa, fuente: El Autor.

$$\mu r = \frac{\mu}{\mu 0}$$

Obteniendo que la permeabilidad de aire (vacío) es de $4\pi \times 10^{-7}$ Wb/At m (webers/ampere-vuelta metro), resultante de la permeabilidad absoluta del cobre es de ($1{,}2566 \times 10^{-6}$ webers/ampere-vuelta metro).

3.1.1.4 Reluctancia

La Reluctancia ($\mathcal{R}$) es aquella oposición al paso de un campo magnético en el material se llama reluctancia, cuyo valor de reluctancia es directamente proporcional a la longitud (l) de la trayectoria magnética e inversamente proporcional a la permeabilidad (μ) y la sesión o área de sección transversal (A) del material, como lo indica en la siguiente ecuación:

Ecuación 3: Reluctancia formula normal, fuente: El Autor.

$$\mathcal{R} = \frac{l}{\mu \cdot A}$$

En los circuitos magnéticos, la reluctancia es idéntica a la resistencia la cual tiene lugar en los circuitos eléctricos, y la unidad de reluctancia se deriva con (l) en metros, A (área) en metros cuadrados, y m en Wb/At m como se describe en la siguiente ecuación:

Ecuación 4: Reluctancia con su unidad, fuente: El Autor.

$$\mathcal{R} = \frac{l}{\mu \cdot A} = \frac{m}{\left(\frac{Wb}{At} \cdot m\right) \cdot (m^2)} = \frac{At}{Wb}$$

3.1.1.5 Densidad De Flujo Magnético

La densidad de flujo magnético significa la porción de flujo por unidad de área perpendicular al campo magnético, y se identifica o conoce mediante la letra B, y su unidad SI es el tesla (T), dado un tesla es igual a un weber por metro cuadrado (Wb/m2). La siguiente ecuación presenta la densidad de flujo:

Ecuación 5: Densidad de Flujo Magnético, fuente: El Autor.

$$\beta = \frac{\emptyset}{A}$$

Donde f se conoce como el flujo (Wb) y A es el área de sección transversal en metros cuadrados (m^2) del campo magnético.

3.1.1.6 Fuerza magnetomotriz

Fuerza magnetomotriz que tiene como acrónimo (Fmm) es la corriente que transita en un conductor que produce un campo magnético, el significado de fuerza magnetomotriz

presenta una discrepancia porque, en física, en realidad no es una fuerza sino el producto directo del movimiento de una carga, la unidad de Fmm, el ampere-vuelta (At, por sus siglas en inglés), se formó sobre la base de la corriente presente en una sola espira (vuelta) de conductor. Y la siguiente ecuación presenta la Fuerza Magnetomotriz:

Ecuación 6: Fuerza Magnetomotriz, fuente: El Autor.

$$F_m = N \cdot I$$

Donde:

Fm → Fuerza Magnetomotriz.

N → Número de Vueltas del conductor.

I → Corriente eléctrica.

3.1.1.7 Intensidad de campo magnético (H)

La Intensidad de campo magnético (H), conocida también como la fuerza magnetizante en el material se define como la fuerza magnetomotriz (Fm) por el dividendo de la unidad de longitud (l) de dicho material, y está expresada con la siguiente ecuación:

Ecuación 7: Intensidad de Campo Magnético, fuente: El Autor.

$$H = \frac{F_m}{I}$$

Donde Fm = NI. Y la intensidad de campo magnético necesita de la cantidad de vueltas (N) de la bobina del material y la corriente (I) que circula a través de la bobina del material, y de la longitud (l) del material. Como f = Fm/ R al incrementarse Fm, el flujo crece, e igualmente, la intensidad del campo magnético (H) se eleva. Hay que recordar

que la densidad de flujo (B) es el flujo por área de sección transversal unitaria (B f/A), por lo tanto, B también es proporcional a H, el comportamiento que muestra cómo están relacionadas estas cantidades (B y H) se denomina curva B-H o también conocidas como curva de histéresis.

3.1.2 Diseño de un electro pistón y un cilindro.

Como se muestra en la figura, se ha utilizado una tubería de cobre de diámetro exterior de 19 milímetros la cual será usada en este diseño como un cilindro, cuyas medidas son:

Longitud: 106,48 mm

Diámetro exterior: 19 mm

Diámetro interior: 17 mm

Este cilindro será de soporte mecánico para albergar en su interior un pistón de hierro y en su exterior se instalará el bobinado de cobre calibre 18 como se contempla en el diseño. Es necesario que el corte sea de precisión para evitar que estos bordes o filos creen esquilas que puedan dañar o lijar el interior del cilindro, puesto que el coeficiente de fricción nominal seria afectado y a su vez el deslizamiento del pistón no será adecuado.

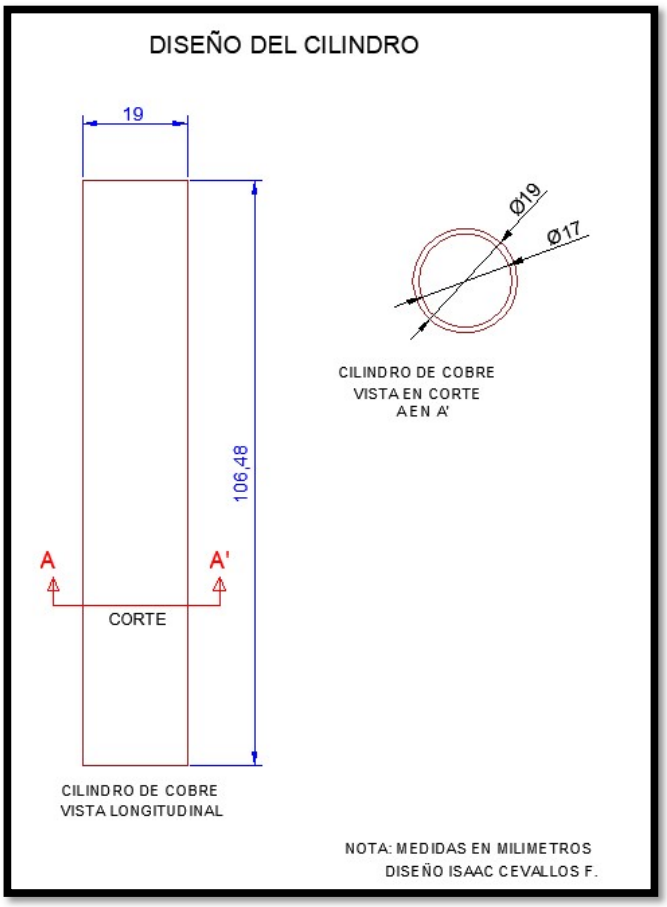


Figura 5: Diseño del Cilindro y sus medidas, fuente: El Autor.

El montaje del bobinado al cuerpo del cilindro se lo realiza en un ambiente limpio y sin humedad, previo a la construcción de la bobina en el cilindro o cuerpo mecánico se prevé limpiar la superficie exterior del cilindro con alcohol para evitar la acumulación de grasa u otros componentes con el objetivo que el campo magnético se vea afectado en las pruebas.

La bobina como se presenta en la figura 6, será construida con un alambre de material cobre esmaltado calibre 18 AWG con segmentos de 50 espiras y 6 capas de esta. Logrando construir una bobina de 300 espiras como diseño, obteniendo las dimensiones mostradas en la imagen.

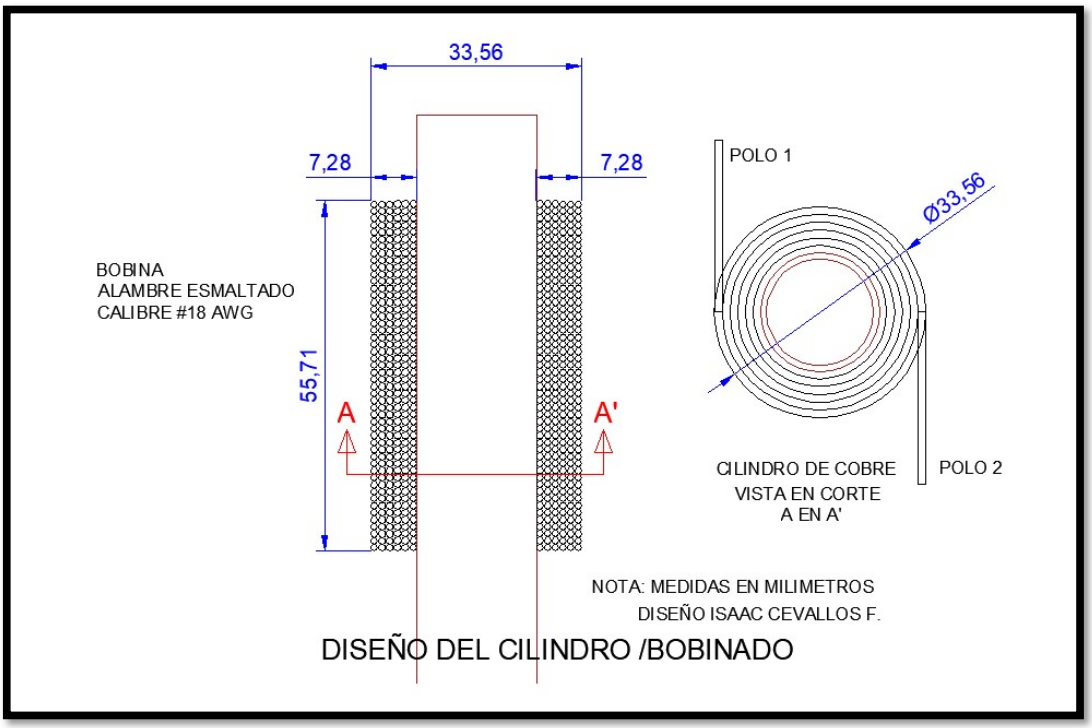


Figura 6: Diseño del Cilindro y Bobina con sus medidas, fuente: El Autor.

Obteniendo como resultado las dimensiones de un radio exterior de 33,56 mm como resultado de 6 capas de alambre esmaltado calibre #18 AWG y una longitud de 56,71 mm como resultado de 50 capas de dicho conducto, obteniendo el fiel cumplimiento del diseño del bobinado de 300 espiras en un cilindro de cobre de radio exterior de 19 mm. Como se muestra en la figura adjunto, se tendrá una bobina de 300 espiras con 2 polos, que, al momento de ser energizado sin importar la polaridad, se incita a la creación de campos magnéticos en el interior del cilindro de cobre.

Para obtener un movimiento mecánico a partir de un campo magnético se necesita un dispositivo que haga la transición eléctrica mecánica, es así como se diseñó un pistón capaz de deslizarse en el interior del cilindro de cobre al ser interceptado por los campos magnéticos producidos por la bobina.

El pisto fue diseñado para cumplir con este requerimiento, y por las pruebas experimentales debe construirse obligatoriamente de un material ferromagnético, en este

caso fue usado un bloque de hierro dulce y un cilindro fabricado con un material diamagnético como el cobre. Al juntar estos dos materiales obtendremos un deslizamiento el encontrarse sometidos a campos magnéticos producidos por el flujo de la corriente en la bobina.

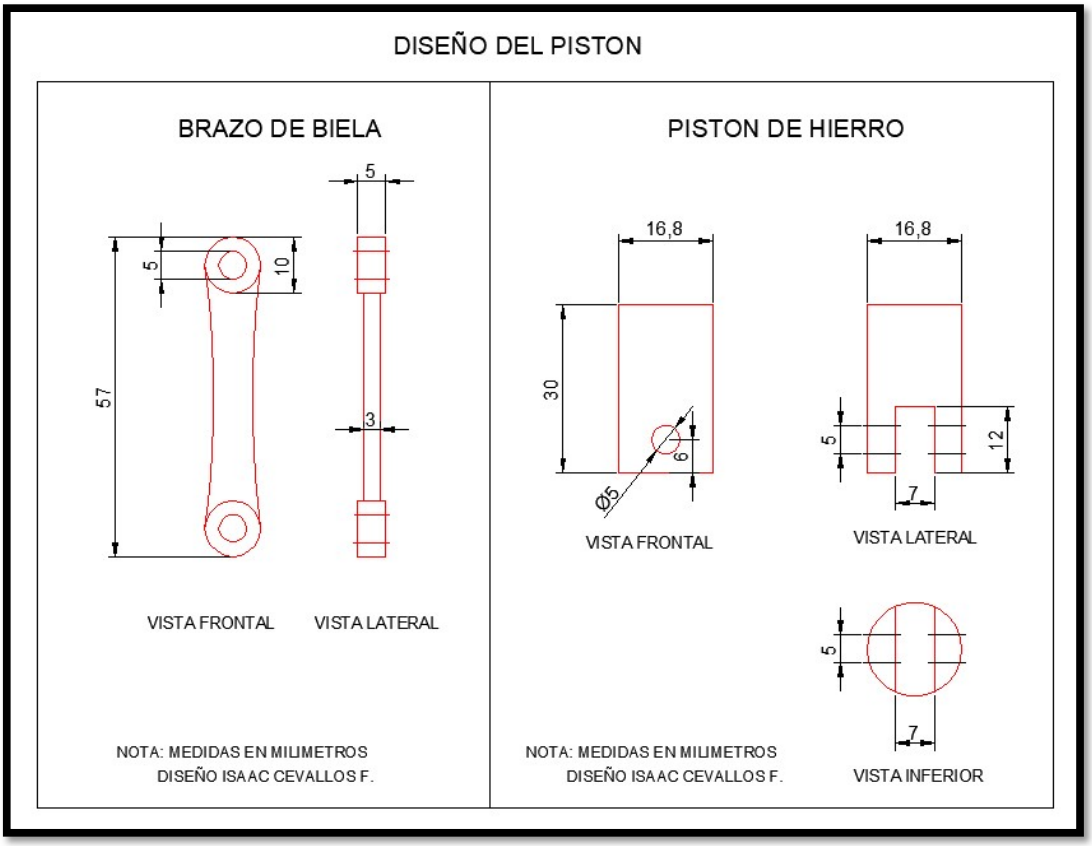


Figura 7: Diseño del Pistón y sus medidas, fuente: El Autor.

El pistón se muestra en la figura, se construyó con un diámetro de 16,8mm suficientes para su deslizamiento libre dentro del cilindro del diámetro interior de 17mm. Este pistón a su vez fue diseñado para alojar en su parte inferior un accesorio mecánico llamado brazo de biela, para esto el pistón cuenta con ranuras y un pasador que hace posible la sujeción mecánica entre estas dos piezas. La altura del pistón debe ser de 30mm medida suficiente para que el pistón no de descarrile dentro del cilindro y no más de 30mm ya que la masa del pistón es considerable en la potencia mecánica del sistema. También es su ranura inferior aloja un pasador de 5mm de diámetro que sirve de soporte mecánico entre el

pistón y el brazo de biela, este pasador no debe ser mayor al diámetro del pistón para evitar el rozamiento en el cilindro.

A su vez en la figura se muestra un diseño de un brazo de biela cuyas dimensiones están calculadas para ofrecer un movimiento en un eje giratorio, es así como consta de dos orificios de sujeción mecánica, donde el orificio superior sujetara el pistón y en el consecutivo el eje del cuerpo giratorio. Estos orificios son construidos de 5mm medida suficiente para instalar un pasador, y de una longitud de 57 mm calculados para que de ninguna circunstancia del movimiento circular el pistón tienda a salir del cilindro y crear conflicto en el movimiento circular.

3.1.3 Diseño de cuerpo mecánico y sistema giratorio.

En esta parte del desarroyo, se ha disenado una pieza mecanica que hace posible el acople de los mecanismos desarroyados anteriormente, como el cilindro, bobina, piston y brazo de biela.

Esta mecanica esta subdividida en 3 piezas que se desciben a continuación.

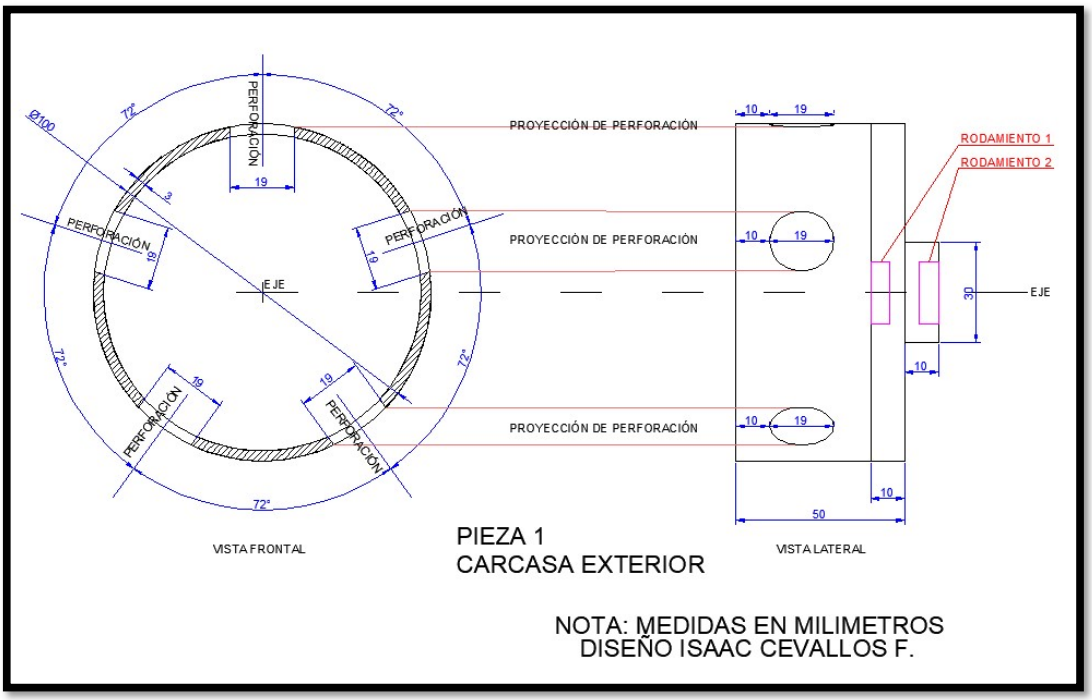


Figura 8: Carcasa Exterior y sus medidas, fuente: El Autor.

Pieza 1. Como se describe en la figura, es la carcasa exterior del sistema mecánico, esta pieza mencionada sirve como base para el montaje de las diferentes piezas a utilizar. Esta construida de nylon con el objetivo de no tener interferencias del campo magnético en la rotación del eje. La pieza 1 es semejante a un gran cilindro de 100mm de diámetro exterior con una cara abierta y una cara truncada, adicional se muestra con 5 perforaciones de 19 mm separadas a 72 grados una de otra exactamente sumando 360 grados finales. Estas perforaciones tienen como objetivo centrar los cilindros milimétricamente hacia el centro del rotor. La carcaza exterior está diseñada con un espesor de 3 mm suficiente para soportar el peso del cilindro con su bobina y pistón.

En el eje interior se contempla la instalación de dos rodamientos que son de soporte mecánico para el rotor del sistema logrando un giro ligero.

