

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



TESIS

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA
ELECTRÓNICO CON UN PROTOTIPO DE MOTOR
GENERADOR PARA EL CONTROL Y USO DE LA FUERZA
CONTRA ELECTROMOTRIZ”**

PARA OPTAR:

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADO POR:

Bach. ELARD JOÉ CAHUANA SIÑA

TACNA – PERÚ

2022

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

TESIS

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA
ELECTRÓNICO CON UN PROTOTIPO DE MOTOR
GENERADOR PARA EL CONTROL Y USO DE LA FUERZA
CONTRA ELECTROMOTRIZ”**

Tesis sustentada y aprobada el 18 de mayo de 2022; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE : Mag. ANÍBAL JUAN ESPINOZA ARANCIAGA

SECRETARIO : Mag. MARCO ANTONIO COLOMA YUNGANINA

VOCAL : Mtro. HERACLIO HENRY GÓMEZ DEL CARPIO

ASESOR : Mag. JOSÉ MARCIAL SUMARRIVA BUSTINZA

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo, *Elard Joé Cahuana Siña*, en calidad de Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 45260394.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy autor de la tesis titulada:

“Diseño E Implementación De Un Sistema Electrónico Con Un Prototipo De Motor Generador Para El Control Y Uso De La Fuerza Contra Electromotriz”

La misma que presento para optar:

Título profesional de ingeniero electrónico.

2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a *la universidad* cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a *la universidad* y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, 18 de mayo de 2022.



Elard Joé Cahuana Siña

DNI: 45260394

DEDICATORIA

“A mi familia, mis hermanos, mis padres, a mi abuelita Domitila y muy especialmente a mi compañera de vida mi esposa Marilia. Te amo.”

AGRADECIMIENTOS

A Dios. A mis padres, mis hermanos y mi esposa, por soportarme e impulsarme en los momentos difíciles. A todos mis profesores de la escuela profesional de ingeniería electrónica por su gran enseñanza. A mi asesor Mag. José Marcial Sumarriva Bustinza por su apoyo.

ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE JURADOS	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD	iii
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1 Descripción del problema.....	3
1.2 Formulación del problema.....	3
1.2.1 Problema general	3
1.2.2 Problemas específicos	3
1.3 Justificación e Importancia.....	4
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivo general	4
1.4.2 Objetivos específicos	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	6
2.1 Antecedentes del estudio.....	6
2.2 Bases Teóricas.....	7
2.2.1 Magnetismo	7
2.2.2 Electromagnetismo.....	7
2.2.3 Inducción magnética en la materia	8
2.2.4 Intensidad de campo magnético en un solenoide	9
2.2.5 Densidad del campo magnético en un solenoide.....	9
2.2.6 Flujo magnético	9
2.2.7 Permeabilidad magnética.....	10

2.2.7.1	Permeabilidad del vacío	10
2.2.7.2	Permeabilidad relativa	10
2.2.8	Susceptibilidad	11
2.2.9	Clasificación de los materiales magnéticos	11
2.2.9.1	Materiales diamagnéticos	12
2.2.9.2	Materiales paramagnéticos	12
2.2.9.3	Materiales ferromagnéticos	12
2.2.10	Dominios magnéticos	13
2.2.11	Ciclo de histéresis	14
2.2.12	Coercitividad	15
2.2.13	Imán permanente de neodimio	15
2.2.14	Ley de Coulomb	16
2.2.15	Ley de Faraday	16
2.2.16	Ley de Lenz	17
2.2.17	Velocidad angular	17
2.2.18	Frecuencia	17
2.2.19	Periodo	18
2.2.20	Ampacidad	18
2.2.21	Inductancia	18
2.2.21.1	Tiempo de carga de un solenoide	19
2.2.21.2	Régimen transitorio de la inductancia	19
2.2.22	Resistencia de un solenoide	20
2.2.23	Reactancia inductiva	21
2.2.24	Impedancia	21
2.2.25	Factor de potencia	22
2.3	Definición de términos	22
2.3.1	Corrientes de Foucault	22
2.3.2	Efecto Joule	23
2.3.3	Electroimán	23

2.3.4	Motor.....	23
2.3.5	Generador.....	23
2.3.6	Fuerza electromotriz (<i>fem</i>).....	23
2.3.7	Fuerza contra electromotriz (<i>fcem</i>).....	23
2.3.8	Interruptor magnético	24
2.3.9	Transistor.....	24
2.3.10	Potencia.....	24
2.3.11	Eficiencia	24
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO		25
3.1	Diseño de la investigación	25
3.2	Unidad de análisis	25
3.3	Materiales y/o instrumentos	26
3.3.1	Instrumentos.....	26
3.3.2	Materiales	27
3.4	Técnicas e instrumentos para la recolección de datos	28
3.4.1	Diseño e implementación del rotor	28
3.4.2	Evaluación de límites mecánicos del rotor	31
3.4.3	Cálculo de tiempo de encendido y apagado de la polaridad del electroimán	32
3.4.4	Diseño e implementación del electroimán.....	34
3.4.4.1	Cálculo de la inductancia.....	35
3.4.4.2	Cálculo de la resistencia.....	37
3.4.4.3	Cálculo de la reactancia inductiva.....	37
3.4.4.4	Cálculo de la impedancia	38
3.4.5	Características de funcionamiento del electroimán.....	38
3.4.5.1	Cálculo del tiempo de carga.....	38
3.4.5.2	Cálculo de voltaje y corriente	38
3.4.5.3	Cálculo del ángulo de desfase	40
3.4.6	Diseño e implementación del sistema electrónico.....	40
3.4.6.1	Selección de componentes electrónicos.....	41

3.4.6.2	Configuración de componentes electrónicos.....	43
3.4.6.3	Pruebas de integración.....	45
3.5	Procesamiento y análisis de datos	46
CAPÍTULO IV: RESULTADOS		48
4.1	Pruebas de validación del funcionamiento del prototipo	48
4.1.1	Funcionamiento del prototipo sin carga.....	48
4.1.2	Funcionamiento del prototipo con carga.....	49
4.2	Medidas de la eficiencia del prototipo.....	50
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....		52
CONCLUSIONES		53
RECOMENDACIONES.....		54
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		55
ANEXOS		58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los materiales según su susceptibilidad.....	12
Tabla 2. Ampacidad de conductores de cobre según su diámetro.....	18
Tabla 3. Unidad de análisis y sus dimensiones.....	25
Tabla 4. Instrumentos.....	26
Tabla 5. Materiales.....	27
Tabla 6. Resultados de potencia de entrada y salida del circuito con carga y sin carga.....	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Dominios magnéticos.....	13
Figura 2. Ciclo de histéresis de un material ferromagnético.....	14
Figura 3. Clasificación de los materiales según su coercitividad.....	15
Figura 4. Régimen transitorio de la inductancia.....	19
Figura 5. Evaluación del campo magnético de los imanes.....	28
Figura 6. Campo magnético de imán de neodimio grado N42.....	29
Figura 7. Diseño de rotor.....	30
Figura 8. Rotor impreso con imanes y rodamientos ubicados.....	30
Figura 9. Diseño e impresión de base de rotor.....	31
Figura 10. Tiempo de encendido y apagado del electroimán por secciones.....	33
Figura 11. Diseño e impresión de carrete.....	34
Figura 12. Medición de inductancia de embobinado de 100 vueltas con núcleo.....	36
Figura 13. Régimen transitorio de la inductancia y fcm.....	39
Figura 14. Estator – Bases de soporte de carretes e interruptor magnético.....	40
Figura 15. Estator - Bases de soporte impresos de carretes e interruptor magnético.	41
Figura 16. Batería de alimentación.....	41
Figura 17. Transistor.....	42
Figura 18. Interruptor magnético.....	42
Figura 19. Batería recargable.....	43
Figura 20. Circuito electrónico.....	44
Figura 21. Integración de partes del prototipo.....	45
Figura 22. Prueba de integración con batería de 9V.....	46
Figura 23. Ancho de pulso del electroimán y picos de la fuerza contra electromotriz.	47
Figura 24. Funcionamiento del prototipo y medición de entrada sin carga.....	48
Figura 25. Funcionamiento del prototipo y medición de entrada con carga.....	49
Figura 26. Funcionamiento del prototipo y medición de salida con carga.....	50

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Consistencia	58
Anexo 2. Datasheet - Interruptor magnético	60
Anexo 3. Datasheet – Transistor	61
Anexo 4. Datasheet – Diodo	62
Anexo 5. Datasheet – Varillas de acero al carbono o electrodos	63
Anexo 6. Datasheet – Batería.....	64

RESUMEN

En la presente tesis *“diseño e implementación de un sistema electrónico con un prototipo de motor generador para el control y uso de la fuerza contra electromotriz”*, el principal objetivo es controlar y usar la fuerza contra electromotriz entregada por un sistema electrónico y un prototipo de motor generador. Para esto se diseñó un rotor y un estator en SolidWorks de tal forma que trabaje como un motor generador, y se implementó mediante el uso de la impresión en 3D; se diseñó y se implementó un sistema electrónico para que funcione en conjunto con el prototipo de motor generador y permita el control y uso de la fuerza contra electromotriz. Para dimensionar el rotor se midieron los imanes y su campo magnético, y se evaluaron los límites mecánicos del rodamiento para que trabaje a una frecuencia óptima de encendido y apagado de la polaridad de los electroimanes. Para el óptimo funcionamiento de los electroimanes respecto a su tiempo de carga se calculó la inductancia, la permeabilidad relativa, la resistencia, la reactancia inductiva y la impedancia. Para el sistema electrónico se hace uso de una batería de 12V 9A que alimenta a los electroimanes mediante un transistor que es controlado por un interruptor magnético, el cual se cierra en el instante cuando el electroimán se encuentra con el imán permanente provocando el giro del rotor en una sola dirección, y se abre en el instante cuando el electroimán se ubica en el centro del imán permanente provocando el colapso del campo magnético almacenado en el electroimán que se manifiesta como fuerza contra electromotriz para ofrecer un impulso extra en la misma dirección de giro del rotor y a su vez siendo dirigida por un diodo para aprovecharla en una carga. Se realizaron las pruebas de validación del funcionamiento, el cual fue medida la potencia de salida en relación a la potencia de entrada, dando como resultado de eficiencia de aprovechamiento de la fuerza contra electromotriz un 13,6 %.

Palabras clave: Fuerza electromotriz, fuerza contra electromotriz, inductancia, permeabilidad, susceptibilidad, coercitividad.

ABSTRACT

In this thesis "design and implementation of an electronic system with a generator motor prototype for the control and use of the counter electromotive force", the main objective is to control and use the counter electromotive force delivered by an electronic system and a prototype of generator engine. For this, a rotor and a stator were designed in SolidWorks in such a way that they work as a generator motor, and it was implemented through the use of 3D printing; An electronic system was designed and implemented to work together with the generator motor prototype and allow the control and use of the counter electromotive force. To size the rotor, the magnets and their magnetic field were measured, and the mechanical limits of the bearing were evaluated so that it works at an optimal frequency of turning on and off the polarity of the electromagnets. For the optimal operation of the electromagnets with respect to their charging time, inductance, relative permeability, resistance, inductive reactance and impedance were calculated. For the electronic system, a 12V 9A battery is used that feeds the electromagnets through a transistor that is controlled by a magnetic switch, which closes at the moment when the electromagnet meets the permanent magnet, causing the rotor to turn in a single direction, and opens at the instant when the electromagnet is located in the center of the permanent magnet causing the collapse of the magnetic field stored in the electromagnet that manifests as a counter electromotive force to offer an extra impulse in the same direction of rotation of the rotor and in turn being directed by a diode to take advantage of it in a load. The validation tests of the operation were carried out, which measured the output power in relation to the input power, resulting in an efficiency of 13.6 % in the use of the counter electromotive force.

Keywords: Electromotive force, counter electromotive force, inductance, permeability, susceptibility, coercivity.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, el uso de la energía se ha vuelto indispensable y de vital importancia para la vida, como el transporte o como para extraer agua y regar nuestros alimentos, sin embargo, la crisis económica y los escasos hidrocarburos hace que tengamos que pagar más por cada kWh de consumo o galón de combustible.

Esto llevo al avance de nuevas tecnologías en el sector de motores, variando los materiales de construcción y de diseño con el fin de mejorar su eficiencia, además de aprovechar las fuentes limpias integradas en los motores eléctricos, ya que inicialmente los motores solo convertían la energía eléctrica en mecánica o de mecánica a eléctrica, luego se integró la tecnología de aprovechamiento de la energía cinética para cargar la batería, y mediante el presente trabajo se logró desarrollar de manera no experimental el control y uso de la fuerza contra electromotriz que es una fuente limpia de energía que hasta la fecha no se han comercializado.

El prototipo que controla y usa la fuerza contra electromotriz se divide en dos partes que funcionan conjuntamente, el sistema electrónico y el motor generador en sí (rotor y estator). La parte electrónica controla el paso de corriente que suministra la batería para generar un campo magnético en el electroimán, el cual da marcha a el giro del rotor y a su vez dirige la fuerza contra electromotriz a una carga. La parte del motor generador se compone por el rotor que contiene a los imanes permanentes que dan la ubicación para activar y desactivar el transistor de la parte electrónica al encontrarse con el interruptor magnético del estator, y además de generar un voltaje en la bobina inducida cuando el campo magnético del imán pasa frente a ella.

El desarrollo de la presente tesis se divide en cinco capítulos, los cuales se detallan a continuación.

El Capítulo I: Planteamiento del problema; detalla la situación actual de la problemática del mercado energético, el cual se establece la formulación del problema, su justificación e importancia, el objetivo general y específicos que se desean lograr al concluir la tesis.

El Capítulo II: Marco teórico; detalla los antecedentes de las investigaciones en base al tema de tesis, en las bases teóricas se detallan los conceptos que forman parte del desarrollo de la tesis como el magnetismo, el electromagnetismo, la inducción magnética, la permeabilidad magnética, las propiedades físicas de los materiales, el ciclo de histéresis, las leyes de Faraday – Lenz, la inductancia, y las ecuaciones matemáticas que acompañan estos conceptos; se detallan también algunas definiciones básicas de la fuerza electromotriz, la fuerza contra electromotriz, el transistor y el de los componentes más importantes en el desarrollo de la tesis.

El Capítulo III: Marco metodológico; detalla el método de la investigación, la unidad de análisis, los materiales e instrumentos usados, las técnicas e instrumentos para la recolección de datos; el cálculo, el diseño y la implementación del rotor, el estator, los electroimanes y el circuito electrónico; se realizan las pruebas de integración del motor generador con el circuito electrónico, seguidamente se realiza la calibración del prototipo para su procesamiento y análisis de datos en el osciloscopio.

El Capítulo IV: Resultados; detalla los resultados obtenidos luego de haberse realizado las pruebas de integración y calibración, efectuando las pruebas de validación del funcionamiento del prototipo con carga y sin carga mediante un voltímetro y un amperímetro para relacionar las potencias de entrada y de salida del circuito, el cual los datos son tomados para determinar la eficiencia del prototipo.

El Capítulo V: Discusión; detalla la comparación de la tesis con investigaciones similares dando énfasis a las técnicas logradas para la línea de investigación de la fuerza contra electromotriz.

Finalmente se muestran las conclusiones en respuesta a los objetivos de la tesis, y recomendaciones para investigaciones complementarias.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

Debido a la crisis económica del país, vivimos dependientes de los precios de un mercado energético internacional, donde los hidrocarburos son cada vez más escasos y altamente contaminantes. La tecnología de generación de energía eléctrica se ha quedado estancada, y surge la necesidad de nuevas fuentes de energía que sean económicas, totalmente limpias y ecológicas.

Actualmente los motores eléctricos no hacen uso de la fuerza contra electromotriz como fuente extra de generación de energía, dejando que se desperdicie y se oponga a su sentido de giro, provocando una menor eficiencia en su desempeño.

Por tal motivo se diseñó y se implementó un sistema electrónico con un prototipo de motor generador que controla y usa la fuerza contra electromotriz, basado en los principios del electromagnetismo y las técnicas de los científicos e ingenieros que nunca llegaron a comercializar sus inventos, pero hoy en día sus patentes se encuentran a disposición de quien desee estudiarlas.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cómo diseñar e implementar un sistema electrónico con un prototipo de motor generador que controle y use la fuerza contra electromotriz?

1.2.2 Problemas específicos

- a. ¿Cómo diseñar e implementar el rotor?
- b. ¿Cuáles son las características de funcionamiento del rotor?
- c. ¿Cómo determinar los tiempos de encendido y apagado de la polaridad del electroimán?

