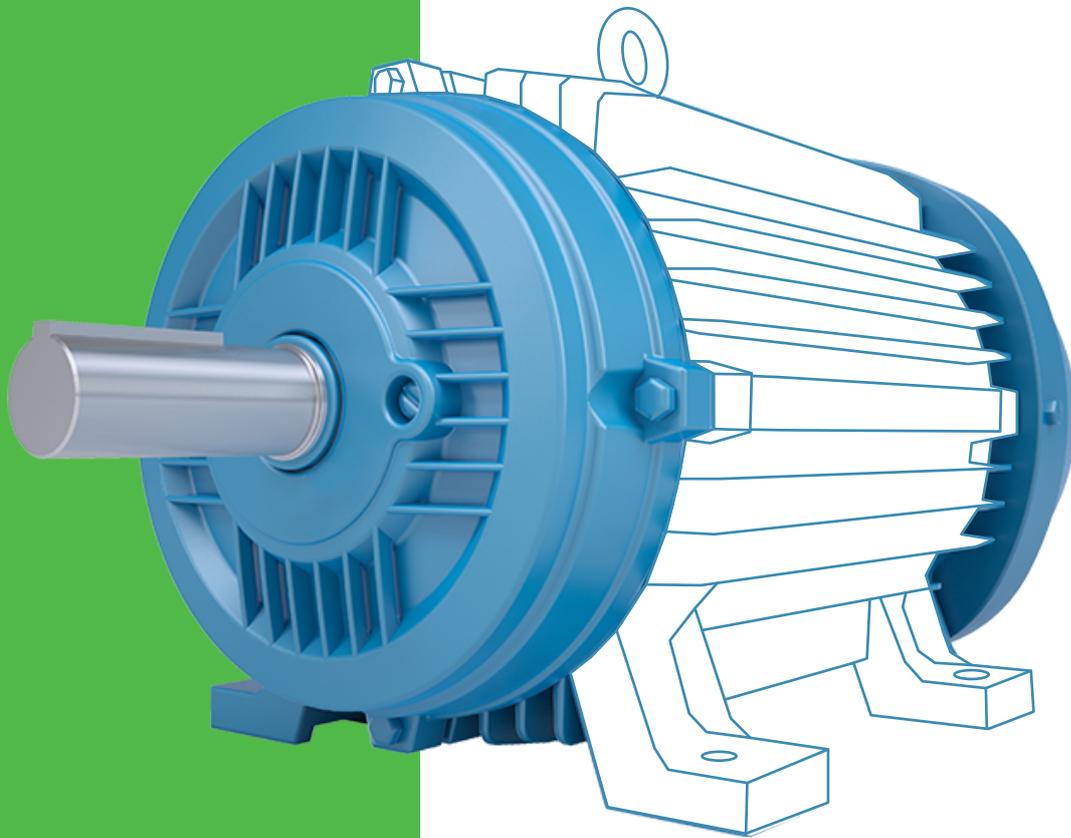




INSTITUTO SUPERIOR
UNIVERSITARIO
COTOPAXI

MOTOR

U N I V E R S A L



Autores:

Franklin Sánchez
Pamela Chacha
Carlos López
Gabriel Lisintuña



Instituto Superior Universitario Cotopaxi

Motor Universal

Carrera en Electromecánica

Franklin Sánchez Gamboa
Pamela Chacha Murillo
Gabriel Lisintuña Ronquillo
Carlos López Rivas

Motor Universal

Libro de texto para la asignatura CEM-305 Máquinas eléctricas y su mantenimiento
Carrera en Electromecánica
Instituto Superior Universitario Cotopaxi

Autores

Ing. Franklin Sánchez Gamboa, Mgs. / fisáchezg@istx.edu.ec / <https://orcid.org/0000-0001-8390-6200>
Ing. Pamela Chacha Murillo, Mgs. / pmchacham@istx.edu.ec / <https://orcid.org/0009-0007-9938-7397>
Tnglo. Gabriel Lisintuña Ronquillo / gilisitunar@istx.edu.ec
Ing. Carlos López Rivas, Mgs. / cmlopezr@istx.edu.ec / <https://orcid.org/0009-0005-7513-9845>

Esta publicación ha sido sometida a revisión por pares académicos específicos en el campo de conocimiento.

Ing. Pablo César Catota Ocapana, Mgs.
Instituto Superior Universitario Rumiñahui
Ing. Lisandro Elías Lescano Velasco, Mgs.
WARTSILA México

Corrección de estilo y diagramación: Ángel Velásquez Cajas / Edison Quinatoa Lema
Diseño de portadas: Raúl Jiménez Tello

Primera Edición
Instituto Superior Universitario Cotopaxi / CLIIEE Editorial
Latacunga
ISBN: 978-9942-45-842-1
Julio 2024



Esta publicación está bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Índice

Prólogo.....	4
Introducción.....	5
Unidad 1. Principio de funcionamiento de un motor universal.....	6
1.1 Constitución básica de una máquina de corriente continua.....	7
1.2 Principio de funcionamiento.....	10
1.3 Materiales ferromagnéticos.....	12
1.4 Ley de Fuerza de Lorentz.....	12
1.5 Localización de conductores en ranuras.....	13
1.6 Actividades de aprendizaje y evaluación.....	14
Unidad 2. Características principales de un motor universal.....	19
2.1 Definición de sistema magnético.....	20
2.2 Definición devanados de rotor y conmutador.....	22
2.3 Definición par fuerza y voltajes generados.....	28
2.4 Definición de circuito equivalente de una máquina de corriente directa.....	29
2.5 Definición de curva de magnetización de una máquina de corriente directa.....	38
2.6 Actividades de aprendizaje y evaluación.....	42
Unidad 3. Motor universal alimentado con corriente continua.....	45
3.1 Motor de corriente continua.....	46
3.2 Motor de corriente continua conectado en serie.....	47
3.3 Motor de corriente continua conectado en paralelo o shunt.....	50
3.4 Motor de corriente continua de excitación independiente.....	51
3.5 Motor de corriente continua compound.....	53
3.6 Operación en motores de corriente continua.....	56
3.7 Conexiones en el motor de corriente continua.....	64
3.8 Inversión de giro en los motores universales.....	85
3.9 Arranque del motor y métodos de arranque de un motor de corriente continua.....	97
3.10 Métodos de arranque de un motor de corriente continua.....	98
3.11 Circuitos electrónicos de arranque.....	102
3.12 Actividades de aprendizaje y evaluación.....	112
Unidad 4. Motor universal alimentado con corriente alterna.....	115
4.1 Alimentación con corriente Alterna con motor Universal.....	116
4.2 Control de velocidad de un motor universal.....	121
4.3 Funcionamiento.....	124
4.4 Actividades de evaluación y aprendizaje.....	134
Referencias.....	137

Prólogo

Los motores eléctricos han evolucionado desde sus primeros modelos en el siglo XIX, impulsados por científicos como Michael Faraday y Nikola Tesla, que sentaron las bases para su desarrollo. A lo largo del siglo XX, mejoraron en eficiencia y capacidad, adoptándose ampliamente en la industria y el transporte. En la actualidad, los motores eléctricos están en el corazón de una variedad de aplicaciones, desde vehículos eléctricos hasta maquinaria industrial. Con el continuo avance de las baterías y la infraestructura de recarga, los motores eléctricos prometen jugar un papel fundamental en la movilidad del futuro.

El motor universal una de las invenciones más trascendentales en el ámbito de la ingeniería eléctrica. A lo largo de la historia, ha desempeñado un papel esencial en el desarrollo de innumerables dispositivos y sistemas, desde pequeños electrodomésticos hasta grandes aplicaciones industriales. Su capacidad para funcionar tanto con corriente alterna (CA) como con corriente continua (CC) lo convierte en una de las máquinas más versátiles y utilizadas en la tecnología moderna.

Este libro consta de cuatro unidades que busca ofrecer una comprensión integral de este motor, tanto en corriente alterna (CA) como con corriente continua (CC), se explorarán los fundamentos teóricos que sustentan funcionamiento del motor universal, desglosando su estructura, las características de sus componentes, las aplicaciones y los principios eléctricos que lo hacen funcionar. Además, se abordarán los aspectos prácticos que los técnicos deben tener en cuenta al trabajar con estos motores, a través de actividades de aprendizaje y evaluaciones al término de cada unidad. La utilidad y flexibilidad de los motores universales en diferentes entornos industriales y comerciales hacen que este conocimiento sea esencial para aquellos interesados en el área de las máquinas eléctricas y la automatización.

A medida que la tecnología avanza y las necesidades energéticas del mundo cambian, los motores universales siguen siendo relevantes, adaptándose a nuevas aplicaciones y optimizaciones. Po lo que, este libro está dirigido tanto a estudiantes como a profesionales que deseen profundizar en el estudio y aplicación de los motores universales, a través de una combinación de teoría y prácticas de laboratorio presentes en cada unidad, esperando que el lector adquiriera una comprensión completa de esta máquina tan fundamental. En un mundo donde la electricidad es el motor del progreso, comprender el motor universal es, sin duda, una clave para entender y transformar nuestra relación con la energía.

Bienvenidos a este fascinante mundo de la electricidad, donde la teoría se convierte en acción, y los motores impulsan el progreso y el desarrollo de nuestra sociedad.

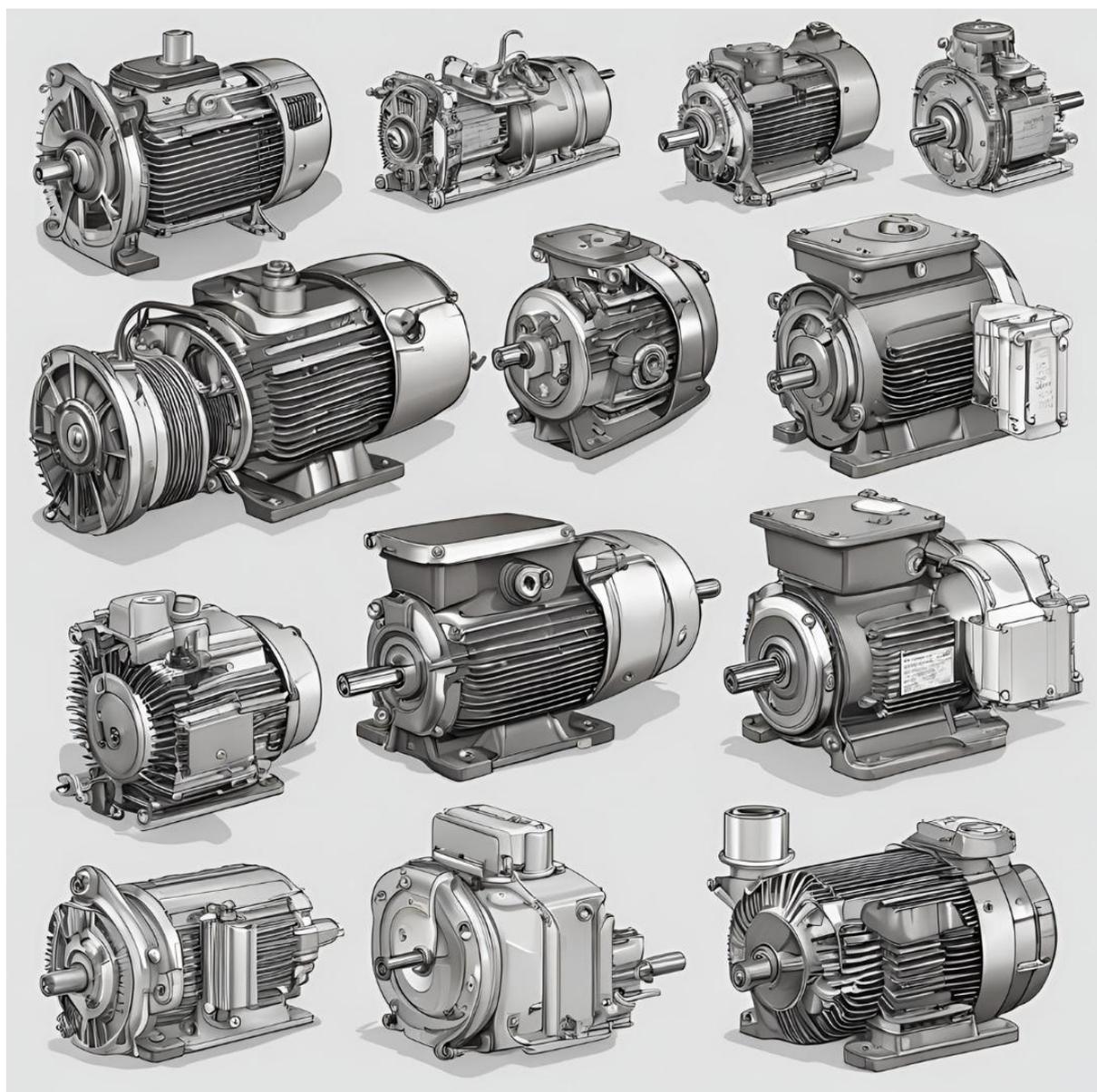
Introducción

Al hablar de motores eléctricos, existen dos grandes grupos: motores de corriente alterna y corriente continua. Este libro se adentrará en este segundo grupo, partiendo de su principio de funcionamiento. Mediante fórmulas establecidas, se verifica su comportamiento, llegando a conocer sus partes principales. También, incluye el conocimiento sobre su importancia, fallas frecuentes, modos y selección de sistemas de arranques para aplicaciones específicas y el uso de softwares especializados y microcontroladores disponibles en el sector industrial.

Resultados de aprendizaje

- Aplica criterios técnicos en conexiones eléctricas bajo normativas y parámetros en máquinas de corriente continua más comunes disponibles en la industria.
- Explica el principio de funcionamiento cuando circula corriente eléctrica por un conductor que se encuentra situado en el interior de un campo magnético.
- Resuelve ecuaciones eléctricas de voltaje, resistencia y corriente del circuito inducido, para un motor y generador de corriente continua.
- Organiza los criterios de arranque de una máquina eléctrica de corriente continua y sus conexiones.
- Distingue los tipos de máquina eléctricas de corriente continua, sus conexiones y modos de funcionamiento.

Unidad 1



Principios de funcionamiento de un motor universal

Unidad 1

Principios de funcionamiento de un motor universal

- 1.1 Constitución básica de una máquina de corriente continua.
- 1.2 Principio de funcionamiento.
- 1.3 Materiales ferromagnéticos.
- 1.4 Ley de Fuerza de Lorentz.
- 1.5 Localización de conductores en ranuras
- 1.6 Actividades de aprendizaje y evaluación

¿Sabías qué?

El científico británico William Sturgeon inventó el primer motor de corriente continua, capaz de hacer girar una máquina en 1832.

El principio de funcionamiento de un motor eléctrico se centra en el fenómeno que resulta de la interacción de un campo magnético con un conductor de material metálico, generalmente de cobre y la localización de este conductor en un motor de corriente eléctrica.

Alcance del resultado de aprendizaje de la unidad

Este módulo maneja fórmulas establecidas para determinar valores necesarios, y explicar el principio de funcionamiento del motor de corriente. Además, se involucran las partes constitutivas y ubicación correcta de sus elementos como: rotor, estator, escobillas, ventilador, conductores, ejes y rodamientos. Esta estructura de desarrollo permite entender y resolver, de forma coherente, y sistemática, ecuaciones, reconocer partes y elementos necesarios para empapar al estudiante, antes de pasar a la determinación del comportamiento del motor.

Tabla 1

Glosario de la unidad 1

Magnitud	Símbolo	Unidad
Campo magnético	B	Teslas (T)
Fuerza	F	Newton (N)
Longitud	L	Metros (m)
Intensidad	I	Amperios (A)

Fuente: autoría propia, 2023.

1.1 Constitución básica de una máquina de corriente continua

La máquina de corriente continua consta principalmente de las siguientes partes que se detallan a continuación.

Estator

Es la parte estática que rodea al rotor. Este consta de un conjunto de láminas

de acero apiladas una encima de otra, separadas del polo mediante un material aislante. La bobina está compuesta por alambre “de cobre aislado que, al ser alimentados por una corriente continua, generan el campo inductor de la máquina, presentando alternativamente polaridades norte y sur” (Junta de Andalucía, 2011, p. 7).

Figura 1

Estator.



Fuente: autoría propia, 2023.

Polos auxiliares

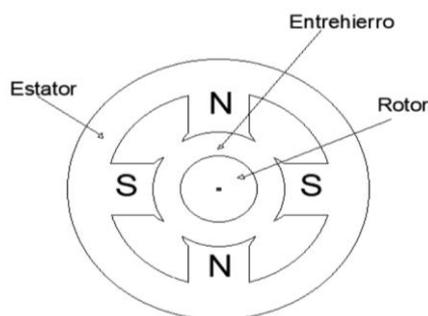
En las máquinas de cierta potencia se encuentran distribuidos alternativamente entre éstos, otros polos auxiliares o de conmutación, macizos y sin expansiones, cuya misión es facilitar la conmutación y evitar la generación de chisporroteo en el contacto entre las delgas del colector y las escobillas. (Junta de Andalucía, 2011, p. 7)

Entrehierro

Así se llama al espacio que hay entre el estator y el rotor, es imprescindible que exista para evitar el rozamiento entre ambos, aunque debe ser lo menor posible, ya que el aire presenta una elevada reluctancia magnética, y si el entrehierro fuese muy amplio se debilitaría el campo magnético inductor. (Junta de Andalucía, 2011, p. 7)

Figura 2

Entrehierro.



Fuente: autoría propia, 2023.

Los fenómenos físicos que se producen dentro en este tipo de motor son:

Reluctancia magnética. La reluctancia magnética o resistencia magnética es “oposición que un medio presenta al paso del flujo magnético: a mayor reluctancia, más difícil es establecer el flujo magnético. En un circuito magnético, la reluctancia tiene el mismo rol que el de la resistencia eléctrica en un circuito eléctrico” (Zapata, 2020).

Campo magnético. Es un campo de fuerza generado por la circulación de las cargas eléctricas. El campo electromagnético está formado por el campo eléctrico y campo magnético, que son responsables de la interacción electromagnética en el espacio.

Rotor

Construido con chapas de acero con bajo contenido en silicio de 0,5 mm de espesor, aisladas unas de otras por una capa de barniz o de óxido, está montada sobre el eje de la máquina. En su superficie externa tiene practicadas unas ranuras de una cierta inclinación respecto a su generatriz donde van alojadas las bobinas del devanado inducido de la máquina, generalmente de hilo de cobre convenientemente aislado. (Junta de Andalucía, 2011, p. 7)

Figura 3

Rotor.



Fuente: autoría propia, 2023.