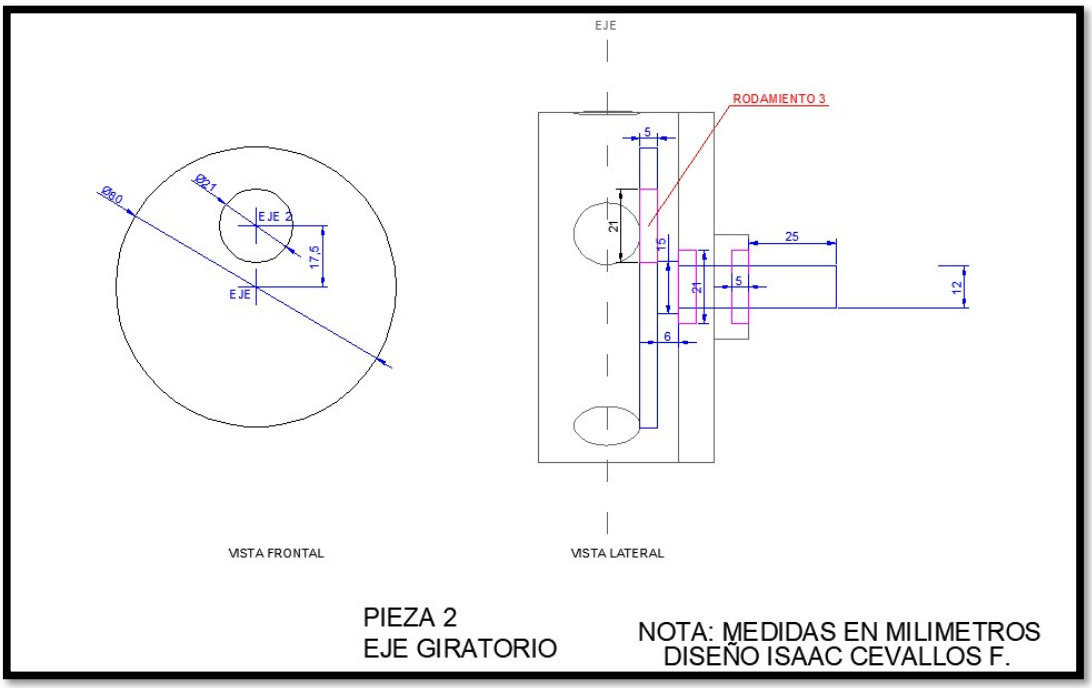


Figura 9: Eje Giratorio y sus medidas, fuente: El Autor.

En la segunda pieza mostrada se representa el ensamble de la pieza 2 en la pieza 1, como se mencionó en la pieza 1 consta de dos rodamientos que hacen posible tener un giro circular en el eje a través de la pieza 2 respectivamente, consta de eje de 12mm de diámetro montado sobre dos rodamientos y de un platillo adosado mecánicamente al eje, este platillo tiene de diámetro 60mm donde se aloja un tercer rodamiento de iguales características a los dos rodamientos anteriores.

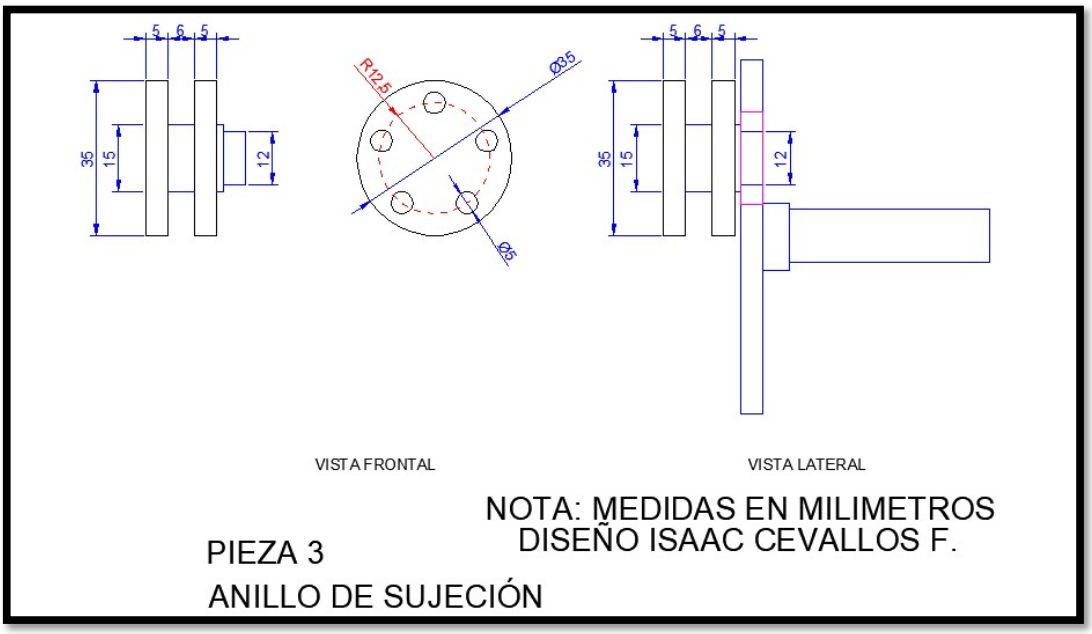


Figura 10: Anillo de Sujeción y sus medidas, fuente: El Autor.

La tercera pieza como se puesta en la figura adjunta muestra un anillo de sujeción para los brazos de biela de cada pistón, con un diámetro exterior de 35 mm y de interior 15 mm.

3.2 Automatización.

Para el correcto funcionamiento de un sistema mecánico la automatización consiste en hacer uso de un controlador (Arduino) para realizar las tareas que permita el continuo giro del eje del rotor. Haciendo posible una mejor calidad de estudio y obtención de datos a estudiar del sistema.

La automatización consiste en condicionar la activación de 5 relés que a su vez activaran el sistema de fuerza de cada bobina, cada relé tendrá la activación de manera única y continúa empezando del relé 1 hasta llegar el relé 5 y así sucesivamente el proceso reiniciara desde el principio:

3.2.1 Modulo controlador Arduino.

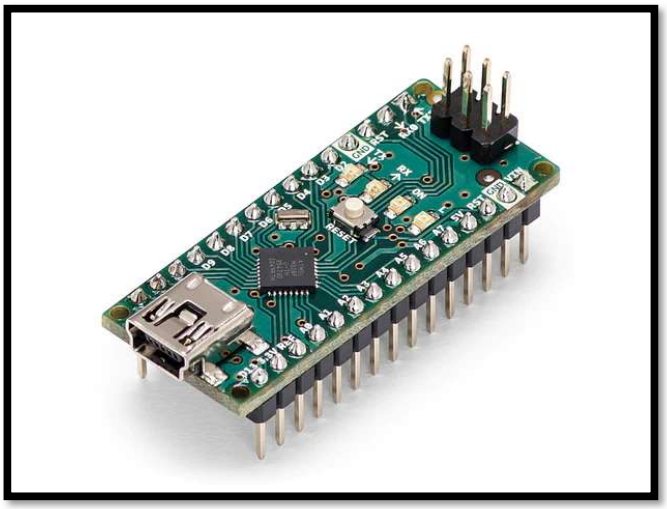


Figura 11: Arduino, fuente: [21].

El Arduino Nano es el tradicional tablero de diseño amigable con la placa de pruebas de Arduino con las medidas más pequeñas. El Arduino Nano consta con cabezales de pines que permiten una amigable conexión a una placa de pruebas y cuenta con un conector USB Mini-B.

3.2.1.1 Principales características

El Nano tradicional es el miembro más antiguo de las placas de la familia Arduino Nano. Es igual al Arduino Duemilanove, pero está hecho para el uso de una placa de prueba además no tiene un conector de alimentación dedicado. Los sucesores del Nano clásico son, por ejemplo, el Nano 33 IoT con un módulo Wifi o el Nano 33 BLE Sense con Bluetooth® Low Energy y varios sensores ambientales.

3.2.1.2 Especificaciones técnicas

Junta	**Nombre**	Arduino® Nano
	SKU	A000005
microcontrolador	ATmega328	
conector USB	USB mini-B	
Patas	**Pin LED incorporado**	13
	Pines de E/S digitales	14
	Pines de entrada analógica	8
	pines PWM	6

Figura 12: Especificaciones técnicas del Arduino primera parte, fuente: [21].

Comunicación	**UART**	recepción/transmisión
	I2C	A4 (SDA), A5 (SCL)
	SPI	D11 (COPI), D12 (CIPO), D13 (SCK). Use cualquier GPIO para Chip Select (CS).
Energía	**Voltaje de E/S**	5V
	Voltaje de entrada (nominal)	7-12V
	Corriente CC por pin de E/S	20mA

Figura 13: Especificaciones técnicas del Arduino segunda parte, fuente: [21].

Velocidad de reloj	**Procesador**	ATmega328 16 MHz
Memoria	**ATmega328P**	SRAM de 2 KB, flash de 32 KB, EEPROM de 1 KB
Dimensiones	**Peso**	5gr
	Ancho	18mm
	Longitud	45mm

Figura 14: Especificaciones técnicas del Arduino tercera parte, fuente: [21].

3.2.1.3 Asignación de pines

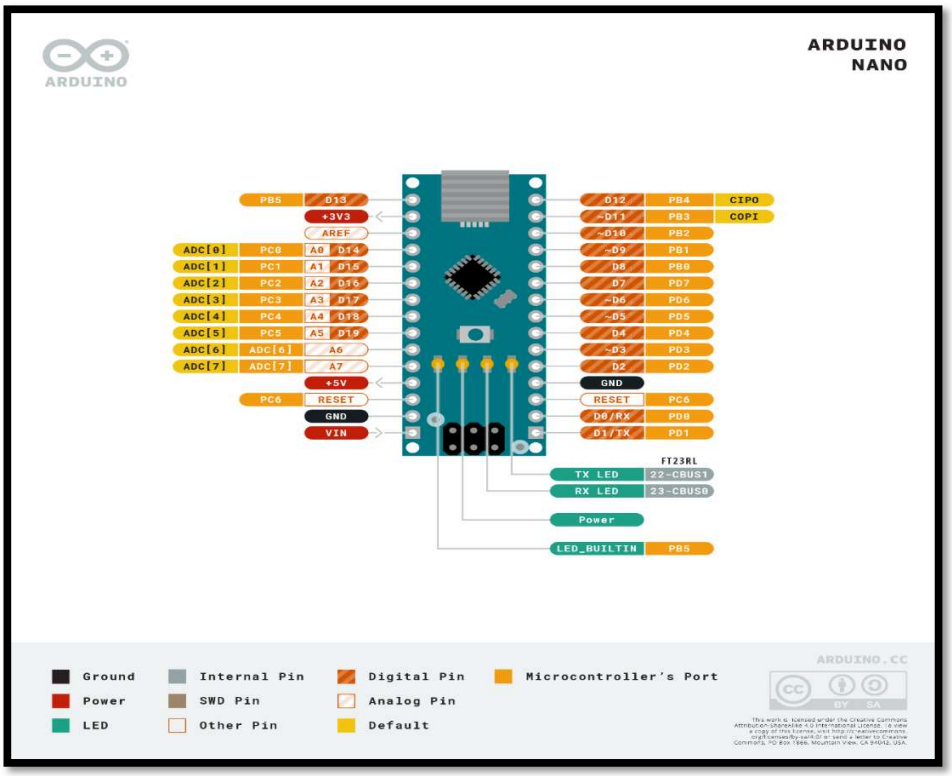


Figura 15: Asignación de pines del Arduino, fuente: [21].

3.2.2 Módulo de relé de 5 vías.

Un relé significa interruptor, frecuentemente electromagnético, que usa una pequeña corriente con el fin de comandar un circuito mayor, principalmente, se aplica una señal

en el ingreso que energiza otro circuito conectado en la salida, sin necesidad de monitorear o tener alguna supervisión humana.

Estos relés funcionan con el principio de inducción electromagnética, lo que significa que, si la corriente transita a través de un material en este caso la bobina que se enrolla alrededor de un pedazo de metal, esto producirá un campo magnético por la corriente, convirtiendo el núcleo de metal en un electroimán.

Si observamos al interior de un relé, se haya un electroimán que presenta una armadura adosados a los contactos que interconectan el borne de entrada y salida cuando la corriente eléctrica fluye a través de la bobina, el embalaje exterior de un relé tiene 5 clavijas, 2 de las cuales se conectan a cada lado de una bobina y al enviar una diferencia de potencial a estas clavijas se energiza la bobina. Los pines restantes son - Normalmente Abierto (NO), Normalmente Cerrado (NC) y Común (COM) [22].

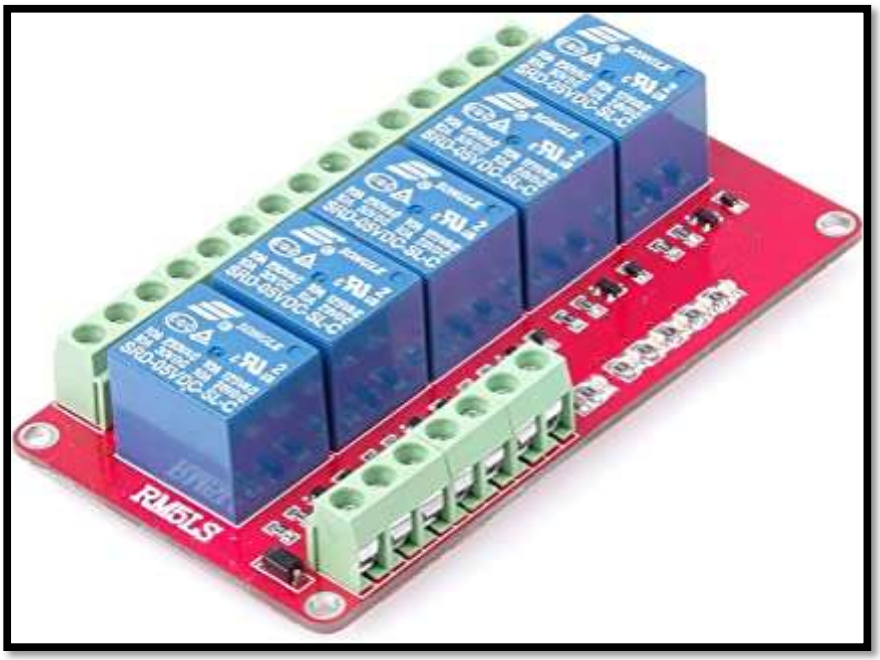


Figura 16: Módulo de control de relé de 5 voltios, 5 canales, 10 amperios, fuente: [23].

3.3 Modelos aplicados para las tendencias de las funciones

[24, p. 62] Los modelos estadísticos y/o numéricos pretenden estimar el comportamiento futuro con datos históricos del pasado, existen diferentes tipos de modelos de tendencias:

3.3.1 Regresión Lineal

La regresión lineal es la más fácil para relacionar la variable dependiente con una variable independiente, ya que es una línea recta, este método principalmente se basa en sumar las distancias al cuadrado entre los puntos reales y los puntos de la recta estimada.

Ecuación 8: Regresión Lineal, fuente: [24].

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \ldots + \beta_p x_p + \varepsilon$$

3.3.2 Regresión Exponencial

La regresión exponencial es un proceso donde se deberá hallar la ecuación de la función exponencial que se ajuste mejor a un grupo de datos.

Ecuación 9: Regresión Exponencial, fuente: [24].

$$y_t = a \cdot e^{bx} + \varepsilon$$

3.3.3 Regresión Polinomial

La regresión polinomial, expresa la relación que presenta, entre la variable dependiente y la independiente, esta relación no es lineal sino de grado n+1.

Ecuación 10: Regresión Polinomial, fuente: [24].

$$y_t = b_0 + b_1 x + b_2 x^2 + \ldots + b_n x^n + \varepsilon$$

3.3.4 Regresión Logarítmica

La regresión logarítmica, es de gran uso y muy utilizada cuando el cambio de datos va aumentando o disminuyendo aceleradamente y luego se estabiliza, la línea o curva de tendencia puede tomar valores positivos o negativos dentro de su trayectoria.

Ecuación 11: Regresión Logarítmica, fuente: [24].

$$y_t = b + a\,ln\,x + \varepsilon$$

Con estos cuatro tipos de regresiones se trabajó en el transcurso del proyecto técnico, y el método implementado fue regresión lineal y polinomial de varios grados.

3.4 Adquisición de Datos.

Para este capítulo de obtención de datos, se ha planteado usar un registrador marca Fluke 1735 seteado para que nos proporcione la información necesaria para continuar con los análisis eléctricos de la bobina diseñada, es así como es de importancia estudiar el comportamiento del voltaje en el tiempo de energización y a su vez la corriente en el tiempo, adicional podremos obtener datos de posición del pistón en el tiempo de energización debido a los sensores que hacen desactivarlo cuando llega su posición máxima permitida mecánicamente.

El registrador 3Ø de datos eléctricos Fluke 1735 es aquella herramienta la cual tiene como objetivo principal el análisis de energía y calidad eléctrica es ideal para realizar estudios de energía y registros básicos de la calidad de la energía, se debe configurar el registrado 3Ø en segundos con la pantalla táctil, el analizador de calidad eléctrica logra medir la inmensa mayoría de los parámetros de energía eléctrica y armónicos presentados en un equipo o algún sistema en específico y también logra capturar ondas de diferencia de potencial.

3.4.1 Aplicaciones más comunes.

Dentro de las aplicaciones más comunes en la adquisición de datos está el estudio de carga, ya que logra verificar la capacidad de algún sistema eléctrico antes de agregar cargas, tiene evaluaciones de energía la cual calcula el consumo antes y después de alguna mejora para poder justificar los dispositivos de ahorro de energía, otra aplicación es que puede medir los armónico que se presentan causado por algún daño en otros equipos que conformen algún sistema eléctrico [25].