- d. ¿Como diseñar e implementar el electroimán?
- e. ¿Cuáles son las características de funcionamiento del electroimán?
- f. ¿Cómo diseñar e implementar el sistema electrónico para que funcione en conjunto con el motor generador y permita el control y uso de la fuerza contra electromotriz?
- g. ¿Es posible validar el funcionamiento del prototipo realizando una prueba de eficiencia de la fuerza contra electromotriz?

1.3 Justificación e Importancia

En el Perú las principales fuentes de energía que consumimos son el petróleo y el gas natural, transformándolas en energía utilizable para la electricidad, el transporte o para cocinar nuestros alimentos (MINEM, 2017, p. 72). El Perú tiene uno de los precios más altos de los hidrocarburos en América Latina debido a la política tributaria, y la tasa anual en el mundo de consumo energético crece al ritmo del 2 a 3%, afectándonos negativamente provocando un déficit en la balanza energética, ya que la producción de petróleo en el Perú está descendiendo en los últimos años (Lazo, 2006, p. 2). Además, esto reduce poco a poco la materia prima acumulando contaminantes que son un riesgo para el ser humano y el medio ambiente.

Sin embargo, el desarrollo de las tecnologías de energía renovable sigue siendo económicamente poco accesible para el ciudadano promedio. Por tal motivo, se diseñó e implementó un sistema electrónico con un prototipo de motor generador capaz de aprovechar la fuerza contra electromotriz que sea fácilmente replicable y económicamente accesible.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema electrónico con un prototipo de motor generador para el control y uso de la fuerza contra electromotriz.

1.4.2 Objetivos específicos

- a. Diseñar e implementar el rotor.
- b. Determinar las características de funcionamiento del rotor.
- c. Determinar los tiempos de encendido y apagado de la polaridad del electroimán.
- d. Diseñar e implementar el electroimán.
- e. Determinar las características de funcionamiento del electroimán.
- f. Diseñar e implementar el sistema electrónico para que funcione en conjunto con el motor generador y permita el control y uso de la fuerza contra electromotriz.
- g. Validar el funcionamiento del prototipo realizando una prueba de eficiencia de la fuerza contra electromotriz.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del estudio

Los inventores Adams y Aspden (1993), construyeron y patentaron un motor generador que funcionaba con pulsos eléctricos con un rotor que integraba cuatro imanes permanentes separados en ángulos de 90 grados que giraban en un solo sentido por el principio de reluctancia magnética. El rotor giraba por la atracción del núcleo de hierro de los electroimanes del estator, y estos se energizaban solo para dar paso libre al giro y se desconectan en el instante preciso para usar la fuerza contra electromotriz como impulso adicional.

Los inventores Brits y Christie (1999), construyeron y patentaron un dispositivo rotatorio controlado por un sistema que conectaba la energía de las bobinas inductoras de manera periódica creando un campo magnético haciendo girar el rotor en una dirección y desconectaba la energía de la bobina inductora justo en el momento exacto en el que la fuerza contra electromotriz se manifestaba induciendo el giro del rotor en a la misma dirección.

El inventor Bedini (2001), construye y patenta un motor generador con un rotor de disco pesado que otorgaba mayor inercia al giro, y que era energizado por una batería que aprovecha la fuerza contra electromotriz haciendo uso de electroimanes con tres devanados (potencia, inductor e inducido) y retro alimentando la energía en la batería.

En España en la universidad politécnica de Catalunya, Pons (2016), presenta una serie de réplicas de los diseños del AR500 de Antonio Romero, el transformador bitoroidal de Thane Heinz y una réplica del Great Energy Generator "GeGene" de Jean Louis Naudin, logrando aprovechar no en gran medida la fuerza contra electromotriz, pero si comprobando que es posible obtener un mejor rendimiento siempre y cuando se desarrolle un circuito electrónico preciso o un diseño de piezas exactas.

En Perú en la universidad nacional del altiplano en Puno, Quispe y Apaza (2017), construyeron un prototipo de motor generador magnético en el

que aprovechaban la fuerza contra electromotriz mediante el uso de bobinas bifilares y transistores para cargar una batería.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Magnetismo

Es el fenómeno físico que presentan algunos materiales de la naturaleza que en gran medida están formados por óxido de hierro, el cual tienen un efecto de atraer o repeler en ciertas zonas llamadas polos magnéticos de un imán. (Holton y Brush, 1988). Gracias a estas propiedades entre los siglos XVII y XVIII se fabricaron imanes con distintos formatos para diversas aplicaciones, seguidamente las investigaciones de Oersted, Ampere y Faraday logran con la unificación de la electricidad y el magnetismo, y se concluye gracias a Maxwell ya para el siglo XIX con la síntesis del electromagnetismo (Beléndez, 2008).

2.2.2 Electromagnetismo

Es el estudio de los fenómenos eléctricos y magnéticos causado por cargas eléctricas en reposo o en movimiento (Cheng, 1997, p. 2). En otras palabras, la interacción de campos eléctricos en el interior de un material conductor puede generar a placer líneas de campo magnético con diferentes configuraciones, el cual pueden ser descritos por las ecuaciones de Maxwell en su forma integral como se muestra en las ecuaciones (1), (2), (3) y (4), (Peralta y Vásquez, 2020, p. 2-3).

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q}{\epsilon_0} \quad (1)$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0 \quad (2)$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = -\frac{d\Phi_B}{dt} \quad (3)$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{S} = \mu_0 i + \frac{1}{c^2} \frac{\partial}{\partial t} \int \vec{E} \cdot d\vec{A} \quad (4)$$

Aplicando los teoremas de Gauss y de Stokes se convierten a su forma diferencial, dando las ecuaciones (5), (6), (7) y (8).

$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (5)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (6)$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (7)$$

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0(\vec{J} + \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}) \quad (8)$$

Donde:

\vec{E} : Campo eléctrico

\vec{B} : Campo magnético

\vec{J} : Corriente eléctrica

ρ : Función de carga "rho"

ϵ_0 : Permitividad del vacío

μ_0 : Permeabilidad del vacío

De estas ecuaciones las principales cantidades del magnetismo van a ser la densidad del campo magnético, la intensidad del campo magnético y la magnetización. Estas relaciones las podemos usar para determinar las propiedades del material como la permeabilidad magnética o la susceptibilidad magnética.

2.2.3 Inducción magnética en la materia

Cuando a un material se le aplica una intensidad de campo magnético H , este puede ser atraído o repelido por la región de intensidad del campo magnético, esto quiere decir, que el material induce un campo magnético B el cual interacciona con el campo externo H . (Escobar y Alatorre, 2005, p. 3). La relación está dada por la ecuación (9).

$$\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{M}) \quad (9)$$

Donde:

\vec{B} : Densidad del campo magnético, en Tesla (T)

\vec{H} : Intensidad del campo magnético, en Amperio por metro (A/m)

\vec{M} : Magnetización del material, en Tesla (T)

μ_0 : Permeabilidad del vacío

2.2.4 Intensidad de campo magnético en un solenoide

Cuando una corriente recorre un solenoide de longitud “L” con “N” vueltas se genera un campo magnético en su eje (Alvarez y Beléndez, 2011). El total de dicho campo se representa en la ecuación (10).

$$H = \frac{N \cdot I}{L} \quad (10)$$

Donde:

H: Intensidad de campo magnético, en Amperio por metro (A/m)

N: Número de vueltas

I: Corriente, en Amperio (A)

L: Longitud de la bobina, en metros (m)

2.2.5 Densidad del campo magnético en un solenoide

La densidad va a depender de la intensidad del campo magnético generada por el solenoide y de la característica del núcleo, es decir, su permeabilidad (Alvarez y Beléndez, 2011). Se muestra en la ecuación (11).

$$B = \mu \cdot H \quad (11)$$

Donde:

B: Densidad de campo magnético, en Tesla (T)

μ : Permeabilidad magnética, en Henrio por metro (H/m)

H: Intensidad de campo magnético, en Amperio por metro (A/m)

2.2.6 Flujo magnético

Es el conjunto de líneas de fuerza o densidad de campo magnético que atraviesa una superficie. Es el producto entre las unidades de inducción y de superficie (Zapata, 2010, p. 10). Se represente por la ecuación (12).

$$\phi = B \cdot S \cdot \cos\theta \quad (12)$$

Donde:

ϕ : Flujo magnético, en Weber (Wb)

B : Densidad de campo magnético, en Tesla (T)

S : Superficie, en metros cuadrados (m^2)

2.2.7 Permeabilidad magnética

Es la medida de oposición de un material frente a un campo magnético. La densidad e intensidad de campo magnético se relacionan en el ordenamiento de los dipolos magnéticos de un material. También, se describe como el grado de magnetización de un material en respuesta a un campo magnético, y se describe por la ecuación (13).

$$\mu = \frac{\vec{B}}{\vec{H}} \quad (13)$$

Donde:

μ : Permeabilidad magnética (μ), en unidades de Henrio por metro (H/m)

\vec{B} : Densidad del campo magnético, en Tesla (T)

\vec{H} : Intensidad del campo magnético, en Amperio por metro (A/m)

2.2.7.1 Permeabilidad del vacío

Es la oposición para formar un campo magnético en un espacio vacío, el cual tiene un valor establecido en unidades de Henrio por metro (H/m).

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$$

2.2.7.2 Permeabilidad relativa

Es la razón entre la permeabilidad de una sustancia o material y la permeabilidad del vacío, es una propiedad sin unidades, y se muestra en la ecuación (14).

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \quad (14)$$

Donde:

μ_r : Permeabilidad relativa

μ : Permeabilidad magnética

μ_0 : Permeabilidad del vacío

2.2.8 Susceptibilidad

Es el grado de magnetización de un material, en respuesta a un campo magnético aplicado, mostrada en la ecuación (15). (Gonzales, Osorio y Bustamante, 2013, p. 7).

$$\chi = \frac{\vec{M}}{\vec{H}} \quad (15)$$

Donde:

χ : Susceptibilidad magnética

\vec{M} : Magnetización del material, en Tesla (T)

\vec{H} : Intensidad de campo magnético, en Amperio por metro (A/m)

Se puede representar la susceptibilidad magnética de distintas maneras como se muestra en la ecuación (16), (17).

$$\mu = \mu_0(1 + \chi) \quad (16)$$

$$\chi = \mu_r - 1 \quad (17)$$

Donde:

χ : Susceptibilidad magnética

μ : Permeabilidad

μ_0 : Permeabilidad del vacío

μ_r : Permeabilidad relativa

2.2.9 Clasificación de los materiales magnéticos

Según Escobar y Alatorre (2005), “los materiales pueden clasificarse magnéticamente, según el valor de su susceptibilidad magnética” (p. 5), por lo tanto, los materiales pueden agruparse como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1*Clasificación de los materiales según su susceptibilidad*

Tipo de materiales	Susceptibilidad
Materiales diamagnéticos	$\chi < 0$
Materiales paramagnéticos	$\chi > 0$
Materiales ferromagnéticos	$\chi \rightarrow \infty$

Nota. La variable “ χ ” representa la susceptibilidad del material. Obtenido de Escobar y Alatorre. (2005, p. 5). Medición de susceptibilidad Magnética de materiales. Recuperado de <https://www.cenam.mx/dme/pdf/PRE-Medicion%20de%20susceptibilidad%20magnetica%20de%20materiale%20s.pdf>,(octubre, 2016).

2.2.9.1 Materiales diamagnéticos

Según Blas (2006), “el diamagnetismo es un magnetismo débil en el cual la magnetización del material exhibe una dirección opuesta a la del campo aplicado. En consecuencia, la susceptibilidad es negativa y pequeña, del orden -10^{-5} ” (p. 19), por lo tanto, la corriente generada por el movimiento de los electrones es opuesta al campo que la originó.

2.2.9.2 Materiales paramagnéticos

Según Blas (2006), “el paramagnetismo también es un magnetismo débil, en general, los materiales paramagnéticos contienen átomos magnéticos cuyos espines están aislados del entorno magnético y pueden cambiar su dirección con cierta libertad. La susceptibilidad es inversamente proporcional a la temperatura” (p. 20), teniendo en cuenta que si el material eleva su temperatura los espines experimentan un movimiento azaroso; si al material se le somete a un campo magnético, los espines se orientan en la misma dirección del campo, creando un magnetismo débil.

2.2.9.3 Materiales ferromagnéticos

Según Alvarez, Beléndez y Hernández (2011) “en un material ferromagnético los momentos magnéticos moleculares se encuentran alineados dentro de cada dominio magnético” (p. 2), el cual si se induce un campo magnético externo al material los momentos magnéticos se orientarán

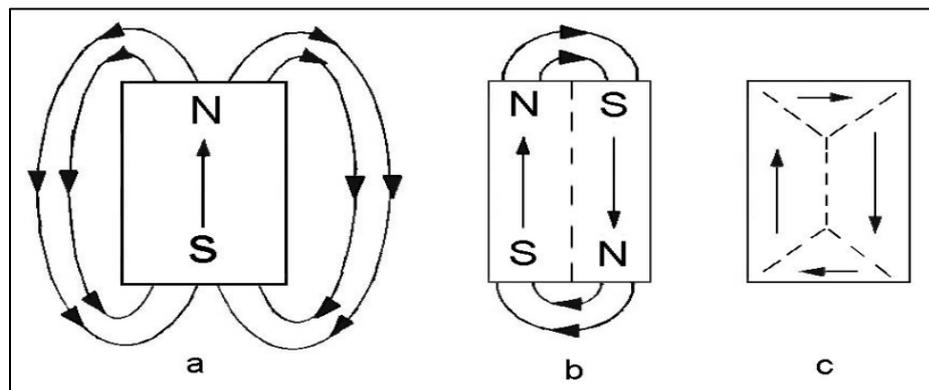
en paralelo en el mismo sentido de las líneas de fuerza del campo, adquiriendo una elevada magnetización, el cual al retirar el campo magnético del material, su magnetización se mantiene dependiendo de su ciclo de histéresis, dando lugar a los materiales ferromagnéticos duros (como por ejemplo los imanes permanentes) y blandos (como los aceros de bajo carbono).

2.2.10 Dominios magnéticos

Dentro de un material cada átomo tiene su momento magnético, que pueden estar orientados de forma regular e irregular, el cual si se alinean producen un campo magnético en su entorno, generando un imán. Esto ocurre por la formación de los dominios magnéticos separados por las fronteras que son las paredes del dominio, que si están orientadas en una sola dirección resulta una configuración que da una magnetización más elevada como se muestra en la figura 1.

Figura 1

Dominios magnéticos



Nota. La figura "a" muestra todos los dominios alineados dando uno solo y generando un campo magnético elevado. La figura "b" los dominios están separados por una frontera y muestran un campo magnético bajo. La figura "c" los dominios se encuentran en equilibrio y no existe campo magnético generado. Obtenido de Ribeiro, G. A. P. (2000). As propriedades magnéticas da matéria: um primeiro contato. Revista Brasileira de Ensino de Física, 22(3).

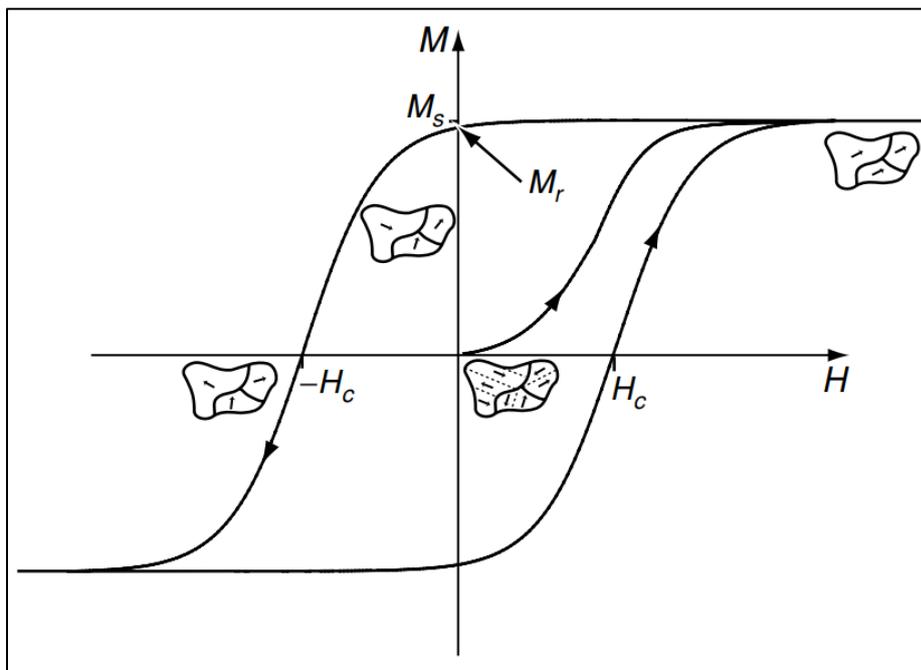
Los dominios y las fronteras dependen de la característica del material, de que átomos están hechos o la geometría que tienen, con esto se puede determinar cómo los materiales se comportan.