Colector de delgas

Va montado sobre el eje de giro y debe disponer de tantas delgas como bobinas tiene el devanado inducido, cada delga está unida eléctricamente al punto de conexión de una bobina con otra. Las delgas están fabricadas de cobre de elevada pureza y están separadas unas de otras por unas delgadas películas de mica que las mantienen aisladas. (Junta de Andalucía, 2011, p. 7)

Figura 4

Delgas.



Fuente: autoría propia, 2023.

Escobillas

Son los elementos que aseguran el contacto eléctrico entre las delgas del colector y el circuito de corriente continua exterior, están fabricadas de carbón (grafito) y permanentemente están rozando sobre el colector, van sujetas en un collarín porta escobillas que mantiene la presión prevista mediante elementos elásticos para asegurar que el contacto sea el adecuado, por ello se produce un desgaste progresivo que acorta su vida útil, teniendo que sustituirlas cada cierto tiempo. Desde las escobillas se conecta con la placa de bornes de la máquina (Junta de Andalucía, 2011, p. 8).

Figura 5

Escobillas.



Fuente: autoría propia, 2023.

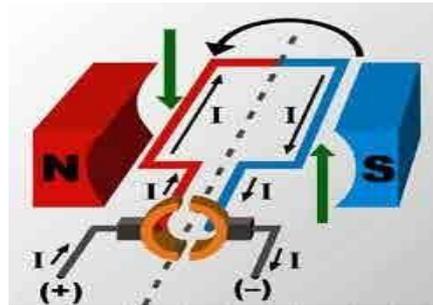
1.2 Principio de funcionamiento

El funcionamiento de los motores eléctricos de corriente directa o corriente continua se fundamenta en la ley de Lorentz. Esta menciona que los polos magnéticos del estator ejercen un rechazo que interactúa con el electroimán que se encuentra ubicado en el eje del motor. Al electroimán se le conoce como rotor o armadura. El eje garantiza que rote de manera libre en los polos magnéticos sur y norte del estator que se ubica en el interior de la armazón o carcasa del motor. Al estar en circulación por el devanado del electroimán giratorio, el campo magnético del imán permanente actúa con el campo electromagnético generado. Cuando los polos del electroimán en

movimiento y del imán permanente se encuentran, se genera repulsión y un par de torsión o torque magnético que causa que la armadura vengza al estado de reposo y empiece a rotar en su propio eje en sentido horario en algunos casos, o en el sentido opuesto, según como la batería o pila esté conectada al circuito (Universidad Autónoma de Puebla, 2014).

Figura 6

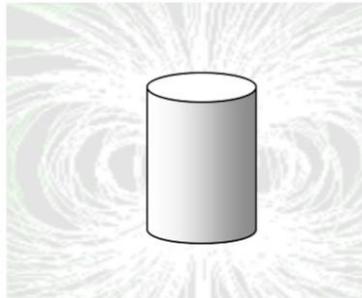
Ley de Lorentz.



Fuente: información tomada de Mecatrónica, 2015.

Figura 7

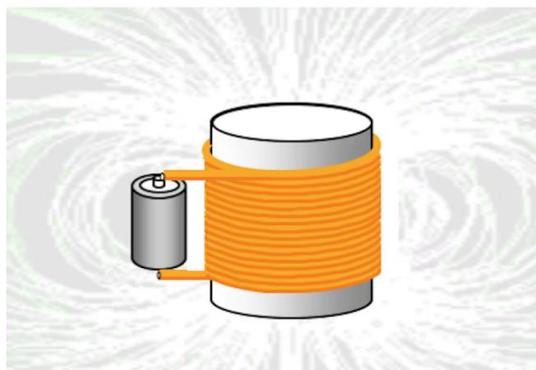
Imán.



Fuente: información tomada de Supermagnete, 2014.

Figura 8

Electroimán.



Fuente: información tomada de Supermagnete, 2014.

1.3 Materiales ferromagnéticos

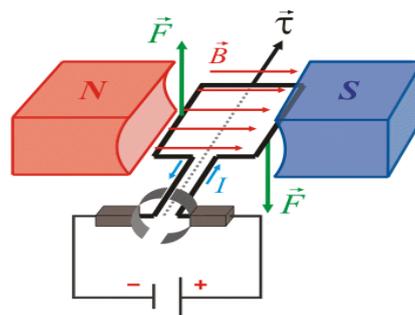
También llamados materiales fuertemente magnéticos los más comunes están compuestos de hierro y sus aleaciones con cobalto, aluminio, níquel, tungsteno y otros metales, utilizados en el diseño como en la fabricación de núcleos de hierro en transformadores y motores eléctricos. Se emplean en transformadores eléctricos para incrementar el enlace entre las bobinas y disminuir la corriente de excitación requerida para operar el transformador. Los campos del motor están fabricados de materiales ferromagnéticos con el fin de incrementar las características de generación de torque. (Concha, 2017)

1.4 Ley de Fuerza de Lorentz

“El funcionamiento de un motor de corriente continua se basa en la fuerza que se produce sobre un conductor eléctrico recorrido por una intensidad de corriente eléctrica en el seno de un campo magnético, según la ley de Lorentz” (Automatismo industrial, 2020). En la Figura 9 se puede observar cómo funciona dicha ley.

Figura 9

Esquema de funcionamiento de ley de Lorentz.



Fuente: información tomada de Vaello, 2020.

En la que:

B es la inducción de campo magnético (teslas).

L es la longitud del conductor cortado por líneas de campo magnético (metros).

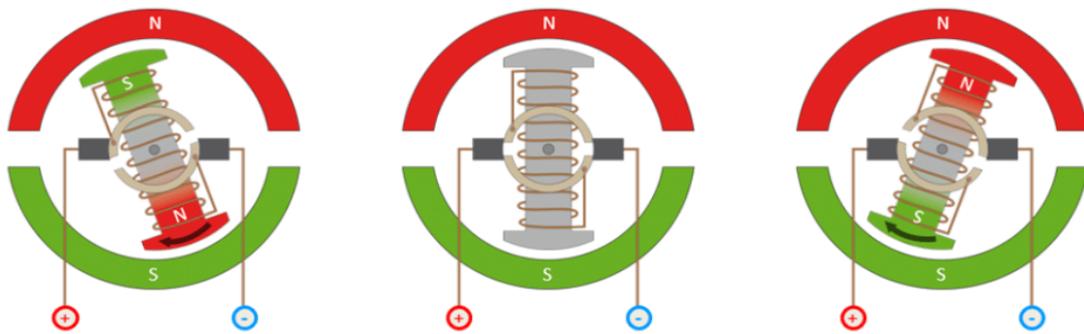
I es la intensidad que recorre al conductor (amperios).

F es la fuerza que se produce sobre el conductor (newton).

El colector (aro gris) es necesario para invertir la corriente en cada media vuelta. De lo contrario, el sentido del par sería opuesto en cada semiciclo y el motor no llegaría a arrancar. Sobre el colector, las escobillas permiten alimentar al rotor del motor en movimiento con corriente continua (Automatismo industrial, 2020).

Figura 10

Funcionamiento de un conmutador.



Fuente: Vaello, 2020.

En la imagen de la izquierda la corriente en el rotor fluye hacia arriba, del polo negativo hacia el polo positivo, creando el polo Sur en la parte superior y Norte en la inferior, dado que en el estator tenemos el polo norte en la parte superior se produce una fuerza de atracción que hace girar al rotor en sentido horario. En la imagen central no fluye corriente por el rotor. (Automatismo industrial, 2020)

En la imagen derecha vemos como gracias al colector el sentido de la corriente en el estator es de arriba hacia abajo. Es decir, el colector ha invertido la corriente en el rotor, generando un campo magnético Norte en la parte superior y Sur en la parte inferior, esto hace que el estator al tener también el polo Norte en la parte superior repela al rotor, consiguiendo de esta forma que la fuerza de giro sea también sentido horario, similar a la imagen de la izquierda. Si no fuese por el colector en cada media vuelta el par de giro en el rotor invertiría su sentido y el rotor no conseguiría girar. (Automatismo industrial, 2020)

Recuerde

Para determinar el sentido de giro de un motor eléctrico expuesto a un campo eléctrico y un campo magnético, se usa de la ley de la mano derecha. Para identificar el sentido de giro se sigue los siguientes pasos:

1. Extienda su mano derecha, estirando los dedos en postura de agarre, como si estuviera sosteniendo una varilla.
2. El dedo pulgar de la mano derecha representará el sentido de la corriente eléctrica en el motor eléctrico. Es importante tener en cuenta que la corriente eléctrica en un circuito circula de positivo a negativo.
3. Los dedos restantes de la mano (índice, anular y medio) representarán el campo magnético producido por el motor. Es importante tener en cuenta que el campo magnético fluye desde el polo norte hacia el polo sur.

4. Colocar la mano derecha de modo que la corriente eléctrica fluya en el sentido de los dedos índice, anular y medio. El pulgar apuntará en el sentido del campo magnético resultante.
5. Dependiendo de la orientación del campo magnético, el pulgar señalará hacia abajo o arriba.
 - Si el dedo pulgar señala hacia arriba, demuestra que el sentido de rotación del motor es como las manecillas del reloj.
 - Si el dedo pulgar señala hacia abajo, demuestra que el sentido de rotación del motor es contrario a las manecillas del reloj.

Tener en cuenta que la regla solo se emplea cuando la corriente eléctrica y el campo magnético actúan para generar la fuerza de Lorentz y generar la rotación del motor.

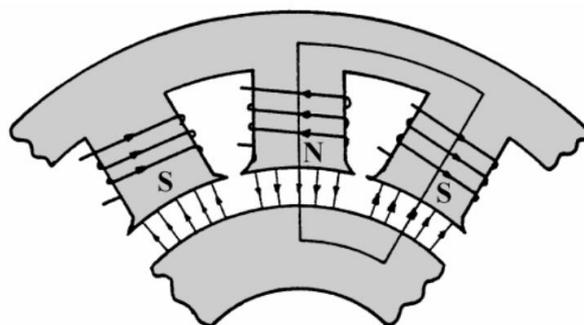
1.5 Localización de conductores en ranuras

En las máquinas eléctricas, los arrollamientos, bobinados o devanados son la agrupación de cobre esmaltado en forma de alambre (el esmalte actúa como aislante entre los materiales de alta conductividad) o de una pletina de forma rectangular recubierta con una capa de aislante. Para la fabricación de las armaduras de los motores de inducción se utiliza el aluminio.

En máquinas determinadas (esencialmente de corriente directa y síncronos de dos polaridades o más) “el núcleo magnético del inductor está construido con base en polos salientes. En este caso, el devanado inductor consiste simplemente en un arrollamiento de varias espiras en serie” (Pozueta, 2015, p. 9), en la periferia del polo magnético en sentido correcto para que sean sur y norte de forma alternada. La bobina es la unión de alambre enrollado alrededor del polo y las bobinadas de los polos pueden estar unidas entre ellas en serie, aunque ocasionalmente se puedan unir en paralelo formando muchas ramas iguales.

Figura 11

Sección transversal de la máquina con el inductor ubicado en el estator de polos salientes.

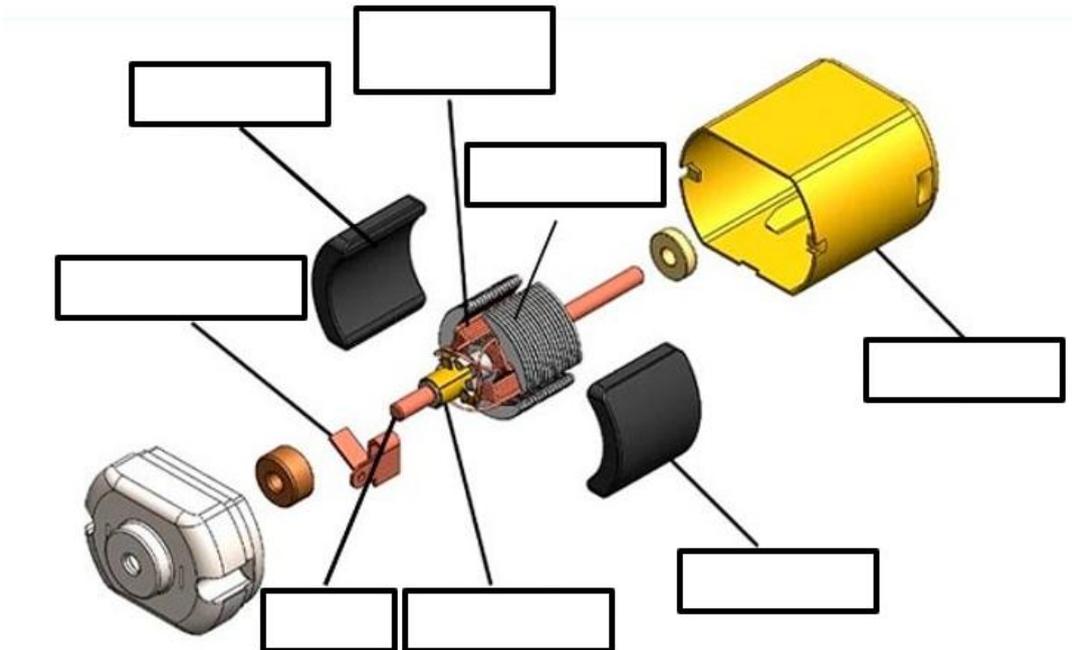


Fuente: Rodríguez, 2011, p. 9.

1.6 Actividades de aprendizaje y evaluación

Evaluación final

1. Coloque el nombre de las partes un motor de corriente continua.



2. Describa una diferencia entre un electroimán y un imán permanente.

	Definición	Gráfico
Imán		
Electroimán		

3. Empareje con la respectiva definición.

A	Estator		Proporciona corriente a las bobinas.
B	Polos auxiliares		Espacio entre estator y rotor.
C	Entrehierro		Es la parte móvil del motor. En forma de cilindro con ranuras en donde se alojan las bobinas.
D	Rotor		Facilita la conmutación y evita el chisporroteo entre delgas y escobillas.
E	Colector de delgas		Piezas conductoras que por contacto deslizante proporcionan corriente eléctrica a las delgas.
F	Escobillas		Es la parte fija del motor y la que produce el flujo magnético.

Actividad de aprendizaje

Elabore una maqueta que explique el principio de funcionamiento de un motor de corriente continua basados en el siguiente video:

<https://www.youtube.com/watch?v=kffDh93VimY>.

¡Felicitaciones!

Usted ha finalizado la unidad 1. A continuación, se desarrollará la unidad Características principales de un motor universal.

Unidad 2



Características principales de un motor universal

Unidad 2

Características principales de un motor universal

- 2.1 Definición de sistema magnético.
- 2.2 Definición devanados de rotor y conmutador.
- 2.3 Definición par fuerza y voltajes generados.
- 2.4 Definición de circuito equivalente de una máquina de corriente directa.
- 2.5 Definición de curva de magnetización de una máquina de corriente directa.
- 2.6 Actividades de aprendizaje y evaluación.

¿Sabías qué?

El alambre de cobre magnético es ampliamente utilizado en la construcción de transformadores, bobinas enrolladas, motores, solenoides, instrumentos, inductores, altavoces, electroimanes y otras aplicaciones que requieren bobinas apretadas de alambre aislado.

Introducción

La presente unidad describe las principales características de un motor de corriente continua, centrándose en la definición de: sistemas magnéticos, devanados del rotor y conmutador, par de fuerza y voltajes generados, circuito equivalente de una máquina de corriente directa y la curva de magnetización.

Alcance del resultado de aprendizaje de la unidad

Este módulo, maneja ecuaciones eléctricas de voltaje, resistencia y corriente del circuito inducido para un motor de corriente continua.

Glosario de la unidad 2

Tabla 2

Unidades y magnitudes básicas utilizadas para los circuitos magnéticos.

Expresión	Símbolo	Unidad
Fuerza magnetomotriz	F _{mm}	Amperio-vuelta (Av)
Flujo magnético	Φ	Weber (Wb)
Reluctancia magnética	R _m	Henrio (H ⁻¹) o Amperio-vuelta por weber (Av/Wb)
Inducción magnética	B	Tesla (T)
Intensidad de campo	H	Amperio-vuelta por metro (Av/m)
Permeabilidad	μ	Weber por amperio-metro (Wb/Am)
Velocidad angular	ω	Radianes por segundo rad/s
Par inducido	T _{ind}	Newton-metro (Nm)

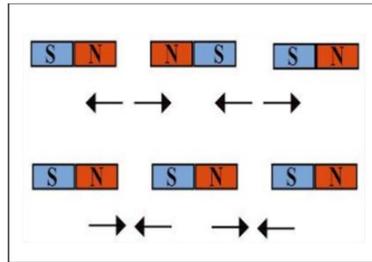
Fuente: autoría propia, 2023.

2.1 Definición de sistema magnético

Se conoce como magnetismo al fenómeno de atracción y repulsión de determinados metales e imanes. En física, el magnetismo se define como la fuerza de atracción de imanes que presentan un polo positivo y otro negativo, conocido como dipolo. De esta forma, la propiedad dipolo magnético, informa que los polos iguales se repelen y los opuestos se atraen (Significados, 2019).

Figura 12

Magnetismo.



Fuente: autoría propia, 2023.

Debido a ciertas diferencias entre el circuito magnético y el circuito eléctrico, resulta desafiante calcular estructuras magnéticas con el igual nivel de exactitud que un circuito eléctrico. La electricidad, al moverse por un material conductor, cuenta con una ruta establecida para su desplazamiento; debido a su aislamiento habitual, permite que la dispersión de la corriente que abandone el conductor sea pequeña en comparación con la corriente que fluye a través de él. A diferencia de la intensidad eléctrica, no existe un material para aislar el flujo magnético. Es importante resaltar que el aire es un excelente conductor de este flujo. Por lo tanto, las líneas del campo magnético no seguirán trayectorias definidas, como en el caso de la intensidad eléctrica que fluye a través de un conductor.

Por tanto, para resolver un circuito magnético (Ikastaroak, 2014), se procede de forma similar a cuando se resuelve un circuito eléctrico, mediante la ley de Ohm. Solo que en este caso se aplica la ley de Hopkinson, es decir:

1. Se sustituye el grupo de espiras de F.m.m. NI por una pila de f.e.m. NI
2. Se sustituye la reluctancia por una resistencia del mismo valor
3. Se sustituye el flujo por una corriente eléctrica

Sin embargo, también se pueden encontrar diferencias:

- En los circuitos eléctricos, la carga se desplaza a lo largo del circuito, no obstante, el movimiento de flujo no existe en los circuitos magnéticos.
- En los circuitos eléctricos, su intensidad en la misma, a menos que haya ramificaciones, aunque, en el circuito magnético existe escape de flujo hacia el exterior, a veces puede ser superior a la que circula por el circuito.