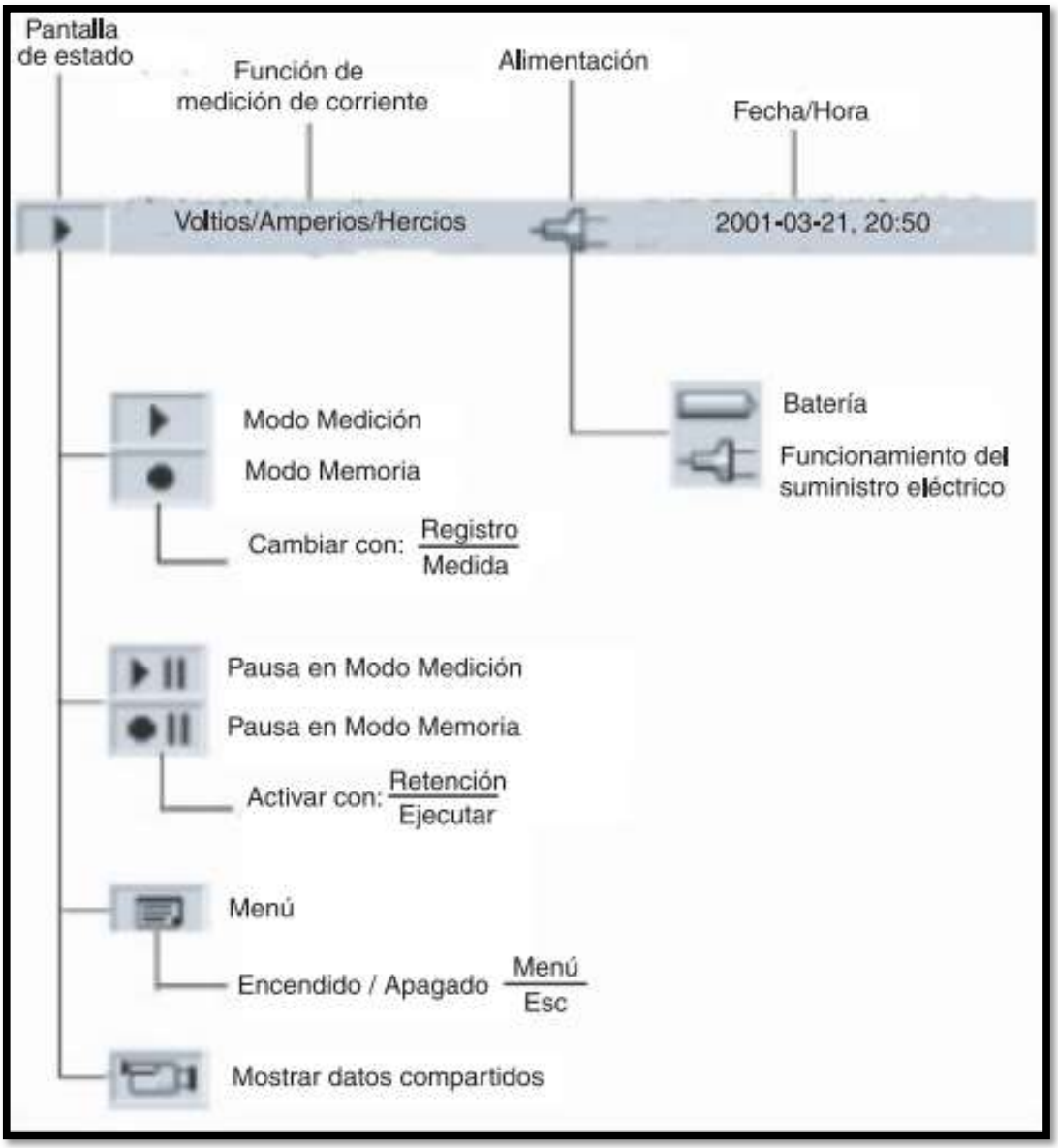


Figura 17: Símbolos de visualización, fuente: [26].

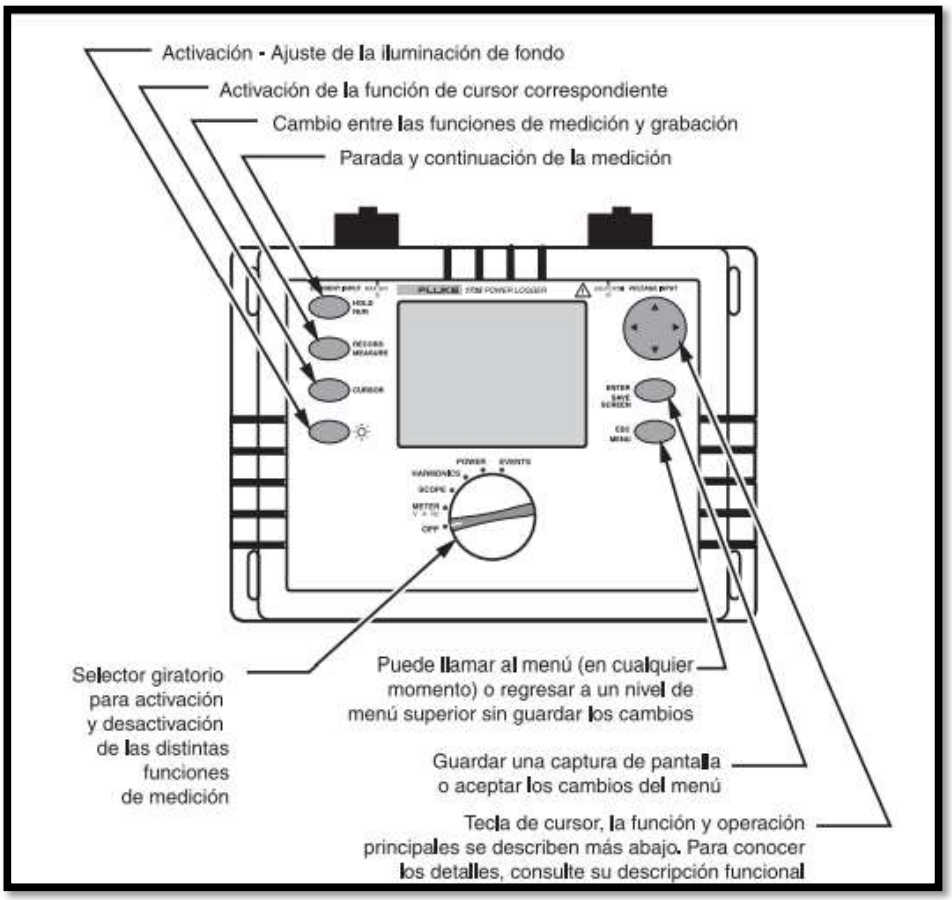


Figura 18: Elementos de control, fuente: [26].

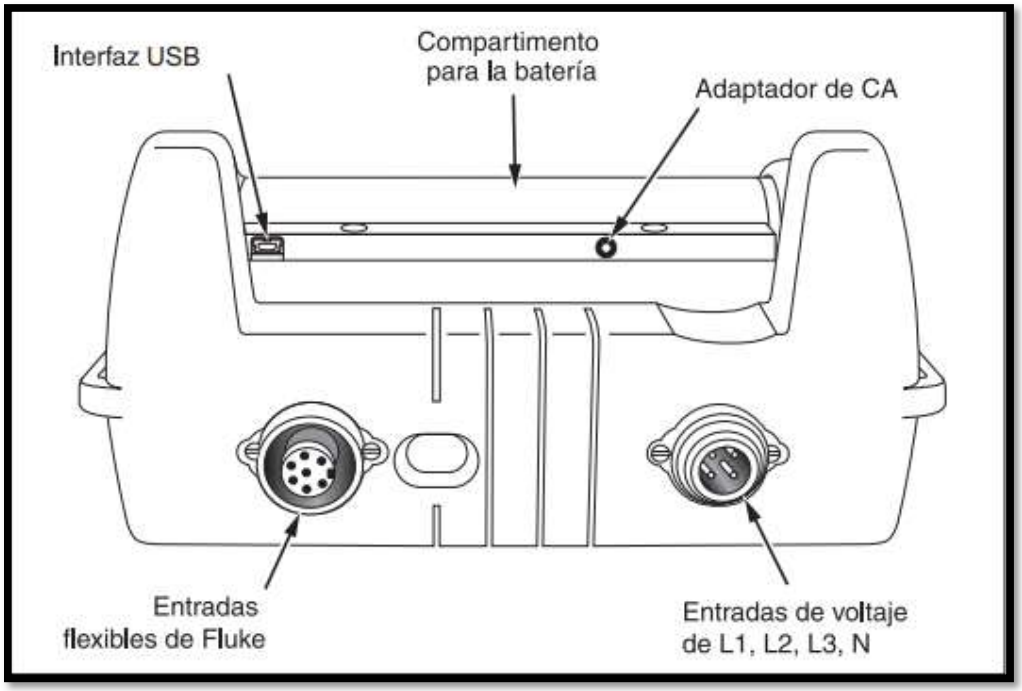


Figura 19: Conectores de Power Logger, fuente: [26].

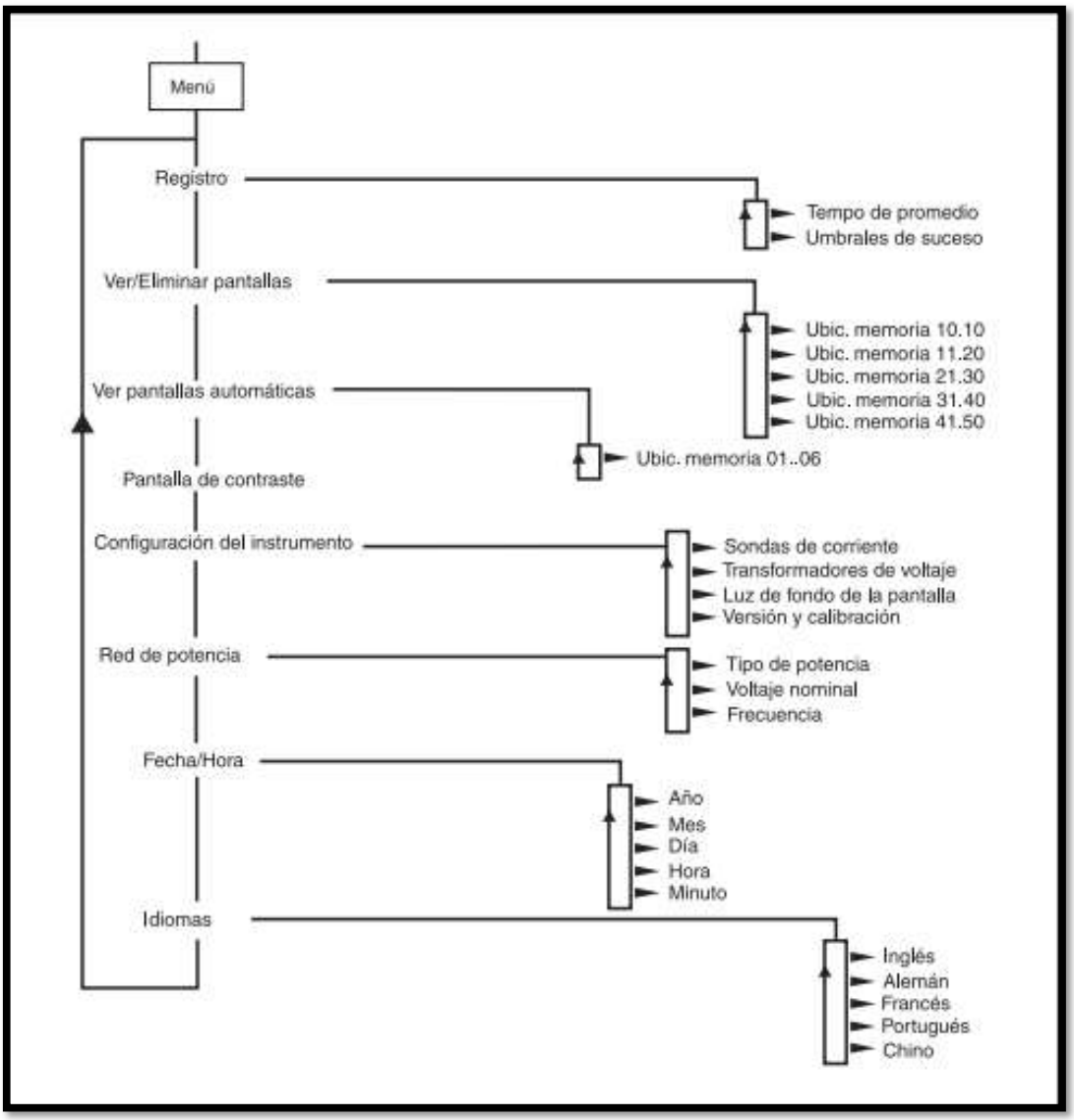


Figura 20: Resumen del menú, fuente: [26].

Si abre el menú del registrador se podrá seleccionar entre otros dos submenús menú para regular el tiempo medio y para seleccionar el umbral de evento en los ajustes de registro. En el menú donde Tiempo de promedio puede ajustar el tiempo en el que se van a promediar los datos. También puede ajustar estos valores de los predefinidos para el tiempo de promedio. Cuando varie el tiempo de promedio, notara en la pantalla el tiempo de registro resultante disponible, para cada intervalo de promedio.

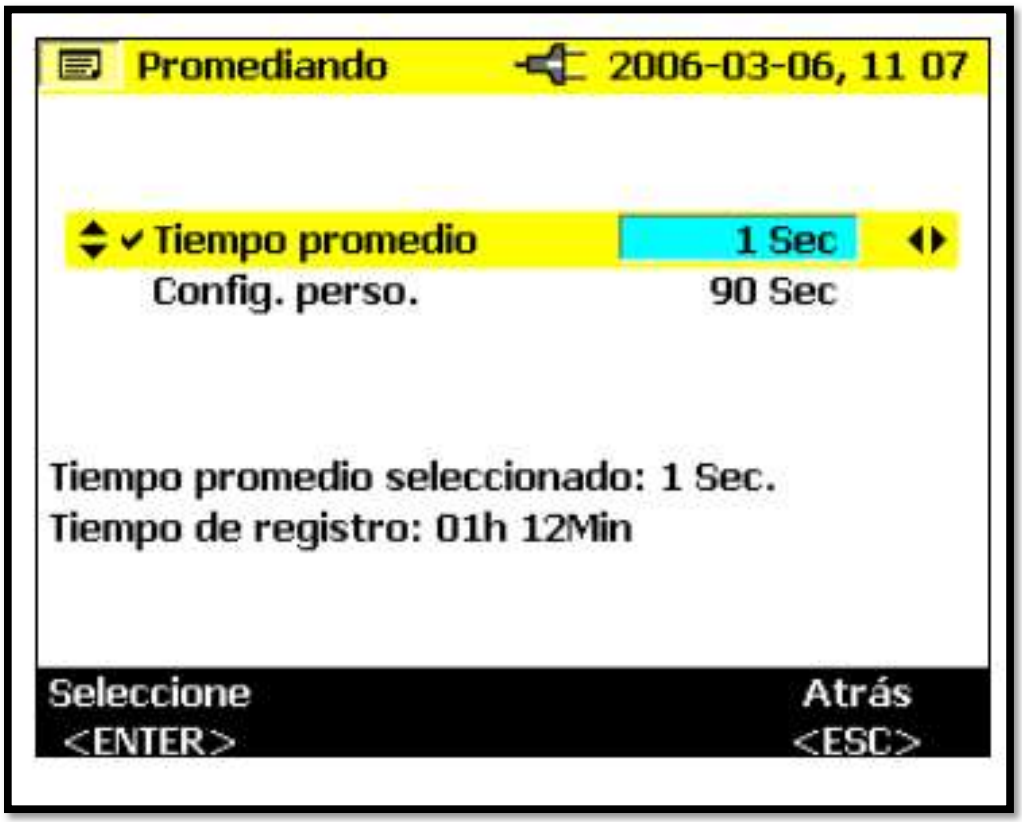


Figura 21: Menú del Registro, fuente: [26].

Tensión:

Red	Conductores de prueba
Línea	A (L1)
Línea (misma)	B (L2)
Línea (misma)	C (L3)
N	N

Corriente:

Red	Conductores de prueba
L1	A (L1)
No está conectado	B (L2)
No está conectado	C (L3)
N	N

Figura 22: Conexiones de fase individuales y divididas, fuente: [26].

Dada la topología de la red de este diseño se realizó la conexión del registrador Fluke 1735 en tipo de conexión fase única como se muestra en la figura adjunta, ya que el sistema de alimentación hacia la bobina diseñada es monofásico.

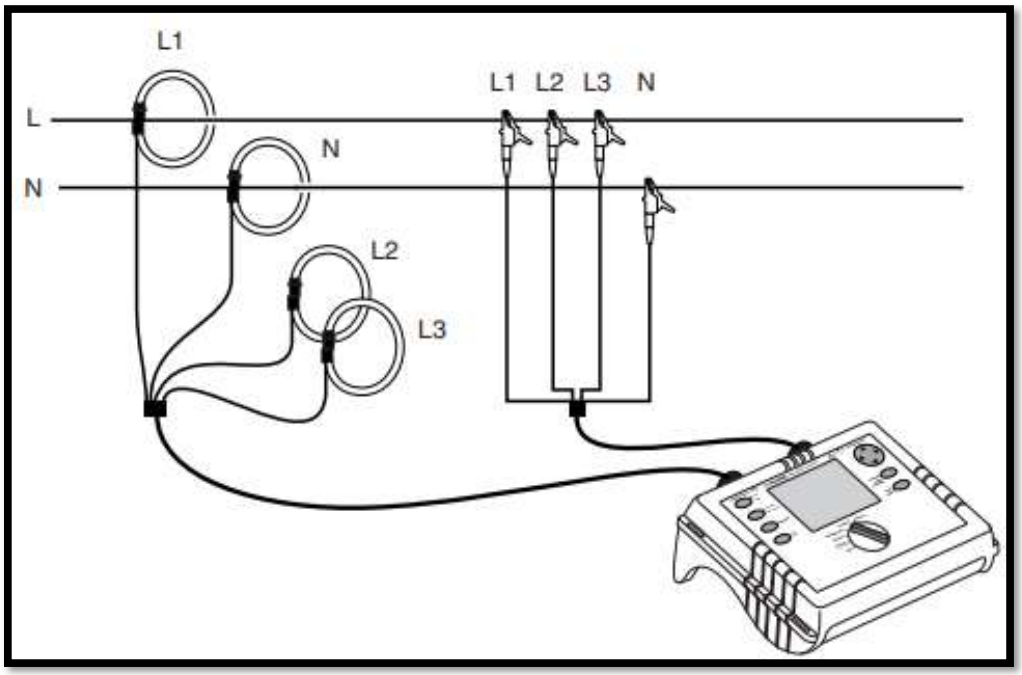


Figura 23: Conexiones de fase única, fuente: [26].

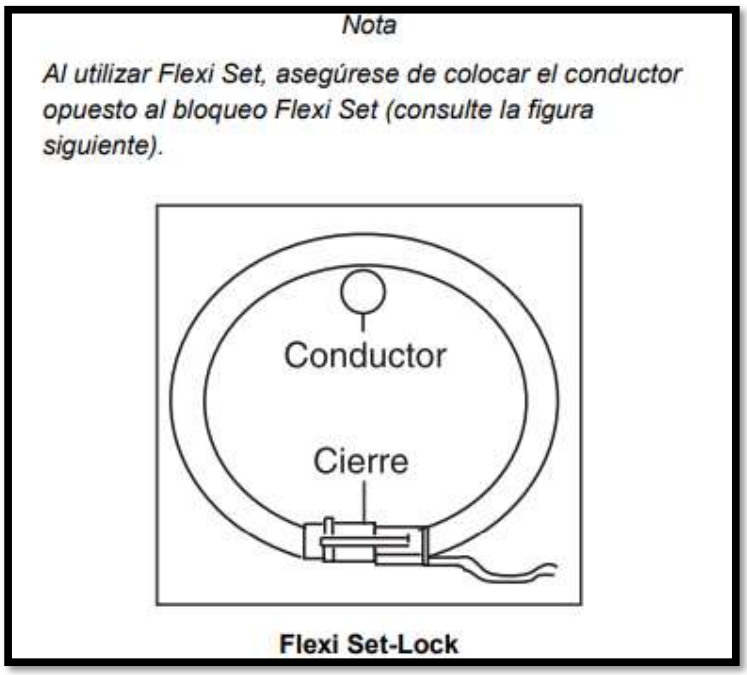


Figura 24: Nota de Advertencia, fuente: [26].

3.4.2 Datos Experimentales de la Corriente.

Tabla 4: Datos Experimentales de la Corriente, fuente: El Autor.