2.2.11 Ciclo de histéresis

Si a un material se le somete una intensidad de campo magnético, lo que se obtiene es una curva característica del proceso de magnetización del material hasta que todos sus momentos magnéticos queden orientados en la dirección del campo, y en el momento cuando se retira el campo magnético o este llega a cero, el material llega a un punto de remanencia en el que su magnetización queda registrada, y para reducir la magnetización a cero se necesita aplicar una intensidad de campo magnético coercitivo como se muestra en la figura 2.

Figura 2

Ciclo de histéresis de un material ferromagnético



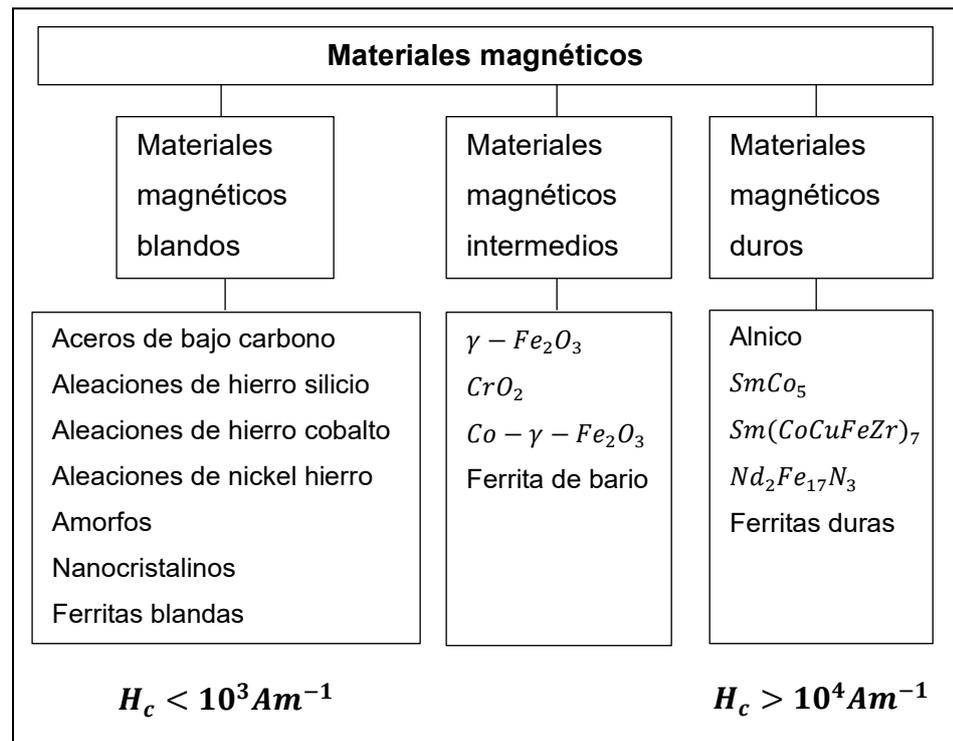
Nota. Donde “H” es la intensidad de campo magnético, “M” es la magnetización, “ M_s ” es la magnetización de saturación, “ M_r ” es la magnetización de remanencia, y “ H_c ” es la coercitividad magnética. Obtenida de Coey, J. M. (2010). Magnetism and magnetic materials. Cambridge university press.

2.2.12 Coercitividad

Es el grado de intensidad de campo magnético necesario para reducir la magnetización del material a cero, luego que este haya alcanzado su nivel de saturación previo. En los materiales los valores de coercitividad, remanencia y de saturación son distintos, ya que dependen de las características implícitas que las componen. Para cada material existen comportamientos distintos de la curva de histéresis, que pueden clasificarse como se muestra en la figura 3.

Figura 3

Clasificación de los materiales según su coercitividad



Nota. Obtenido de Coey, J. M. (2010). Magnetism and magnetic materials. Cambridge university press.

2.2.13 Imán permanente de neodimio

Es un cuerpo magnético de dos polos Sur y Norte, hecho de una aleación de neodimio, hierro y boro. Tiene un índice de coercitividad alto. Sirve para interaccionar campos magnéticos y corrientes eléctricas.

2.2.14 Ley de Coulomb

La ley de Coulomb del magnetismo establece la interacción de los polos magnéticos, el cual indica que la fuerza de atracción o repulsión entre polos magnéticos es directamente proporcional a las masas magnéticas de dichos polos e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa, representado por la ecuación (18).

$$F = \frac{K' \cdot m_1 \cdot m_2}{r^2} \quad (18)$$

Donde:

F : Magnitud de la fuerza entre dos polos magnéticos, en Newton (N)

K' : Constante de proporcionalidad, en Newton por Amperio cuadrado (N/A²)

m : Masa magnética, en Amperio por metro (A.m)

r : Distancia entre los polos magnéticos, en metros (m)

La constante de proporcionalidad " K' " tiene un valor de:

$$K' = 1 \times 10^{-7} \frac{N}{A^2}$$

2.2.15 Ley de Faraday

Ocurre cuando a una espira conductora se le induce a un campo magnético que varía con el tiempo, dicha espira produce una corriente (Beléndez y Beléndez, 2002). La fuerza electromotriz que produce se expresa con la ecuación (19).

$$\varepsilon = N \cdot \frac{d\phi_B}{dt} \quad (19)$$

Donde:

ε : Fuerza electromotriz, en Voltios (V)

N : Numero de vueltas

ϕ_B : Flujo magnético, en Weber (Wb)

t : Tiempo, en segundos (s)

2.2.16 Ley de Lenz

Cuando a una espira conductora se le induce a un campo magnético que varía en el tiempo, este genera una fuerza electromotriz que se opone a la causa que lo generó. El signo menos representa esta fuerza contra electromotriz, como se muestra en la ecuación (20).

$$\varepsilon = -N \cdot \frac{d\phi_B}{dt} \quad (20)$$

Donde:

ε : Fuerza contra electromotriz, en Voltios (V)

N : Numero de vueltas

ϕ_B : Flujo magnético, en Weber (Wb)

t : Tiempo, en segundos (s)

2.2.17 Velocidad angular

Mide la velocidad de rotación de un ángulo de giro por unidad de tiempo, como se muestra en la ecuación (21).

$$\omega = 2\pi f \quad (21)$$

Donde:

ω : Velocidad angular, en radianes por segundo (rad/s)

f : Frecuencia, en Hertz (Hz)

2.2.18 Frecuencia

Es la medida de repeticiones de un periodo por unidad de tiempo. Se representa por la ecuación (22).

$$f = \frac{\omega}{2\pi} \quad (22)$$

Donde:

f : Frecuencia, en Hertz (Hz)

ω : Velocidad angular, en radianes por segundo (rad/s)

2.2.19 Periodo

Es el tiempo que tarda en recorrer un ciclo completo. Se expresa por la ecuación (23).

$$T = \frac{1}{f} \quad (23)$$

Donde:

T : Periodo, en segundos (s)

f : Frecuencia, en Hertz (Hz)

2.2.20 Ampacidad

Es la capacidad de carga de corriente que puede transportar constantemente un conductor. Dicha capacidad varia respecto a las dimensiones del conductor y sus materiales de fabricación, como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2

Ampacidad de conductores de cobre según su diámetro

Diámetro (mm)	Capacidad (A)
1,0240	2,50
0,5106	0,58
0,2859	0,18
0,2546	0,15
0,2268	0,11

Nota. Obtenido de Special Cables SAB. (2021). Construcciones de conductores americanas tabla de AWG. <https://www.sab-cables.eu/>.

2.2.21 Inductancia

Es la medida de oposición al cambio de corriente que fluye por el conductor, almacenando la energía en forma de campo magnético (Guzmán, 2007, p. 19). Se representa por la ecuación (24).

$$L = \frac{N^2 \cdot \mu \cdot A}{l} \quad (24)$$

Donde:

L : Inductancia, en Henrios (H)

N : Numero de vueltas

μ : Permeabilidad magnética

A : Área de la sección del núcleo, en metros (m)

l : Longitud del solenoide, en metros (m)

2.2.21.1 Tiempo de carga de un solenoide

El tiempo de carga se caracteriza por la constante de tiempo Tau " τ ", que es el 63% de la corriente cuando esta se satura, y en un circuito inductivo se halla con la ecuación (25).

$$\tau = \frac{L}{R} \quad (25)$$

Donde:

τ : Constante de tiempo, en segundos (s)

L : Inductancia, en Henrios (H)

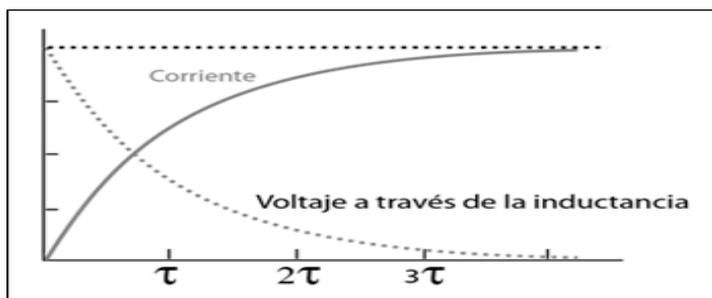
R : Resistencia, en ohmios (Ω)

2.2.21.2 Régimen transitorio de la inductancia

Cuando fluye una corriente por un solenoide, conforme pasa el tiempo la corriente aumenta hasta que alcanza su nivel máximo y se estabiliza, dando una variación de corriente " di " igual a cero, entonces el voltaje en el solenoide también es cero, como se muestra en la figura 4.

Figura 4

Régimen transitorio de la inductancia



Nota. Obtenido de Nave C.R. (2016). Régimen transitorio de la inductancia. HyperPhysics. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/>.

El voltaje de la inductancia se expresa mediante la ecuación (26).

$$V_L = -L \cdot \frac{di}{dt} \quad (26)$$

Donde:

V_L : Voltaje de la inductancia, en voltios (V)

L: Inductancia, en Henrios (H)

De igual manera se puede determinar el voltaje y la corriente en un tiempo establecido mediante la constante de tiempo Tau " τ " como se muestra en la ecuación (27) y (28).

$$V_L = V_0 \cdot e^{-t(\frac{1}{\tau})} \quad (27)$$

Donde:

V_L : Voltaje de la inductancia, en voltios (V)

V_0 : Voltaje inicial, en voltios (V)

e : Constante de Euler

t : Tiempo, en segundos (s)

τ : Constante de tiempo

$$I_L = \frac{V_0}{R} (1 - e^{-t(\frac{1}{\tau})}) \quad (28)$$

Donde:

I_L : Corriente de la inductancia, en amperios (A)

V_0 : Voltaje inicial, en voltios (V)

R: Resistencia, en ohmios (Ω)

e : Constante de Euler

t : Tiempo, en segundos (s)

τ : Constante de tiempo

2.2.22 Resistencia de un solenoide

Es la medida de resistencia en ohmios reales de un solenoide, y se calcula mediante la ecuación (29).

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad (29)$$

Donde:

R : Resistencia, en ohmios (Ω)

ρ : Resistividad del conductor, en ohmios milímetros cuadrados por metro ($\Omega \frac{mm^2}{m}$), el valor lo entrega el fabricante.

l : Longitud del alambre, en metros (m)

S : Sección del alambre, en milímetros cuadrados (mm^2)

El valor de la resistividad del cobre a fabricación estándar a temperatura ambiente ($20^\circ C$) se muestra a continuación.

$$\rho = 0,017 \Omega \frac{mm^2}{m}$$

2.2.23 Reactancia inductiva

Según Silva, Radesca y Espagnolo (2009), “la reactancia inductiva, es un tipo de impedimento al flujo de corriente, que es expresado en ohmios, pero no disipa energía en calor. La almacena en campo magnético” (p. 4). Se expresa mediante la ecuación (30).

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L \quad (30)$$

Donde:

X_L : Reactancia inductiva, en ohmios (Ω)

f : Frecuencia, en Hertz (Hz)

L : Inductancia, en Henrios (H)

2.2.24 Impedancia

La magnitud de la impedancia total de un circuito inductivo es la raíz cuadrada de la suma de sus componentes elevadas al cuadrado de la resistencia real del solenoide y la reactancia inductiva. Con este parámetro podemos determinar la relación entre el voltaje y la corriente (Macías,

Contreras, Anaya, García, Hinojosa y Zamora, 2019). Se denota por la ecuación (31).

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X_L^2} \quad (31)$$

Donde:

$|Z|$: Magnitud de la impedancia, en ohmios (Ω)

R : Resistencia real, en ohmios (Ω)

X_L : Reactancia inductiva, en ohmios (Ω)

2.2.25 Factor de potencia

Según Chapman y Castillo (2000) es la relación entre la resistencia y la magnitud de la impedancia, el cual el ángulo φ corresponde al desfase de atraso de la corriente con respecto al voltaje (p. 39). Se representa con la ecuación (32).

$$\cos\varphi = \frac{R}{|Z|} \quad (32)$$

Donde:

φ : Angulo de desfase φ , en grados ($^\circ$)

R : Resistencia, en ohmios (Ω)

Z : Impedancia, en ohmios (Ω)

2.3 Definición de términos

2.3.1 Corrientes de Foucault

Según Pérez, de los Santos y Cruz (2019), las corrientes de Foucault son corrientes parásitas que se producen cuando un material metálico se encuentra inmerso bajo la variación de un flujo magnético en el tiempo; estas corrientes parásitas se oponen a la dirección de movimiento del campo magnético produciendo un frenado (p. 1). Se pueden reducir usando lamillas o varillas más finas en paralelo al flujo magnético.

2.3.2 Efecto Joule

Es el calor que se desprende de un material provocado por el rozamiento de los electrones cuando una corriente eléctrica fluye por el conductor en un intervalo de tiempo (Castiñeira y Tarrazó, 2020).

2.3.3 Electroimán

Es un imán artificial que genera su campo magnético al fluir corriente por un solenoide.

2.3.4 Motor

Es una máquina que transforma la energía eléctrica en energía mecánica mediante el uso de bobinas y campos magnéticos de imanes permanentes. Se compone por el estator que es la parte estática y el rotor que es la parte móvil donde se encuentra el eje de rotación.

2.3.5 Generador

El generador realiza el trabajo opuesto de un motor eléctrico, es decir, transforma la energía mecánica en energía eléctrica en sus aplicaciones más convencionales.

2.3.6 Fuerza electromotriz (*fem*)

Es la fuerza que hace que los electrones se muevan por el conductor, esta fuerza puede ser dada por una fuente de poder, un generador o una batería.

2.3.7 Fuerza contra electromotriz (*fcem*)

Es la oposición de la fuerza electromotriz, es decir, cuando una corriente fluye por el conductor genera un campo magnético que al ser desconectado de la fuente que lo produjo, ocasiona un voltaje de signo opuesto cuando se desconecta del circuito.

2.3.8 Interruptor magnético

Es un interruptor eléctrico que se activa en presencia de un campo magnético.

2.3.9 Transistor

Es un dispositivo electrónico hecho de materiales semiconductores que se usan para el control de conmutación o como amplificador con distintas configuraciones para cada aplicación.

2.3.10 Potencia

La potencia es proporcional a el producto del voltaje y la corriente que circula en una carga. Se calcula con la ecuación (33).

$$P = V \cdot I \quad (33)$$

Donde:

P: Potencia, en watts (W)

V: Voltaje, en voltios (V)

I: Corriente, en Amperios (A)

2.3.11 Eficiencia

Es la relación entre la potencia eléctrica de salida y la potencia eléctrica de entrada. Para hallar la eficiencia en porcentaje se usa la ecuación (34).

$$E_f = \frac{P_S}{P_E} \cdot 100\% \quad (34)$$

Donde:

E_f : Eficiencia, en porcentaje (%)

P_S : Potencia de salida, en watts (W)

P_E : Potencia de entrada, en watts (W)

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es no experimental.

3.2 Unidad de análisis

La unidad de análisis es el prototipo de motor generador para control y uso de la fuerza contra electromotriz.