En los circuitos magnéticos, las unidades y magnitudes básicas que se utilizan son las siguientes:

- Fuerza magnetomotriz (Fmm): Es la que produce el flujo magnético. La unidad de medida es el amperio (A). El amperio-vuelta (Av) es usado en la práctica.
- Flujo magnético- Φ : En términos simples, puede entenderse como la cantidad de líneas de un campo magnético la cual atraviesa un área determinada. Su unidad de medida es el Weber (Wb).
- Reluctancia magnética (Rm): Resistencia que ofrece un material al flujo magnético. Depende de las dimensiones y composición del material. Su unidad es el amperio-vuelta por weber (Av/Wb) o Henrio elevado a menos uno (H^{-1}).
- Inducción magnética (B): Es la cantidad de líneas de flujo magnético por unidad de área presentes en el circuito magnético en dirección perpendicular al campo. Se expresa en la unidad de Tesla (T).
- Intensidad de campo (H): Fuerza con la que las líneas de campo magnético actúan sobre una carga magnética. Su unidad de medida es el Av/m.
- Permeabilidad (μ): Se refiere a la capacidad que tiene un medio o sustancia para atraer y permitir el paso de campos magnéticos a través de sí, que está dado por la relación entre la inducción magnética existente y la intensidad del campo magnético presente en el interior del material. La unidad de medida es $Wb/A \cdot m$. También está la permeabilidad del vacío (μ_0) y la permeabilidad relativa (μ_r). La relación entre todas es: $\mu = \mu_r \cdot \mu_0$ (CATEDU, 2017).

La siguiente tabla establece las correspondencias entre las distintas expresiones magnéticas y eléctricas.

Tabla 3

Relaciones entre expresiones magnéticas y eléctricas.

Circuito eléctrico			Circuito magnético		
Símbolo	Expresión	Unidad	Símbolo	Expresión	Unidad
E	F.e.m	Voltios (V)	F	F.m.m	Amperio-vuelta (Av)
J	Densidad de corriente	Amperio por metro cuadrado (A/m^2)	B	Inducción magnética (densidad de flujo)	Teslas (T)
Σ	Conductividad	Siemens por metro (S/m)	M	Permeabilidad magnética	Weber por amperio-metro (Wb/Am)
E	Campo eléctrico	Voltio por metro (V/m)	H	Campo magnético	Amperio-vuelta por metro (Av/m)

I	Corriente eléctrica	Amperios (A)	Φ	Flujo magnético	Weber (Wb)
V	Potencial eléctrico	Voltios (V)	V_m	Potencial magnético	Tesla (T)

Fuente: autoría propia, 2023.

Atención

A la Ley de Hopkinson también se le conoce como ley de Ohm del circuito magnético, detallado en la siguiente fórmula: ($F = \Phi \cdot R_m$ con $V = I \cdot R$). A continuación, la Tabla 4 muestra cómo las leyes de Kirchhoff para circuitos eléctricos y magnéticos se asocian.

Tabla 4

Leyes de Kirchhoff para circuitos eléctricos y magnéticos.

Circuito eléctrico		Circuito magnético	
Primera ley de Kirchoff			
$\sum I = 0$		$\sum \Phi = 0$	
Segunda ley de Kirchoff			
$\sum V = \sum (R \cdot I)$		$\sum F = \sum (R_m \cdot \Phi)$	
Resistencia	$R = l / (\sigma \cdot S)$	Reluctancia	$R_m = l / (\mu \cdot S)$
Resistencia en serie	$R_T = \sum R_i$	Reluctancia en serie	$R_T = \sum R_i$
Resistencia en paralelo	$1 / R_T = 1 / \sum R_i$	Reluctancia en paralelo	$1 / R_T = 1 / \sum R_i$

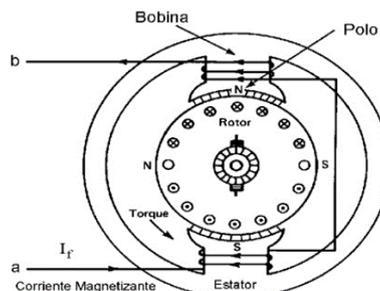
Fuente: información tomada de Ikastaroak, 2014.

2.2 Definición devanados de rotor y conmutador

“Devanado de campo. El devanado es del tipo concentrado, es decir que únicamente está formado por un paquete (bobina) constituido por "n" espiras” (Murillo, 2012).

Figura 13

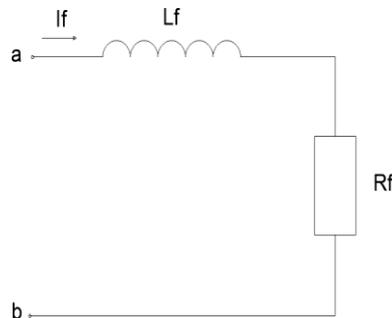
Máquina de dos polos, bobinas del estator.



Fuente: información tomada de Murillo, 2012.

Figura 14

Conexión del estator.



Fuente: información tomada de Murillo, 2012.

En la Figura 14:

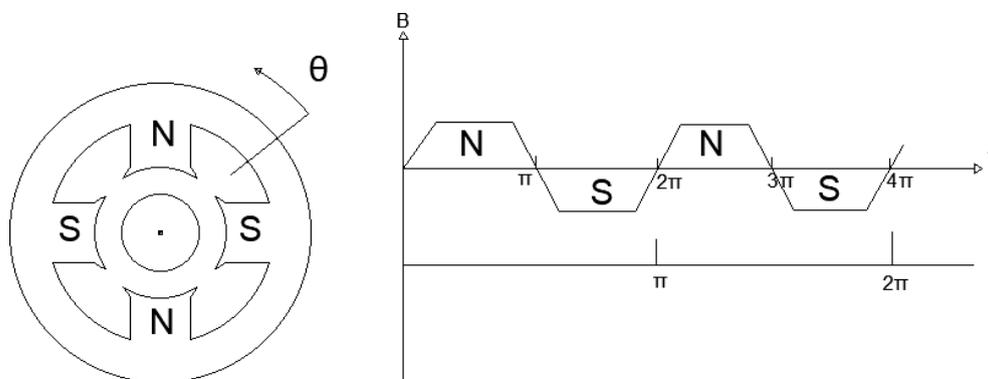
If: Intensidad de campo

Lf: Inductancia de campo

Rf: Resistencia de campo

Figura 15

Onda generada de la máquina de cuatro polos en relación al tiempo.



Fuente: información tomada de Murillo, 2012.

“El sentido de la corriente de estos bobinados deben ser de tal forma que origine polos alternados, en una máquina bipolar, los polos están diametralmente opuestos” (Murillo, 2012).

Bobinados de la armadura

Las espiras del rotor se pueden conectar de diferentes maneras a las delgas del colector. La forma como se conecten determina el número de ramas en paralelo en que se divide la corriente del rotor, las magnitudes del voltaje final de salida y la cantidad y ubicación de las escobillas (Murillo, 2012).

Según Murillo (2012):

La mayoría de los arrollamientos de los rotores están conformados por bobinas hexagonales que se colocan en las ranuras del rotor. Cada bobina consta de un cierto número de vueltas (espiras) de alambre, cada una aislada de las demás. Cada uno de los lados de una espira se denomina un conductor. El número total de conductores en la armadura de una máquina está dado por:

$$Z=2CNC$$

En la que:

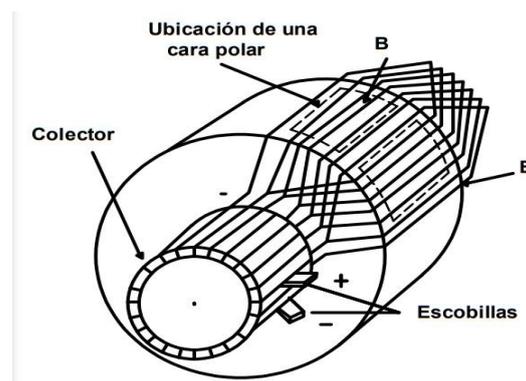
Z: Número de conductores en la armadura

C: Número de devanados en la armadura

Nc: Número de vueltas de un devanado

Figura 16

Conexión de las bobinas al colector de delgas.



Fuente: información tomada de Murillo, 2012.

Normalmente una bobina abarca 180 grados eléctricos. Esto significa que cuando un lado de la bobina está frente al centro de un polo, el otro lado está frente al centro del polo de polaridad contraria. Los polos físicos pueden encontrarse separados por una distancia diferente de 180 grados mecánicos, pero el campo magnético invierte su polaridad de un polo al siguiente. (Murillo, 2012)

$$\theta_e = \frac{P}{2} \theta_m$$

En la que:

θ_e : Medida del ángulo en grados eléctricos.

θ_m : Medida del ángulo en grados mecánicos.

P: Cantidad de polos en la máquina.

Si una bobina abarca 180 grados eléctricos, los voltajes en los conductores de los dos lados de la bobina tendrán exactamente la misma magnitud y sentido opuesto en todo momento. Esta bobina se llama bobina de paso diametral o de paso total. En algunos casos, las bobinas tienen menos de 180 grados eléctricos. Entonces se llaman bobinas de paso fraccionario, y el devanado del rotor que tenga estas bobinas se llama devanado de cuerda. El nivel de acortamiento de un devanado se puede describir mediante el factor de paso o factor de ancho de bobina, que está definido por la ecuación (Murillo, 2012):

$$p = (\text{ángulo eléctrico de la bobina})/180$$

“Con frecuencia se emplean, en máquinas de corriente continua, los devanados con un pequeño acortamiento en el paso de bobina para mejorar la conmutación” (Murillo, 2012).

Clasificación de los bobinados de la armadura

Los inducidos generalmente tienen 2 tipos de arrollamientos o devanados; el imbricado y el ondulado. Para que el colector cumpla su función, los arrollamientos de los inducidos de las máquinas de corriente continua deben ser tal que, partiendo de un punto, recorra toda la periferia del rotor (a través de las espiras) y llegue al punto de partida (Murillo, 2012)

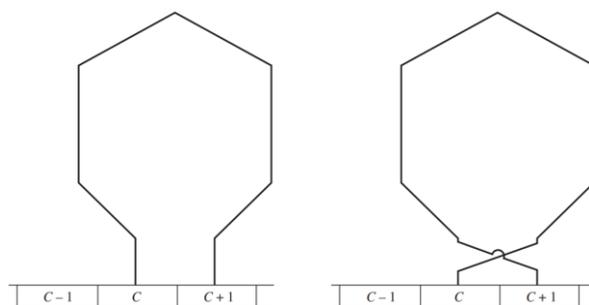
La fem inducida en la bobina es mayor cuando el ancho de bobina es igual al paso polar (paso entero). Por esta razón, el ancho de bobina se hace igual o prácticamente igual al paso polar. Además, todos los elementos del devanado deben conectarse entre sí de tal manera que las f.e.m. de cada elemento se sumen, caso contrario la máquina simplemente no funciona. (Murillo, 2012).

Devanado imbricado

En este tipo de devanados, sus 2 extremos están conectados a 2 delgas adyacentes. Si el extremo final de la bobina se conecta a la delga siguiente se tiene un devanado imbricado progresivo $Y_c=1$, si el extremo final se conecta a la delga anterior se tiene un devanado imbricado regresivo $Y_c=-1$. (Murillo, 2012)

Figura 17

Devanado progresivo y regresivo de la armadura.



Fuente: información tomada de Murillo, 2012.

Bobina de devanado regresivo

Un aspecto interesante del devanado imbricado simple es que tiene tantas ramas en paralelo como polos tenga la máquina. Este hecho hace que el devanado imbricado resulte bastante favorable para máquinas de bajo voltaje y alta corriente” (Murillo, 2012).

$$Yp = \frac{k}{p}$$

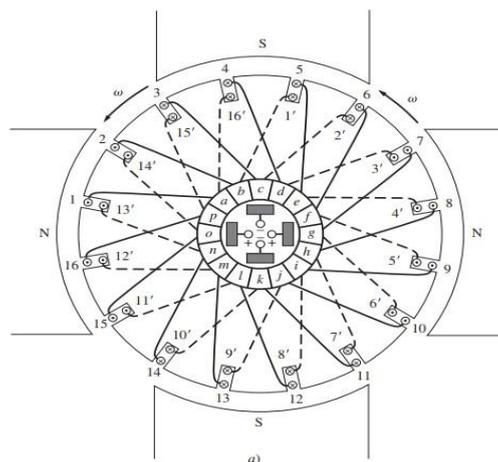
Yp = Devanado imbricado

p = Cantidad de polos en la máquina.

k = Número de delgas del conmutador, número de ranuras.

Figura 18

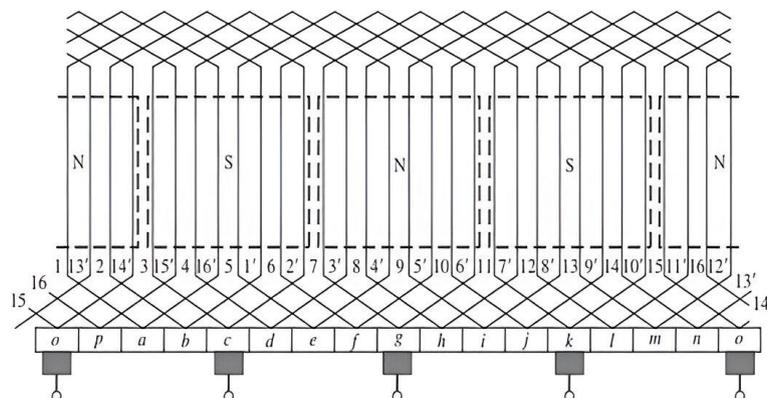
Máquina de cuatro polos, bobinado progresivo.



Fuente: información tomada de Chapman, 2012.

Figura 19

Conexión del bobinado imbricado de la armadura o rotor.



Fuente: información tomada de Chapman, 2012.

Devanado ondulado

El devanado ondulado o serie es otra manera de conectar las bobinas a las delgas del colector, en este arrollamiento el final de la segunda bobina se conecta a una delga adyacente donde comenzó la primera. Es decir, entre dos delgas adyacentes hay dos bobinas en serie cada una de las cuales tiene un lado frente a un polo. El voltaje final es la suma de los voltajes inducidos frente a cada polo y no puede haber desequilibrio de tensión. Si la conexión se hace a la delga siguiente el devanado es progresivo si se hace a la delga anterior el devanado es regresivo. En general si la maquina tiene "P" polos hay P/2 bobinas en serie entre delgas adyacentes. Se usan en voltajes elevados. (Murillo, 2012)

$$Y_c = \frac{2(c \pm 1)}{P}$$

En la que:

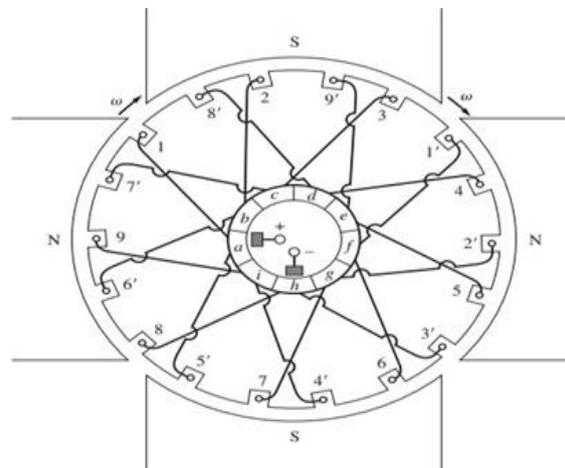
Y_c : Devanado ondulado

c : Numero de devanados de la armadura, progresivo (+), regresivo (-)

P : Cantidad de polos en la máquina.

Figura 20

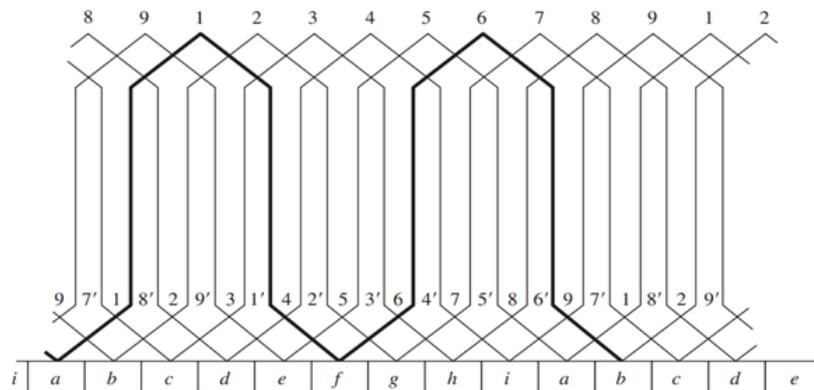
Conexión del bobinado ondulado de la armadura o rotor.



Fuente: información tomada de Chapman, 2012.

Figura 21

Circuito de conexión del bobinado ondulado.



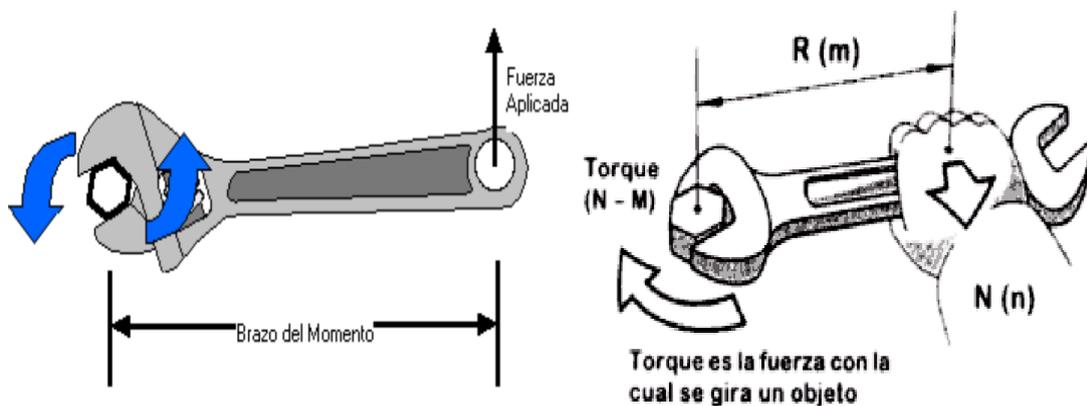
Fuente: información tomada de Chapman, 2012.