TIEMPO (s)	CORRIENTE (A)
0,00	17
0,03	17,21666667
0,06	17,53333333
0,09	18
0,12	18,5
0,15	19
0,18	19,6
0,21	19,71666667
0,24	19,83333333
0,27	19,95
0,30	20
0,33	20
0,36	20
0,40	20
0,43	20
0,46	20
0,49	20
0,52	20
0,55	20
0,58	20
0,61	20
0,64	20
0,67	20
0,70	20
0,73	20
0,76	20

3.4.3 Datos Experimentales de la Posición.

Tabla 5: Datos Experimentales de la Posición, fuente: El Autor.

TIEMPO (s)	POSICIÓN (mm)
0,00	0
0,03	1
0,06	2
0,09	3
0,12	4
0,15	5
0,18	6
0,21	7
0,24	8
0,27	9
0,30	10
0,33	11
0,36	12
0,40	13
0,43	14
0,46	15
0,49	16
0,52	17
0,55	18
0,58	19
0,61	20
0,64	21
0,67	22
0,70	23
0,73	24
0,76	25

3.4.4 Datos Experimentales del Voltaje.

Tabla 6: Datos Experimentales del Voltaje, fuente: El Autor.

TIEMPO (s)	VOLTAJE (V)
0,00	10,20
0,03	10,33
0,06	10,52
0,09	10,80
0,12	11,10
0,15	11,40
0,18	11,76
0,21	11,83
0,24	11,9
0,27	11,97
0,30	12
0,33	12
0,36	12
0,40	12
0,43	12
0,46	12
0,49	12
0,52	12
0,55	12
0,58	12
0,61	12
0,64	12
0,67	12
0,70	12
0,73	12
0,76	12

3.4.5 Datos Experimentales de la Resistencia.

Figura 25: Toma de Dato Experimental de la Resistencia, fuente: El Autor.

Se realizo el instrumento de medición de marca Fluke serie 1520 MegOhmMeter para obtener resultados de la resistencia de la bobina medida en ohmios, cuyo resultado experimental como vemos en la imagen es de 0,58 Ω [27].

3.4.5.1 Características del equipo

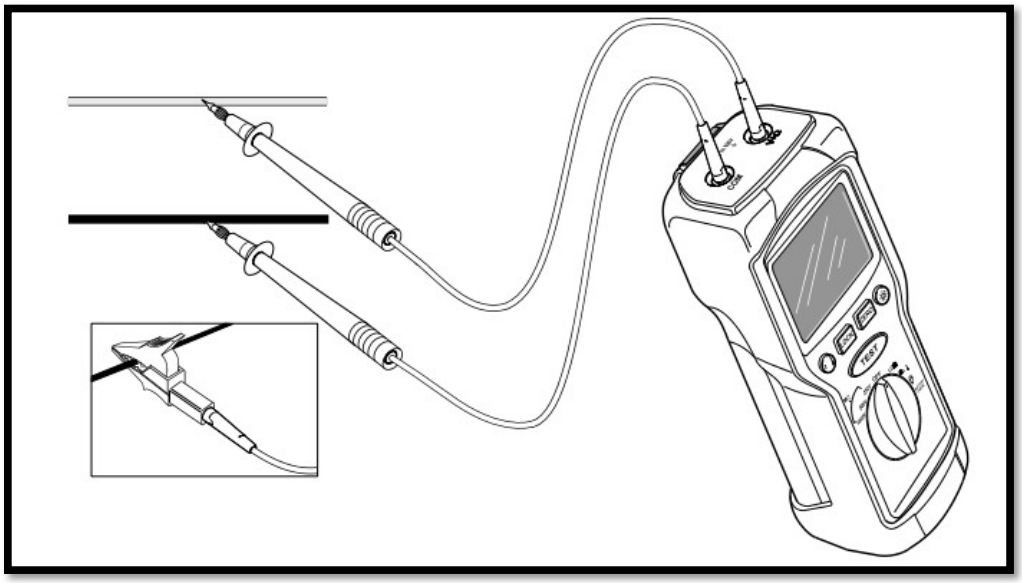


Figura 26: Conexión al circuito bajo prueba, fuente: [27].

Medición de la resistencia

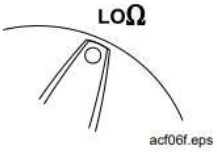
1. Conecte las sondas al circuito a medir.
   Mida primero la tensión para asegurarse de que no haya tensión peligrosa y luego cambie a ohmios.
2. Si la resistencia es de aproximadamente 30 Ω o menos, el medidor emitirá un pitido. Para desactivar la alarma acústica, pulse el botón de la alarma acústica. Si la resistencia es superior a 4000 Ω, aparecerá **>4000** Ω.

Figura 27: Medición de la resistencia, fuente: [27].

Medición de baja resistencia

Para medir una baja resistencia:

1. Ponga a cero la resistencia del cable de medición (véase Tabla 1).
2. Conecte las sondas al circuito a medir.
   Si se detecta tensión en las sondas, ésta aparecerá en la pantalla.



⚠ Advertencia

Un pitido repetitivo y el parpadeo del símbolo de alta tensión ϟ advierten al usuario si la tensión es superior a 30 V CA o CC. En tal caso, antes de proseguir con el siguiente paso, desconecte la tensión del circuito.

3. Pulse el botón TEST, sin soltarlo. Un único pitido indica que la lectura se ha estabilizado. La resistencia aparece en la pantalla principal. Si la resistencia es superior a 40 Ω, aparecerá **>40** Ω.
4. Suelte el botón TEST. En la esquina superior derecha de la pantalla se mantendrá la lectura de la resistencia hasta que se inicie una nueva prueba, o bien se seleccione otra función.

5. Intercambie las sondas roja (+) y negra (-) en el circuito, y repita los pasos 3 y 4 para invertir la polaridad de la corriente de prueba. La lectura debe ser idéntica a la anterior. Esta medición resulta de utilidad para detectar corrosión en las conexiones, que pueden resultar en distintas lecturas para ambas polaridades.

Uso de la función LOCK para medir resistencia

La función LOCK se utiliza para alimentar continuamente la corriente de prueba al circuito a medir. Resulta de utilidad para realizar varias mediciones sucesivamente sin necesidad de mantener pulsado el botón TEST para cada una de ellas.

1. Pulse el botón TEST y, sin soltarlo, pulse el botón LOCK; a continuación, suelte ambos botones simultáneamente.
2. Ahora podrá medir los puntos de prueba deseados en sucesión.
3. Para desactivar la función LOCK, pulse LOCK o TEST.

Precaución

En este modo, el medidor no puede indicar si el circuito está con tensión. Asegúrese de que el circuito esté desexcitado antes de conectar las sondas de prueba en este modo, ya que de lo contrario el fusible puede quemarse.

Figura 28: Medición de baja resistencia y advertencias, fuente: [27].

3.5 Análisis Matemático del Electro pistón modelado como Circuito RL.

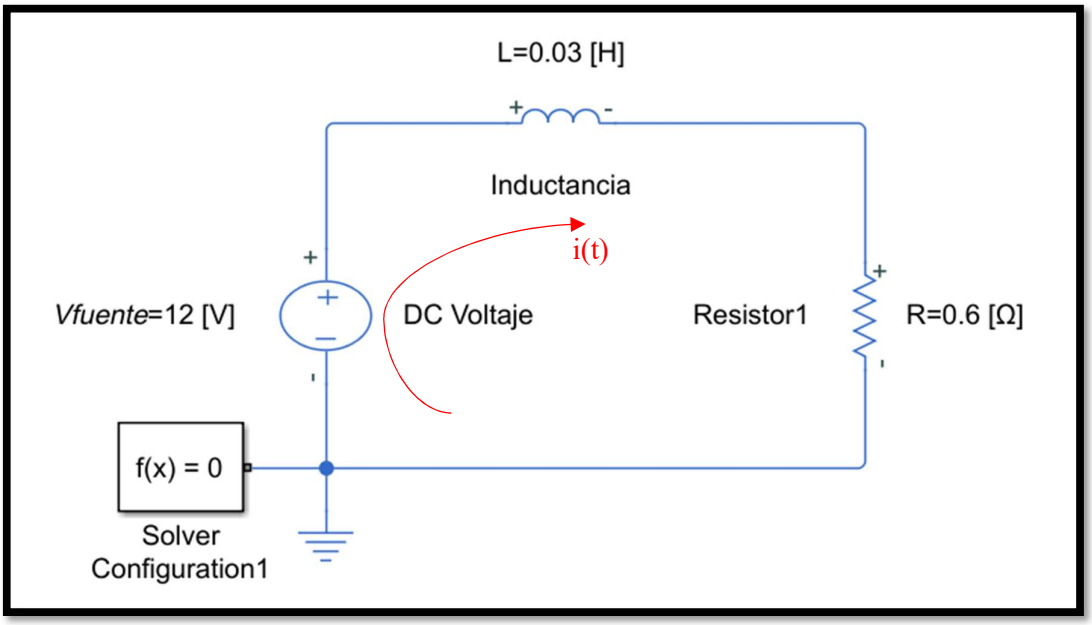


Figura 29: Circuito RL modelado en Simulink de MATLAB®, fuente: El Autor.

3.5.1 Ley de Voltajes de Kirchhoff aplicada en el Circuito RL

Es conocida como la segunda ley de Kirchhoff, e indica que la suma de los voltajes o diferencia de potencial en un circuito serie cerrado o conocido como malla, es igual a cero [28].

Ecuación 12: Ley de Voltajes de Kirchhoff, fuente: [28].

$$-V_{DC} + V_L + V_R = 0$$

$$-V_{DC} + \frac{di(t)}{dt} \cdot L + i(t) \cdot R = 0$$

$$\left\{\frac{di(t)}{dt} \cdot L + i(t) \cdot R = V_{DC}\right\} \cdot \left(\frac{1}{L}\right)$$

$$\frac{di(t)}{dt} + \frac{1}{L} \cdot R \cdot i(t) = \frac{1}{L} \cdot V_{DC}$$

Donde:

V_{DC} → Voltaje de la Fuente de Corriente Directa en voltios.

V_L → Voltaje del Inductor en voltios.

V_R → Voltaje en la Resistencia en voltios.

$\frac{di(t)}{dt}$ → Derivada de la Corriente con respecto al Tiempo.

L → Inductancia en Henrios.

$i(t)$ → Corriente en función del Tiempo en Amperios.

R → Resistencia en Ohmios.

3.5.2 Aplicación del factor Integrante de las EDO.

Este factor integrante es aquel que logra que una ecuación diferencial ordinaria se pueda integrar con las fórmulas ya conocidas de cálculos diferencial o integral [29].

Ecuación 13: Factor Integrante aplicado en el Circuito RL, fuente: [29].

$$\frac{dy}{dt} + P(t) \cdot y = f(t)$$

$$u = e^{\int P(t) \cdot dt}$$

$$u = e^{\int \frac{R}{L} \cdot dt}$$

$$u = e^{\frac{R}{L} \cdot t}$$

Se procede a ingresar el factor integrante en la ecuación diferencial obtenida de la segunda Ley de Kirchhoff.

$$e^{\frac{R}{L} \cdot t} \cdot \frac{di(t)}{dt} + e^{\frac{R}{L} \cdot t} \cdot \frac{1}{L} \cdot R \cdot i(t) = e^{\frac{R}{L} \cdot t} \cdot \frac{1}{L} \cdot V_{DC}$$

$$\frac{d\left(e^{\frac{R}{L}\cdot t}\cdot i\right)}{dt}=\frac{1}{L}\cdot e^{\frac{R}{L}\cdot t}\cdot V_{DC}$$

Se procede a Integrar ambas partes:

$$\int\frac{d\left(e^{\frac{R}{L}\cdot t}\cdot i\right)}{dt}=\frac{1}{L}\cdot\int e^{\frac{R}{L}\cdot t}\cdot V_{DC}$$

$$e^{\frac{R}{L}\cdot t}\cdot i=\frac{1}{L}\cdot\left[\left(\frac{L}{R}\right)\cdot e^{\frac{R}{L}\cdot t}\cdot V_{DC}+\mathbb{c}\right]$$

$$e^{\frac{R}{L}\cdot t}\cdot i=\frac{1}{R}\cdot e^{\frac{R}{L}\cdot t}\cdot V_{DC}+\mathbb{c}$$

$$i=\frac{\frac{1}{R}\cdot e^{\frac{R}{L}\cdot t}\cdot V_{DC}}{e^{\frac{R}{L}\cdot t}}+\frac{\mathbb{c}}{e^{\frac{R}{L}\cdot t}}$$

$$i=\frac{V_{DC}}{R}+e^{-\frac{R}{L}\cdot t}\cdot\mathbb{c}$$

Se procede a determinar el valor de la corriente inicial cuando el tiempo es cero, con el fin de determinar el valor de la constante $\mathbb{c}$.

$$i_o=\frac{V_{DC}}{R}+e^{-\frac{R}{L}\cdot(0)}\cdot\mathbb{c}$$

$$i_o=\frac{V_{DC}}{R}+\mathbb{c}$$

$$\mathbb{c}=i_o-\frac{V_{DC}}{R}$$

Se procede a reemplazar la constante en la ecuación de la corriente que está en función del tiempo:

$$i(t)=\frac{V_{DC}}{R}+e^{-\frac{R}{L}\cdot t}\cdot\left(i_o-\frac{V_{DC}}{R}\right)$$

$$i(t) = \frac{V_{DC}}{R} + e^{-\frac{R}{L}\cdot t} \cdot i_o - e^{-\frac{R}{L}\cdot t} \cdot \frac{V_{DC}}{R}$$

En el caso que la corriente inicial sea cero, se procede a encontrar la corriente en función del tiempo con esa condición inicial.

$$i(t) = \frac{V_{DC}}{R} + e^{-\frac{R}{L}\cdot t} \cdot (0) - e^{-\frac{R}{L}\cdot t} \cdot \frac{V_{DC}}{R}$$

$$i(t) = \frac{V_{DC}}{R} - \frac{e^{-\frac{R}{L}\cdot t} \cdot V_{DC}}{R}$$

Ecuación 14: Corriente en función del tiempo, con la condición inicial de $i_o = 0$ [A], fuente: El Autor.

$$i(t) = \frac{V_{DC}}{R} \cdot \left(1 - e^{-\frac{R}{L}\cdot t}\right)$$

3.5.3 Cálculo de cargas para la dimensión de una batería para una autonomía propuesta.

Tabla 7: Cálculo de cargas para la dimensión de una batería para una autonomía propuesta, fuente: El Autor.

CALCULO DE CARGAS DEL SISTEMA ELECTROMECANICO										
NOMBRE	CIRCUITO			DETALLE		CARGAS		DEMANDA		
	NO.		VOLT.	POLOS	VOLTAJE DC	INDIVIDUAL	TOTAL	FD	VATIOS	SERVICIO
CARGAS	1	BOBINA PISTON 1	B1	1	12,00	1	240,0	0,2	48,00	ELECTROPISTON
	2	BOBINA PISTON 2	B2	1	12,00	1	240,0	0,2	48,00	ELECTROPISTON
	3	BOBINA PISTON 3	B3	1	12,00	1	240,0	0,2	48,00	ELECTROPISTON
	4	BOBINA PISTON 4	B4	1	12,00	1	240,0	0,2	48,00	ELECTROPISTON
	5	BOBINA PISTON 5	B5	1	12,00	1	240,0	0,2	48,00	ELECTROPISTON
	6	CONTROL	A1	1	5,00	1	1,5	1,0	1,50	SISTEMA DE CONTROL
				4						
			CAPACIDAD INSTALADA						1.201,50	W
			DEMANDA TOTAL ESTIMADA 1 SICLO						241,50	W
			AMPERAJE NOMINAL						20,13	A
			VOLTAJE DE OPERACION						12,00	V DC
			CONDUCTOR SELECCIONADO						18 AWG ALAMBRE ESMALTADO	
			AUTONOMIA PROYECTADA (MINUTOS)						90,00	MIN.
			BATERIA COMERCIAL SELECCIONADA						12V 35 AH	

Para el funcionamiento del sistema electromecánico se ha propuesto el cálculo de una batería de 12 voltios DC que alimenta a todas las cargas descritas en el cálculo de carga en un tiempo propuesto de 90 minutos, estimando reservas y una capacidad comercial de la batería, se contempla en el diseño el uso de una fuente de 35 amperios/hora.

4 CAPITULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

4.1 Ecuaciones y Gráficas en Microsoft Excel:

4.1.1 Gráfica Experimental de la Corriente en Microsoft Excel.

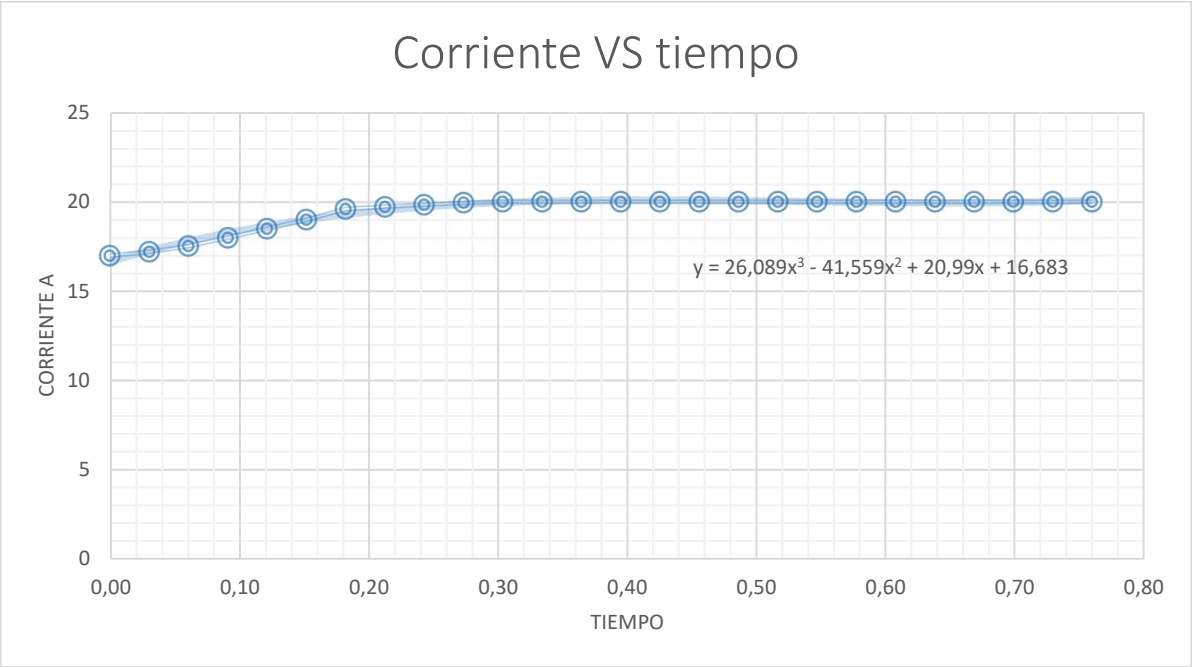


Figura 30: Gráfica Experimental de la Corriente en Microsoft Excel, fuente: El Autor.