De acuerdo a los objetivos específicos la unidad de análisis en conjunto se subdividió en dimensiones o módulos que componen el prototipo, como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3

Unidad de análisis y sus dimensiones

Unidad de análisis	Dimensión	Indicadores
Prototipo de motor generador para el control y uso de la fuerza contra electromotriz.	Diseño e implementación del rotor.	Radio (m). Diámetro (m). Alto (m). Perímetro (m).
	Características de funcionamiento del rotor.	Velocidad angular (rad/s). Frecuencia (Hz). Periodo (s).
	Determinación de los tiempos de encendido y apagado de la polaridad del electroimán.	Tiempo encendido (s). Tiempo apagado (s).
	Diseño e implementación del electroimán.	Inductancia (H). Permeabilidad relativa. Resistencia (Ω). Reactancia inductiva (Ω). Impedancia (Ω).
	Características de funcionamiento del electroimán.	Tiempo de carga (s). Voltaje (V). Corriente (I). Desfase ($^{\circ}$).
	Diseño e implementación del sistema electrónico.	Pruebas de integración.
	Validación de funcionamiento.	Eficiencia del prototipo en el control y uso de la fcem (%).

3.3 Materiales y/o instrumentos

3.3.1 Instrumentos

Los instrumentos de medición, diseño y fabricación se muestran en la tabla 4.

Tabla 4

Instrumentos

Instrumento	Precisión	Definición conceptual
Multímetro [Sanwa PM3]	$\pm(0,7\%+3)$	Mide voltaje.
Amperímetro [Sanwa CD772 True RMS]	$\pm(1,4\%+3)$	Mide amperios.
Inductómetro [Uni-T UT603]	$\pm(2\%+8)$	Mide inductancia.
Tacómetro [BAFX171728]	$\pm(1\%n+5d)$ rpm>1000	Mide rpm.
Osciloscopio [Siglent SDS 1104X-E]		Mide amplitud, frecuencia, periodo.
Computadora		Procesadora de datos, diseño de piezas.
Impresora 3D		Fabrica piezas diseñadas en computadora.
Pantalla magnética		Visualiza campos magnéticos.
Brújula		Identificador de polo norte.
Cautín		Pistola de calor para soldar componentes electrónicos.
Soporte para cautín con pinza		Base de descanso para cautín con accesorio de pinza para sujeción.
Vernier	$\pm 0,001$ mm	Pie de rey, para medición de alta precisión milimétrica.
Desarmador		Aprieta o afloja tornillos.
Alicate		Sirve para sujetar, apretar, doblar o cortar.
Cúter		Sirve para hacer cortes finos.

3.3.2 Materiales

Los materiales usados en el prototipo se muestran en la tabla 5.

Tabla 5

Materiales

Cantidad	Material	Definición conceptual
4	Imán de disco de neodimio 14 mm de diámetro, 1.5 mm de alto	Cuerpo magnético con dos polos Sur y Norte.
1	Interruptor magnético 400 V, 3 A, 100 W	Interruptor de acción con campos magnéticos.
1	Transistor BJT NPN 16 A, 250 V, 200 W	Dispositivo electrónico que controla el paso del flujo de corriente con una señal de entrada.
1	Diodo rectificador 1N4007, 1000 V, 1 A	Semiconductor que da paso a la corriente en una sola dirección.
200	Gramos de alambre de cobre esmaltado de 0,2769 mm	Alambre conductor de cobre cubierto con esmalte aislante.
2	Batería recargable de 12 V, 9 A.	Suministro de energía eléctrica con terminales positivo y negativo, cuenta con varios ciclos de carga y descarga.
4	Electrodo de acero al carbono E7018 de 3 mm	Varillas hechas para soldadura de acero al carbono.
1	Resistencia 2 Ω	Se opone al paso de corriente por un conductor.
5	Metros de cable flexible de cobre de 1.5 mm	Cable de cobre para conducir la energía eléctrica.
1	Rodamiento 16x5 mm	Pieza para fijar un eje y minimizar la fricción.
8	Pinzas de cocodrilo	Sirve para una conexión eléctrica temporal.
4	Conexión banana macho	Sirve para una conexión eléctrica temporal.
4	Conexión banana hembra	Sirve para una conexión eléctrica temporal.
1	Placa PCB	Es una placa para el circuito impreso e interconexión de componentes.
12	Tornillos 3.5 mm x 15 mm	Pieza que sujeta una cosa a otra.
4	Tuercas	Pieza con orificio que se enrosca a un tornillo.
1	Plancha de madera 200 mm x 200 mm	Tablero de madera plana, sirve como base.
1	Kilogramo de filamento PLA	Material en forma de hilo hecho de ácido poliláctico, es biodegradable y se usa para imprimir piezas en 3D.
100	Gramos de estaño	Metal maleable usado para soldadura de circuitos electrónicos.
20	Gramos de pasta de soldar	Facilita la uniformidad del estaño al momento de soldar.
1	Pegamento instantáneo	Adhesivo de cianoacrilato que pega materiales en cuestión de segundos.

3.4 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

El desarrollo del prototipo inició con el estudio del marco teórico y la investigación de los fenómenos magnéticos de los imanes y las bobinas, el cual se integraron en un circuito de control no convencional en motores generadores de la actualidad, permitiendo aprovechar tales fenómenos de autoinducción para usarlas en una carga eléctrica. Por tal motivo, el diseño y construcción del prototipo se describe mediante varias etapas, como módulos de pequeñas piezas que al final se integran para dar un solo resultado.

3.4.1 Diseño e implementación del rotor

Para el diseño del rotor se requirieron de cuatro imanes permanentes tipo disco de 14 mm de diámetro y 1,5 mm de espesor grado N42 y un rodamiento de 16 mm de diámetro, 5mm de alto y 8mm de diámetro del orificio para el eje de rotación; estos materiales sirven para poder determinar el radio y el alto del rotor.

Esto se consiguió evaluando el campo magnético de los imanes permanentes de manera practica con una pantalla magnética como se muestra en la figura 5, en referencia a las características que proporciona el fabricante en la figura 6.

Figura 5

Evaluación del campo magnético de los imanes

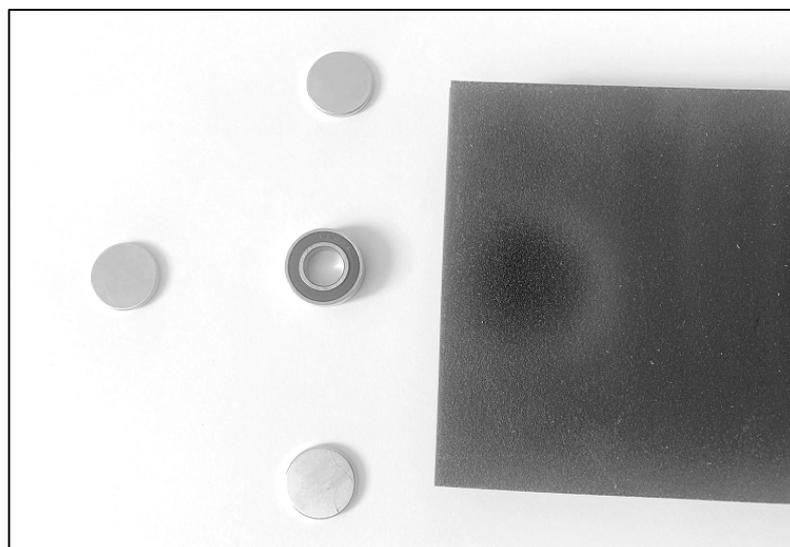
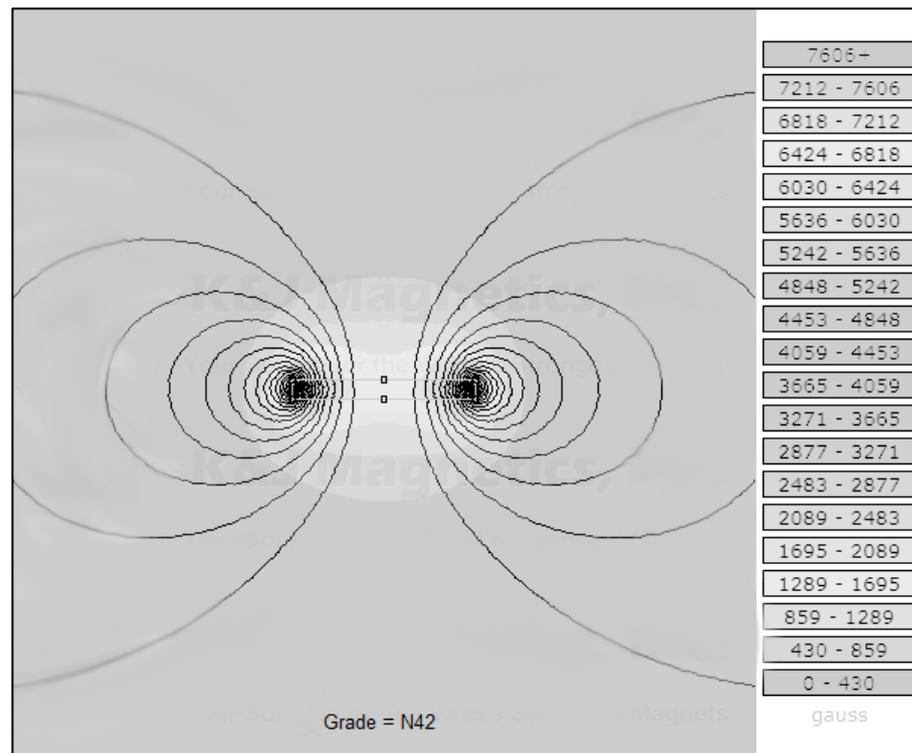


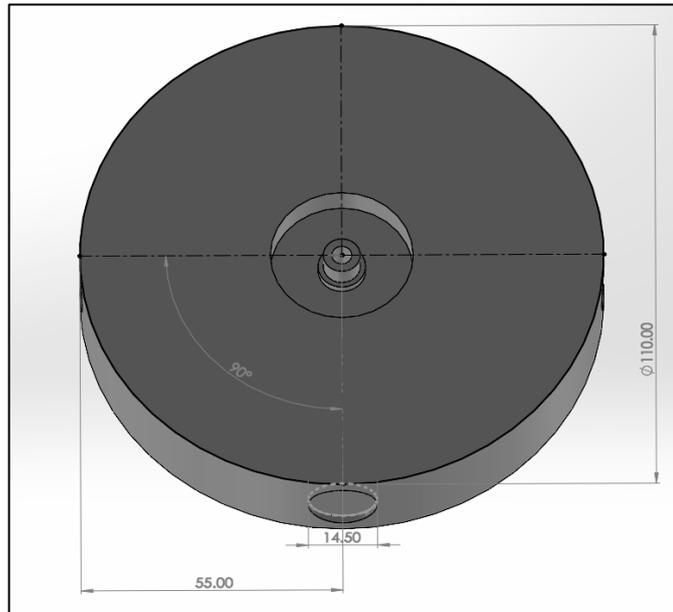
Figura 6

Campo magnético de imán de neodimio grado N42



Nota. Obtenido de K&J Magnetics. Magnetic Field Visualization. Single Magnet in Free Space.
<https://www.kjmagnetics.com/magfield.asp?pName=D91>.

Estos campos magnéticos no deben de interaccionar con el rodamiento para que no existan perdidas. Con las distancias de referencia vistas por la pantalla magnética, se determinó que el campo magnético cubre un radio de 25 mm, por tal motivo se realizó el diseño del rotor con una distancia del doble de su campo magnético alejado del rodamiento y ubicados con un ángulo de separación de 90 grados uno del otro como se muestra en el diseño hecho en el software *SOLIDWORKS 2020* en la figura 7.

Figura 7*Diseño de rotor*

Nota. El diseño fue elaborado con el software SOLIDWORKS versión 2020.

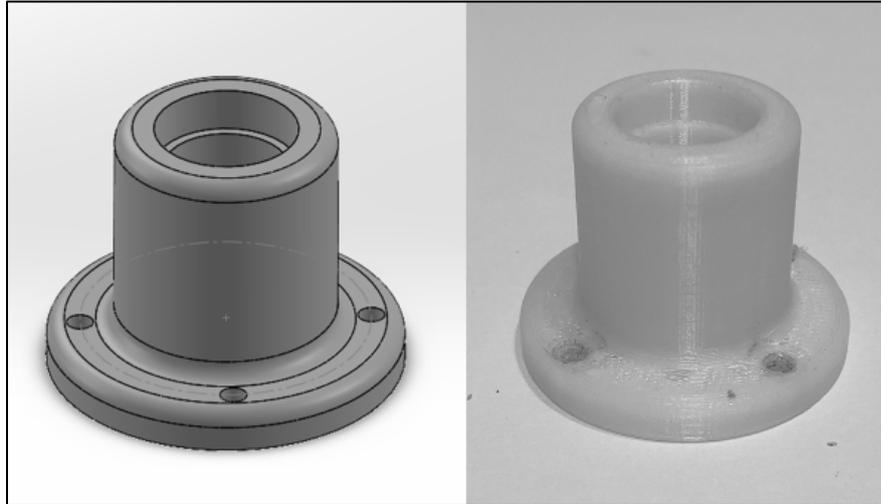
Para materializar el diseño del rotor se hizo uso de la impresión 3D con filamento de PLA con un relleno del 20 %, dando como resultado un rotor rígido en el que sus componentes se integran con exactitud siendo los imanes orientados con su polo norte hacia el exterior, como se muestra en la figura 8.

La base que sostiene al rotor se diseñó con forme a las dimensiones del rodamiento, de igual manera se hizo uso de la impresión 3D para materializarlo como se aprecia en la figura 9.

Figura 8*Rotor impreso con imanes y rodamientos ubicados*

Figura 9

Diseño e impresión de base de rotor



Nota. La figura de la izquierda corresponde al diseño de la base del rotor, y la figura de la derecha a la pieza ya impresa.

El diseño e implementación del rotor se definió con los siguientes indicadores:

$$\text{Radio} = 55 \text{ mm} = 0,055 \text{ m}$$

$$\text{Diámetro} = 110 \text{ mm} = 0,11 \text{ m}$$

$$\text{Altura} = 20 \text{ mm} = 0,02 \text{ m}$$

$$\text{Perímetro} = 2\pi R = 2\pi(0,055 \text{ m}) = 0,345576 \text{ m}$$

3.4.2 Evaluación de límites mecánicos del rotor

Los límites mecánicos del rotor están dados por las revoluciones por minuto (rpm) límite permitidas por el rodamiento que lo da el fabricante, por el tipo de diseño del rotor y el material de construcción, por tal motivo, se tomó como referencia ideal 2000 revoluciones por minuto de trabajo para el rodamiento pequeño que lleva el rotor.

De esta manera se determina la *velocidad angular* del rotor, convirtiendo los rpm a unidades de la velocidad angular rad/s:

$$\omega = \frac{2000 \text{ rev}}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}}$$

$$\omega = 209,44 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Al aplicar la ecuación (22) se determina la frecuencia de trabajo del rotor:

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{209,44 \frac{rad}{s}}{2\pi}$$

$$f = 33,33 \text{ Hz}$$

Debido que el rotor integra 4 imanes, la frecuencia de trabajo del rotor se cuatricula:

$$f = 33,33 \text{ Hz} \times 4$$

$$f = 133,32 \text{ Hz}$$

El periodo de la cuarta parte del funcionamiento del rotor se calculó aplicando la ecuación (23):

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{133,32 \text{ Hz}}$$

$$T = 0,0075 \text{ s}$$

$$T = 7,5 \times 10^{-3} \text{ s}$$

3.4.3 Cálculo de tiempo de encendido y apagado de la polaridad del electroimán

Uno de los parámetros más importantes en el prototipo es el tiempo que permanece encendido y apagado el electroimán, ya que esto determina que tan rápido debe de ser el inductor al momento de cargar su corriente ante de llegar a su punto de saturación.