2.3 Definición por fuerza y voltajes generados

El momento de una fuerza, también llamado momento de Torsión o simplemente Torque o Torca (Torcer), se define como la capacidad que tiene una fuerza para hacer girar un cuerpo. También se puede definir como la intensidad con que la fuerza, actuando sobre un cuerpo, tiende a comunicarle un movimiento de rotación. (Coba, 2013)

Figura 22

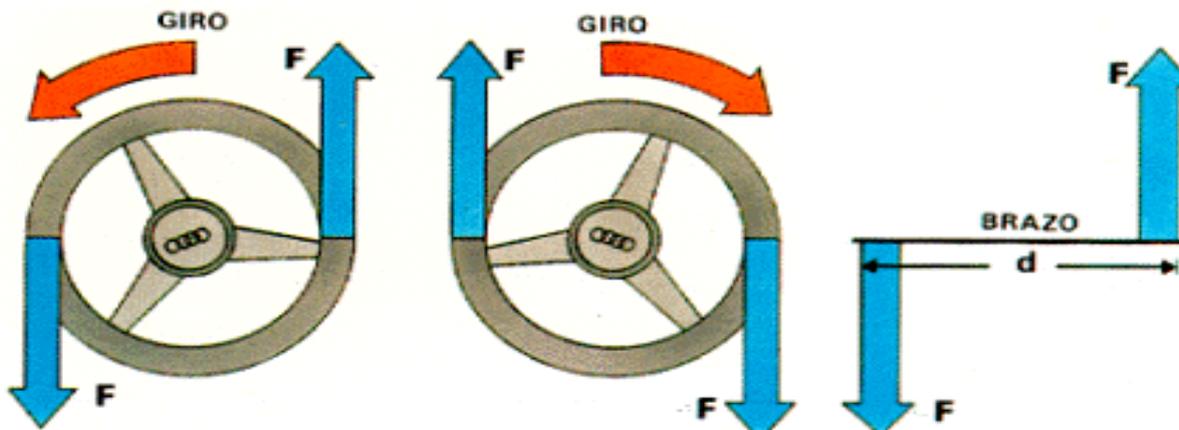
Torque.



Fuente: información tomada de Pita, 2017.

Figura 23

Torque.



Fuente: información tomada de Pita, 2017.

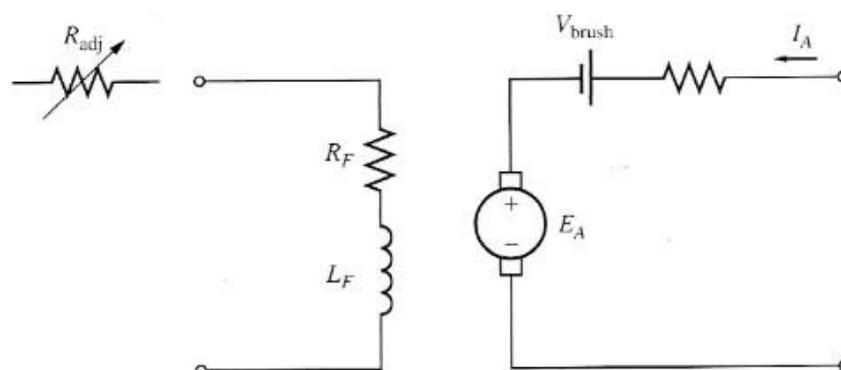
Se produce un Par fuerzas, cuando dos fuerzas paralelas de la misma magnitud, pero de sentido contrario actúan sobre un cuerpo. Su resultante es igual a cero y su punto de aplicación está en el centro de la línea que une a los puntos de aplicación de las fuerzas componentes. No obstante, la resultante es cero, un par de fuerzas produce siempre un movimiento de rotación tal como sucede con el volante de un automóvil. (Coba, 2013).

2.4 Definición de circuito equivalente de una máquina de corriente continua

El circuito equivalente de un motor de corriente continua se presenta en la Figura 15.

Figura 24

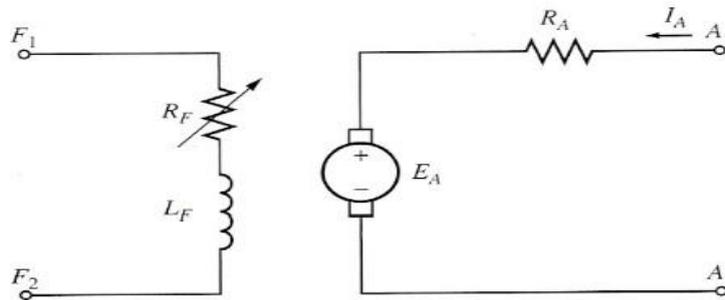
Circuito equivalente de un motor CC.



Fuente: información tomada de Sánchez, 2018.

Figura 25

Circuito equivalente de un motor de corriente continua.



Fuente: información tomada de Sánchez, 2018.

En las figuras 24 y 25, la nomenclatura significa:

R_{adj} : Resistencia de ajuste.

R_A : Resistencia de la armadura.

I_A : Intensidad de armadura.

L_F : Inductor de campo

R_F : Resistencia de campo.

E_A : Voltaje generado en la armadura o fuerza electromotriz.

V_{brush} : Voltaje en las escobillas

El voltaje interno generado en esta máquina está dado por:

$$E_A = K \Phi \omega$$

Donde:

E_A : Voltaje generado en la armadura o fuerza electromotriz.

K : Constante que representa la construcción del motor.

Φ : Magnitud de flujo.

ω = Frecuencia angular.

$$T_{ind} = K \Phi I_A$$

Donde:

T_{ind} : Par inducido

K : Constante que representa la construcción del motor

Φ : Magnitud de flujo

I_A : Intensidad de armadura

Atención

La herramienta necesaria para analizar el desempeño y comportamiento del motor de corriente continua incluye a la ecuación de la ley de Kirchhoff de voltaje y la curva

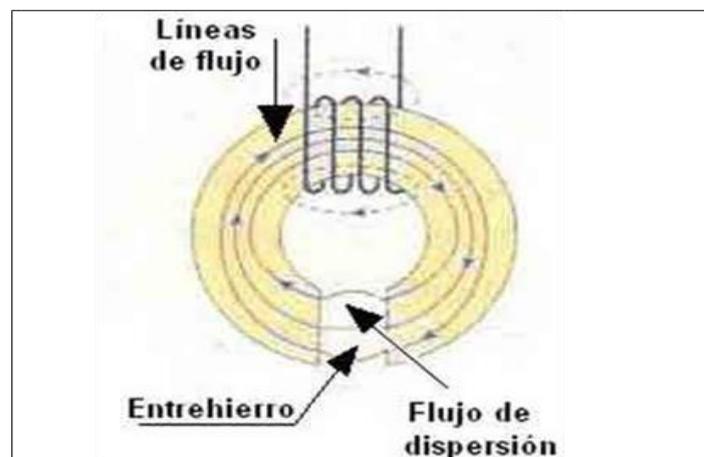
de saturación de una máquina.

Circuito magnético serie

Es un circuito magnético formado por varios tramos heterogéneos acoplados uno a continuación del otro. Esta heterogeneidad se puede dar por estar formado de idéntico material, pero de secciones diferentes o bien por ser distinto material, como sucede cuando hay entrehierro. Por ejemplo, si el anillo de Rowland se encuentra interrumpido por un espacio de aire, el entrehierro, (ya sabéis que en esa zona existe una pequeña dispersión de flujo), se puede considerar como un circuito magnético constituido por un anillo de hierro en serie con un entrehierro en serie. (Cienciasfera, 2017)

Figura 26

Anillo de Rowland con entrehierro.



Fuente: información tomada de Sáez 2008.

Anillo o toroide de Rowland. Toroide de “material magnético cuya curva de histéresis se quiere obtener arrollando sobre él una bobina de muchas espiras para magnetizarlo, y relacionar esa intensidad de campo con el flujo magnético inducido en otra bobina de pocas espiras” (RAING, 2022). Fue desarrollado por el físico estadounidense Henry Augustus Rowland.

Circuito de funcionamiento y equivalente

En el motor en serie se tiene el siguiente diagrama (Área de energía, 2003):

V_g = Fuente de alimentación.

E_a = Voltaje generado en la armadura.

R_a = Resistencia del enrollado de armadura.

I_a = Corriente de armadura.

V_a = Voltaje de armadura.

R_c = Resistencia del enrollado de campo.

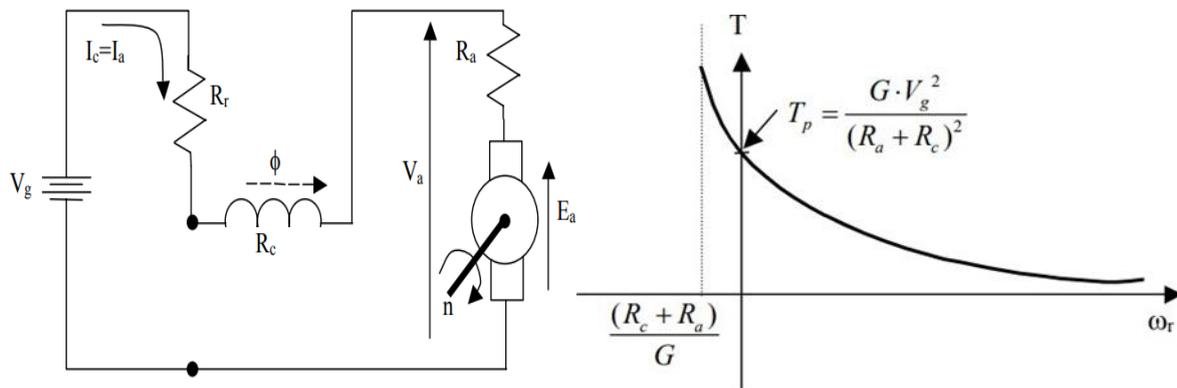
I_c = Corriente por el enrollado de campo.

n = Velocidad del rotor.

R_r = Resistencia variable (reóstato) que normalmente se conecta para controlar la magnitud de I_c .

Figura 27

Diagrama equivalente motor serie y curva velocidad-torque motor serie.



Fuente: información tomada de Universidad de Chile, 2003.

“La curva tiene un par de asíntotas que corresponden a $\omega_r = (R_a + R_c) / G$ y al eje $T = 0$. Esto significa que el motor serie no tiene transición de motor a generador y si el motor se hace operar en vacío (sin carga mecánica) se embala” (Área de Energía, 2003, p. 183).

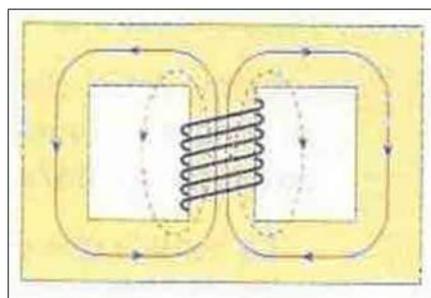
Circuito magnético paralelo

“En el caso de un circuito acorazado, como en el de los transformadores, el flujo que se produce en la columna central, se divide por las 2 columnas laterales. Por tanto, la reluctancia equivalente de las ramas en paralelo es la inversa de la suma de las inversas, como sucedía con las resistencias en paralelo” (Área de energía, 2003, p. 175).

$$R_m = \frac{1}{\frac{1}{R_{m_1}} + \frac{1}{R_{m_2}} + \dots + \frac{1}{R_{m_n}}} = \frac{1}{\frac{u_1 s_1}{l_1} + \frac{u_2 s_2}{l_2} + \frac{u_n s_n}{l_3}}$$

Figura 28

Aplicación-núcleo del transformador.

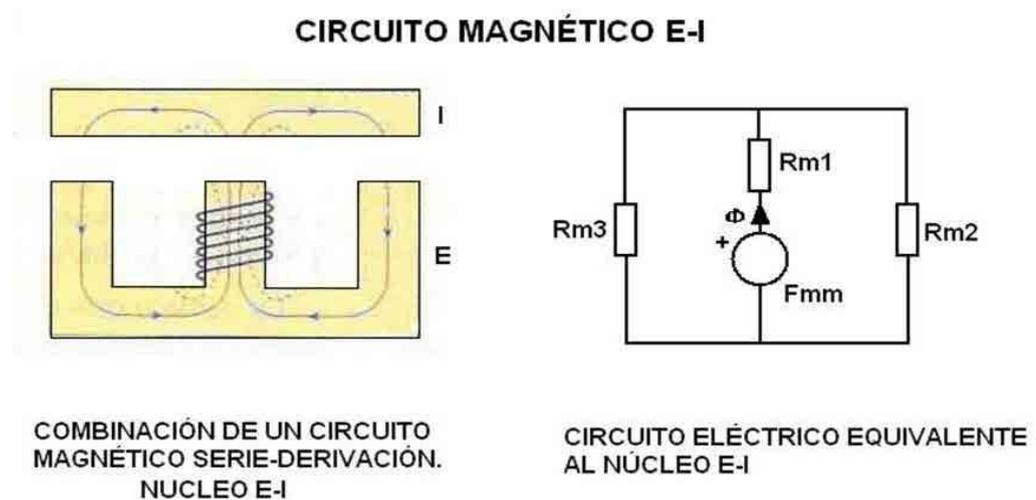


Fuente: información tomada de E-Ducativa Catedra, 2016.

“Debido a la construcción geométrica (E-I) de las chapas magnéticas en los transformadores acorazados, en estos circuitos se pueden hacer combinaciones serie-derivación, combinación interesante para realizar cálculos” (Área de energía, 2003, p. 176).

Figura 29

Núcleo de un transformador E-I y su circuito equivalente.



Fuente: información tomada de E-Ducativa Catedra, 2016.

Pero en aplicaciones reales, ambas placas están en unión sin el entrehierro.

A partir de las expresiones anteriores (serie y derivación), se está en condiciones de resolver los dos problemas que se nos pueden plantear (Cienciasfera, 2015):

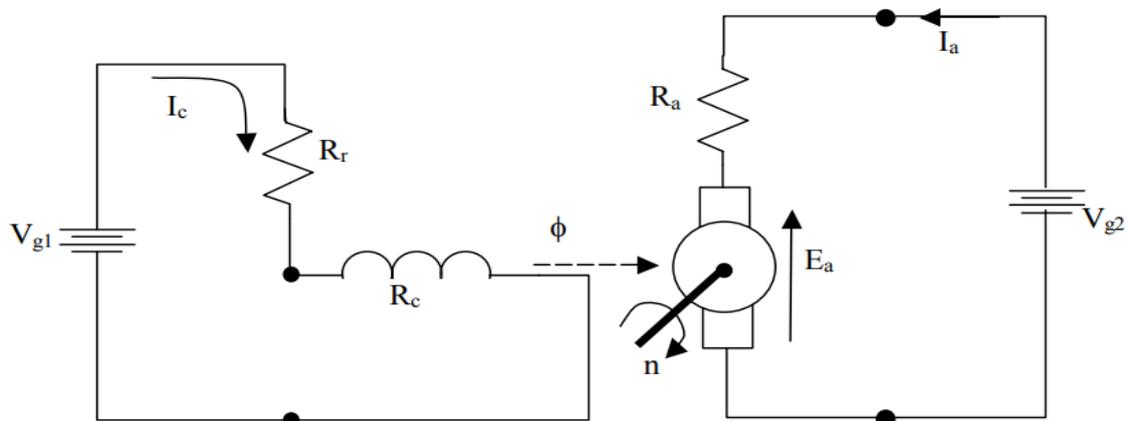
1. Dada la fuerza magnetomotriz y un núcleo determinado, calcular el flujo magnético resultante.
2. Dado un flujo magnético, diseñar un núcleo y la fuerza magnetomotriz necesaria para producirlo.

Circuito equivalente y funcionamiento

Debido a la gran similitud que existe en el comportamiento de los motores shunt y paralelo, estos serán analizados en conjunto. En la práctica, los motores shunt son comparativamente más utilizados debido a que solo requieren de una fuente para poder operar, lo cual representa una ventaja respecto de la configuración de excitación separada. Las figuras 5.29 y 5.30 muestran los circuitos equivalentes de los motores de excitación separada y shunt respectivamente. (Área de energía, 2003, p. 178).

Figura 30

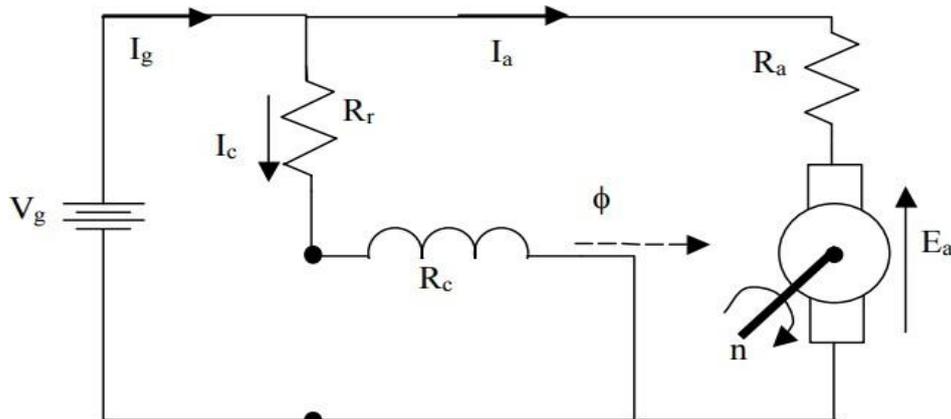
Diagrama del motor de corriente continua en excitación independiente.



Fuente: información tomada de Energía, 2003, p, 178.

Figura 31

Diagrama del motor de corriente continua en paralelo o shunt.



Fuente: información tomada de Energía, 2003, p, 178.

Donde:

V_g = Fuente de alimentación (motor shunt).

I_g = Corriente de alimentación (motor shunt).

V_{g1} = Fuente de alimentación de campo (motor excitación separada).

V_{g2} = Fuente de alimentación de armadura (motor excitación separada).

E_a = Voltaje generado en la armadura.

R_a = Resistencia del enrollado de armadura.

I_a = Corriente de armadura.

R_c = Resistencia del enrollado de campo.

I_c = Corriente por el enrollado de campo.

n = Velocidad del rotor.

R_r = Resistencia variable (reóstato) que normalmente se conecta para controlar la magnitud de I_c .