4.1.2 Gráfica Experimental de la Posición en Microsoft Excel.

Figura 31: Gráfica Experimental de la Posición en Microsoft Excel, fuente: El Autor.

4.1.3 Gráfica Experimental del Voltaje en Microsoft Excel.

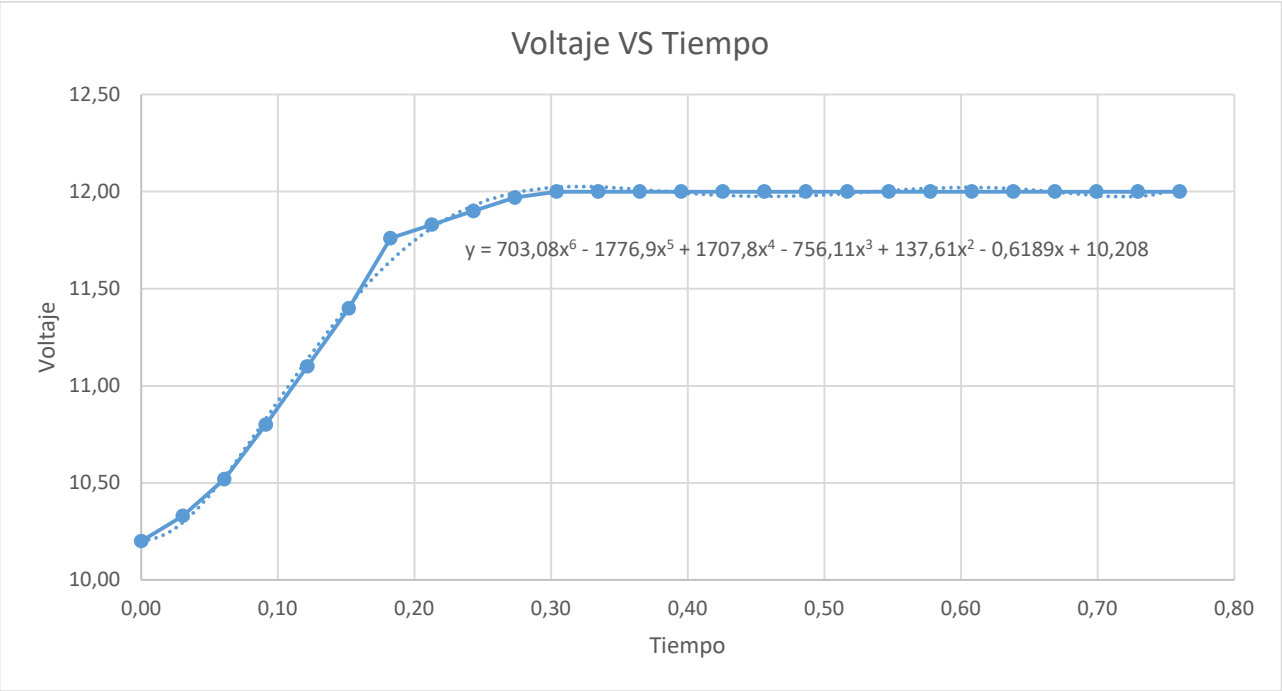


Figura 32: Gráfica Experimental del Voltaje en Microsoft Excel, fuente: El Autor.

4.2 Ecuaciones y Gráficas en MATLAB®:

4.2.1 Resultado Experimental de la Corriente en el Command Window.

```
Command Window
Universidad Politécnica Salesiana
Sede Guayaquil
Carrera Ingeniería en Electricidad
Estudiante: Isaac Orlando Cevallos Figueroa
Cédula: 0955095963
Tutor: Ing. Carlos Chávez Córdova, MSc.
Análisis Monofásico DC para una Bobina
Código de Forma Experimental para la Corriente
Escalares de la función para la Corriente con el comando "polyfit"
Escalar "a" del primer término:a =
    '26.089243'
Escalar "b" del segundo término:b =
    '-41.559330'
Escalar "c" del tercer término:c =
    '20.989939'
Escalar "d" del cuarto término:d =
    '16.682747'
Función Obtenida para la Corriente mediante polinomio de tercer orden:
fx =

26.089243*x^3 - 41.55933*x^2 + 20.989939*x + 16.682747

Fin del Código "Corriente Experimental"
Muchas Gracias...!
```

Figura 33: Resultado Experimental de la Corriente en el Command Window, fuente: El Autor.

4.2.2 Gráfica Experimental de la Corriente en MATLAB.

Figura 34: Gráfica Experimental de la Corriente, fuente: El Autor.

4.2.3 Resultado Experimental de la Posición en el Command Window.

```
Command Window
Universidad Politécnica Salesiana
Sede Guayaquil
Carrera Ingeniería en Electricidad
Estudiante: Isaac Orlando Cevallos Figueroa
Cédula: 0955095963
Tutor: Ing. Carlos Chávez Córdova, MSc.
Análisis Monofásico DC para una Bobina
Código de Forma Experimental para la Posición
Escalares de la función para la Posición con el comando "polyfit"
Escalar "a" del primer término:
a =

    '32.894737'

Escalar "b" del segundo término:
b =

    '-0.000000'

Función Obtenida para la Posición mediante polinomio de primer orden:
fx =

32.894737*x

Fin del Código "Posición Experimental"
Muchas Gracias...!
```

Figura 35: Resultado Experimental de la Posición en el Command Window, fuente: El Autor.

4.2.4 Gráfica Experimental de la Posición en MATLAB.

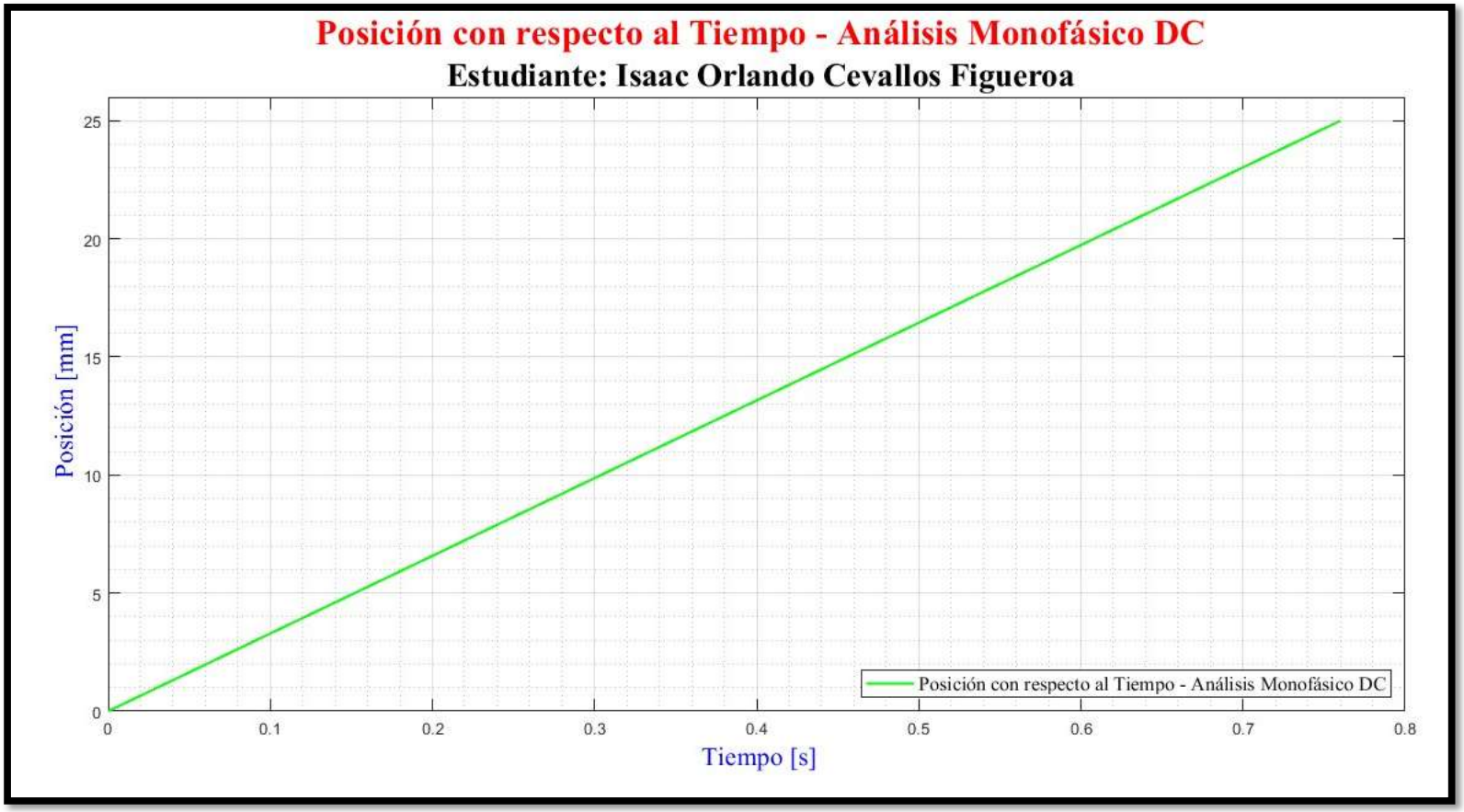


Figura 36: Gráfica Experimental de la Posición, fuente: El Autor.

4.2.5 Resultado Experimental del Voltaje en el Command Window.

```
Command Window
Universidad Politécnica Salesiana
Sede Guayaquil
Carrera Ingeniería en Electricidad
Estudiante: Isaac Orlando Cevallos Figueroa
Cédula: 0955095963
Tutor: Ing. Carlos Chávez Córdova, MSc.
Análisis Monofásico DC para una Bobina
Código de Forma Experimental para el Voltaje
Escalares de la función para el Voltaje con el comando "polyfit"
Escalar "a" del primer término:
a =

    '703.079428'

Escalar "b" del segundo término:
b =

    '-1776.903204'

Escalar "c" del tercer término:
c =

    '1707.819255'
```

Figura 37: Resultado Experimental del Voltaje en el Command Window Primera Parte, fuente: El Autor.

```
Command Window
Escalar "d" del cuarto término:
d =

    '-756.108514'

Escalar "e" del quinto término:
e =

    '137.612247'

Escalar "f" del sexto término:
f =

    '-0.618877'

Escalar "g" del séptimo término:
g =

    '10.207948'

Función Obtenida para el Voltaje mediante polinomio de sexto orden:
fx =

703.079428*x^6 - 1776.903204*x^5 + 1707.819255*x^4 - 756.108514*x^3 + 137.612247*x^2 - 0.618877*x + 10.207948

Fin del Código "Voltaje Experimental"
Muchas Gracias...!
```

Figura 38: Resultado Experimental del Voltaje en el Command Window Segunda Parte, fuente: El Autor.

4.2.6 Gráfica Experimental del Voltaje en MATLAB.

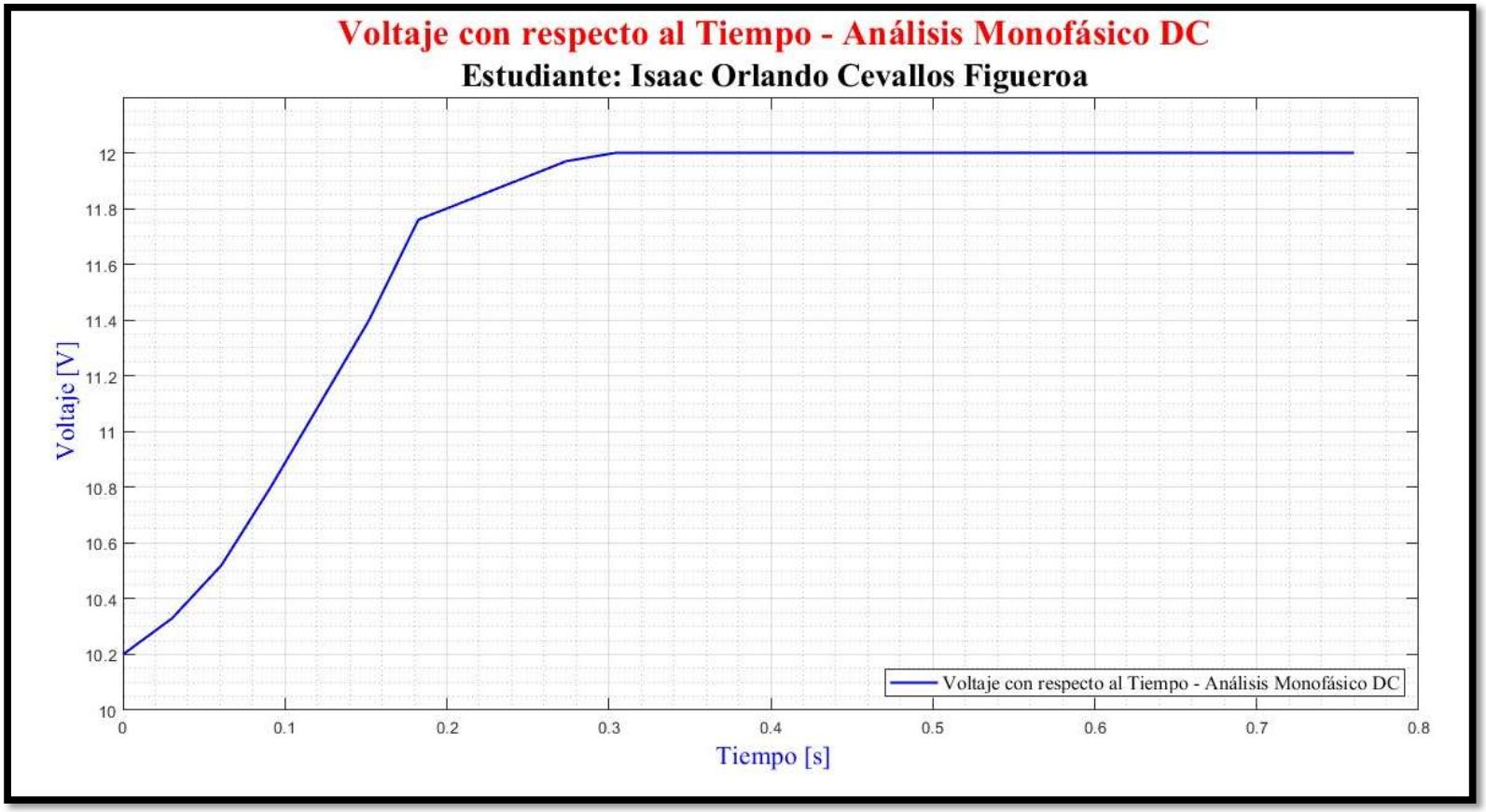


Figura 39: Gráfica Experimental del Voltaje, fuente: El Autor.

4.3 Modelado del Electro Pistón como un Circuito RL en Simulink de MATLAB®.

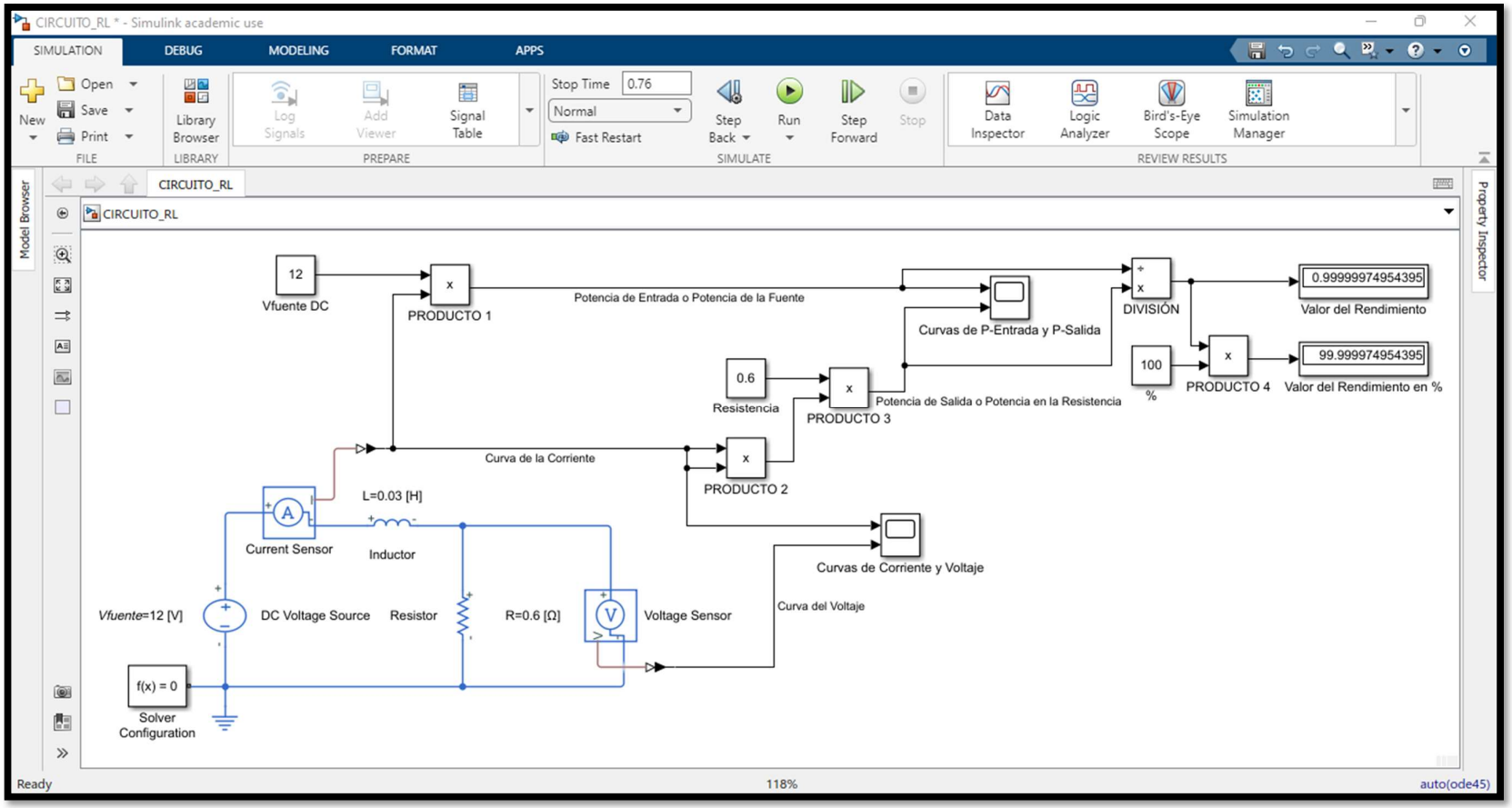


Figura 40: Modelado del Electro Pistón como un Circuito RL en Simulink de MATLAB®., fuente: El Autor.

4.3.1 Elementos principales que conforman el sistema.

4.3.1.1 Fuente de Voltaje:

Figura 41: Fuente de voltaje DC del Circuito RL en Simulink de MATLAB®, fuente: El Autor.