Estos tiempos se calculan con los datos obtenidos del diseño y las características de funcionamiento del rotor, aplicando la proporcionalidad del perímetro del rotor con respecto a su frecuencia de funcionamiento, entonces la distancia recorrida en 1 segundo es:

$$V_{1s} = 33,33 \frac{vueltas}{s} \cdot \frac{0,345576 \text{ m}}{1 \text{ vuelta}} = 11,52 \frac{m}{s}$$

Debido que solo interesa que el electroimán permanezca encendido la mitad del diámetro del imán permanente como se muestra en la figura 10, el tiempo que permanece encendido el electroimán es:

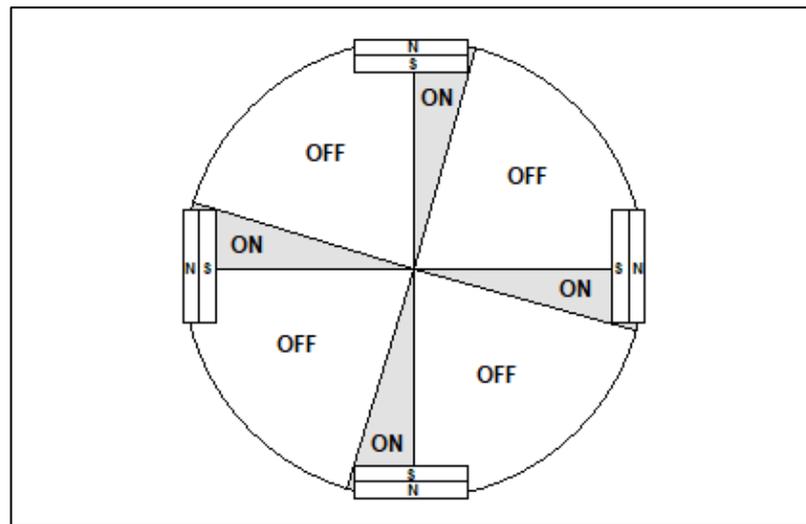
$$t_{ON} = 0,007 \text{ m} \cdot \frac{1 \text{ s}}{11,52 \text{ m}}$$

$$t_{ON} = 0,000608 \text{ s}$$

$$t_{ON} = 608 \times 10^{-6} \text{ s}$$

Figura 10

Tiempo de encendido y apagado del electroimán por secciones



Entonces, ya que se conoce el periodo y el tiempo de encendido, se determina el tiempo de apagado:

$$t_{OFF} = T - t_{ON} = 0,0075 \text{ s} - 0,000608 \text{ s}$$

$$t_{OFF} = 0,006892 \text{ s}$$

Resumiendo, el tiempo encendido corresponde al polo sur del electroimán en atracción con el polo norte del imán permanente, y el tiempo apagado corresponde al polo norte del electroimán en repulsión con el polo norte del imán permanente.

Estos valores de tiempo nos dan idea de la forma del pulso o ciclo de trabajo (duty cycle) del prototipo, y se calcula dividiendo el ancho de pulso (tiempo en ON) entre el periodo multiplicado por 100 % como se muestra:

$$t_{ON\%} = \frac{0,000608 \text{ s}}{0,0075 \text{ s}} \cdot 100 \%$$

$$t_{ON\%} = 8,1 \%$$

De igual forma para el tiempo en OFF:

$$t_{OFF\%} = \frac{0,006892 \text{ s}}{0,0075 \text{ s}} \cdot 100 \%$$

$$t_{OFF\%} = 91,9 \%$$

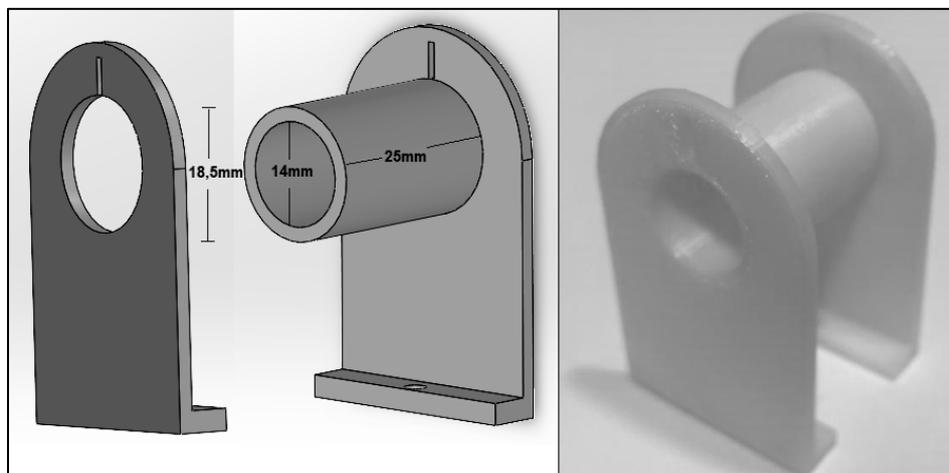
3.4.4 Diseño e implementación del electroimán

El diseño de la bobina y su núcleo son de diámetro aproximadamente del mismo que el del imán permanente, ya que así se cubren toda la superficie. El largo de la bobina es la misma distancia del radio que cubre el campo magnético del imán permanente para aprovecharla en su totalidad cuando el electroimán se comporte como inducido.

De acuerdo a los datos señalados se diseñó y se imprimió el carrete del electroimán como se muestra en la figura 11.

Figura 11

Diseño e impresión de carrete



Nota. La figura de la izquierda corresponde al diseño del carrete, y la figura de la derecha a la pieza ya impresa.

3.4.4.1 Cálculo de la inductancia

Antes de calcular la inductancia se analiza el tipo de núcleo que se emplea, esto con el fin de mantener un tiempo de respuesta inferior al tiempo de ancho de pulso o tiempo de encendido. Por lo cual se seleccionaron electrodos de soldadura de acero al carbono de acuerdo a la figura 3 de clasificación de materiales según su coercitividad, el cual este material pertenece a los materiales magnéticos blandos por tener su ciclo de histéresis con una coercitividad baja.

Sin embargo, su valor de permeabilidad relativa es importante para calcular la inductancia, y para hallarla se procedió a realizar dos pruebas con un embobinado de 100 vueltas de *alambre de 0,2769 mm* de diámetro al vacío, y el mismo embobinado con las varillas ferromagnéticas en su interior como núcleo.

Desarrollando con la ecuación (24) el embobinado de 100 vueltas en vacío o núcleo de aire, la inductancia resulta:

$$L_1 = \frac{N^2 \cdot \mu \cdot A}{l} = \frac{(100)^2 \cdot (4\pi \times 10^{-7} \frac{H}{m}) \cdot (\pi(0,00925 m)^2)}{0,025 m}$$

$$L_1 = 0,000135 H = 135 \mu H$$

Para hallar la inductancia del embobinado de 100 vueltas con núcleo de acero al carbón, se hace uso del inductómetro como se muestra en la figura 12.

Figura 12

Medición de inductancia de embobinado de 100 vueltas con núcleo



Teniendo los datos de la inductancia sin núcleo y con núcleo, se aplica el razonamiento de la ecuación (14) obteniendo la permeabilidad relativa del material de acero al carbón:

$$\mu_r = \frac{L_2}{L_1} = \frac{0,000417 \text{ H}}{0,000135 \text{ H}}$$

$$\mu_r = 3,08$$

El uso de núcleo ferromagnético es importante para aumentar la magnetización del electroimán, sin embargo, se debe de calcular la relación exacta de la impedancia con la resistencia real de la bobina, para obtener un tiempo de carga menor al tiempo del ancho de pulso o tiempo de encendido.

Una vez obtenida la permeabilidad relativa del núcleo, se desarrolla nuevamente el cálculo de la inductancia con la ecuación (24) para un embobinado de 300 vueltas:

$$L = \frac{N^2 \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot A}{l} = \frac{(300)^2 \cdot (4\pi \times 10^{-7} \frac{H}{m}) \cdot (3,08) \cdot (\pi(0,00925 m)^2)}{0,025 m}$$

$$L = 0,00375 H$$

$$L = 3,75 mH$$

3.4.4.2 Cálculo de la resistencia

Antes de calcular la resistencia real de la bobina, se halla la longitud del alambre usado, el cual es 300 veces el perímetro del carrete, dando un total de:

$$l = 300 \cdot 2\pi r = 300 \cdot 2\pi(0,00925 m)$$

$$l = 17,44 m$$

Entonces, la resistencia real de la bobina se determina mediante la ecuación (29):

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} = (0,017 \Omega \frac{mm^2}{m}) \cdot \frac{17,44 m}{\pi(\frac{0,02769 mm}{2})^2}$$

$$R = 4,9 \Omega$$

3.4.4.3 Cálculo de la reactancia inductiva

Teniendo los datos de la frecuencia de trabajo y de la inductancia del electroimán, se calcula la reactancia inductiva para saber cuánto es la oposición del circuito inductivo el cual se refleja en la energía almacenada como campo magnético, se halla mediante la ecuación (30):

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L = 2\pi \cdot (133,32 Hz) \cdot (0,00375 H)$$

$$X_L = 3,14 \Omega$$

3.4.4.4 Cálculo de la impedancia

De los valores obtenidos de resistencia y reactancia inductiva se calcula la magnitud de la impedancia para determinar la relación del voltaje con la corriente en el circuito, se desarrolla aplicando la ecuación (31):

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{(4,9 \Omega)^2 + (3,14 \Omega)^2}$$

$$|Z| = 5,82 \Omega$$

3.4.5 Características de funcionamiento del electroimán

3.4.5.1 Cálculo del tiempo de carga

El tiempo de carga determina si el electroimán trabaja al ritmo de la frecuencia, o si es un electroimán lento los rpm del rotor serán muy bajos. Teniendo como referencia el valor obtenido del tiempo de encendido t_{ON} , el tiempo de carga del electroimán debe ser ubicado por debajo de ese valor. Para ello se hace uso de la constante de tiempo Tau que representa la línea recta de la carga de corriente que es un 63% antes de llegar a la saturación, se emplea la ecuación (25):

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{0,00375 H}{4,9 \Omega}$$

$$\tau = 0,000765 s$$

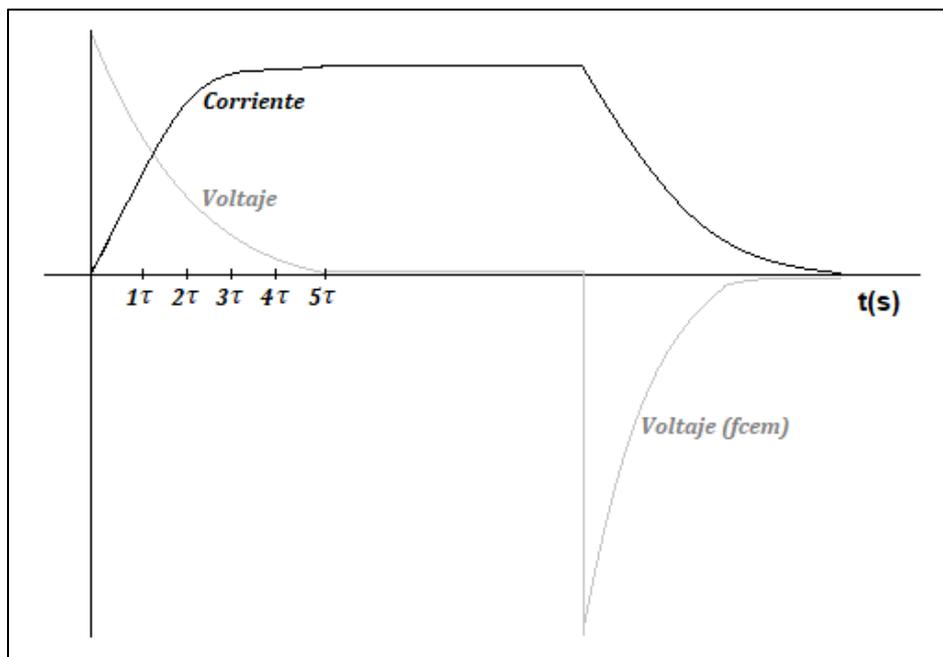
3.4.5.2 Cálculo de voltaje y corriente

Para entender el funcionamiento del electroimán se analiza el régimen transitorio de la inductancia, esto sirve para determinar el tiempo que tarda en cargar una bobina antes que llegue a la saturación o corto circuito que hay que evitar debido que si se llega a cortocircuitar la bobina se generan pérdidas de calor por efecto Joule. El tiempo de corto circuito o régimen permanente es de 5τ , y el tiempo de carga de corriente ideal en línea recta del régimen transitorio es de 1τ .

Cuando existe una variación de corriente en el inductor se genera un voltaje inducido con polaridad opuesta al que lo generó, y cuando se corta la corriente en el inductor, el campo magnético almacenado colapsa de tal manera que tiende a producir un voltaje opuesto como se muestra en la figura 13.

Figura 13

Régimen transitorio de la inductancia y f_{cem}



El cálculo del voltaje para un tiempo de encendido t_{ON} del electroimán se desarrolla con la ecuación (27), teniendo en cuenta que para el funcionamiento del prototipo se usó una batería de 12V como fuente de alimentación:

$$V_L = V_0 \cdot e^{-t\left(\frac{1}{\tau}\right)} = (12 \text{ V}) \cdot e^{-0,000608 \text{ s}\left(\frac{1}{0,000765 \text{ s}}\right)}$$

$$V_L = 5,42 \text{ V}$$

El cálculo de la corriente para un tiempo t_{ON} del electroimán se desarrolla con la ecuación (28):

$$I_L = \frac{V_0}{R} \left(1 - e^{-t\left(\frac{1}{\tau}\right)}\right) = \frac{12 \text{ V}}{4,9 \Omega} \left(1 - e^{-0,000608 \text{ s}\left(\frac{1}{0,000765 \text{ s}}\right)}\right)$$

$$I_L = 1,34 \text{ A}$$

3.4.5.3 Cálculo del ángulo de desfase

En los circuitos inductivos si el ángulo de desfase φ no es de cero grados, entonces, la corriente mantiene un atraso de acuerdo a su ángulo de desfase con respecto al voltaje. Este ángulo se calcula con la ecuación (32):

$$\cos\varphi = \frac{R}{|Z|} = \frac{4,9 \Omega}{5,82 \Omega}$$

$$\cos\varphi = 0,84$$

$$\varphi = \arccos(0,84)$$

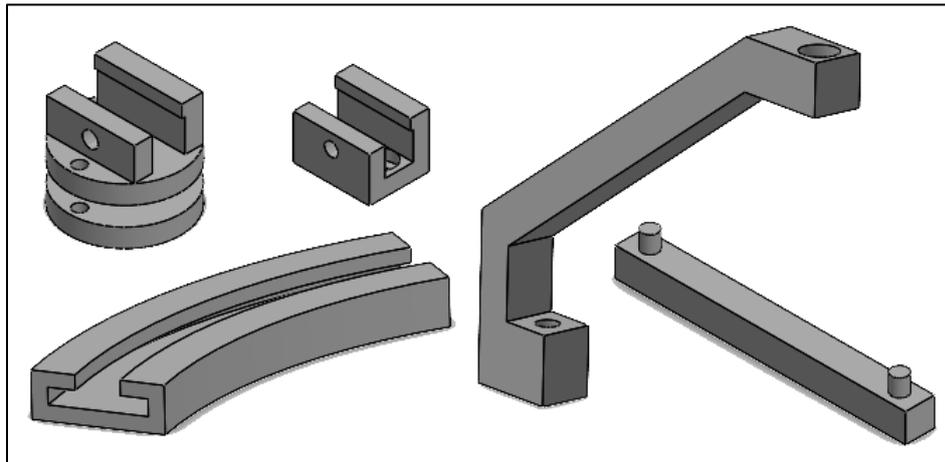
$$\varphi = 33^\circ$$

3.4.6 Diseño e implementación del sistema electrónico

El sistema electrónico integra los componentes del estator como el electroimán y el interruptor magnético, por tal motivo se diseña la base regulable que sostiene a los carretes y el interruptor magnético, como se muestra en la figura 14.

Figura 14

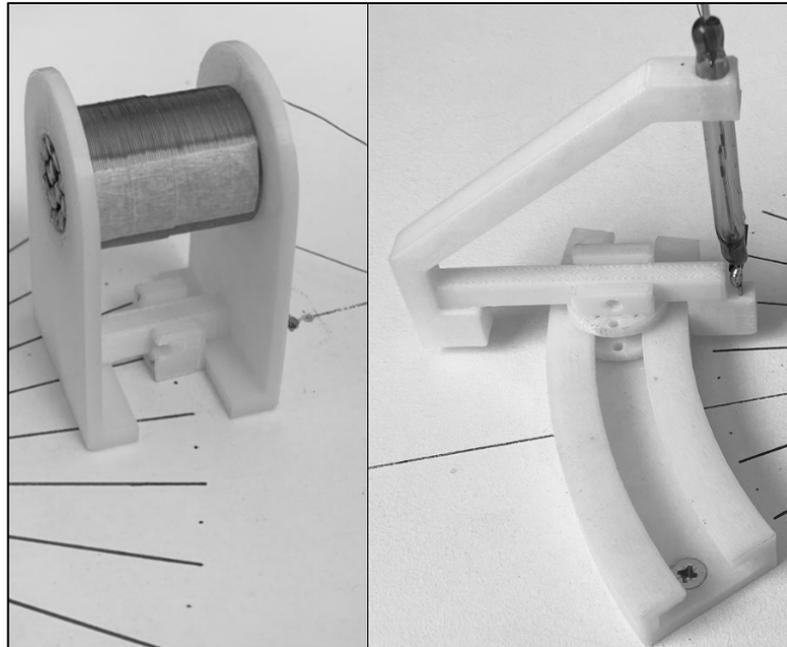
Estator – Bases de soporte de carretes e interruptor magnético



Estos soportes sirven también para calibrar los anchos de pulso y la eficiencia requerida, ya que el prototipo fue diseñado para ser modificado o actualizado. En la figura 15 se muestra las piezas ya impresas y ensambladas.