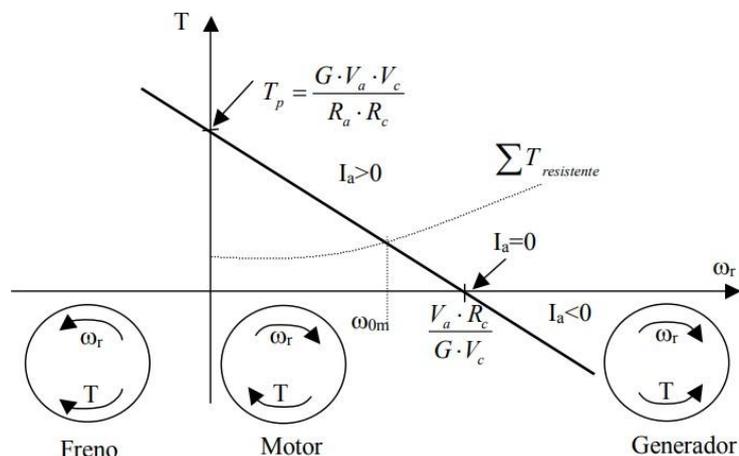
“Adicionalmente se puede incluir una resistencia variable en el circuito de armadura (R'_r) de modo *variar* la corriente I_a . En ese caso se tendría una resistencia de armadura equivalente ($R'=R_a+R'_r$)” (Área de energía, 2003, p. 179).

Curva velocidad-torque

Al igual que en caso de la máquina de C.C. conectada como generador, existen curvas que permiten explicar el comportamiento de los motores y estimar su desempeño de acuerdo a las distintas configuraciones de conexión (shunt, serie, etc.). En este sentido una de las curvas características de los motores de C.C. más representativa es la curva de Torque –velocidad que se muestra, para el caso de generador excitación separada y shunt (Área de energía, 2003, p. 180).

Figura 32

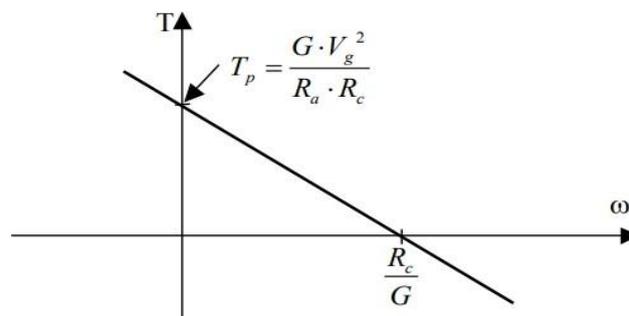
Curva velocidad-torque del motor de corriente continua en excitación independiente.



Fuente: información tomada de Energía, 2003, p. 180.

Figura 33

Curva velocidad-torque del motor CC en paralelo.



Fuente: información tomada de Energía, 2003, p. 180.

Cuando el motor tiene un sentido de torque en contraposición con el sentido de giro, entonces la máquina de corriente continua se encuentra actuando como freno (en la práctica esto se consigue cambiando la polaridad del voltaje

de armadura). Por el contrario, si los sentidos de torque y velocidad son los mismos, la máquina está operando como motor. Si la máquina está operando como motor y se aumenta la velocidad de giro, el torque generado comienza a disminuir hasta el punto en que se torna cero, si en este caso se sigue aumentando la velocidad entonces la corriente de armadura se invierte y la máquina comienza a operar como generador. (Área de energía, 2003, p. 181)

Motor compound aditivo

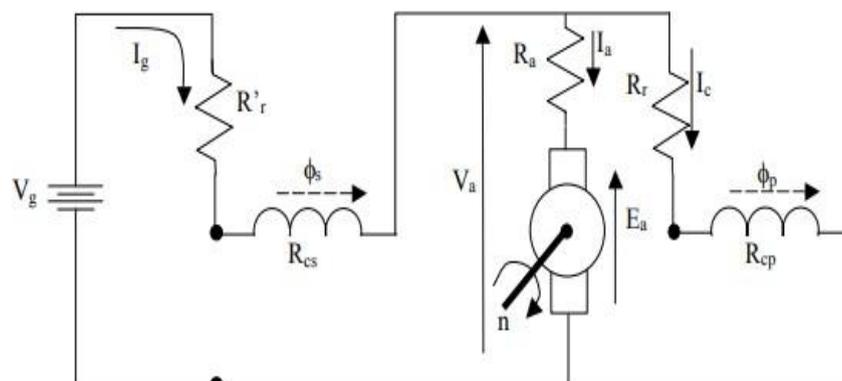
Para aprovechar las características que tiene cada uno de los dos motores anteriores, se recurre al montaje de un sistema de excitación que los combina, es llamado compound, o compuesto, y puede ser largo o corto, según que el devanado derivación comprenda o no al devanado serie. En estos motores, parte del devanado excitador se coloca en serie y parte en paralelo. Presentan características intermedias entre el motor serie y shunt, mejorando la precisión y estabilidad de marcha de la serie y el par de arranque del paralelo y no corre el riesgo de embalsarse al perder la carga. (CLR, 2017)

Circuito equivalente y funcionamiento

“En la figura se muestra el circuito equivalente del motor compound aditivo. El motor compound diferencial no se estudia debido a que en esta configuración la máquina de corriente continua no puede operar debido a que el sentido de giro es muy inestable” (Área de energía, 2003, p. 183).

Figura 34

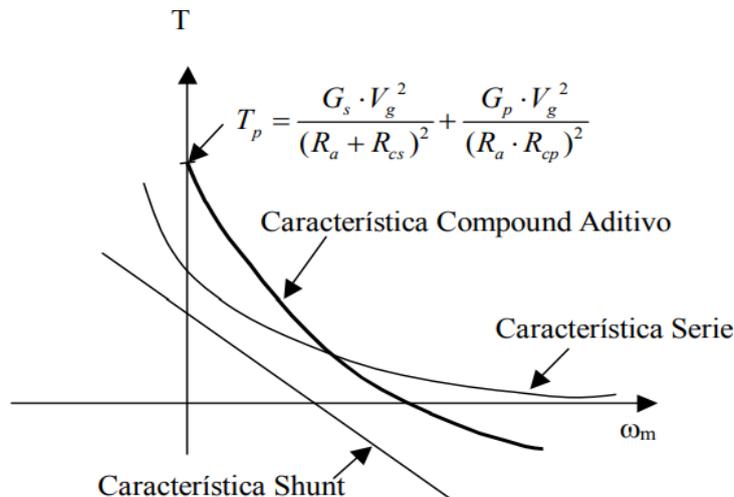
Diagrama equivalente motor compuesto.



Fuente: información tomada de Energía, 2003, p. 184.

Figura 35

Curva velocidad-torque del motor compuesto.



Fuente: información tomada de Energía, 2003, p. 185.

V_g = Fuente de alimentación.

I_g = Corriente de alimentación.

R'_r = Resistencia variable (reóstato) conectada para controlar la magnitud de I_a .

R_{cs} = Resistencia del enrollado de campo serie.

E_a = Voltaje generado en la armadura.

R_a = Resistencia del enrollado de armadura.

I_a = Corriente de armadura.

V_a = Voltaje de armadura.

I_c = Corriente por el enrollado de campo

R_r = Resistencia variable (reóstato) conectada para controlar la magnitud de I_c .

R_{cp} = Resistencia del enrollado de campo paralelo.

n = Velocidad del rotor.

ϕ_s = flujo de campo serie.

ϕ_p = flujo de campo paralelo" (Área de energía, 2003, p. 184).

Resolución de circuitos magnéticos

A partir de las expresiones anteriores (serie y derivación), se está en condiciones de resolver los dos problemas que se pueden plantear:

1. Dada la fuerza magnetomotriz y un núcleo determinado, calcular el flujo magnético resultante.
2. Dado un flujo magnético, diseñar un núcleo y la fuerza magnetomotriz necesaria para producirlo (Romero, 2015).

Atención

Debe tenerse en cuenta que para calcular la reluctancia de un circuito magnético se tiene que conocer la permeabilidad y ésta depende de la inducción magnética, que a veces no se conoce. Si pasara esto, para

solucionarlo se supone un valor para la inducción y con la ayuda de las curvas de imanación del material magnético elegido, se obtiene un valor de permeabilidad para la inducción supuesta. Se calcula la reluctancia con ese valor de la permeabilidad y se obtiene una fuerza magnetomotriz. Si la inducción obtenida con esa fuerza magnetomotriz es la supuesta, el problema está resuelto, y si no es la supuesta, se reitera el proceso hasta dar con el valor correcto. (Cienciasfera, 2017)

2.5 Definición de curva de magnetización de una máquina de corriente directa

A estas curvas también se les denomina como curva de histéresis magnética o curva de magnetización. Se inicia mediante un voltaje del magnetismo residual; el magnetismo residual se forma por la energía magnética en el núcleo. También, es usada en algunos dispositivos electrónicos. El voltaje interior generado E_A de un motor o generador de corriente continua está dado por:

E_A = Voltaje generado en la armadura.

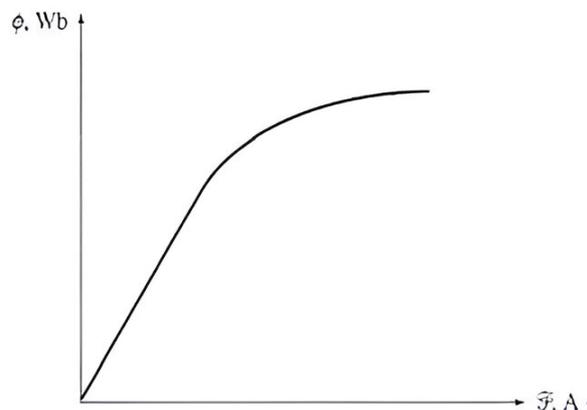
K = Constante de construcción distinta para cada máquina.

Φ = Magnitud de flujo.

ω = Frecuencia angular.

Figura 36

Curva de histéresis magnética de los materiales ferromagnéticos.

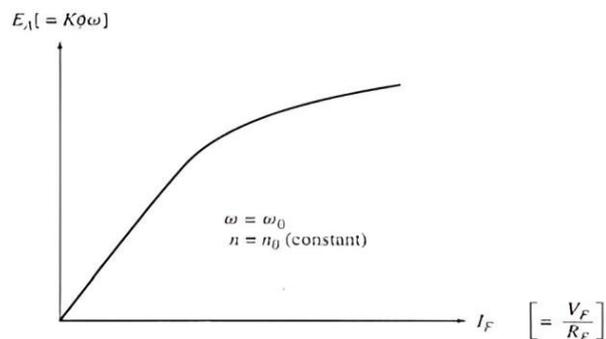


Fuente: información tomada de Bañuelos, 2013.

“La corriente de campo en una máquina de corriente directa produce una fuerza magneto motriz de campo dada por $F = NFIF$, la cual produce un flujo en la máquina de acuerdo con la curva de magnetización” (Ortiz, 2018). Dado que la intensidad del campo es proporcionada con el flujo magnético, su curva de saturación normalmente se expresa como un gráfico de E_A versus la intensidad del campo con una velocidad de $\omega\theta$.

Figura 37

Curva de histéresis magnética de las máquinas de corriente continua.

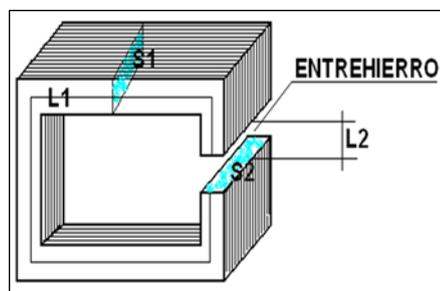


Fuente: información tomada de Bañuelos, 2013.

Ejemplo

Ejercicio 1

Un diagrama magnético en serie como se muestra en la siguiente figura contiene un espacio de aire en forma de entrehierro de $S = 42 \text{ cm}^2$ de sección y una longitud de $L_2 = 0,5 \text{ cm}$. El resto del circuito magnético está construido de hierro templado con una sección transversal de $S = 40 \text{ cm}^2$ y una longitud promedio de $L_1 = 60 \text{ cm}$. La permeabilidad relativa de este hierro es de $\mu_1 = 6520$. Determinar la fuerza magnetomotriz necesaria para alcanzar una densidad de flujo magnético de $1,1 \text{ T}$ en el entrehierro. Se considera que hay una dispersión del 20% en el entrehierro.



a) Determinar el flujo magnético en el espacio de aire, considerando la dispersión:

$$\Phi = \frac{B * S_2}{0,8} = \frac{1,1 * 42 * (10)^{-4}}{0,8} = 5,775 * 10^{-3} \text{ Wb}$$

b) Calcular la reluctancia magnética del circuito serie.

$$\begin{aligned} Rm &= Rm_1 + Rm_2 = \frac{L_1}{\mu_1 * S_1} + \frac{L_2}{\mu_0 * S_2} = \frac{L_1}{\mu_r * \mu_0 * S_1} + \frac{L_2}{\mu_0 * S_2} = \\ &= \frac{60 * 10^{-2}}{6540 * 4 * \pi * 10^{-7} * 40 * 10^{-4}} + \frac{0,5 * 10^{-2}}{4 * \pi * 10^{-7} * 42 * 10^{-4}} = 965659 \text{ H}^{-1} \end{aligned}$$

c) Al aplicar la ley de Hopkinson, se logra obtener la fórmula para determinar la fuerza

magnetomotriz en entrehierro.

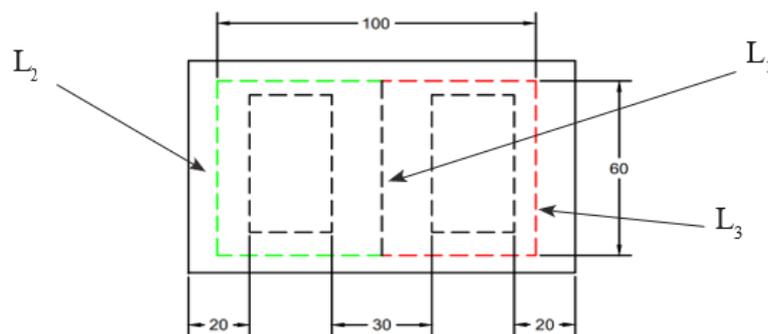
$$\Phi = \frac{F_{mm}}{R_m} = \frac{N * I}{R_m} =$$

$$\begin{aligned} F_{mm} &= N * I = \Phi * R_m = \\ &= 5,775 * 10^{-3} * 965,659 * 10^3 = \\ &= 5577 \text{ Av} \end{aligned}$$

Ejercicio 2

Dentro del núcleo principal del circuito magnético de lámina mostrada en la imagen se desea lograr una inducción de 1,8 T. El material utilizado es una lámina de alta aleación. Hallar fuerza magnetomotriz necesaria para este núcleo al apilar 30 mm de lámina.

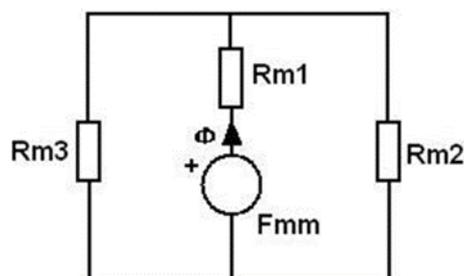
Datos: para la inducción magnética de 1.8T, la intensidad de campo que le corresponde es de 14000 A/m.



a) Hallar la permeabilidad.

$$\mu = \frac{B}{H} = \frac{1,8}{14000} = 1,285 * 10^4 \frac{Wb}{A \cdot m}$$

El núcleo principal se encuentra conectado en serie con la resultante en paralelo de las dos ramas laterales que son similares. Para una mejor visualización el circuito a continuación:



a) Calcular las secciones y longitudes.

$$L_1 = 60\text{mm} = 0,06\text{m}$$

$$L_2 = L_3 = \frac{100}{2} + 60 + \frac{100}{2} = 160\text{mm} = 0,16\text{m}$$

$$S_1 = 30 * 30 = 900\text{mm}^2 = 900 * 10^{-6}\text{m}^2$$

$$S_2 = S_3 = 20 * 30 = 600\text{mm}^2 = 600 * 10^{-6}\text{m}^2$$

$$\begin{aligned} R_m &= R_{m_1} + \frac{R_{m_2} * R_{m_3}}{R_{m_2} + R_{m_3}} = \frac{L_1}{\mu * S_1} + \frac{1}{2} + \frac{L_2}{\mu * S_2} = \\ &= \frac{0,06}{1,285 * 10^{-4} * 900 * 10^{-6}} + \frac{1}{2} + \frac{0,16}{1,285 * 10^{-4} * 600 * 10^{-6}} = \\ &= 1\,556\,420,231\text{H}^{-1} \end{aligned}$$

b) Calcular la fuerza magnetomotriz.

$$\begin{aligned} F_{mm} &= N * I = \Phi * R_m = B * S_1 * R_m = 1,8 * 900 * 10^6 * 1\,556\,420,23 = \\ &= 2\,521,4\text{Av} \end{aligned}$$

Ejercicio 3

Hallar la reluctancia magnética de un solenoide rectilíneo de 2000 vueltas, considerando que al pasar por él una corriente de 10 A se produce un flujo magnético de 15 miliWebers (mWb).

Datos

$$I = 10\text{A}$$

$$N = 2000\text{V}$$

$$\Phi = 15\text{mWb}$$

$$\begin{aligned} F_m &= N * I \\ F_m &= 2000 * 10 \\ F_m &= 20\,000\text{Av} \\ F_m &= \Phi * R_m \\ R_m &= \frac{F_m}{\Phi} \\ R_m &= \frac{20\,000}{15 * 10^{-3}} \\ R_m &= 1,33 * 10^6\text{Av/Wb} \end{aligned}$$

Ejercicio 4

Conexión de un bobinado imbricado progresivo, donde $k = 4, p = 1, u = 1$

k = Número de ranuras

u = Número de secciones inducidas

P = Par de polos

a) Verificar si es posible realizar este tipo de devanado, el resultado debe ser un número entero.

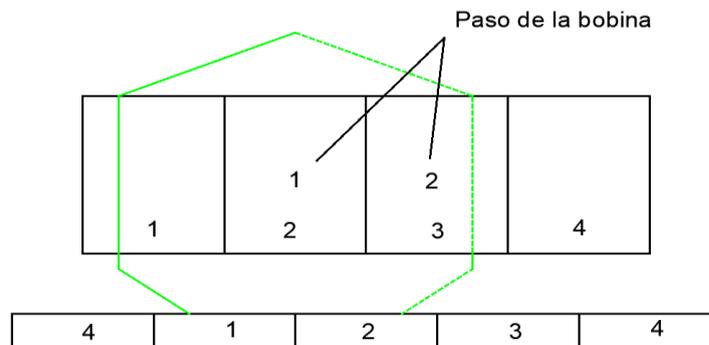
$$\frac{k}{P} = \frac{4}{1} = 4$$

b) Hallar el paso de la bobina, se refiere a la distancia entre dos lados de una bobina.