4.3.1.2 Resistencia:

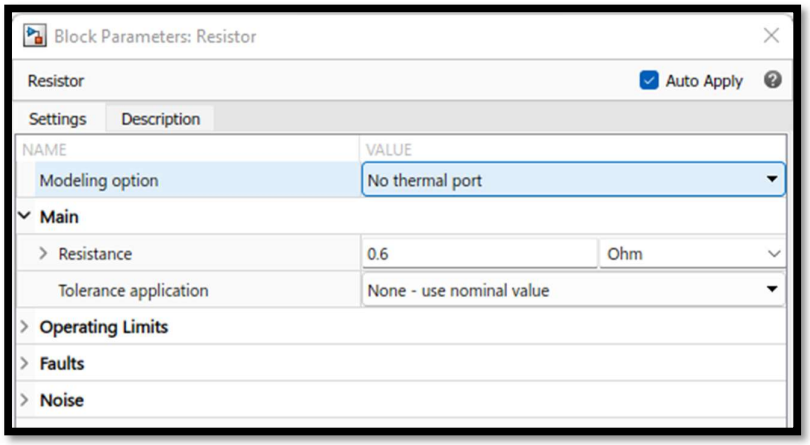


Figura 42: Resistencia del Circuito RL en Simulink de MATLAB®, fuente: El Autor.

4.3.1.3 Inductancia:

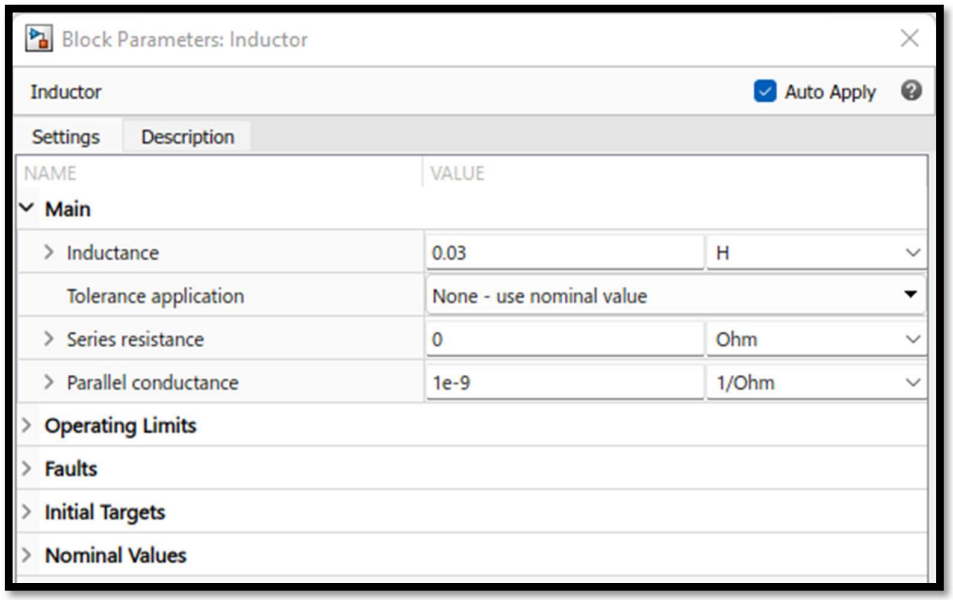


Figura 43: Inductancia del Circuito RL en Simulink de MATLAB®. fuente: El Autor.

4.3.1.4 Sensor de Corriente o Amperímetro:

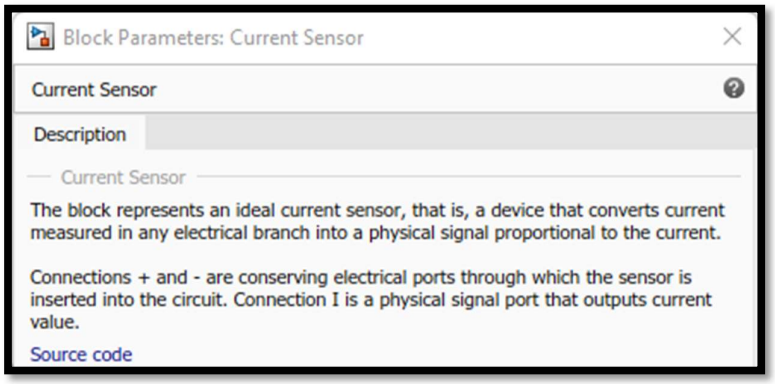


Figura 44: Sensor de Corriente o Amperímetro del Circuito RL en Simulink de MATLAB®. fuente: El Autor.

4.3.1.5 Sensor de Voltaje o Voltímetro:

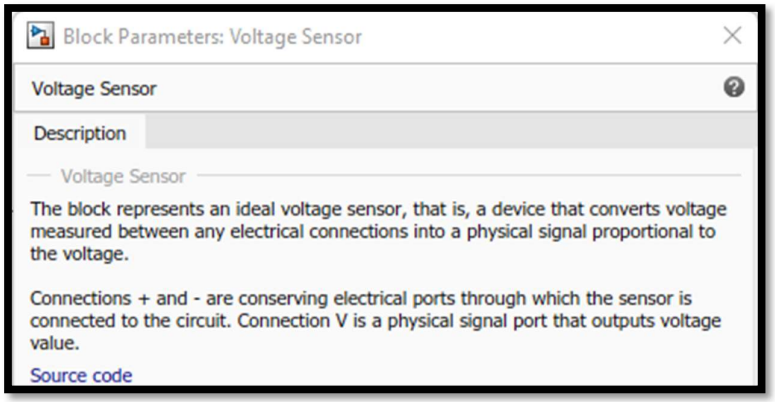
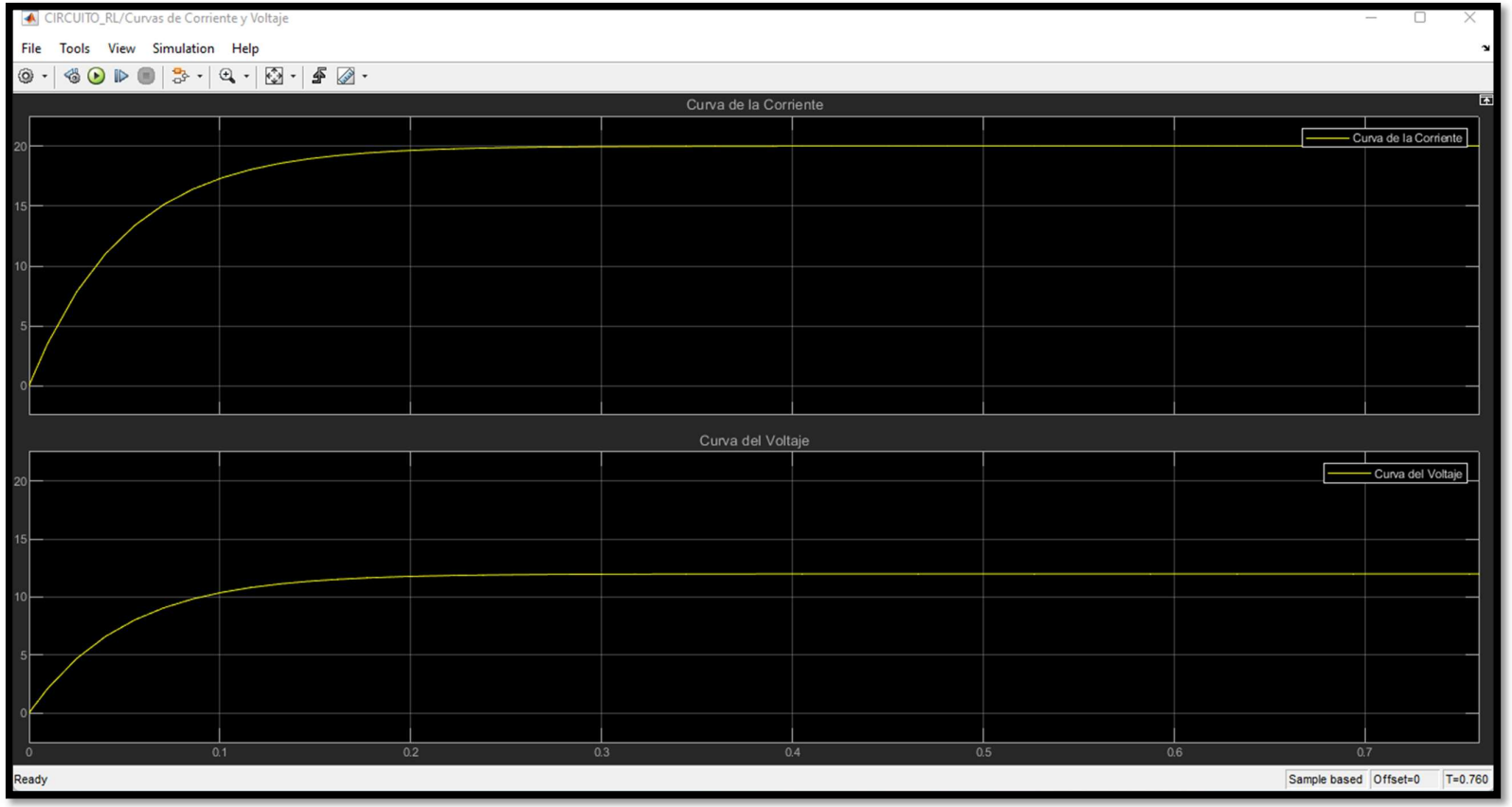


Figura 45: Sensor de Voltaje o Voltímetro del Circuito RL en Simulink de MATLAB®. fuente: El Autor.

4.3.2 Gráfica de los Resultados del Modelado del Electro Pistón como un Circuito RL en Simulink de MATLAB®.

4.3.2.1 Curvas del Voltaje y Corriente:



V

Figura 46: Curvas del voltaje y corriente del circuito RL en Simulink de MATLAB®., fuente: El Autor.

4.3.2.2 Curvas de las Potencias de Entrada y Salida:

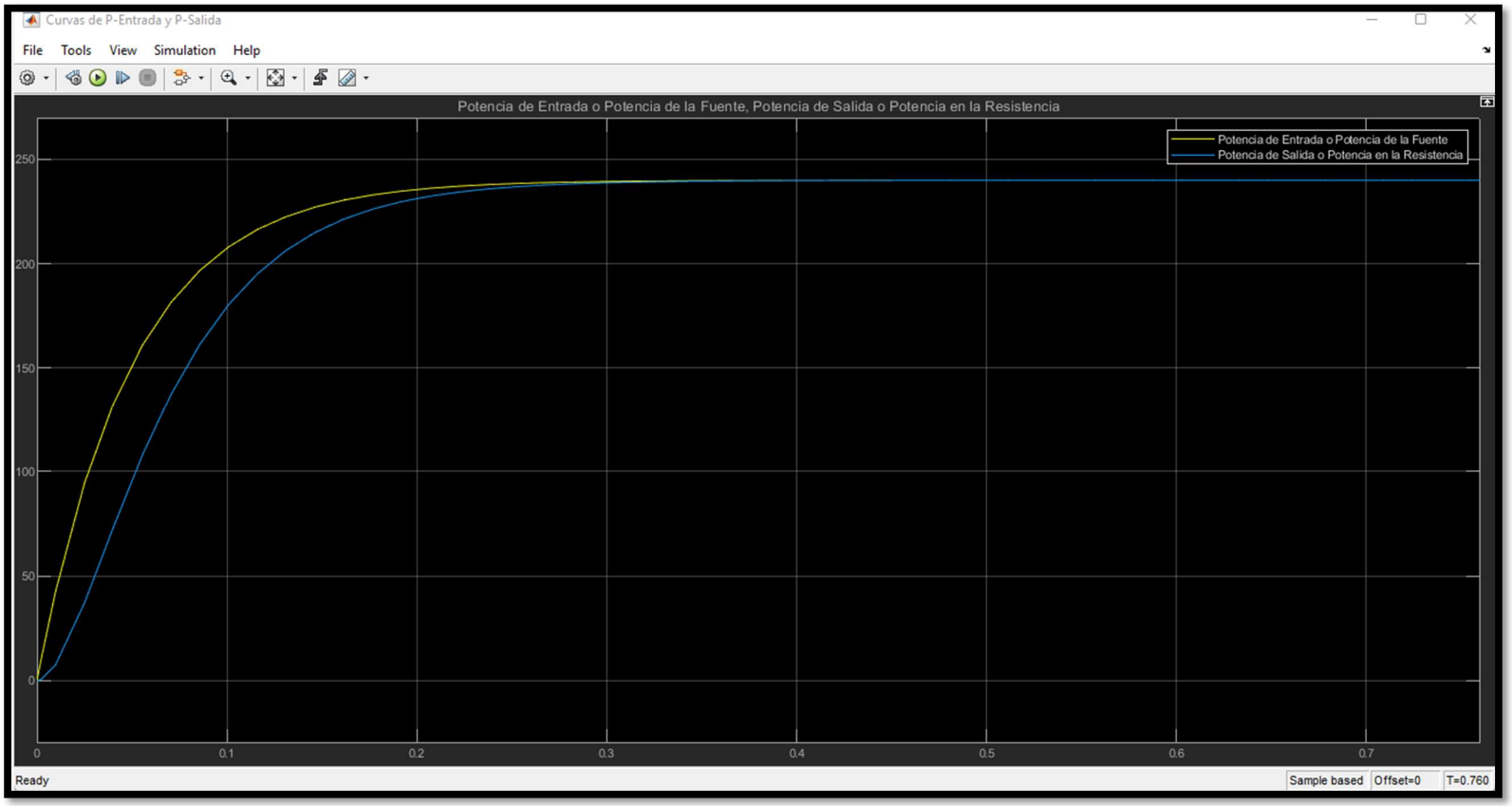


Figura 47: Curvas de las Potencias de Entrada y Salida del circuito RL en Simulink de MATLAB®., fuente: El Autor.

4.3.3 Rendimiento del Modelado del Electro Pistón como un Circuito RL en Simulink de MATLAB®.

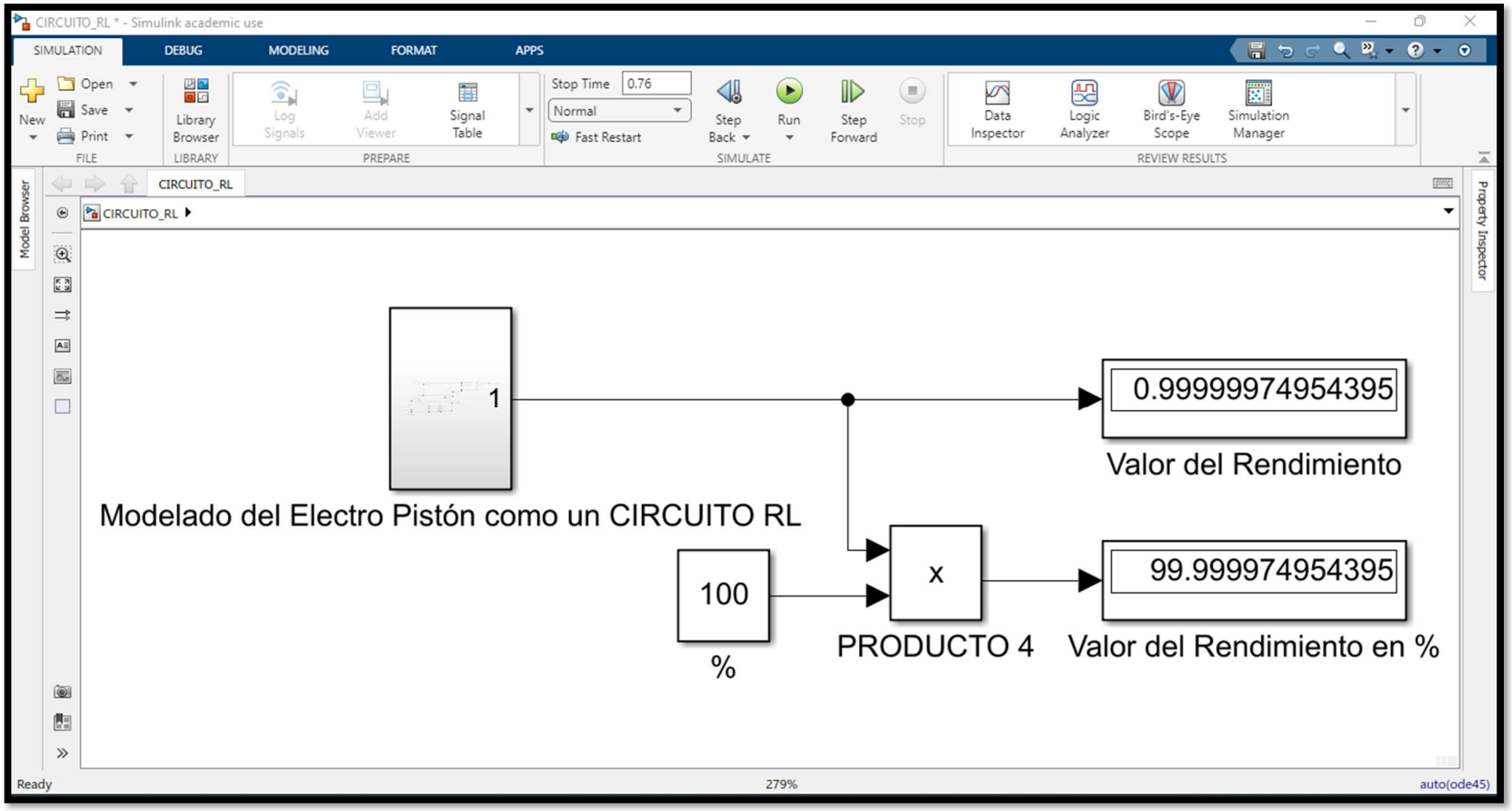


Figura 48: Cálculo del Rendimiento del circuito RL en Simulink de MATLAB®., fuente: El Autor.

5 CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

1. Se probaron diferentes materiales y equipos para el previo diseño y construcción del prototipo del proyecto, tal como se detalla en el Anexo 6.6.
2. Se obtuvieron datos experimentales de la corriente, posición y voltaje, con el fin de obtener la función que gobierna cada variable del prototipo del proyecto, tal como se muestra en la sección 3.4.
3. Se aplico software de alto nivel como es MATLAB®, para verificar el comportamiento de las curvas que se encontró en Microsoft Excel.
4. Se logra observar en las secciones 4.1 y 4.2 que el comportamiento de las curvas experimentales y obtenidos por MATLAB® tienen el mismo comportamiento, con el cuál se concluye que si están correctamente diseñadas.
5. En la sección 4.3 se procedió a modelar el prototipo del proyecto mediante un Circuito RL, dando como resultados el mismo comportamiento de las curvas de corriente y voltaje, confirmando la validez del diseño, además se obtuvo curvas de las Potencias de Entrada y Salida, y con esto se logró determinar el cálculo del rendimiento del sistema.

5.2 Observación

1. Al ejecutar los archivos en MATLAB, cuyos nombres están definido por el Autor, deben ejecutarse con la dirección de la carpeta correcta, puesto que sin ese paso previo no ejecutaría por la simple razón que cada código lee una pestaña u hoja de un archivo de Microsoft Excel.