Figura 15

Estator – Bases de soporte impresos de carretes e interruptor magnético



3.4.6.1 Selección de componentes electrónicos

El circuito electrónico necesita de una fuente de alimentación que proporcione la energía eléctrica o fuerza electromotriz necesaria para que todos los componentes del circuito funcionen, por tal motivo se utilizó una batería de 12 V, 9 A modelo JS12-9 de la marca Kijo, como se ve en la figura 16.

Figura 16

Batería de alimentación

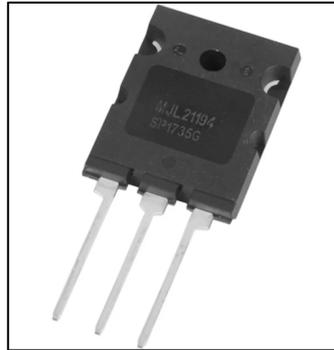


Nota. Obtenido de Kijo Battery. <https://www.kijo-battery.com/uploads/file/js12-9-0-high-rate-battery.pdf>.

En esencia para un motor generador de pulsos se necesitó el uso de un transistor que controle el paso de corriente y que soporte los picos de la fuerza contra electromotriz que multiplican por 4 a más la fuente primaria. Por tal razón se usó el transistor MJL21194 tipo NPN que soporta 250 V, 16 A y 200 W, como se muestra en la figura 17.

Figura 17

Transistor



Nota. Obtenido de <https://alltransistors.com/>.

El interruptor magnético que da paso al control de alimentación del inductor mediante el transistor, debe de soportar la frecuencia de funcionamiento del sistema en general del prototipo, el cual es de 133,32 Hz, es decir que el interruptor magnético tiene que realizar 133 conmutaciones mecánicas por segundo, por tal motivo, se usó el interruptor magnético DRS50 que trabaja al límite de 5ms, pero que soporta 400 V, 3 A, 100 W, se muestra en la figura 18.

Figura 18

Interruptor magnético



Nota. Obtenido de <https://www.littelfuse.com/>.

Para el paso de corriente en una sola dirección se hizo uso de un diodo 1N4007 de 1000 V, que es muy común y fácil de conseguir, sin embargo, el diodo cumple parte importante para el uso de la fcm en el circuito. Esta fcm será usada para recargar una batería de 12 V, 9 A modelo FUB1290 de la marca Forza, se muestra en la figura 19.

Figura 19

Batería recargable

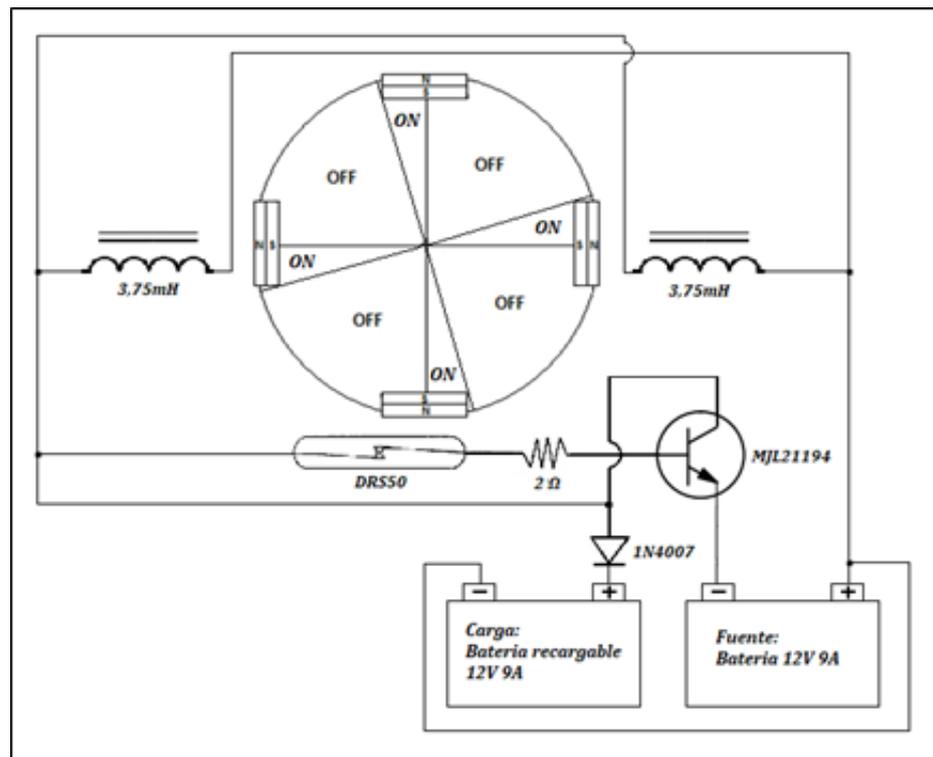


Nota. Obtenido de <https://www.forzaups.com/>.

3.4.6.2 Configuración de componentes electrónicos

Para diseñar el circuito en primer lugar se tomó en cuenta el tipo de accionamiento del motor generador, y se definió que el sistema en general se accionará mediante ancho de pulsos, los cuales ya fueron calculados previamente de acuerdo al diseño del rotor en base a los componentes que se seleccionaron como los imanes permanentes y el rodamiento. Se toma en cuenta los componentes del estator que también vendrían a ser parte del circuito en general, como el interruptor magnético y los electroimanes.

Una vez planteado el comportamiento de todos los componentes se desarrolla el circuito mostrado en la figura 20, el cual se polariza el diodo de manera inversa a la carga y el transistor configurado como conmutador.

Figura 20*Circuito electrónico*

Primera parte del funcionamiento del circuito electrónico. El circuito empieza a funcionar con el movimiento del rotor en sentido antihorario, cuando el sector de encendido ON se acerca al borde del núcleo del electroimán, el interruptor magnético se activa dando paso a la tensión en la base del transistor, el cual lleva una resistencia de 2 ohm calculada de acuerdo a la caída de tensión del electroimán en una unidad de tiempo Tau, impidiendo que se dañe el transistor; este voltaje en la base del transistor da la orden de saturar su colector con el emisor comportándose como un conmutador, dando paso al flujo de corriente hacia el electroimán generando un polo magnético sur en atracción con el norte del imán permanente provocando el giro; a su vez el flujo de corriente en el electroimán hace que se autoinduzca un campo magnético con signo opuesto al de la fuente que lo generó.

Segunda parte del funcionamiento del circuito electrónico. Continuando con el giro del rotor, llega el instante en el que el imán permanente esta justo al frente del núcleo del electroimán, en ese momento el interruptor magnético se desactiva cortando la tensión de la base del

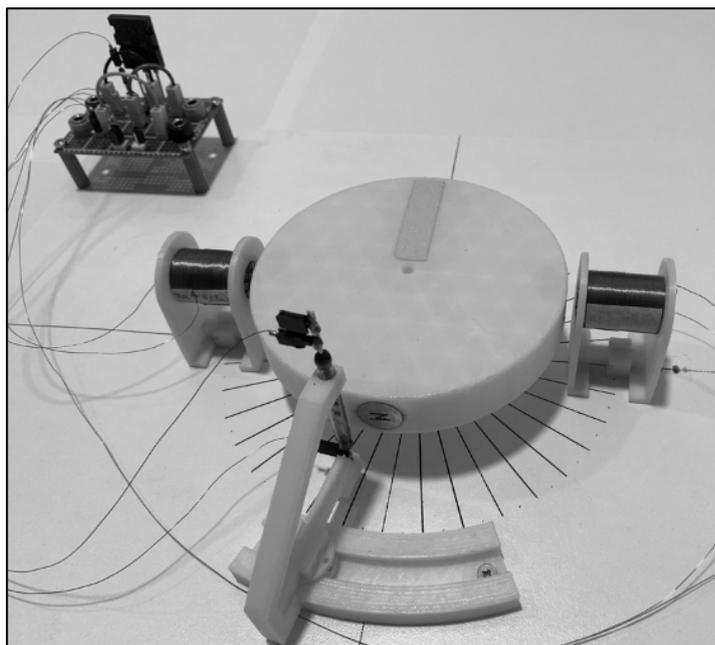
transistor, por lo tanto, el transistor entra en corte, impidiendo el paso de la corriente de la fuente primaria entre el colector y emisor. En el mismo instante en el que el interruptor magnético se desactiva, el campo magnético almacenado en el electroimán colapsa, entregando un pico de tensión muy alto en sentido inverso al que lo generó, invirtiendo el polo magnético del electroimán a norte, repeliendo al imán permanente en el mismo sentido de giro del rotor. Este voltaje con signo opuesto, es decir, la fuerza contra electromotriz entregado por la descarga del campo magnético, es dirigido mediante la polarización directa de un diodo hacia una carga específica, en este caso una batería recargable de 12 V, 9 A. Luego nuevamente se repite el ciclo al dar paso al siguiente imán permanente que se encuentran con un ángulo de separación de 90 grados.

3.4.6.3 Pruebas de integración

Para la integración de las partes que componen el prototipo, se fijaron las piezas del rotor y estator en una base de madera rígida, ubicando cada componente en su posición correcta para su posterior calibración y sincronía, de tal forma que funcione en conjunto con el circuito electrónico implementado en una base de pcb, quedando así la implementación completa como se muestra en la figura 21.

Figura 21

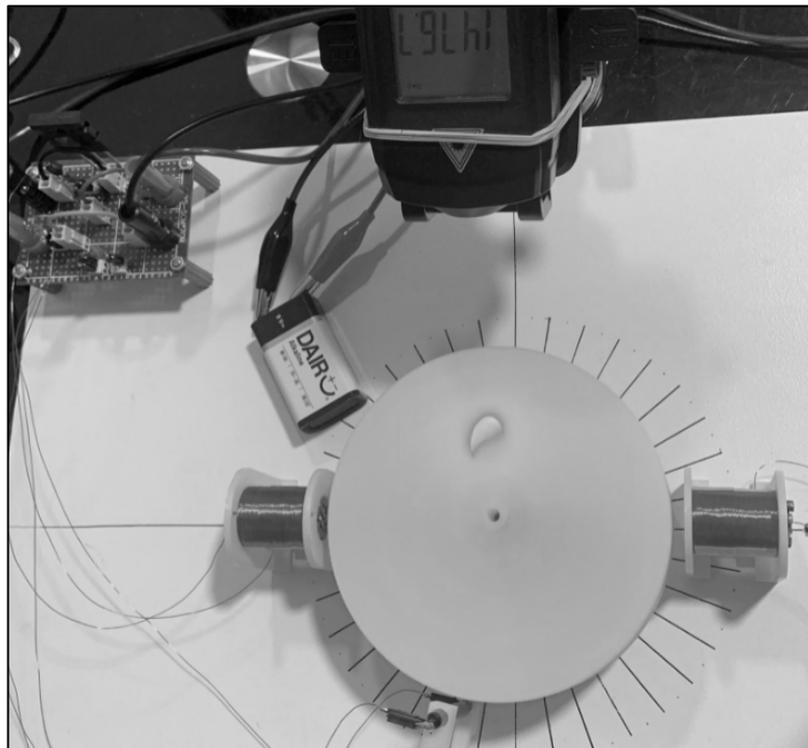
Integración de partes del prototipo



Para las pruebas de integración del funcionamiento de los componentes del prototipo en conjunto, se hizo uso de una pequeña batería de 9V solo para realizar las pruebas de testeo, calibración y puesta en marcha del motor generador, dando como resultado luego de haber hecho los ajustes correspondientes a las piezas mecánicas un funcionamiento correcto a 1476 rpm, como se muestra en la figura 22.

Figura 22

Prueba de integración con batería de 9 V

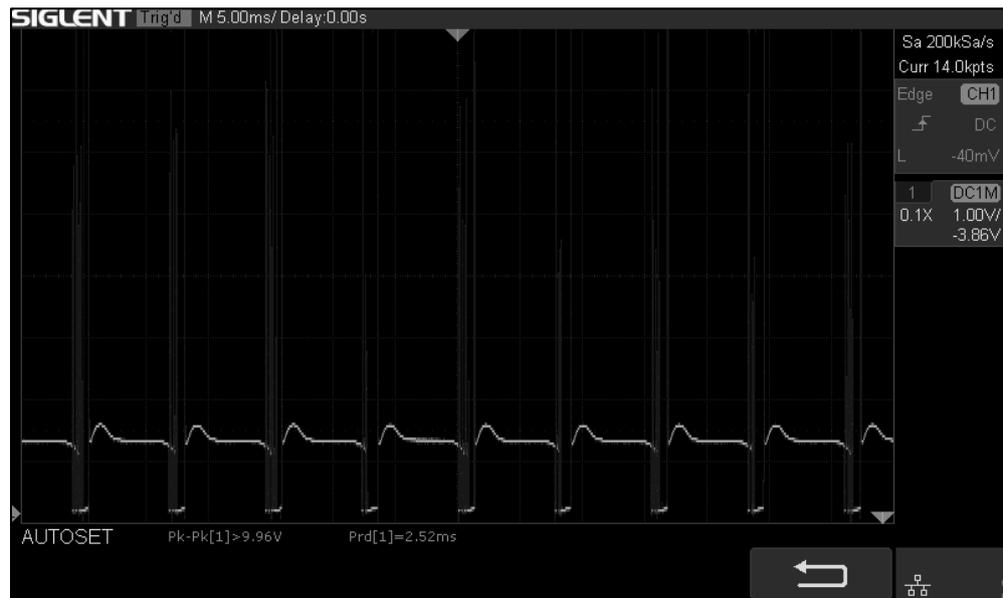


3.5 Procesamiento y análisis de datos

De acuerdo a los cálculos previos que se hicieron para lograr el óptimo desempeño de los componentes que integran el prototipo, se realiza el análisis de la forma de onda de la fuerza contra electromotriz resultante de la puesta en marcha del prototipo, el cual sirve para determinar los picos altos y la forma de onda generada al conectar y desconectar un electroimán. Esto se muestra en la figura 23 medido con el osciloscopio.

Figura 23

Ancho de pulso del electroimán y picos de la fuerza contra electromotriz



Nota. Captura obtenida del osciloscopio [Siglent SDS 1104X-E], medida en la salida del circuito hacia la carga (punta en cátodo del diodo 1N4007).

De la figura 23, se puede observar claramente como los picos más altos representan a la fuerza contra electromotriz que se muestran con el promedio de 9,96 V, esto quiere decir, que fueron generados a partir del corte de corriente del electroimán. Pero también se puede observar que en los puntos más bajos es cuando se activa el paso de corriente del electroimán, el cual genera un campo magnético que se opone a la fuente que lo generó.

La gráfica obtenida del osciloscopio representa el momento en el que el electroimán se encuentra en los estados de carga y descarga de voltaje de su campo magnético, es por eso que en los momentos de carga solo se genera un campo magnético, y en los momentos de descarga del campo magnético genera una fuerza contra electromotriz, que se aprovecha de varias formas en el prototipo, una ellas es el uso de los picos más altos para impulsar al rotor a girar en la misma dirección, y por otro lado se aprovecha para cargar una batería.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1 Pruebas de validación del funcionamiento del prototipo

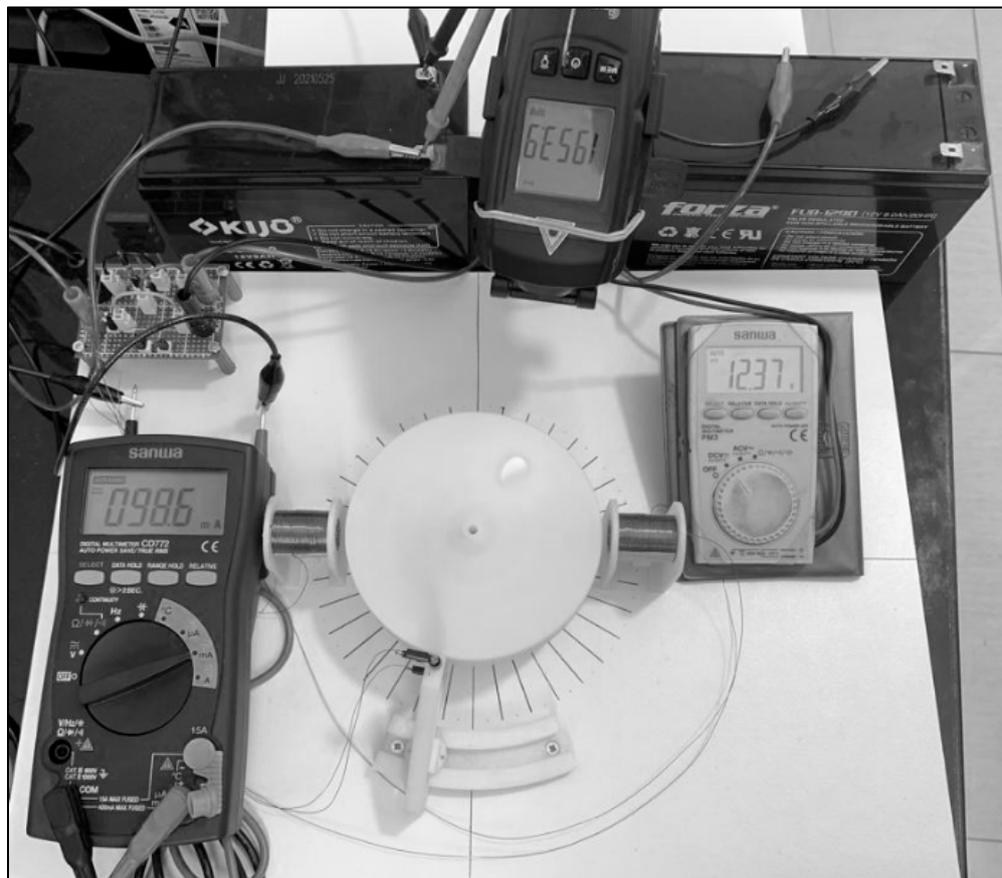
En esta parte de la investigación, se realiza las pruebas de funcionamiento del prototipo con los componentes calculados, diseñados, implementados y calibrados previamente para su puesta en marcha.