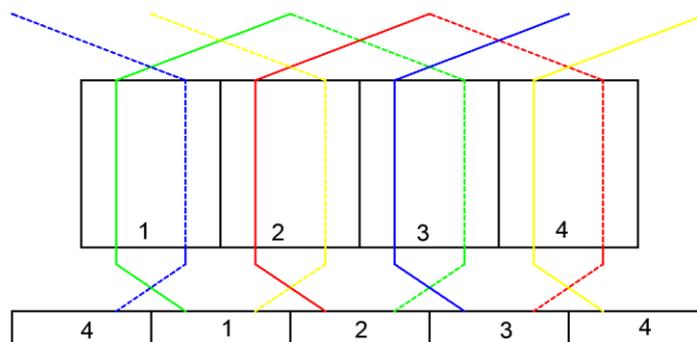
$$Yk = \frac{k}{2P}$$

$$= \frac{4}{2(1)} = 2$$

c) Dibujar las ranuras de las bobinas y las delgas según k , el ancho la base debe ser de las mismas medidas, las delgas deben ir centradas, la primera bobina saldrá de la delga 1, a la ranura 1, como se muestra en la siguiente figura.



d) Dibujar las demás bobinas en la siguiente delga con diferentes colores para diferenciarlas, las líneas continuas muestran que las bobinas salen de la delga y las líneas entrecortadas son que las bobinas que retornan a la siguiente delga.



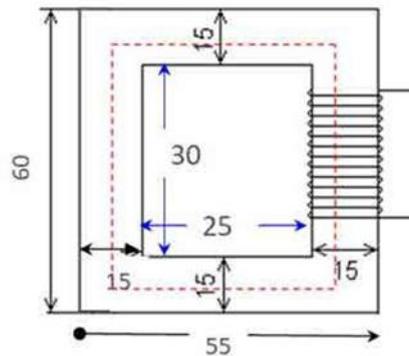
2.6 Actividades de aprendizaje y evaluación

Evaluación final

1. Calcular la reluctancia magnética de un solenoide rectilíneo de 3000 vueltas, considerando que al pasar por él una corriente de 6A se produce un flujo magnético

de 10 miliWebers (mWb).

2. En el siguiente circuito mostrado en la figura determinar la reluctancia magnética con las medidas designadas en centímetros. El núcleo presenta una permeabilidad de $\mu = 0,00876 \text{ T}\cdot\text{m}/\text{A}$, la sección transversal tiene un área de 40 cm^2 .



3. Relacione las siguientes palabras:

- Excitación magnética

a) F

b) H

c) R

- Fuerza magnetomotriz

a) F

b) H

c) R

- Reluctancia

a) F

b) H

c) R

4. Para suprimir la inducción residual en la curva de histéresis se requiere:

a) No se debe suprimir.

b) Suprimir el campo magnético.

c) La intensidad coercitiva.

5. El material de un núcleo del transformador debe tener una curva de histéresis:

- a) La más amplia posible.
- b) La más pequeña posible.
- c) No importa la forma de la curva.

6. Al volumen de un espacio en el cual está presente el campo magnético y las líneas inducción que existe en el mencionado volumen están cerradas sobre sí mismas se le conoce como:

- a) Circuito magnético.
- b) Volumen magnético.
- c) Espacio imantado.

7. Completar la siguiente tabla:

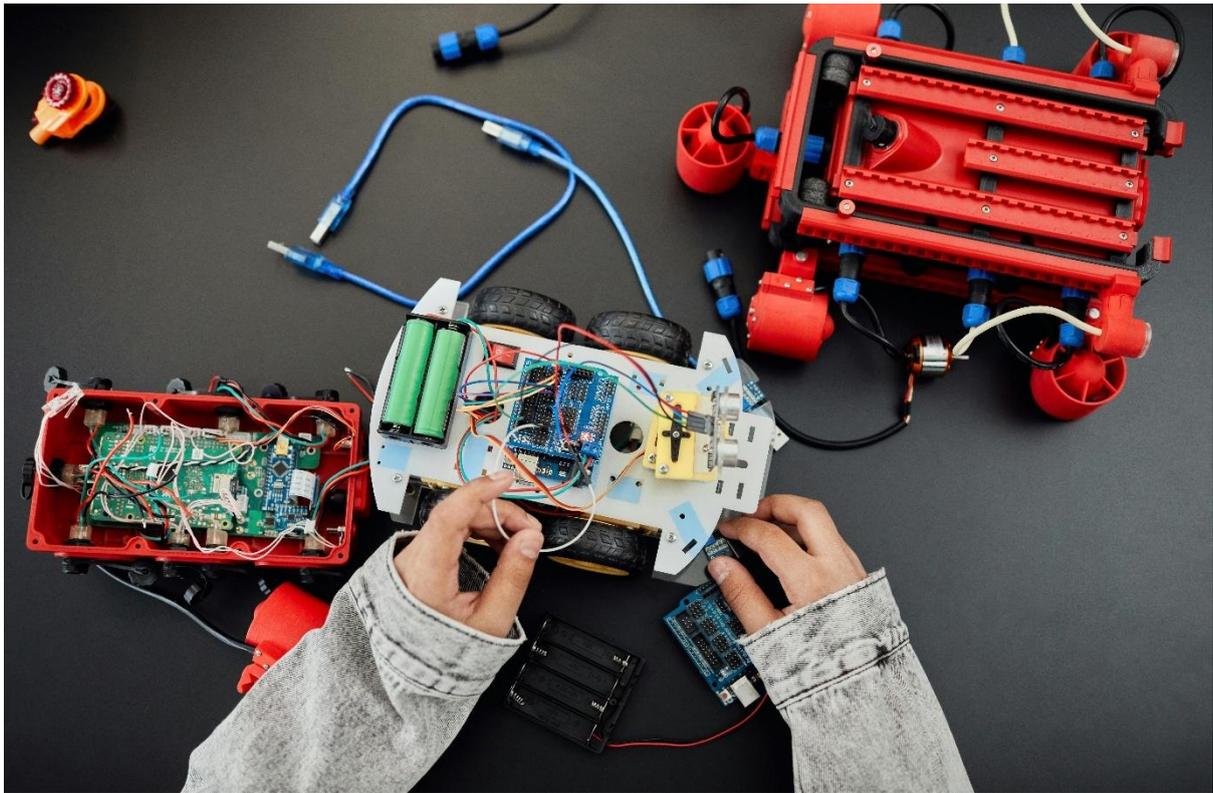
Electricidad	Magnetismo
Fuerza electromotriz () (Fm)
..... (I)	Flujo magnético (.....)
Resistencia eléctrica (.....) (Rm)
Ley de (E=I*R)	Ley de Hopkinson ()

8. Realizar la conexión de un bobinado imbricado progresivo, donde $k = 8, p = 1, u = 1$.

¡Felicitaciones!

Usted ha finalizado la unidad 2. A continuación, se desarrollará la unidad Motor universal alimentado con corriente continua.

Unidad 3



Motor universal alimentado con corriente continua

Unidad 3

Motor universal alimentado con corriente continua

- 3.1 Motor de corriente continua.
- 3.2 Motor de corriente continua conectado en serie.
- 3.3 Motor de corriente continua conectado en paralelo o shunt.
- 3.4 Motor de corriente continua de excitación independiente.
- 3.5 Motor de corriente continua compound.
- 3.6 Operación en motores de corriente continua.
- 3.7 Conexiones en el motor de corriente continua.
- 3.8 Inversión de giro en los motores universales.
- 3.9 Arranque del motor y métodos de arranque de un motor de corriente continua.
- 3.10 Métodos de arranque de un motor de corriente continua.
- 3.11 Circuitos electrónicos de arranque.
- 3.12 Actividades de aprendizaje y evaluación.

¿Sabías que?

Los motores de corriente continua son máquinas capaces de convertir la energía eléctrica en mecánica. Entre sus ventajas, destacan su gran capacidad de generar un par muy alto a baja velocidad, su exactitud, su facilidad de control o el alto rendimiento a una gran variedad de velocidades.

Introducción

Esta unidad abarca los tipos de motores de corriente continua existentes en la industria clasificados por su forma de conexión. La conexión en serie es la conexión más básica en la que el rotor y el bobinado estático se encuentran conectados en serie. La conexión mixta, llamada derivación corta, aprovecha las características de dos conexiones. Sus propiedades como velocidad y torque de cada conexión, se escogerá de acuerdo a la necesidad de la aplicación.

Alcance

Este módulo, tiene la finalidad de enseñar al estudiante las fórmulas de comportamiento de las conexiones principales de motores de corriente continua y sus conexiones utilizando el software de simulación *Open Modelica*. El estudiante ensamblará el circuito y generará la simulación parametrizando todos los elementos pertenecientes al motor. Finalmente, el alumno evaluará el funcionamiento característico de cada conexión, enfocándose principalmente en la velocidad, torque y corriente de armadura.

3.1 Motor de corriente continua

Según Ribas (2016): los motores de Corriente Continua (CC) se utilizan en máquinas y mecanismos de baja potencia y tensión, suelen utilizarse en robótica. Son motores menos robustos que los de Corriente Alterna (CA), sus componentes son mucho más caros y presentan un mantenimiento más complejo y costoso. Según cómo se conecten los devanados correspondientes al inducido e inductor de un motor de Corriente Continua (CC), se pueden obtener las siguientes configuraciones:

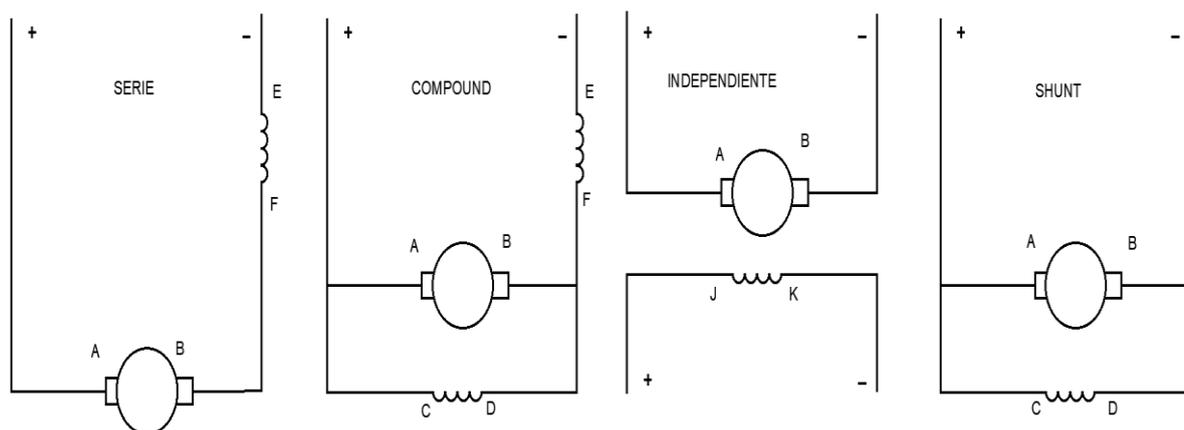
- Máquina de excitación independiente
- Máquina serie
- Máquina shunt
- Máquina compound (compuesta)

No todos los devanados se pueden intercambiar para conseguir las diferentes configuraciones, a excepción del devanado inductor para un motor shunt en el que se puede utilizar en una máquina de conexión independiente (Ribas, 2016). En la figura 38:

- Bobinado inducido A-B (A1-A2)
- Bobinado inductor Shunt C-D (E1-E2)
- Bobinado inductor Serie E-F (D1-D2)
- Bobinado inductor Independiente J-K (F1-F2).

Figura 38

Conexión de bobinados en el motor CC.



Fuente: información tomada de Ribas, 2016.

3.2 Motor de corriente continua de conexión en serie

“En una máquina serie, el devanado inductor tiene poca resistencia. Es de pocas espiras de gran sección para que puedan soportar la corriente $I = I_i$ ” (Pozueta, 2015, p. 37).

$$V = E - R_i I - V_{esc}$$

$$V \approx E - R_i I$$

$$I_i = I$$

$$I_e = I \quad (*)$$

Donde:

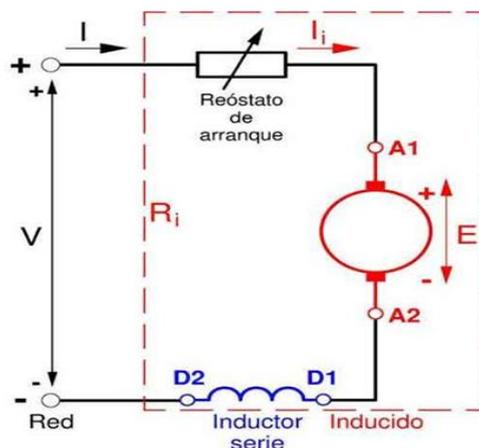
V = Voltaje de línea.

E = Fuerza electromotriz.

R_i = Resistencia del inducido.
 $I = I_e = I_f$ = Intensidad.
 V_{esc} = Voltaje de las escobillas.

Figura 39

Motor de corriente continua de conexión en serie.



Fuente: información tomada de Pozueta, 2015, p. 53.

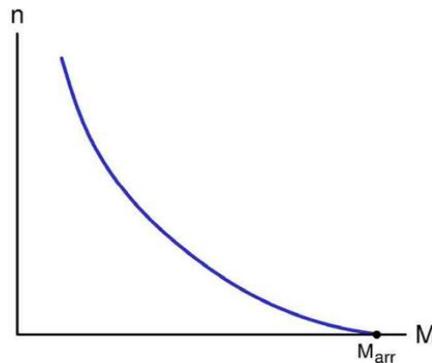
“ R_i incluye las resistencias del devanado inducido, de los devanados inducido, auxiliares e inductor serie y del reóstato de arranque. En serie no es prudente arrancar sin carga debido a que se embala” (Pozueta, 2015).

Regulación del motor serie

Si a un motor serie se le incrementa el par M que debe desarrollar, sucede que su velocidad n disminuye y, por lo tanto, no aumenta tanto su potencia y su corriente I en comparación con un motor shunt. Por esto, se utiliza en tracción eléctrica, pues con esta forma de funcionamiento no se precisa utilizar ningún cambio de marchas”. El mismo par M requiere la misma corriente I , la cual no depende de la velocidad: $M = K_M K_I I^2 \phi$, si hay reóstato de excitación: $M = K_M K_I a I^2$. Si se modifica la velocidad n manteniendo el mismo par M , el motor serie consume la misma corriente I y, por lo tanto, la misma corriente de excitación I_e y origina el mismo flujo. En consecuencia, la velocidad disminuirá si se reduce la tensión V o se aumenta la resistencia R_i . Para modificar la velocidad se actúa inicialmente sobre la resistencia R_i (mediante un reóstato variable en serie con el inducido) o, preferentemente, sobre la tensión en bornes del motor V . Si se quiere subir la velocidad por encima a la que se obtiene con los valores asignados de V y de R_i (cuando el reóstato en serie con el inducido tiene resistencia nula), lo que hay que hacer es reducir la corriente en el inductor I_e para que el flujo F disminuya. (Pozueta, 2015, p. 54)

Figura 40

Par versus velocidad de un motor de corriente continua conectado en serie.



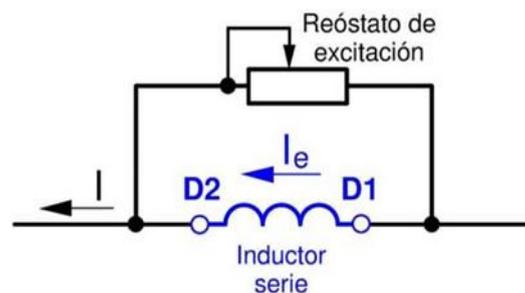
Fuente: información tomada de Pozueta, 2015, p. 54.

Variación de la corriente I_e

Para modificar la corriente I_e lo que se hace es colocar un reóstato variable de un valor óhmico pequeño en paralelo con el inductor serie (ver la Figura 41). Este reóstato actúa como un shunt y hace que parte de la corriente I pase por él y, por lo tanto, la corriente del inductor I_e ya no es igual a I , sino que solo es una fracción. En este caso la resistencia R_i incluye también la del conjunto del devanado inductor serie y de su reóstato en paralelo. Las ecuaciones del motor serie no saturado con este reóstato de excitación pasan a ser las siguientes (Pozueta, 2015):

Figura 41

Diagrama de conexión de reóstato al motor.



Fuente: Información tomada de Pozueta, 2015, p. 54.

$$\Phi = K_E I_e = K_I \alpha I$$

$$M = K_M K_I \alpha I^2$$

$$n = \frac{E}{K_E \Phi}$$

Donde:

V = Voltaje de línea.

E = Fuerza electromotriz.

I = Intensidad.

I_e = Intensidad total del circuito inducido.

V_{esc} = Voltaje de las escobillas.

M = Par electromagnético.

n = Velocidad del rotor.

K_E = Constantes de construcción distintas para cada máquina.

K_I = Constantes de construcción distintas para cada máquina.

K_M = Constantes de construcción distintas para cada máquina.

Φ = Flujo magnético.

Glosario

- Embalar: acelerar, lanzarse, precipitarse.

- Par: "Magnitud física que mide el momento de fuerza que se ha de aplicar a un eje que gira sobre sí mismo a una determinada velocidad" (UNODC, 2016).

- Reóstato: "Componente eléctrico para regular la intensidad de la corriente sin necesidad de abrir el circuito y que consiste en una resistencia eléctrica variable" (UNODC, 2016).

3.3 Motor de corriente continua conectado en paralelo o shunt

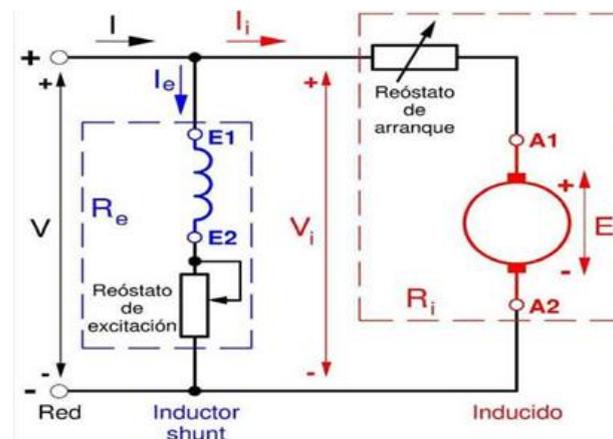
El motor shunt o motor de excitación en paralelo es un motor eléctrico de corriente continua cuyo bobinado inductor principal está conectado en derivación o paralelo con el circuito formado por los bobinados inducido e inductor auxiliar. Las bobinas principales están constituidas por muchas espiras de alambre de poca sección, por lo que la resistencia del bobinado inductor principal es muy grande (Nasimba, 2018).