5.3 Recomendaciones

1. Realizar trabajos futuros en adquisición de una gama de datos para modelar las variables que gobiernan un sistema electromecánico o eléctrico.
2. A la Universidad Politécnica Salesiana integrar proyectos en el cuál aborde la adquisición de datos y estimar mediante tendencias el comportamiento de las diversas variables.
3. Crear nuevos trabajos de titulación obteniendo modelos matemáticos para comprobar los valores experimentales adquiridos del prototipo del proyecto.
4. En base al diseño del prototipo del proyecto, se recomienda a los futuros estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana realizar el estudio del sistema dinámico, en el cual analicen más variables como son; fuerzas, co-energía, etc.
5. Automatizar el sistema, para hacer un control de velocidad del eje rotatorio e inversión de giro y regulación de torque.

6 ANEXOS

6.1 Código Experimental de la Corriente en MATLAB.

```
%% Comandos Iniciales:

clearvars;  % Elimina o borra variables guardadas en el Workspace.

clc;        % Limpia la pantalla del Command Window.

close all;  % Cierra ventanas o gráficas abiertas.

%% Datos del Autor y Tutor:

fprintf('Universidad Politécnica Salesiana \n');

fprintf('Sede Guayaquil \n');

fprintf('Carrera Ingeniería en Electricidad \n');

fprintf('Estudiante: Isaac Orlando Cevallos Figueroa \n');

fprintf('Cédula: 0955095963 \n');

fprintf('Tutor: Ing. Carlos Chávez Córdova, MSc. \n');

fprintf('Análisis Monofásico DC para una Bobina \n');

fprintf('Código de Forma Experimental para la Corriente \n');

%% Lectura de Datos del Archivo de Microsoft Excel:

CORRIENTE=xlsread("DATOS.xlsx",1);

%% Gráfica de la Corriente:

cor_x=CORRIENTE(:,1);

cor_y=CORRIENTE(:,2);

figure(1);

plot(cor_x,cor_y,'r','LineWidth',1.5);

title({'\fontsize{22}\color{red}\fontname{times} Corriente con respecto al Tiempo -

Análisis Monofásico DC',...
```

```
    ['\fontsize{20}\color{black}\fontname{times} Estudiante: Isaac Orlando Cevallos
Figueroa']});
xlabel('\fontsize{16}\color{blue}\fontname{times} Tiempo [s]');
ylabel('\fontsize{16}\color{blue}\fontname{times} Corriente [A]');
legend('Corriente con respecto al Tiempo - Análisis Monofásico
DC','FontSize',12,'FontName','times','Location','southeast');
xlim([0 0.8]);
ylim([17 20.5]);
grid on;
grid minor;
%% Función Obtenida para la Corriente a traves de la Lectura de Datos del Archivo de
Microsoft Excel:
fprintf('Escalares de la función para la Corriente con el comando "polyfit" \n');
escalares=polyfit(cor_x,cor_y,3);
fprintf('Escalar "a" del primer término:');
a=sprintf('%.6f',escalares(1,1))
fprintf('Escalar "b" del segundo término:');
b=sprintf('%.6f',escalares(1,2))
fprintf('Escalar "c" del tercer término:');
c=sprintf('%.6f',escalares(1,3))
fprintf('Escalar "d" del cuarto término:');
d=sprintf('%.6f',escalares(1,4))
syms x
format default
fprintf('Función Obtenida para la Corriente mediante polinomio de tercer orden: ');
```

```
fx=(a*x^3)+(b*x^2)+(c*x)+(d)

fprintf('Fin del Código "Corriente Experimental" \n')

fprintf('Muchas Gracias...! \n');
```

6.2 Código Experimental de la Posición en MATLAB.

```
%% Comandos Iniciales:

clearvars;  % Elimina o borra variables guardadas en el Workspace.

clc;        % Limpia la pantalla del Command Window.

close all;  % Cierra ventanas o gráficas abiertas.

%% Datos del Autor y Tutor:

fprintf('Universidad Politécnica Salesiana \n');

fprintf('Sede Guayaquil \n');

fprintf('Carrera Ingeniería en Electricidad \n');

fprintf('Estudiante: Isaac Orlando Cevallos Figueroa \n');

fprintf('Cédula: 0955095963 \n');

fprintf('Tutor: Ing. Carlos Chávez Córdova, MSc. \n');

fprintf('Análisis Monofásico DC para una Bobina \n');

fprintf('Código de Forma Experimental para la Posición \n');

%% Lectura de Datos del Archivo de Microsoft Excel:

POSICION=xlsread("DATOS.xlsx",2);

%% Gráfica de la Posición:

pos_x=POSICION(:,1);

pos_y=POSICION(:,2);

figure(1);

plot(pos_x,pos_y,'g','LineWidth',1.5);
```

```
title({'\fontsize{22}\color{red}\fontname{times} Posición con respecto al Tiempo -
Análisis Monofásico DC',...
   ['\fontsize{20}\color{black}\fontname{times} Estudiante: Isaac Orlando Cevallos
Figueroa']});
xlabel('\fontsize{16}\color{blue}\fontname{times} Tiempo [s]');
ylabel('\fontsize{16}\color{blue}\fontname{times} Posición [mm]');
legend('Posición con respecto al Tiempo - Análisis Monofásico
DC','FontSize',12,'FontName','times','Location','southeast');
xlim([0 0.8]);
ylim([0 26]);
grid on;
grid minor;
%% Función Obtenida para la Posición a traves de la Lectura de Datos del Archivo de
Microsoft Excel:
fprintf('Escalares de la función para la Posición con el comando "polyfit" \n');
escalares=polyfit(pos_x,pos_y,1);
fprintf('Escalar "a" del primer término:');
a=sprintf('%.6f',escalares(1,1))
fprintf('Escalar "b" del segundo término:');
b=sprintf('%.6f',escalares(1,2))
syms x
format default
fprintf('Función Obtenida para la Posición mediante polinomio de primer orden: ');
fx=(a*x)+(b)
fprintf('Fin del Código "Posición Experimental" \n')
```

```
fprintf('Muchas Gracias...! \n');
```

6.3 Código Experimental del Voltaje en MATLAB.

```
%% Comandos Iniciales:
clearvars;  % Elimina o borra variables guardadas en el Workspace.
clc;        % Limpia la pantalla del Command Window.
close all;  % Cierra ventanas o gráficas abiertas.
%% Datos del Autor y Tutor:
fprintf('Universidad Politécnica Salesiana \n');
fprintf('Sede Guayaquil \n');
fprintf('Carrera Ingeniería en Electricidad \n');
fprintf('Estudiante: Isaac Orlando Cevallos Figueroa \n');
fprintf('Cédula: 0955095963 \n');
fprintf('Tutor: Ing. Carlos Chávez Córdova, MSc. \n');
fprintf('Análisis Monofásico DC para una Bobina \n');
fprintf('Código de Forma Experimental para el Voltaje \n');
%% Lectura de Datos del Archivo de Microsoft Excel:
VOLTAJE=xlsread("DATOS.xlsx",3);
%% Gráfica del Voltaje:
vol_x=VOLTAJE(:,1);
vol_y=VOLTAJE(:,2);
figure(1);
plot(vol_x,vol_y,'b','LineWidth',1.5);
title({'\fontsize{22}\color{red}\fontname{times} Voltaje con respecto al Tiempo -
Análisis Monofásico DC',...
```

```
    ['\fontsize{20}\color{black}\fontname{times} Estudiante: Isaac Orlando Cevallos
Figueroa']});
xlabel('\fontsize{16}\color{blue}\fontname{times} Tiempo [s]');
ylabel('\fontsize{16}\color{blue}\fontname{times} Voltaje [V]');
legend('Voltaje con respecto al Tiempo - Análisis Monofásico
DC','FontSize',12,'FontName','times','Location','southeast');
xlim([0 0.8]);
ylim([10 12.2]);
grid on;
grid minor;
%% Función Obtenida para el Voltaje a traves de la Lectura de Datos del Archivo de
Microsoft Excel:
fprintf('Escalares de la función para el Voltaje con el comando "polyfit" \n');
escalares=polyfit(vol_x,vol_y,6);
fprintf('Escalar "a" del primer término:');
a=sprintf('%.6f',escalares(1,1))
fprintf('Escalar "b" del segundo término:');
b=sprintf('%.6f',escalares(1,2))
fprintf('Escalar "c" del tercer término:');
c=sprintf('%.6f',escalares(1,3))
fprintf('Escalar "d" del cuarto término:');
d=sprintf('%.6f',escalares(1,4))
fprintf('Escalar "e" del quinto término:');
e=sprintf('%.6f',escalares(1,5))
fprintf('Escalar "f" del sexto término:');
```

```
f=sprintf('%.6f',escalares(1,6))

fprintf('Escalar "g" del séptimo término:');

g=sprintf('%.6f',escalares(1,7))

syms x

format default

fprintf('Función Obtenida para el Voltaje mediante polinomio de sexto orden: ');

fx=(a*x^6)+(b*x^5)+(c*x^4)+(d*x^3)+(e*x^2)+(f*x)+(g)

fprintf('Fin del Código "Voltaje Experimental" \n')

fprintf('Muchas Gracias...! \n');
```

6.4 Código con Potenciómetro de Arduino.

```
//Variable donde almacenaremos el valor del potenciometro

long valor, conv;

const int mt1=6,mt2=7,mt3=8,mt4=9,mt5=10,mt6=11;

void setup() {

  pinMode(mt1, OUTPUT);

  pinMode(mt2, OUTPUT);

  pinMode(mt3, OUTPUT);

  pinMode(mt4, OUTPUT);

  pinMode(mt5, OUTPUT);

  //pinMode(mt6, OUTPUT);

  Serial.begin(9600);

  Serial.println("valores del potenciometro");

}



void loop() {

  valor = analogRead(A0);

  conv=valor*4;

  digitalWrite(mt1, HIGH);

  delay(conv);
```

```
  digitalWrite(mt1, LOW);

  digitalWrite(mt2, HIGH);

  delay(conv);

  digitalWrite(mt2, LOW);

  digitalWrite(mt3, HIGH);

  delay(conv);

  digitalWrite(mt3, LOW);

  digitalWrite(mt4, HIGH);

  delay(conv);

  digitalWrite(mt4, LOW);

  digitalWrite(mt5, HIGH);

  delay(conv);

  digitalWrite(mt5, LOW);

  //digitalWrite(mt6, HIGH);

  //delay(conv);

  //digitalWrite(mt6, LOW);

    Serial.print("El valor es = ");

  Serial.println(conv);

  delay(valor);

}
```

6.5 Código con Pulsador de Arduino.

```
const int btn1 = 2, btn2 = 3, btn3 = 4,btn4=5, mt1 = 6, mt2 = 7, mt3 = 8, mt4=9;
void setup()
{
  pinMode(mt1, OUTPUT);
  pinMode(mt2, OUTPUT);
  pinMode(mt3, OUTPUT);
  pinMode(mt4, OUTPUT);
  pinMode(btn1, INPUT);
  pinMode(btn2, INPUT);
  pinMode(btn3, INPUT);
  pinMode(btn4, INPUT);

}

void loop()
{
  if (digitalRead(btn1))
  {
    digitalWrite(mt1, HIGH);
    delay(4000);
    digitalWrite(mt1, LOW);
  }
  if (digitalRead(btn2))
  {
    digitalWrite(mt2, HIGH);
    delay(4000);
    digitalWrite(mt2, LOW);
  }
  if (digitalRead(btn3))
```

```
  {
    digitalWrite(mt3, HIGH);
    delay(4000);
    digitalWrite(mt3, LOW);
  }
    if (digitalRead(btn4))
  {
    digitalWrite(mt4, HIGH);
    delay(4000);
    digitalWrite(mt4, LOW);
  }
}
```

6.6 Procedimiento del diseño del Electro pistón.

Figura 49: Bobina de 300 espiras de 300 espiras y de alambra de cobre esmaltado calibre numero 18 AWG, enrollado sobre un cilindro hueco de cobre, fuente: El Autor.

Figura 50: Vista superior de la construcción de la bobina en un cilindro de cobre con su respectivo pistón diseñado a la medida necesaria para el funcionamiento requerido, fuente: El Autor.

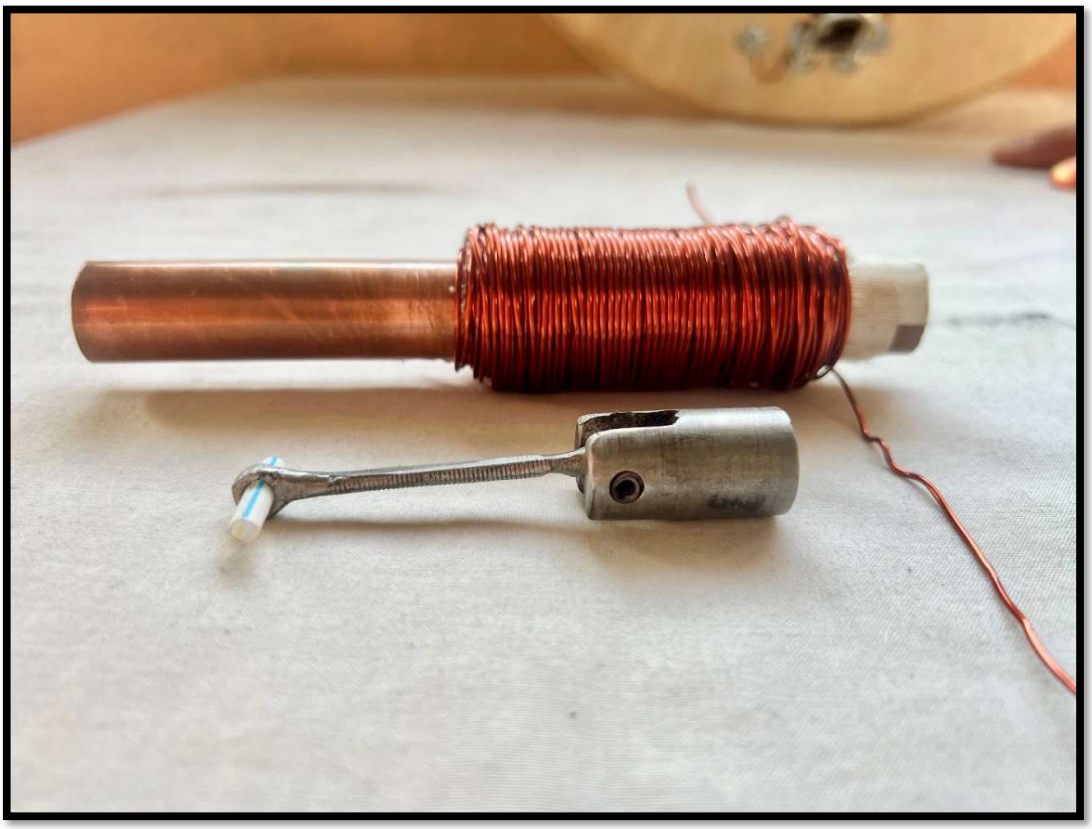


Figura 51: Vista lateral del pistón con su respectivo cilindro de cobre, fuente: El Autor.

Se logra observar las partes mecánicas que se adhieren al pistón, como el bazo de biela que sirve como componente mecánico que hace posible el giro del rotor, además de dos pasadores de sujeción.

Figura 52: Construcción del pistón de hierro, y del sistema mecánico que hace posible la unión del brazo de biela y de los pasadores o topes como punto de sujeción de ambas piezas, fuente: El Autor.

Figura 53: Pistón y sus componentes, libre de impurezas y polvo, garantizando así el perfecto deslizamiento dentro del cilindro lugar donde opera al ser sometido a campos magnéticos, fuente: El Autor.

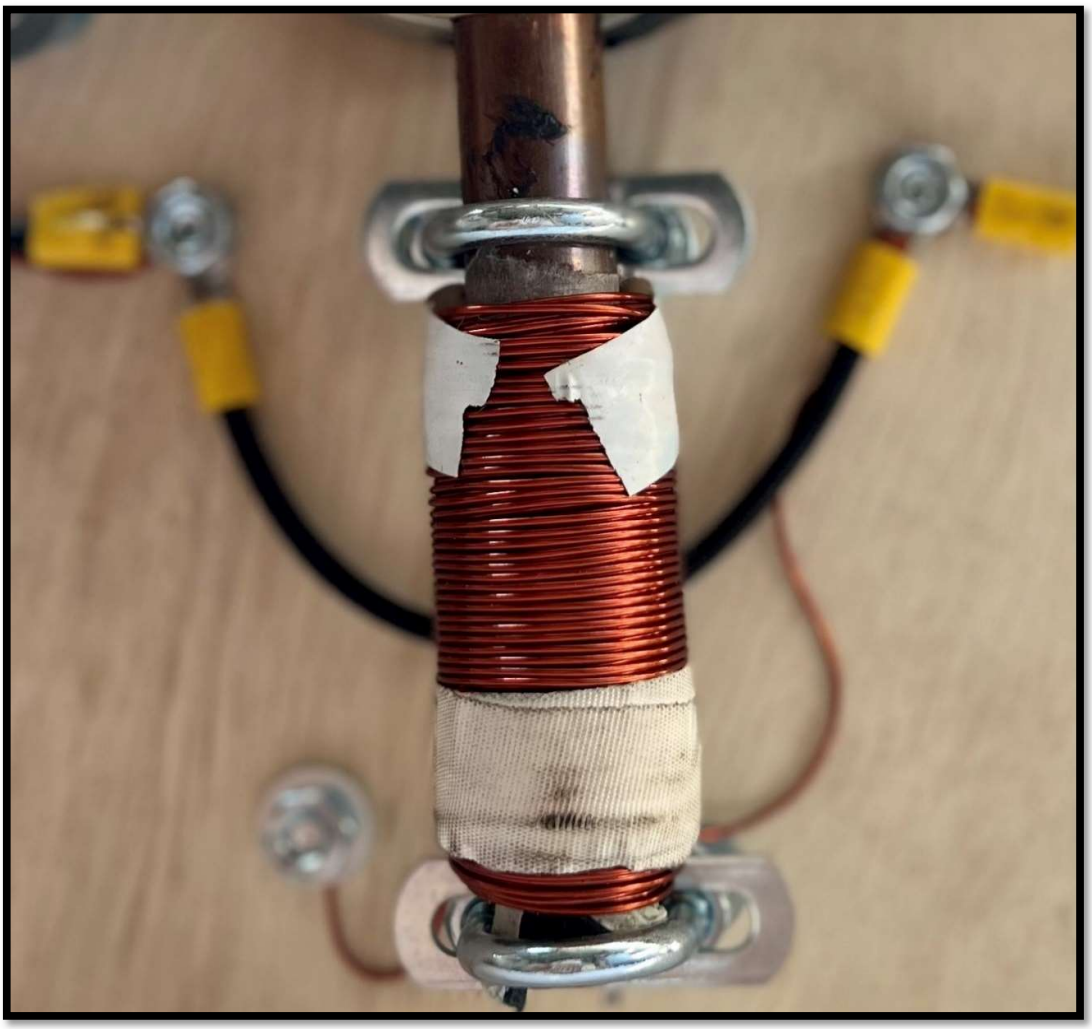


Figura 54: Cilindro con su respectiva bobina, fuente: El Autor.

En la figura anterior, se logra observar los muelles de sujeción mecánica sobre la base de soportes, se ha previsto la instalación de estos muelles en el inicio y final del cilindro para garantizar la perfecta y milimétrica alineación del cilindro y el pistón al eje del rotor, con el objetivo de obtener un movimiento suave y sin interferencias de fricción.