4.1.1 Funcionamiento del prototipo sin carga

El circuito electrónico con el motor generador entra en funcionamiento al conectarse a la batería primaria de 12,37 V usando 0,098 A, logrando girar al rotor a 1953 revoluciones por minuto como se observa en la figura 24. Esto es el funcionamiento de un motor convencional al no estar conectada la salida del circuito que entrega la f_{cem} a una carga para aprovecharla.

Figura 24

Funcionamiento del prototipo y medición de entrada sin carga



4.1.2 Funcionamiento del prototipo con carga

Ahora a el prototipo se le conecta una carga que es una batería recargable de 12 V, 9 A, y se observa los cambios en el uso de corriente de entrada disminuyendo de 0,098 A de la medición anterior a 0,089 A, y un aumento en las revoluciones del rotor a 1980 rpm, como se observa en la figura 25. Esto nos indica que el prototipo consume menos energía eléctrica estando conectada una carga que al no estar conectada a nada.

Figura 25

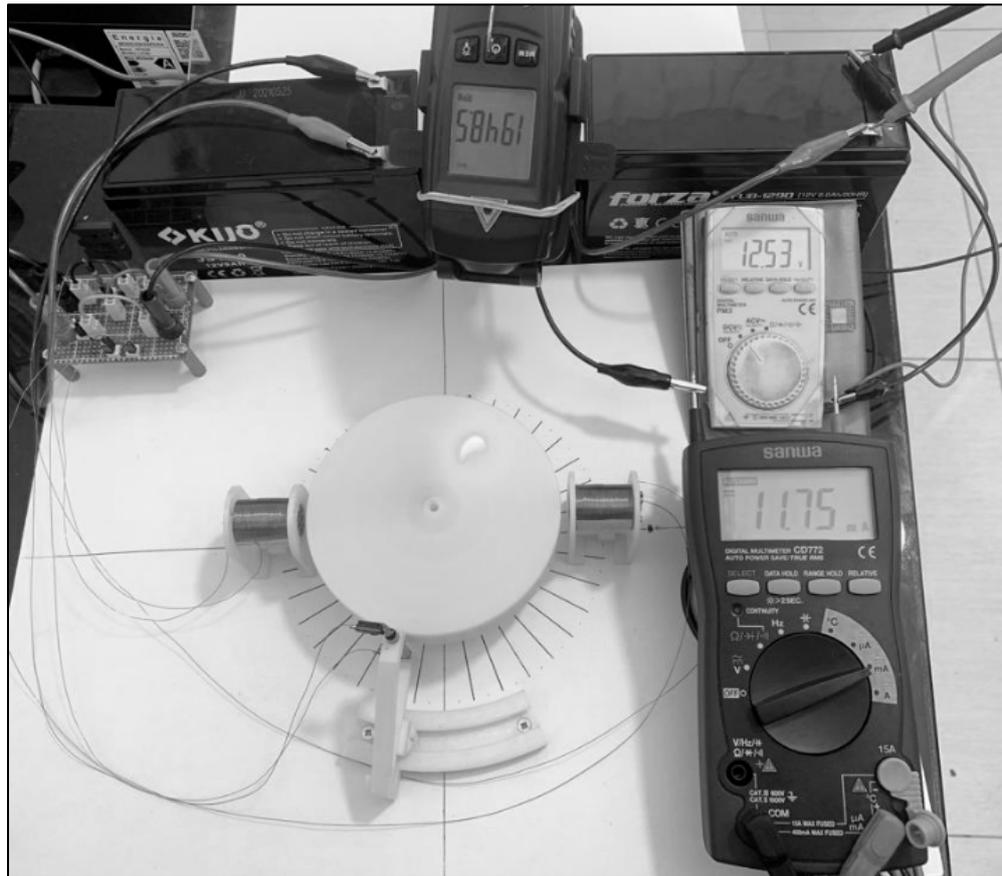
Funcionamiento del prototipo y medición de entrada con carga



Para saber la potencia de salida que nos genera la fuerza contra electromotriz a la salida del circuito, se realizó el cambio de posición de los instrumentos de medición, dando como resultado 12,53 V y entregando 0,011A como se observa en la figura 26.

Figura 26

Funcionamiento del prototipo y medición de salida con carga



4.2 Medidas de la eficiencia del prototipo

Para determinar la eficiencia del aprovechamiento de la fuerza contra electromotriz en el prototipo, se ordenaron los datos obtenidos en las pruebas de funcionamiento con carga y sin carga, para determinar la potencia de entrada y la potencia de salida, como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6

Resultados de potencia de entrada y salida del circuito con carga y sin carga

	Entrada			Salida		
	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
Con carga	12,38	0,0890	1,10	12,53	0,01175	0,15
Sin carga	12,37	0,0986	1,22	12,53	0	0

Aplicando la ecuación (34) se calcula la eficiencia del aprovechamiento de la fuerza contra electromotriz.

$$E_f = \frac{P_S}{P_E} \cdot 100 \% = \frac{0,15 W}{1,10 W} \cdot 100 \%$$
$$E_f = 13,6 \%$$

Este resultado nos indica que se está aprovechando la fuerza contra electromotriz en un 13,6 % con respecto a la potencia de entrada del circuito.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

Si bien existen algunas investigaciones con el enfoque en el uso de la fuerza contra electromotriz así como detallo en los antecedentes, es poco común ver las técnicas de desarrollo del cálculo para la construcción de los componentes que integran el motor generador para que funcionen a un determinado ancho de pulso, el cual con la presente tesis se trató de ser lo más claro posible para que la línea de investigación de la fuerza contra electromotriz y sus beneficios se llegue a implementar en los motores eléctricos convencionales.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente tesis se puede observar que las técnicas de desarrollo presentadas y cálculos preliminares sirven como base del diseño de un motor generador, sin embargo, no siempre los datos teóricos coinciden con los resultados prácticos, lo que nos lleva a recalcular nuevamente para obtener un diseño ideal, esto abre el camino a nuevas formas de aprovechamiento de energías limpias y la reformulación del uso de la fuerza contra electromotriz en las líneas de investigación científica.

CONCLUSIONES

Se diseñó el rotor en base a las características del rodamiento y los imanes permanentes, y se implementó por impresión en 3D con material de PLA con una densidad al 20 %, obteniendo un rotor rígido.

Con el estudio del cálculo geométrico, las dimensiones del rotor y la frecuencia de trabajo, se determinó el ancho de pulso, es decir, el tiempo en ON y el tiempo en OFF del ciclo de trabajo del circuito electrónico.

Se diseñó y se construyó el electroimán en base a las dimensiones del imán permanente, el radio de cobertura de su campo magnético y la relación de su inductancia con su resistencia real consiguiendo que el tiempo de carga en una unidad de tiempo Tau sea casi igual a la del tiempo en ON del circuito electrónico.

Se logró calcular el voltaje y la corriente del electroimán en el ancho de pulso o tiempo en ON, gracias al estudio del régimen transitorio de la inductancia, que sirvió además para seleccionar los componentes electrónicos del circuito eléctrico.

Se calculó el ángulo de desfase del electroimán, gracias al estudio del factor de potencia, con el cual se pudo determinar que la corriente está a 33 grados de retraso con respecto a su voltaje.

Se logró el diseño e implementación del circuito electrónico teniendo como base la configuración del transistor como conmutador y la polarización inversa del diodo cuando el circuito se encuentra con el ciclo de trabajo de encendido y polarización directa del diodo cuando el circuito se encuentra con el ciclo de trabajo en apagado.

Se realizó el diseño de la parte del circuito electrónico como la parte de prototipo del motor generador, y se implementó gracias a la tecnología de impresión en 3D, dando como resultado el funcionamiento correcto de todo el sistema, por lo cual se pudo controlar y aprovechar la fuerza contra electromotriz en un 13,6 %.

RECOMENDACIONES

Se recomienda no solo profundizar los estudios de los efectos electromagnéticos y circuitos electrónicos en las bases teóricas, si no también aplicarlas a la investigación y desarrollo de nuevas soluciones energéticas como la implementación del prototipo de la presente tesis, que sirve como base para el desarrollo y entendimiento de diseños de motores generadores más complejos.

En base a los resultados se recomienda a las universidades la integración de la fuerza contra electromotriz como parte del estudio de las nuevas tecnologías en el desarrollo de las maquinas eléctricas.

Finalmente se recomienda realizar posteriores investigaciones donde se implique el control y uso de la fuerza contra electromotriz para mejorar el desarrollo de nuevos motores generadores que sean fácilmente replicables y accesibles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams R., Aspden H., (1993). "Electrical motor-generator" (U.K. Patent No. GB2282708).
- Alvarez, M. L., Beléndez, A., & Hernández Prados, A. (2011). Tema 2. El campo magnético (Resumen)(Curso 2010-2011). Fundamentos Físicos de la Ingeniería II. <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/16961>
- Blas del Hoyo, A. (2006). Modelización de la histéresis magnética y su aplicación al cálculo numérico en máquinas eléctricas. [tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Catalunya]. Repositorio Institucional <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/93617>
- Bedini J., (2001). "Device and method for utilizing a monopole motor to create back EMF to charge batteries" (U.S. Patent No. US6545444B2).
- Beléndez, A. (2008). La unificación de luz, electricidad y magnetismo: la "síntesis electromagnética" de Maxwell. Revista Brasileira de Ensino de Física, 30(2), 2601-1.
- Beléndez, T., & Beléndez, A. (2002). Tema 23-ITOP: Inducción electromagnética (Resumen). Física General.
- Brits L., Christie V., (1999). "System for controlling a rotatory device" (U.S. Patent No. US6630806B1).
- Castiñeira Ibáñez, S., & Tarrazó Serrano, D. (2020). Descarga de un condensador a través de una resistencia. Efecto Joule. Universidad Politecnica de Valencia.
- Chapman, S. J., & Castillo, R. (2000). Máquinas eléctricas. McGraw-Hill.
- Cheng, D. K. (1997). Fundamentos de electromagnetismo para ingeniería. Pearson Educación.
- Coey, J. M. (2010). Magnetism and magnetic materials. Cambridge university press.

- Escobar, M., & Alatorre, M. (2005). Medición de susceptibilidad Magnética de materiales. Recuperado de <https://www.cenam.mx/dme/pdf/PRE-Medicion%20de%20susceptibilidad%20magnetica%20de%20materiale%20s.pdf>,(octubre, 2016).
- González, J. C., Osorio, A., & Bustamante, A. (2013). La susceptibilidad magnética en materiales superconductores. <http://ateneo.unmsm.edu.pe/handle/123456789/2678>
- Guzmán, H. M. (2007). Física 3. Profesor de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Holton G. y Brush S.G. (1988). Introducción a los Conceptos y Teorías de las Ciencias Físicas (Editorial Reverté, Barcelona, 1988).
- K&J Magnetics. Magnetic Field Visualization. Single Magnet in Free Space. <https://www.kjmagnetics.com/magfield.asp?pName=D91>
- Lazo, O. R., Rojas, J. R., & Bacalla, J. S. (2006). Situación energética de los hidrocarburos en el Perú. *Industrial Data*, 9(2), 21-32.
- Macías García, M. E., Contreras Hinojosa, C., Anaya Zamora, R., García, M. E. M., Hinojosa, C. C., & Zamora, R. A. (2019). Impedancia en circuitos eléctricos de CA. Repositorio - Tecnológico de Monterrey.
- MINEM, Ministerio de Energía y Minas. (2017). Energía en el Perú. <http://www.minem.gob.pe/giee/secundaria/pdf/Guia-Secundaria-Cap5.pdf>
- Nave C.R. (2016). Régimen transitorio de la inductancia. HyperPhysics. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/>
- Peralta, J. A., & Vázquez, L. Q. 2020. El papel de las ecuaciones de Maxwell en la invención de la Relatividad Especial. esfm.ipn.mx.
- Pérez, J. H., de los Santos, J. S., & Cruz, R. F. (2019). Estudio empírico de las corrientes de Foucault, combinando un campo magnético con el campo gravitatorio. *Latin-American Journal of Physics Education*, 13(3), 4.

- Pons J., (2016). Estudio de los métodos de aprovechamiento de la fuerza contraelectromotriz con transformador bitoroidal y motor eléctrico: diseño e implementación de una aplicación. [Tesis de Bachiller, Universidad Politécnica de Cataluña]. Repositorio Institucional - Universidad Politécnica de Cataluña.
- Quispe L., Apaza R. (2017). Diseño e implementación de un prototipo de un generador magnético aprovechando la fcm como energía alternativa. [Tesis de Bachiller, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional - Universidad Nacional del Altiplano.
- Ribeiro, G. A. P. (2000). As propriedades magnéticas da matéria: um primeiro contato. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 22(3).
- Silva, H. S., Radesca, A., & Espagnolo, Á. (2009). CONCEPTOS FUNDAMENTALES. ResearchGate.
- Special Cables SAB. (2021). Construcciones de conductores americanas tabla de AWG. <https://www.sab-cables.eu/>
- Zapata Sánchez, P. M. (2010). Diseño e implementación de electroimán y actuador electrónico aplicado a un sistema de levitación magnética.

Anexo 1. Matriz de Consistencia

Planteamiento de problema	Objetivo	Unidad de análisis	Dimensiones	Indicadores	Metodología	Resultados
1.Problema general	1.Objetivo general		-Diseño e implementación del rotor.	-Radio (m). Diámetro (m). Alto (m). Perímetro (m).	-Dimensionar el rotor de acuerdo al tamaño del imán y su campo magnético.	-Diseño e implementación del rotor.
¿Cómo diseñar e implementar un sistema electrónico con un prototipo de motor generador que controle y use la fuerza contra electromotriz?	Diseñar e implementar un sistema electrónico con un prototipo de motor generador para el control y uso de la fuerza contra electromotriz.		-Características de funcionamiento del rotor.	-Velocidad angular (rad/s). Frecuencia (Hz). Periodo (s).	-Evaluación de límites mecánicos del rotor.	-Características de funcionamiento del rotor.
2.Problemas específicos	2.Objetivos específicos		-Determinación de los tiempos de encendido y apagado de la polaridad del electroimán.	-Tiempo de encendido y apagado (s).	-Cálculo de tiempo de encendido y apagado de la polaridad del electroimán.	-Tiempos de encendido y apagado de la polaridad del electroimán.
a) ¿Cómo diseñar e implementar el rotor?	a) Diseñar e implementar el rotor.	Diseño e implementación de un sistema electrónico con un prototipo de motor generador para el control y uso de la fuerza contra electromotriz.	-Diseño e implementación del electroimán.	-Inductancia (H). Permeabilidad relativa. Resistencia (Ω). Reactancia inductiva (Ω). Impedancia (Ω).	-Cálculo de la inductancia, permeabilidad relativa, resistencia, reactancia inductiva, impedancia.	-Diseño e implementación del electroimán.
b) ¿Cuáles son las características de funcionamiento del rotor?	b) Determinar las características de funcionamiento del rotor.		-Diseño e implementación del electroimán.	Impedancia (Ω).	-Cálculo del tiempo de carga, voltaje, corriente, desfase.	-Características de funcionamiento del electroimán.
c) ¿Cómo determinar los tiempos de encendido y apagado de la polaridad del electroimán?	c) Determinar los tiempos de encendido y apagado de la polaridad del electroimán.		-Características de funcionamiento del electroimán.	-Tiempo de carga (s). Voltaje (V). Corriente (A). Desfase ($^{\circ}$).	-Selección de componentes electrónicos. Configuración de componentes electrónicos. Pruebas de integración del circuito con el prototipo.	-Diseño e implementación del sistema electrónico.
d) ¿Cómo diseñar e implementar el electroimán?	d) Diseñar e implementar el electroimán.		-Diseño e implementación del sistema electrónico.	-Pruebas de integración.		-Pruebas y validación.
e) ¿Cuáles son las características de funcionamiento del electroimán?	e) Determinar las características de funcionamiento del electroimán.		-Validación de funcionamiento.	-Eficiencia del prototipo en el control y uso de la fem (%).	-Cálculo de eficiencia.	

f) ¿Cómo diseñar e implementar el sistema electrónico para que funcione en conjunto con el motor generador y permita el control y uso de la fuerza contra electromotriz?	f) Diseñar e implementar el sistema electrónico para que funcione en conjunto con el motor generador y permita el control y uso de la fuerza contra electromotriz.
g) ¿Es posible validar el funcionamiento del prototipo realizando una prueba de eficiencia de la fuerza contra electromotriz?	g) Validar el funcionamiento del prototipo realizando una prueba de eficiencia de la fuerza contra electromotriz.