Cuando el campo shunt del motor es debilitado para aumentar la velocidad a un nivel de operación más alto, el flujo del devanado serie llega a ser un porcentaje mayor del flujo total, de manera que a medida que la corriente aumenta, la caída de velocidad es un porcentaje mayor que antes (Lima, 2012).

" R_e elevada para que I_e pequeño: devanado inductor con muchas espiras de pequeña sección. R_e y R_i incluyen también a sus reóstatos respectivos" (Pozueta, 2015, p. 48).

Figura 42

Motor de corriente continua conectado en paralelo o shunt.



Fuente: información tomada de Pozueta, 2015, p. 48.

$$V = R_e I_e$$

$$V = E + R_i I_i + V_{esc}$$

$$V \approx E + R I$$

$$I = I_i + I_e$$

$$V_i = V_e = V$$

Donde:

V = Voltaje de línea.

E = Fuerza electromotriz.

R_e = Resistencia total del circuito inductor.

R_i = Resistencia total del circuito inducido.

I_e = Intensidad total del circuito inductor.

I_i = Intensidad total del circuito inducido.

V_{esc} = Voltaje de las escobillas.

3.4 Motor de corriente continua de excitación independiente

“Son aquellos que obtienen la alimentación del rotor y del estator de dos fuentes de tensión independientes. El campo del estator es constante al no depender de la carga del motor, y el par de fuerza es prácticamente constante también” (CLR, 2017).

“ R_e elevada para que I_e pequeño: devanado inductor con muchas espiras de pequeña sección. R_e y R_i incluyen también a sus reóstatos respectivos” (Pozueta, 2015). Fórmula característica de un motor de corriente continua conectado en excitación independiente.

$$V = E + R_i I_i + V_{esc} \approx E + R_i I_i$$

Donde:

V = Voltaje de línea.

E = Fuerza electromotriz.

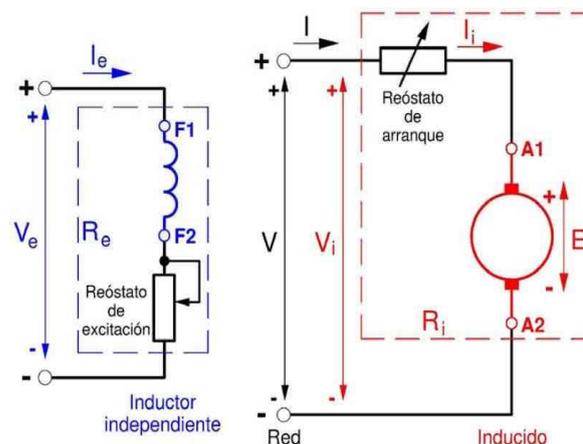
R_i = Resistencia total del circuito del inducido.

I_i = Intensidad total del circuito del inducido.

V_{esc} = Voltaje de las escobillas.

Figura 43

Motor de corriente continua conectado en excitación independiente.



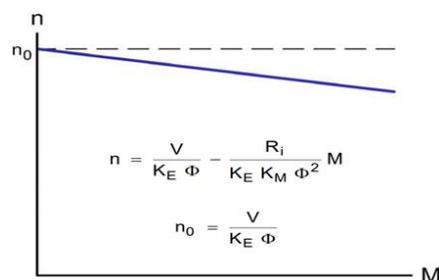
Fuente: información tomada de Pozueta, 2015, p. 48.

Característica velocidad-par natural de motores shunt y de excitación independiente

Si no hay reacción de inducido, (porque hay devanados auxiliares que la compensan) el flujo F es constante (pues I_e es constante) y esta curva es una recta. Es una característica dura o rígida (n varía poco con M); si hay reacción de inducido, el flujo F disminuye al aumentar el par M (porque entonces aumenta la corriente I_i) y la curva es menos descendente o, incluso, puede ser ascendente y el motor es inestable. En este caso se le vuelve estable añadiendo un pequeño inductor serie; n_0 es la velocidad en vacío (Pozueta, 2015, p. 49).

Figura 44

Característica par-velocidad shunt.



Fuente: información tomada de Pozueta, 2015, p. 49.

Donde:

n = Velocidad del rotor.

V = Voltaje de línea.

R_j = "Resistencia total del circuito inducido" (Pozueta, 2015).

K_E = Constantes de construcción distintas para cada máquina.

K_M = Constantes de construcción distintas para cada máquina.

M = Par electromagnético.

n_0 = Velocidad en el vacío.

Φ = Flujo magnético.

3.5 Motor de corriente continua compound

Motor de corriente continua compound en derivación larga

"El inductor shunt se conecta en paralelo a conjunto del inducido más el inductor serie. La resistencia R_j incluye también a R_{se} y se cumple que" (Pozueta, 2015, p. 55):

$$V_i = R_e I_e \quad V_e = V_i$$

$$V = E + R_i I_i + V_{esc} \approx E + R_i I_i$$

$$V_i = V \quad I_{se} = \alpha \cdot I_i$$

Donde:

V = Voltaje de línea.

E = Fuerza electromotriz.

I = Intensidad.

I_e = Intensidad total del circuito inductor.

I_i = Intensidad total del circuito inducido.

I_{se} = Resistencia del devanado inductor shunt.

V_{esc} = Voltaje de las escobillas.

V_i = Voltaje total del circuito inducido.

V_e = Voltaje total del circuito inductor.

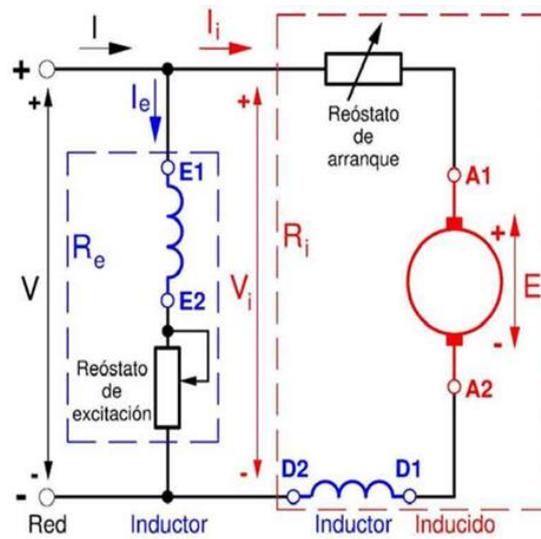
R_e = Resistencia total del circuito inductor.

R_j = Resistencia del inducido

α = Coeficiente de variación de la resistencia de excitación.

Figura 45

Motor de corriente continua conectado en derivación larga.



Fuente: información tomada de Pozueta, 2015, p. 55.

Motor de corriente continua compound en derivación corta

“El inductor shunt se conecta directamente en paralelo con las escobillas del inducido y el conjunto de ambos se conecta en serie con el inductor serie” (Pozueta, 2015, p. 53).

“La resistencia R_i no incluye a R_{se} y se cumple que” (Pozueta, 2015, pág. 55).

$$V_i = R_e I_e \quad V_e = V_i \quad I = I_i + I_e$$

$$V = E + R_i I_i + V_{esc} \approx E + R_i I_i$$

$$V_i = V - R_{se} \cdot I \quad I_{se} = \alpha \cdot I_i$$

Donde:

V = Voltaje de línea.

E = Fuerza electromotriz.

I = Intensidad.

I_e = Intensidad total del circuito inductor.

I_i = Intensidad total del circuito del inducido.

I_{se} = Intensidad del devanado inductor shunt.

V_{esc} = Voltaje de las escobillas

V_i = Voltaje total del circuito del inducido.

V_e = Voltaje total del circuito inductor.

R_e = Resistencia total del circuito inductor.

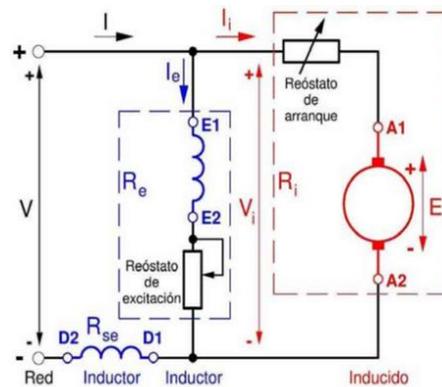
R_{se} = Resistencia del devanado inductor shunt.

R_i = Resistencia total del circuito del inducido.

α = Coeficiente para la variación de la resistencia de excitación.

Figura 46

Motor de corriente continua conectado en derivación corta.



Fuente: información tomada de Pozueta, 2015, p. 55.

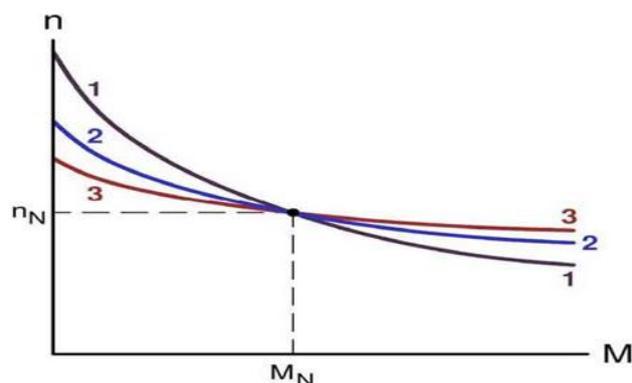
Característica velocidad-par del motor compound aditivo

El motor compound aditivo tiene una característica mecánica (velocidad-par) que es intermedia entre las de los motores serie y shunt. En la figura 47 se muestran las características mecánicas de tres motores compound aditivos con iguales valores de par asignado M_N y de velocidad asignada n_N (Pozueta, 2015, p. 56):

- Excitación serie predominante.
- Ambas excitaciones equilibradas

Figura 47

Característica par-velocidad de un motor compuesto aditivo.



Fuente: información tomada de Pozueta, 2015, p. 56.

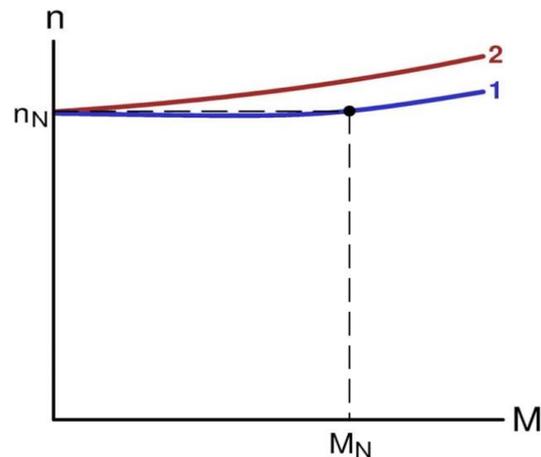
Característica velocidad-par del motor compound diferencial.

El motor compound diferencial tiene una característica mecánica (velocidad-par) que es la diferencia de las de los motores serie y shunt. En la figura 48 se muestran las características mecánicas de dos motores compound diferenciales con igual velocidad de vacío:

- Ligera excitación serie que origina una velocidad muy constante.
- Excitación serie mayor que en la curva 1 (Pozueta, 2015, p. 56).

Figura 48

Característica par-velocidad motor compuesto diferencial.



Fuente: información tomada de Pozueta, 2015, p. 56.

3.6 Operación en motores de corriente continua

Mantenimiento y revisión de la máquina

El motor de corriente continua, también llamado motor de corriente directa, se encuentra en la categoría de motores eléctricos, se utilizan principalmente para convertir energía eléctrica a energía mecánica. La fabricación de los motores de corriente continua está basada en el magnetismo y tienen mecanismos electromecánicos o electrónicos en su interior. La característica de los motores de corriente continua convencionales es el condensador, que está sujeto a cambios periódicos de la dirección del flujo de la corriente interna del motor. Las modificaciones de los motores de corriente continua convencionales que es más eficiente, en muchos ámbitos de trabajo, es el motor de corriente continua sin carbones o escobillas. La ausencia de contactos de fricción da como resultado una vida más larga del motor, entre otros beneficios (Australgom, 2022).

Figura 49

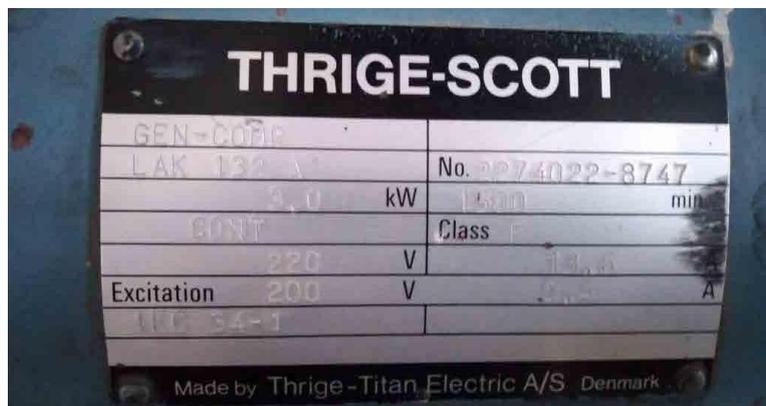
Motor de corriente continua.



Fuente: autoría propia, 2023.

Figura 50

Características de motor CC.



Fuente: autoría propia, 2023.

Motor DC Thrige Scott de 3 KW.

Tipo de motor: LAK132A.

Serie/N.º: 2274022-8747

Velocidad de giro: 1500 rpm

Entrada: 220 V a 13,6 A.

Excitación: 200 V a 0,4 A.

Fabricante: Thrige Scott

Categoría: Motores DC

Para realizar un correcto mantenimiento se deben revisar principalmente las siguientes partes del motor:

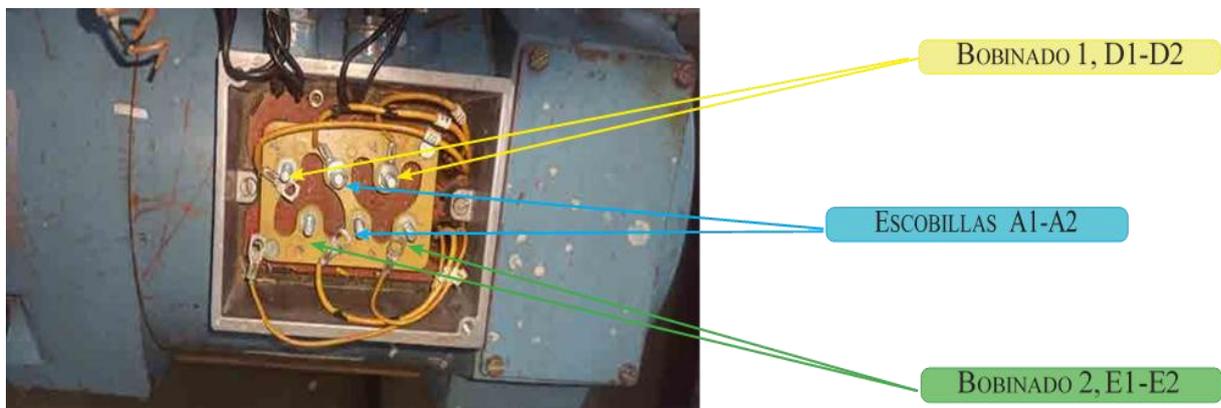
- ✓ Escobillas y porta escobillas
- ✓ Conmutador
- ✓ Rodamientos
- ✓ Bobinados y armadura

Tareas a realizar en cada componente del motor

a. Identificación de los terminales del motor de CC, con el multímetro medir la continuidad, los terminales que muestren continuidad son las bobinas.

Figura 51

Identificación de terminales del motor de corriente continua.



Fuente: autoría propia, 2023.

b. Desarmar las partes laterales del motor CC, para desconectar las escobillas y bobinas, utilizando los Equipos de Protección Personal (EPP) y las herramientas necesarias

Figura 52

Desconexión de bobinas y escobillas.



Fuente: autoría propia, 2023.

c. Limpieza del acople mediante WD-40 (Protector contra el óxido y corrosión) con brocha, huaípe y utilizando guantes.

Figura 53

Limpieza de acople.



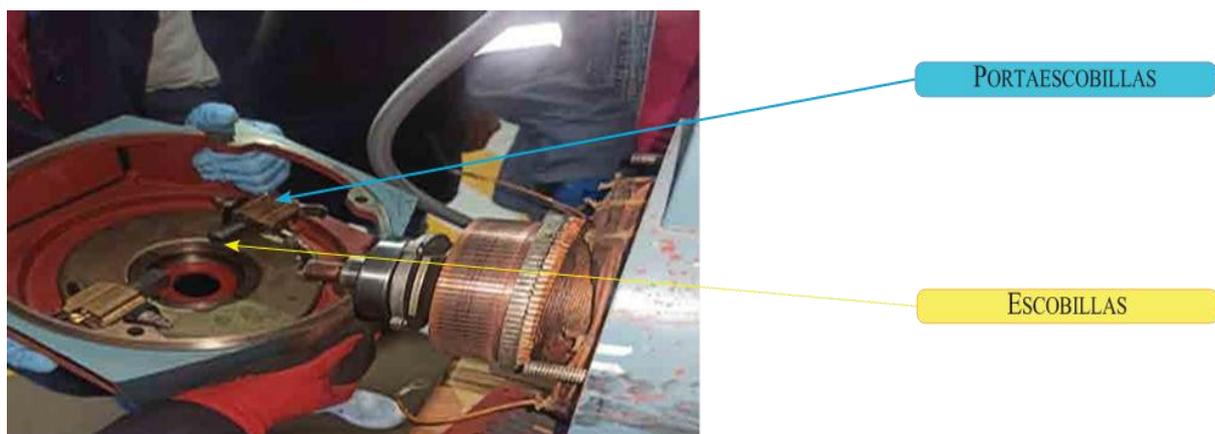
Fuente: autoría propia, 2023.

d. Portaescobillas. “Comprobar la libre circulación de las escobillas, pero sin grandes holguras para evitar chispazos. Controlar la distancia entre el porta escobillas y el conmutador sea la que indica el fabricante, que suele ser igual o un poco menor a 2 mm” (Motores y generadores, 2020)

e. Identificar escobillas. “Comprobar desgaste de las escobillas cambiándolas al llegar a la marca de mínimo que hay en la misma escobilla. Respetar características de las escobillas que pone el fabricante y no mezclar diferentes tipos de escobillas en uso” (Motores y generadores, 2020).

Figura 54

Portaescobillas y escobillas del motor CC.



Fuente: autoría propia, 2023.

- Medir la resistencia de las dos escobillas con un multímetro en la unidad de amperios.

$$R_{esc} = 12 \, \Omega + 12 \, \Omega = 24 \, \Omega$$

Figura 55

Valor en ohmios de los carbones (escobillas).