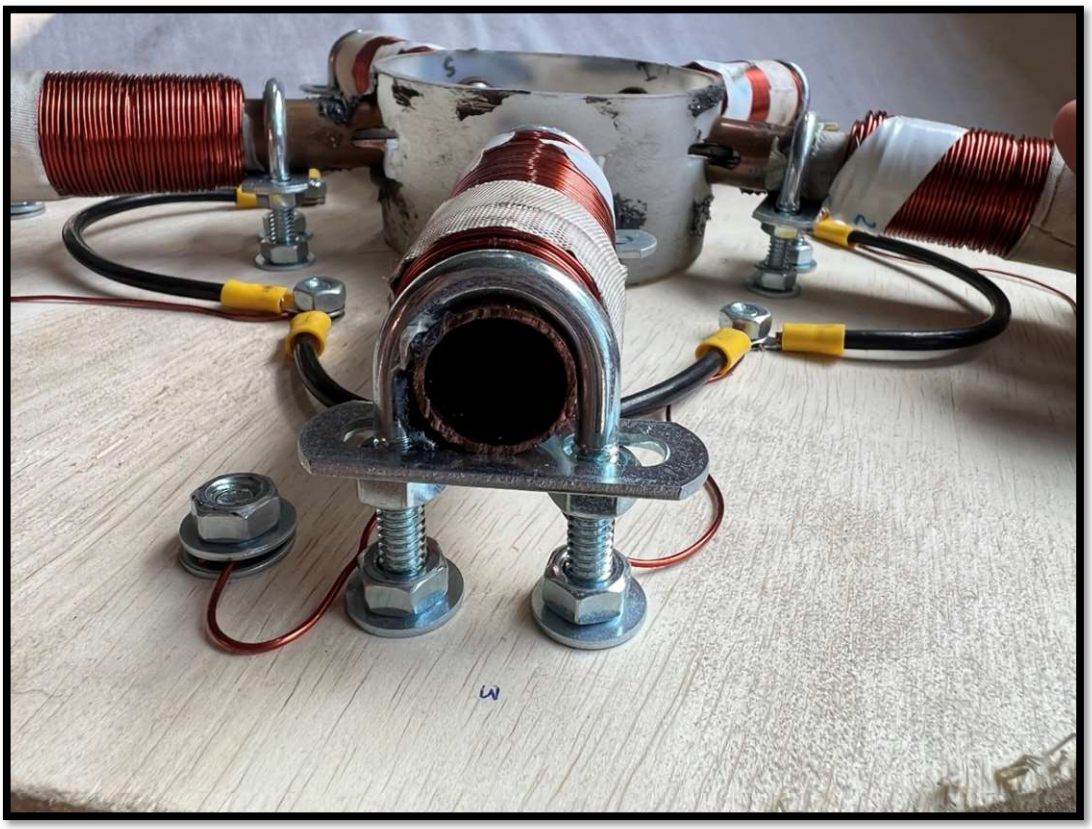


Figura 55: Perspectiva para la visualización de los muelles de soporte del pistón, fuente: El Autor.

Estos muelles mencionados tienen la opción de ser graduados mecánicamente a través de pernos, anillos y tuercas con el objetivo de operarlo según sea conveniente en la alineación del cuerpo mecánico deslizante en su interior (El Pistón).

Figura 56: Eje mecánico de rotación sobre el eje y del anillo de sujeción de bielas respectivamente, que consta de pasadores o pines que hacen posible la unión de los cuerpos mecánicos en el eje, fuente: El Autor.

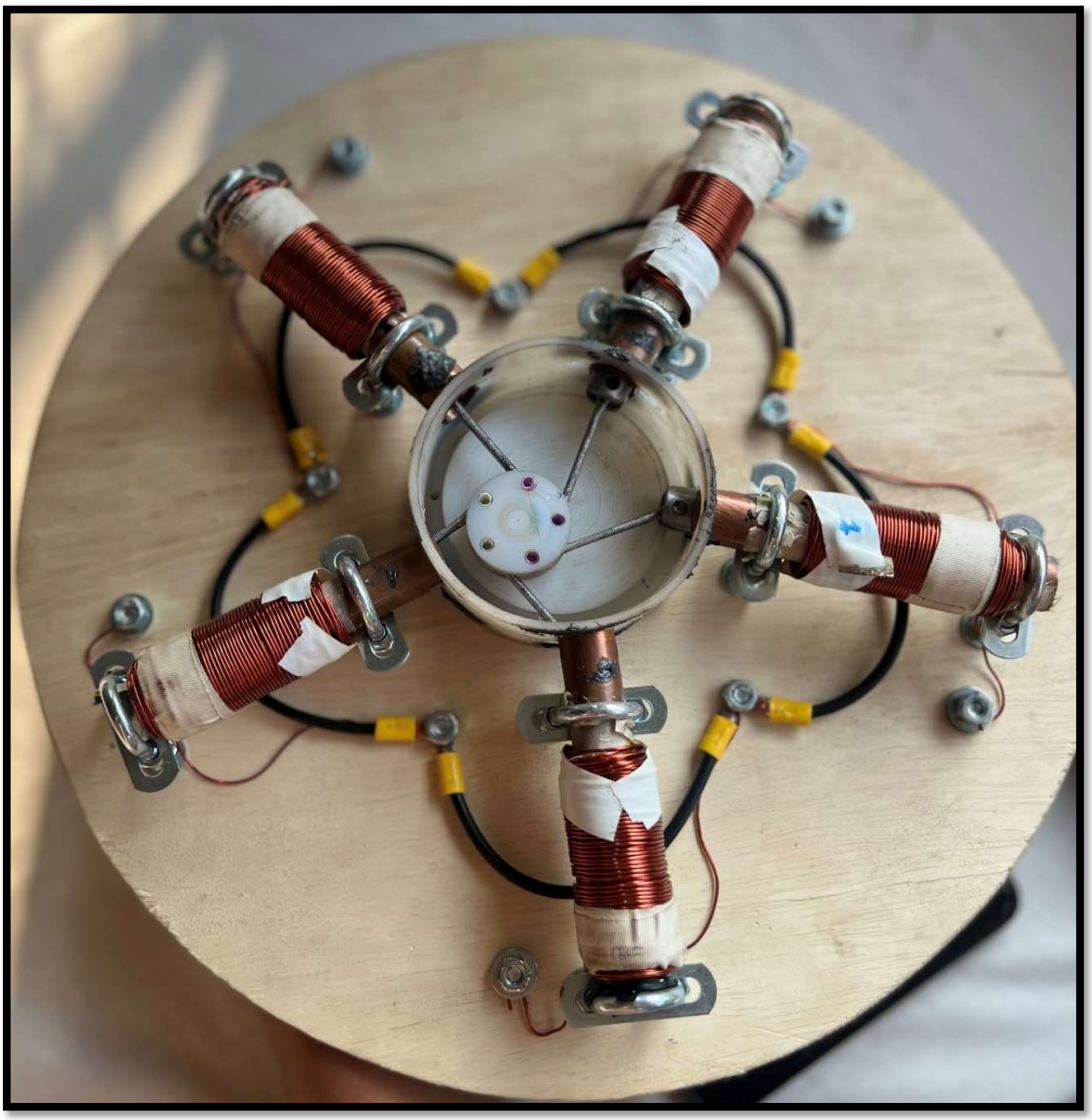


Figura 57: Vista superior del montaje del sistema electromecánico y todo sus componentes y piezas internas, fuente: El Autor.

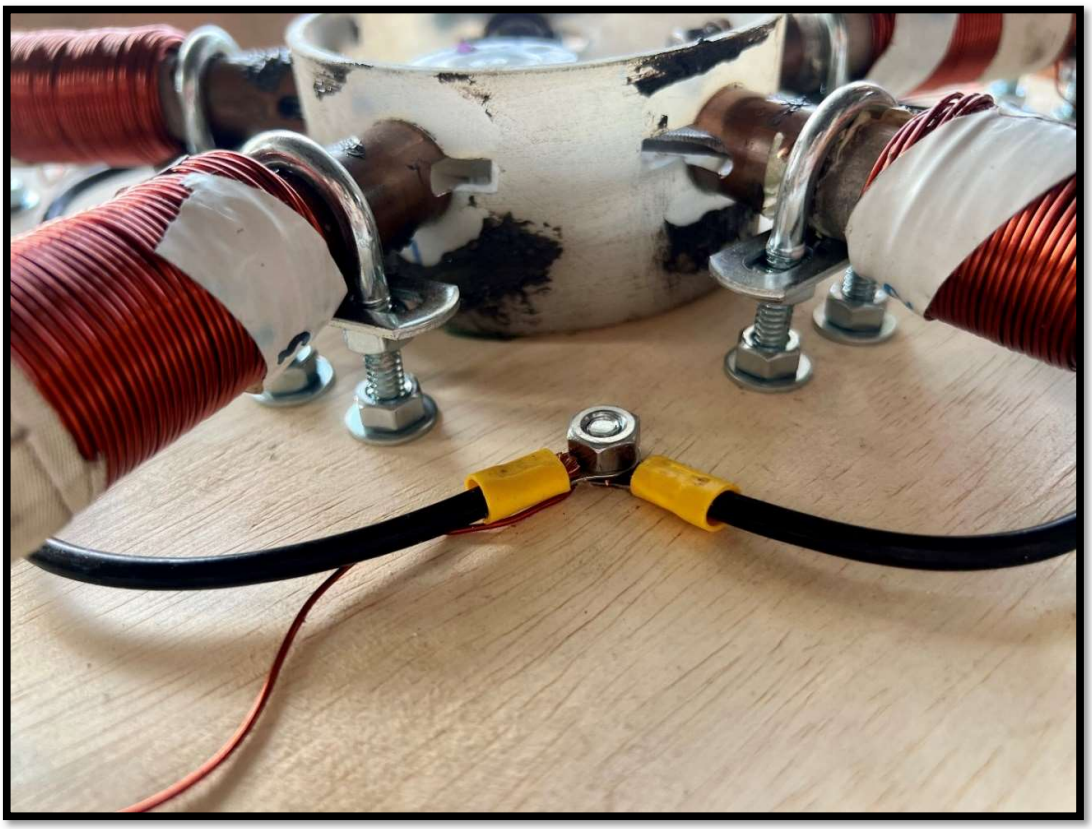


Figura 58: Conexiones eléctricas de la bobina, fuente: El Autor.

Se logra observar la topología de conexión usada, configurado como un terminal común llamado neutro, para los puentes de las conexiones se ha utilizado cable de cobre calibre #10 AWG THHN con sus respectivos terminales de ojo o de compresión soportados mecánicamente por un perno, tuerca y anillo de presión que atraviesa la base.

Figura 59: Vista lateral del montaje de la bobina sobre sus ejes de sujeción y el conexionado eléctrico, fuente: El Autor.

Figura 60: Vista inferior del sistema de sujeción mecánica de los componentes electromecánicos respectivamente, fuente: El Autor.

El sistema de sujeción está montado como se muestra en la figura anterior sobre una base circular que a su vez sirve como aislador eléctrico.

Figura 61: Ensamble de todos los componentes del sistema electromecánico, fuente: El Autor.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] E. Beltramo, S. Ribero, J. M. Hümöller, J. E. Stuardi y S. Preidikman, «Modelo electromecánico de un cosechador aeroelástico de energía,» *Dialnet,* vol. 5, nº 2, pp. 53-61, 2019.

[2] S. S. Godoy de la Rosa, «Propuesta de una guía para la construcción electromecánica de líneas aéreas de transmisión de energía eléctrica de 69 KV con estructuras tipo monopolo en el Sistema Nacional Interconectado (SNI),» 06 Junio 2017. [En línea]. Available: https://repositoriosiidca.csuca.org/Record/RepoUSAC14188. [Último acceso: 24 Agosto 2022].

[3] L. D. Barja, D. F. Ortega, E. Logarzo, A. Paolucci, M. Amor y N. Nangani, «Resincronización electromecánica con estimulación septal de alta energía,» *Revista argentina de cardiología,* vol. 84, nº 1, pp. 40-48, 2016.

[4] G. Herranz Acero, Convertidores electromecánicos de energía, Barcelona: Marcombo, 1994, 1994.

[5] S. H. Herrera Bran, «Repositorio del Sistema Bibliotecario Universidad de San Carlos de Guatemala,» 07 Octubre 2017. [En línea]. Available: http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/8207. [Último acceso: 24 Agosto 2022].

[6] D. S. Restrepo Lara, «Alta penetración de energía eólica: Impacto en oscilaciones electromecánicas,» S.F. S.F. S.F.. [En línea]. Available:

https://www.academia.edu/37973275/Analisis_modal. [Último acceso: 24 Agosto 2022].

[7] A. J. Poblete Andrades, «Repositorio Académico de la Universidad de Chile,» S.F. S.F. 2020. [En línea]. Available: https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/176131. [Último acceso: 24 Agosto 2022].

[8] C. C. Estrada Monroy, «Repositorio Institucional DGBSDI-UAQ,» S.F. Marzo 2020. [En línea]. Available: http://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/2152. [Último acceso: 24 Agosto 2022].

[9] E. C. Quispe O. y L. F. Mantilla P., «DSpace Principal Biblioteca digital,» 13 Octubre 2011. [En línea]. Available: http://hdl.handle.net/10893/1417. [Último acceso: 24 Agosto 2022].

[10] M. F. Bedriñana Aronés, «Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ingeniería UNI,» S.F. S.F. 2007. [En línea]. Available: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://node2.123dok.com/dt02pdf/123dok_es/000/699/699766.pdf.pdf?X-Amz-Content-Sha256=UNSIGNED-PAYLOAD&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=aa5vJ7sqx6H8Hq4u%2F20220825%2F%2Fs3%2Faws4_reques. [Último acceso: 24 Agosto 2022].

[11] V. Gourishankar y R. F. Lambert, Conversión de Energía Electromecánica., México: International Textbook Company, 1975.

[12] L. Vera, F. Gonzalez, A. Firman, M. Cáceres y A. Busso, «Sistema fotovoltaico conectado a la red de energía eléctrica del Departamento de Ingeniería

Electromecánica de la UNNE,» *EXTENSIONISMO, INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA - CLAVES PARA EL DESARROLLO,* vol. 3, nº 21, pp. 164-171, 2019.

[13] A. Vinajera Zamora, F. Marrero Delgado y M. Ruiz Morales, «Método para calcular el valor agregado en cadenas de suministro de productos electromecánicos,» *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería,* vol. 25, nº 3, pp. 535-546, 2017.

[14] M. Pinilla Martín, «Archivo Digital UPM de la Universidad Politécnica de Madrid,» 16 Diciembre 2011. [En línea]. Available: https://oa.upm.es/11585/. [Último acceso: 25 Agosto 2022].

[15] D. Ibern Alemán, «Google Libros,» S.F. S.F. 2015. [En línea]. Available: https://books.google.com.ec/books/about/Sistemas_electromec%C3%A1nicos_piezoel%C3%A9ctri.html?id=uZ_5ygEACAAJ&redir_esc=y. [Último acceso: 25 Agosto 2022].

[16] B. Jiménez, «DIGITAL CSIC Insitituto sw Ciencia de Materiales de Madrid,» 6 Diciembre 1995. [En línea]. Available: http://hdl.handle.net/10261/48658. [Último acceso: 25 Agosto 2022].

[17] T. L. FLOYD, Principios de circuitos eléctricos, México: OEARSON Educación, 2007.

[18] Tubos Monterrey, «TUBOS MONTERREY TU SOLUCIÓN, NUESTRO COMPROMISO,» México, S.F. S.F. S.F.. [En línea]. Available:

https://www.tubosmonterrey.com.mx/home/productos/tuberia/tuberia-de-cobre/rigido-tipo-m/. [Último acceso: 19 Agosto 2022].

[19] ELECTROCABLES, «LISTADO DE CABLES DE ELECTROCABLES,» Ecuador Resolución Super Intendencia de Compañias, S.F. S.F. S.F.. [En línea]. Available: https://www.electrocable.com/index.php/es/categorias-productos/transformadores-rebobinaje-y-soldaduras/alambre-esmaltado.html. [Último acceso: 19 Agosto 2022].

[20] M. d. l. S. Flores Vidal, «UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID,» s.f. Febrero 2013. [En línea]. Available: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://eprints.ucm.es/id/eprint/22285/1/T34606.pdf. [Último acceso: 24 Agosto 2022].

[21] ARDUINO.CC STORE, «© 2021 Arduino S.r.l.,» © 2021 Arduino S.r.l., S.F. S.F. 2021. [En línea]. Available: https://store.arduino.cc/products/arduino-nano. [Último acceso: 24 Agosto 2022].

[22] SOLECTRO, «Guía para los principiantes sobre los módulos relé en proyectos Arduino,» Developed by Solectroshop™, 26 Junio 2020. [En línea]. Available: https://solectroshop.com/es/blog/guia-para-principiantes-sobre-modulos-de-reles-en-los-proyectos-de-arduino-n28. [Último acceso: 24 Agosto 2022].

[23] AMAZON, «AMAZON,» AMAZON, 10 Agosto 2018. [En línea]. Available: https://www.amazon.com/-/es/control-canales-disparador-indicadores-Arduino/dp/B07GCFXWTG. [Último acceso: 24 Agosto 2022].

[24] K. J. Negrete Durazno y B. K. Morocho Ochoa, «Repositorio Institucional Universidad Poitécnica Salesiana,» 10 Diciembre 2019. [En línea]. Available: http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18152. [Último acceso: 26 Agosto 2022].

[25] FLUKE, «Calidad eléctrica,» FLUKE, S.F. S.F. S.F.. [En línea]. Available: https://www.fluke.com/es-ec/producto/comprobacion-electrica/calidad-electrica/1735. [Último acceso: 24 Agosto 2022].

[26] FLUKE 1735 Power Logger, «FLUKE 1735 Power Logger,» FLUKE, S.F. Marzo 2006. [En línea]. Available: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.adinstruments.es/WebRoot/StoreLES/Shops/62688782/57D1/6B9F/C6B6/0CD6/AAFD/C0A8/2BB9/1BC5/1735_manual.pdf. [Último acceso: 24 Agosto 2022].

[27] FLUKE 1520 MegOhmMeter, «FLUKE,» S.F. Septiembre 2000. [En línea]. Available: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://docs.rs-online.com/baf1/0900766b80335002.pdf. [Último acceso: 24 Agosto 2022].

[28] Blog de Tecnología – IES José Arencibia Gil – Telde, «Blog de Tecnología – IES José Arencibia Gil – Telde,» WordPress, 03 Diciembre 2014. [En línea]. Available: https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoblog/fsancac/2014/03/12/leyes-de-kirchhoff/#:~:text=Ley%20de%20tensiones%20de%20Kirchhoff&text=La%20le

y%20de%20las%20mallas,lazo%20es%20igual%20a%20cero.. [Último acceso: 02 Septiembre 2022].

[29] M. A. Vivas Rivero, «CÓMO RESOLVER ECUACIONES DIFERENCIALES,» NitroPack.io, 05 Abril 2014. [En línea]. Available: https://ecuaciondiferencialejerciciosresueltos.com/ecuaciones-diferenciales-metodo-4-pasos-factor-integrante. [Último acceso: 02 Septiembre 2022].