Anexo 2. Datasheet - Interruptor magnético



Axial Lead Reed Switches

High Power > DRS-50

DRS-50 50.8mm High Power Reed Switch

OBSOLETE DATE: 06/25/2020 PCN/ECN# 1FFCN 41367
REPLACED BY: Not Replaced



Description

The DRS-50 Reed Switch is a standard, normally open switch with a 50.80mm long x 5.25mm diameter (2.000" x .207") glass envelope, capable of high voltage and power switching up to 400Vdc at 2mA. Will carry 6A and switch up to 100W/VA. It has high insulation resistance of 10^{13} ohms minimum and contact resistance of less than 100 milli-ohms.

Features

- Normally open switch
- Capable of switching 400Vdc or 3.0A at up to 100W
- Minimum voltage breakdown 600Vdc
- Available sensitivity range 42-83 AT

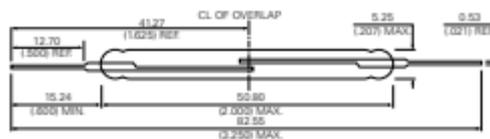
Agency Approvals

Agency	Agency File Number	Ampere-Turns Range
	E47258 E471070	42-83 AT
	DEMKO 14 ATEX 1393U	42-83 AT

Note: Contact Littelfuse for specific agency approval ratings.

Dimensions

Dimensions in mm (inch)



Benefits

- Hermetically sealed switch contacts are not affected by and have no effect on their external environment
- Capable of switching European mains voltage
- Zero operating power required for contact closure

Applications

- Security
- Limit switching
- Industrial applications
- White Goods

Switch Type

Contact Form	A (SPST-NO)
Materials	Body: Glass Leads: Tin-plated Ni-Fe wire

Note: SPST-NO = Single-pole, single-throw, normally open

Electrical Ratings

Contact Rating ¹		W/VA - max.	100
Voltage ²	Switching ²	Vdc - max.	400
	Breakdown ⁴	Vac - max. Vdc - min.	280 600
Current ³	Switching ²	Adc - max.	3.0
	Carry	Aac - max. Adc - max.	2.1 6.0
Resistance	Contact, Initial Insulation	Ω - max.	0.100
		Ω - min.	10^{10}
Capacitance	Contact	pF - typ.	0.6
Temperature	Operating Storage ⁵	$^{\circ}$ C	-40 to +125
		$^{\circ}$ C	-65 to +125

Notes:

1. Contact rating - Product of the switching voltage and current should never exceed the wattage rating. Contact Littelfuse for additional load/life information.
2. When switching inductive and/or capacitive loads, the effects of transient voltages and/or currents should be considered. Refer to Application Notes AN108A and AN107 for details.
3. Electrical Load Life Expectancy - Contact Littelfuse with voltage, current values along with type of load.
4. Breakdown Voltage - per MIL-STD-202, Method 301.
5. Storage Temperature - Long time exposure at elevated temperature may degrade solderability of the leads

Anexo 3. Datasheet – Transistor

MJL21193 (PNP), MJL21194 (NPN)

Silicon Power Transistors

The MJL21193 and MJL21194 utilize Perforated Emitter technology and are specifically designed for high power audio output, disk head positioners and linear applications.

Features

- Total Harmonic Distortion Characterized
- High DC Current Gain
- Excellent Gain Linearity
- High SOA
- These Devices are Pb-Free and are RoHS Compliant*

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CE0}	250	Vdc
Collector-Base Voltage	V_{CBO}	400	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EBO}	5	Vdc
Collector-Emitter Voltage – 1.5 V	V_{CEX}	400	Vdc
Collector Current – Continuous	I_C	16	Adc
Collector Current – Peak (Note 1)	I_{CM}	30	Adc
Base Current – Continuous	I_B	5	Adc
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	200 1.43	W W/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-65 to +150	$^\circ\text{C}$

Stresses exceeding Maximum Ratings may damage the device. Maximum Ratings are stress ratings only. Functional operation above the Recommended Operating Conditions is not implied. Extended exposure to stresses above the Recommended Operating Conditions may affect device reliability.

1. Pulse Test: Pulse Width = 300 μs , Duty Cycle $\leq 2\%$

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction-to-Case	$R_{\theta JC}$	0.7	$^\circ\text{C/W}$

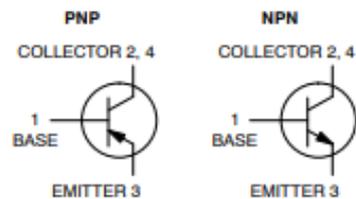
*For additional information on our Pb-Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRM/D.



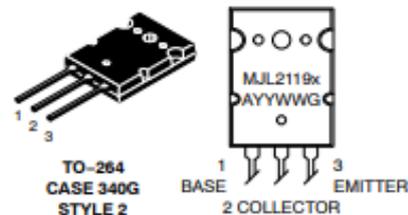
ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>

16 AMPERE COMPLEMENTARY SILICON POWER TRANSISTORS 250 VOLTS, 200 WATTS



MARKING DIAGRAM



x – 3 or 4
A – Assembly Location
YY – Year
WW – Work Week
G – Pb-Free Package

ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping†
MJL21193G	TO-264 (Pb-Free)	25 Units / Rail
MJL21194G	TO-264 (Pb-Free)	25 Units / Rail

†For information on tape and reel specifications, including part orientation and tape sizes, please refer to our Tape and Reel Packaging Specifications Brochure, BRD8011/D.

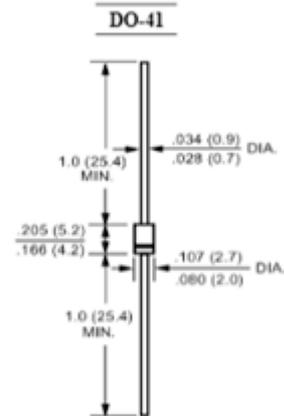
Anexo 4. Datasheet – Diodo


1N4001 THRU 1N4007
SILICON RECTIFIER
FEATURES

- Low forward voltage drop
- High current capability
- High capability
- High surge current capability
- Exceeds environmental standards of MIL-S-19500/228

MECHANICAL DATA

Case: Molded plastic, DO-41
 Epoxy: UL 94V-O rate flame retardant
 Lead: Axial leads, solderable per MIL-STD-202, method 208 guaranteed
 Polarity: Color band denotes cathode end
 Mounting position: Any
 Weight: 0.012ounce, 0.33gram



Dimensions in inches and (millimeters)

Maximum Ratings and Electrical Characteristics

Ratings at 25 °C ambient temperature unless otherwise specified.
 Single phase, half wave, 60Hz, resistive or inductive load.
 For capacitive load, derate current by 20%.

	Symbol	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	Units
Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	V_{RRM}	50	100	200	400	600	800	1000	Volts
Maximum RMS Voltage	V_{RMS}	35	70	140	280	420	560	700	Volts
Maximum DC Blocking Voltage	V_{DC}	50	100	200	400	600	800	1000	Volts
Maximum Average Forward Rectified Current 0.375" (9.5mm) Lead Length at $T_A=75^\circ\text{C}$	I_{AV}	1.0							Amp
Peak Forward Surge Current, 8.3ms single half-sine-wave superimposed on rated load (JEDEC method)	I_{FSM}	30							Amp
Maximum Forward Voltage at 1.0A DC and 25 °C	V_F	1.1							Volts
Maximum Full Load Reverse Current Full Cycle Average at 75 °C Ambient		30							uAmp
Maximum Reverse Current at $T_A=25^\circ\text{C}$ at Rated DC Blocking Voltage $T_A=100^\circ\text{C}$	I_R	5.0 500							uAmp
Typical Junction Capacitance (Note 1)	C_J	15							pF
Typical Thermal Resistance (Note 2)	$R_{\theta JA}$	50							°C/W
Operating Junction Temperature Range	T_J	-55 to +125							°C
Storage Temperature Range	T_{stg}	-55 to +125							°C

NOTES:

- 1- Measured at 1 MHz and applied reverse voltage of 4.0 VDC.
- 2- Thermal Resistance Junction to Ambient 0.375" (9.5mm) lead length P.C.B. Mounted.

Anexo 5. Datasheet – Varillas de acero al carbono o electrodos

SOLDADURA ELÉCTRICA
JET-ARCO ESPAÑA ELECTRODO REVESTIDO
ACERO AL CARBONO, Básico (Bajo Hidrógeno) **E7018**

CLASIFICACIÓN

AWS A5.1	E7018
ISO 2560 -A	E 42 3 B 32 H5

DIÁMETRO x LONGITUD (mm/Pulg)

J106EL	3,2 mm x 350 mm	→	1/8" x 14"
J131EL	3,2 mm x 450 mm	→	1/8" x 18"
J107EL	4,0 mm x 350 mm	→	5/32" x 14"
J132EL	4,0 mm x 450 mm	→	5/32" x 18"

CARACTERÍSTICAS

- Electrodo básico con bajo contenido en hidrógeno.
- Electrodo especialmente concebido para soldar acero al carbono.
- Puede ser utilizado con corriente directa, polaridad positiva (+) o con corriente alterna.
- Este tipo de electrodo se utiliza en la soldadura de aceros al carbono de hasta 74.000 lbs/pulg².
- Se recomienda soldar con un arco corto para lograr mejores resultados.

APLICACIONES TÍPICAS

- Especialmente diseñado para la soldadura de calderas, tuberías, tanques entre otros.

COMPOSICIÓN QUÍMICA (% EN PESO)

C	Si	Mn	P	S
0,074	0,34	1,18	0,015	0,011
Ni	Cr	Mo	V	
0,009	0,08	0,03	0,03	

PROPIEDADES MECÁNICAS TÍPICAS, SOBRE EL METAL DEPOSITADO

	R. Tensión (mpa)	Lim. Elástico (mpa)	Elongación (%)	Resistencia al impacto
Standard	≥ 490	≥ 400	≥ 20	≥ 27
Valores típicos	595	515	26	125

AMPERAJE RECOMENDADO SEGÚN DIÁMETRO

Diámetro x longitud mm / (pulg.)	Rango de corriente (A)
3,2 x 350 (1/8" x 14")	90 - 130
3,2 x 450 (1/8" x 18")	90 - 130
4,0 x 350 (5/32" x 14")	110 - 160
4,0 x 450 (5/32" x 18")	110 - 160

POSICIONES DE SOLDADURA

PA	PB	PC	PD	PE	PF	PG	PH	PJ
Posición plana	Posición en ángulo	Posición transversal	Posición en cornisa	Posición en techo	Posición vertical ascendente	Posición vertical descendente	Posición ascendente p/tubo	Posición descendente p/tubo

TIPO DE CORRIENTE

CC

CERTIFICACIONES / BAJO NORMA DE

	AWS	BAC	CNAS	IAF	ISO 9001: 2008
--	-----	-----	------	-----	----------------

Referencia	Diámetro por longitud mm / (pulg.)	Tipo de Presentación	Gramos por electrodos aprox.	Electrodos por empaque aprox.	Peso del empaque (Kg)	Empaques por caja (uds.)	Peso de la caja (Kg)	Cajas por palet (uds.)	Peso total del palet (Kg.)	Color de la presentación del empaque
J106EL	3,2 x 350 (1/8" x 14")	Empaque 5 Kg	30,4	164	5	3	15	70	1050	■
J131EL	3,2 x 450 (1/8" x 18")	Empaque 5 Kg	45,45	110	5	4	20	50	1000	■
J107EL	4,0 x 350 (5/32" x 14")	Empaque 5 Kg	35,00	142	5	3	15	70	1050	■
J132EL	4,0 x 450 (5/32" x 18")	Empaque 5 Kg	60,81	80	5	4	20	50	1000	■

* Disponibilidad de presentación en blisters. (consulte a su proveedor).

Anexo 6. Datasheet – Batería



JS Series lead-acid battery

Applications

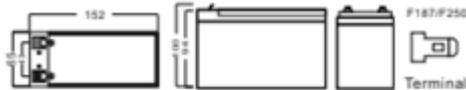
- > UPS/EPS
- > Power systems
- > Telecommunications system
- > Emergency lighting, Auto control system
- > Solar/wind generating storage cyclic
- > Other general purpose

General Features

- > High corrosion resistant performance: Pb-Ca multi-alloy grid
- > High energy density and power density
- > Optimized capability of instant high-current discharging
- > Excellent charge acceptance ability
- > Excellent deep cycle discharge capability
- > Strong high and low temperature performance
- > Precision sealing technology



Dimension: 152(L)×65(W)×94(H)×100(TH) Unit: mm



Specification

Nominal Voltage	12V
Nominal Capacity	9.0Ah
Design life	5 years
Terminal	F187/F250
Approx. Weight	Approx 2.54kg (5.60lbs)
Container Material	ABS
Rated Capacity	9.00Ah 20Hour Rate (0.45A to 10.5V)
	8.99Ah 3Hour Rate (2.33A to 10.5V)
	5.94Ah 1Hour Rate (5.94A to 9.60V)
Internal resistance	Full charged at 25°C: 20.0 mΩ
Max. Discharge Current	135A(5S)
Operating Temperature	Discharge: -20 ~50°C (-4 ~ 122°F)
	Charge: -20 ~50°C (-4 ~ 122°F)
	Storage: -20 ~50°C (-4 ~ 122°F)
Charge current:	Max. 2.25A ; Recom.0.90A
Charge Method (25 °C)	Float Charge:13.5-13.8V,recom.13.5V(-18mV/ °C)
	Equalize charge:13.8-14.1V,recom.14.1V(-24mV/ °C)
	Cycle charge:14.4-15.0V,recom.14.4V(-30mV/ °C)
Self discharge	3% of capacity declined per month at 25°C

Constant Current Discharge Characteristics Unit: A (25°C, 77°F)

FV/Time	5min	10min	15min	30min	1h	2h	3h	4h	5h	8h	10h	20h
1.60V	35.6	23.3	17.4	11.4	5.94	3.40	2.48	1.99	1.69	1.12	0.891	0.477
1.65V	35.4	22.3	15.9	10.8	5.58	3.27	2.41	1.93	1.66	1.10	0.882	0.468
1.70V	29.0	21.0	14.9	10.5	5.40	3.20	2.37	1.83	1.64	1.08	0.864	0.459
1.75V	26.9	20.0	13.9	10.2	5.21	3.12	2.33	1.80	1.57	1.05	0.846	0.450
1.80V	24.8	18.8	12.9	9.90	5.03	3.04	2.21	1.76	1.50	1.03	0.828	0.432

Constant Power Discharge Characteristics Unit: W/cell(25°C, 77°F)

FV/Time	5min	10min	15min	30min	1h	2h	3h	4h	5h	8h	10h	20h
1.60V	66.9	42.0	31.8	19.2	10.9	6.38	4.70	3.77	3.20	2.11	1.73	0.945
1.65V	61.7	39.8	29.9	19.1	10.2	6.14	4.56	3.65	3.14	2.07	1.69	0.920
1.70V	56.4	38.6	28.5	19.0	9.93	6.02	4.49	3.47	3.05	2.05	1.68	0.912
1.75V	51.2	37.4	27.5	18.8	9.65	5.88	4.43	3.42	2.99	1.97	1.64	0.893
1.80V	45.9	36.2	26.3	18.7	9.51	5.84	4.31	3.39	2.91	1.90	1.61	0.887

Disclaimer: Manufacturers have the right to self-modify the parameters of the product updates, please keep in touch with manufacturers to obtain the latest information.