Fuente: autoría propia, 2023.

f. Es primordial que el colector de delgas “esté en buenas condiciones de trabajo teniendo que evitar grasas o aceites en la superficie y vigilando la humedad excesiva” Motores y generadores, 2020. “Los desgastes se deben controlar, vigilando el desgaste entre la zona de paso de las escobillas y la zona por donde no pasa, teniendo que controlar el desgaste máximo” (Motores y generadores, 2020).

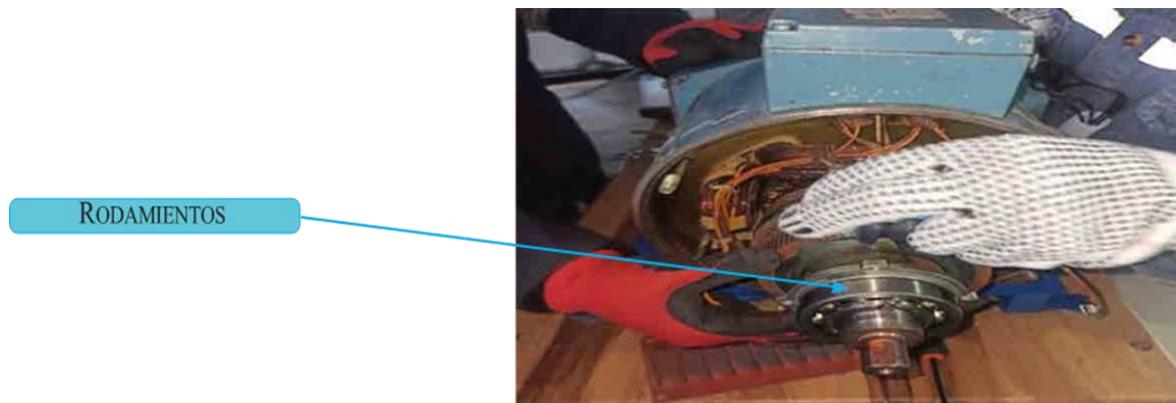
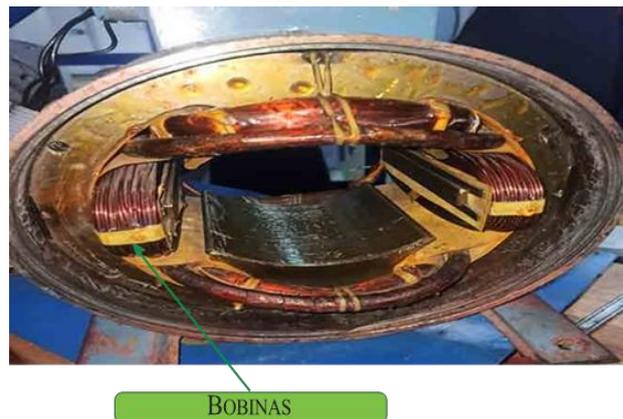
Figura 56

Mantenimiento del colector de delgas.



Fuente: autoría propia, 2023.

g. “A los rodamientos se les debe controlar la temperatura evitando que exceda del valor indicado por el fabricante. Para alargar la vida útil de los cojinetes se debe lubricar correctamente en la cantidad, tipo de grasa y periodo de tiempo que marca el fabricante” (Motores y generadores, 2020).

Figura 57*Mantenimiento de rodamientos y lubricación.**Fuente: autoría propia, 2023.***Figura 58***Bobinas de motor CC.**Fuente: autoría propia, 2023.*

h. Bobinas. Es la parte de las máquinas que incluyen los alambres magnetos encargados de la generación de campos magnéticos, necesarios para la operación de la máquina, sea esta un motor o un generador, de corriente alterna o directa. Estos bobinados están conformados por distintos materiales, y en conjunto forman un sistema con características propias. Los tres principales materiales son: los conductores, aislantes y núcleos magnéticos de hierro (Motores y Generadores, 2020).

- Medir la resistencia del bobinado con un multímetro en la unidad de ohmios.

$$R \text{ bobinado} = 1,6 \Omega$$

Figura 59

Valor de la resistencia del bobinado.



Fuente: autoría propia, 2023.

i. “Armadura o rotor. - Consiste en un electroimán que puede girar libremente entorno a un eje. Dicho rotor está rodeado por un imán permanente, cuyo campo magnético permanece fijo” (Caiza & Garzon, 2013).

Figura 60

Rotor del motor CC.



ARMADURA O ROTOR

Fuente: autoría propia, 2023.

- Medir la resistencia de armadura con un multímetro en la unidad de ohmios.

$R=1,8 \Omega$ como promedio

Figura 61

Resistencia de armadura en el motor CC.



Fuente: autoría propia, 2023.

Figura 62

Limpieza del protector de escobillas.



Fuente: autoría propia, 2023.

j. Limpieza total de las partes del motor con WD-40 (protector contra el óxido y corrosión), huaípe, lija faneli de hierro 250 y utilizando guantes.

Figura 63

Limpieza de la estructura principal del motor.



Fuente: autoría propia, 2023.

k. Una vez culminado el mantenimiento del motor de CC, se procede a ensamblar todas las partes, tener en cuenta que se encuentren colocadas de manera correcta, ya que al momento de realizar el arranque puede generar inconvenientes.

3.7 Conexiones en el motor de corriente continua

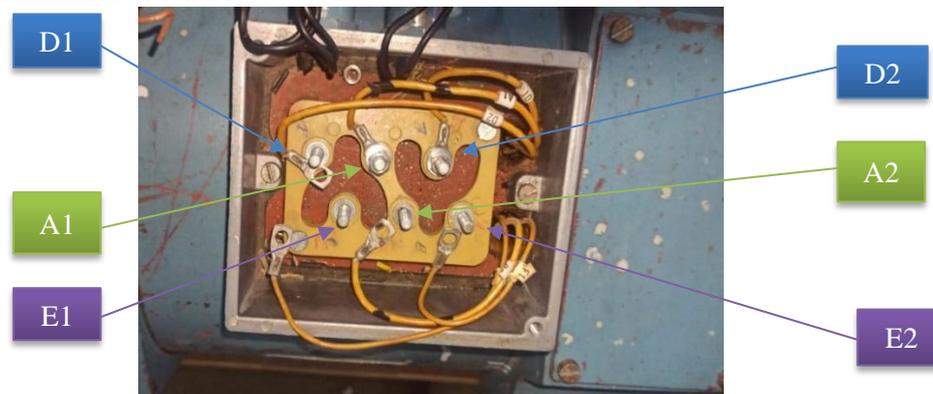
Conexión en serie

a. Para tener un buen funcionamiento de arranque de un motor lo primero que se tiene que hacer es un mantenimiento profundo del motor, con el multímetro identificando en los terminales:

- Bobina D1-D2
- Bobina E1-E1
- Escobillas A1-A2

Figura 64

Terminales del motor de CC.

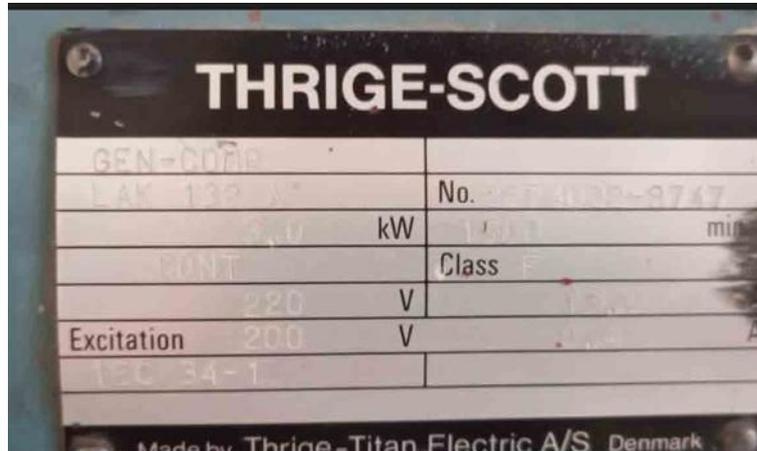


Fuente: autoría propia, 2023.

b. Identificar el voltaje del motor para realizar una conexión en serie y no tener ninguna dificultad al momento de la conexión.

Figura 65

Placa del motor de CC.



Fuente: autoría propia, 2023.

c. Diagrama de conexión en serie de un motor CC.

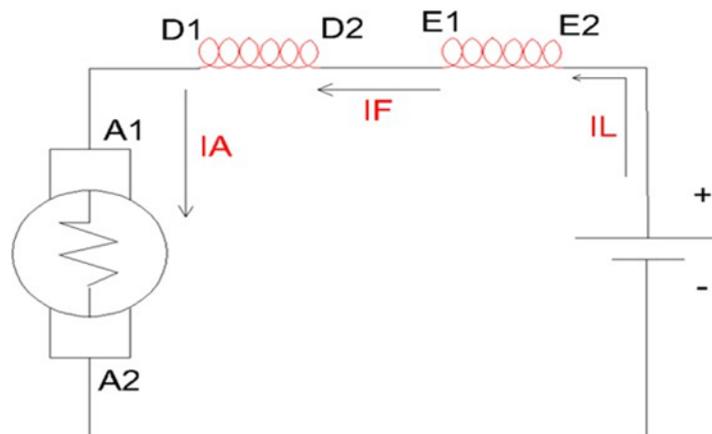
IF= Intensidad de campo

IL= Intensidad de línea

IA= Intensidad de armadura

Figura 66

Diagrama de una conexión en serie del motor de CC.

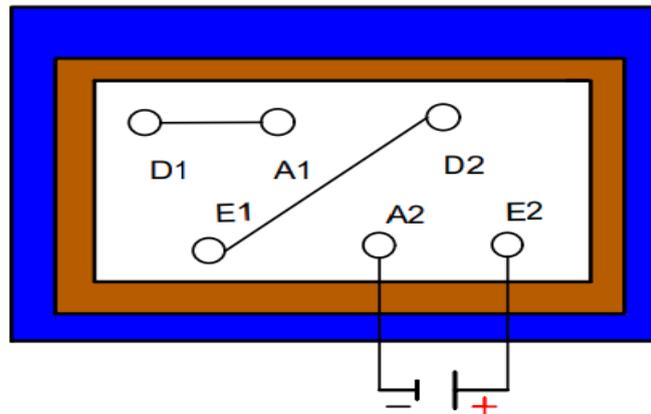


Fuente: autoría propia, 2023.

d. Con el diagrama de conexión en serie de corriente continua, realizar la unión de cables según la figura 66.

Figura 67

Conexión de los terminales en serie.

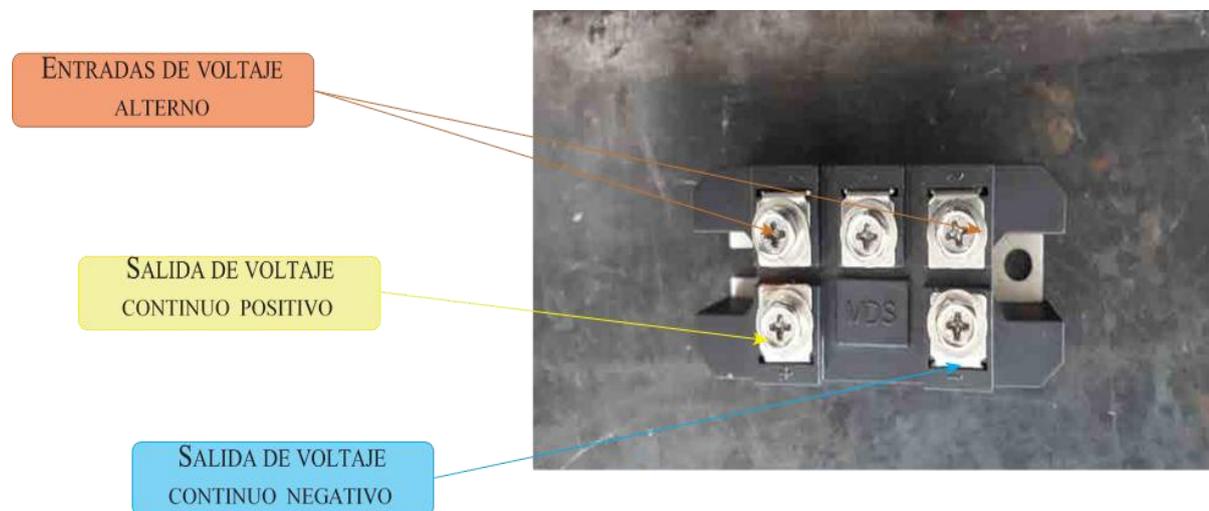


Fuente: autoría propia, 2023.

e. Una vez realizado la conexión en serie con una fuente de 220 VCC se enciende el motor.

Figura 68

Puente rectificador de diodos.



Fuente: autoría propia, 2023.

f. Realizar las conexiones en el tablero de control para el encendido del motor.

Figura 69

Tablero de control conexión en serie del motor de CC.



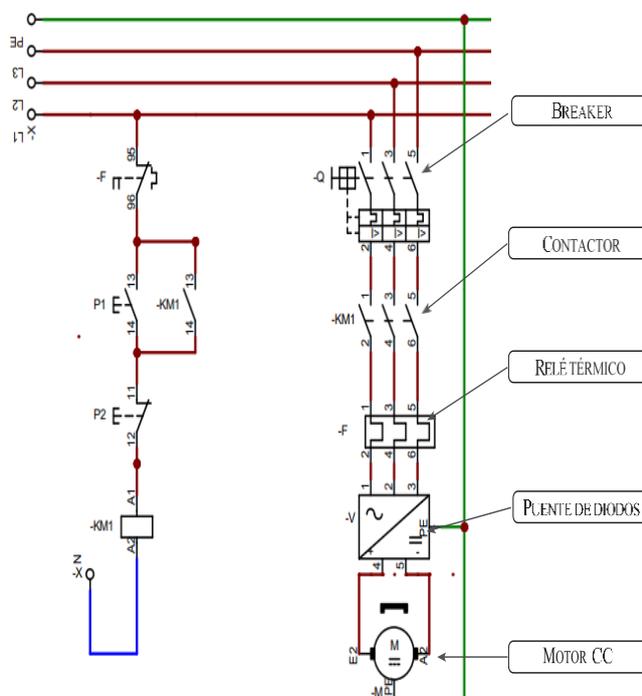
Fuente: autoría propia, 2023.

En este punto se utilizó:

- Un contactor
- Un pulsador de encendido
- Un pulsador de apagado
- Breaker de 220V

Figura 70

Diagrama de fuerza y control para arrancar el motor CC.



Fuente: autoría propia, 2023.

g. Con la ayuda de un amperímetro medir A1 – D1 teniendo un valor de 0.29 A.

Figura 71

Conexión en serie-medición de amperaje A1-D1.



Fuente: autoría propia, 2023.

h. Medir D2 -E1 teniendo un valor de 0.30A.

Figura 72

Conexión en serie-medición de amperaje D2-E1.



Fuente: autoría propia, 2023.

i. Medir A2 – E2 teniendo un valor de 0.28A.

Figura 73

Conexión en serie-medición de amperaje A2-E2.



Fuente: autoría propia, 2023.

Resultados de la conexión en serie del motor CC

Tabla 5

Resultados obtenidos de las mediciones.

Resultados de la conexión en Serie del motor CC		
IF	D2+E1	0,30A
IA	A1+D1	0,29A
IL	E2+A2	0,29A
VL	A2+E2	0,28VCC

Fuente: autoría propia, 2023.

j. Una vez concluida con la práctica realizar el encendido del motor sin ninguna novedad y con un buen arranque del motor.

Figura 74

Conexión de los circuitos de control y de mando para el motor CC.



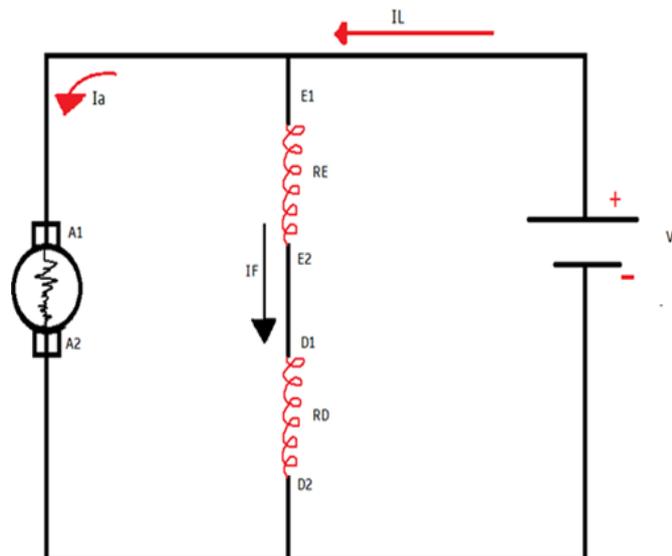
Fuente: autoría propia, 2023.

Conexión en shunt o paralelo

a. Diagrama de conexión en shunt o paralelo del motor CC.

Figura 75

Diagrama de conexión shunt o paralela.

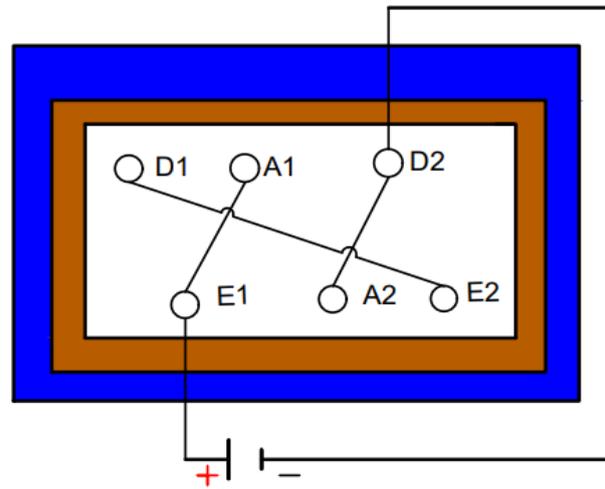


Fuente: autoría propia, 2023.

b. Conexión de los terminales en shunt o paralelo de acuerdo al diagrama de la figura 75.

Figura 76

Conexión de terminales en shunt o paralelo.



Fuente: autoría propia, 2023.

c. Medir el las corrientes de línea, campo y armadura.

$I_L = 1,59 \text{ A}$

$I_F = 1,59 \text{ A}$

$I_A = 1,59 \text{ A}$

Figura 77

Conexión en shunt o paralelo-medición de amperaje.



Fuente: autoría propia, 2023.

d. Medir el voltaje en la conexión paralela del motor CC.

$V_L = 247 \text{ V}$

Figura 78

Conexión en shunt o paralelo-medición de voltaje.



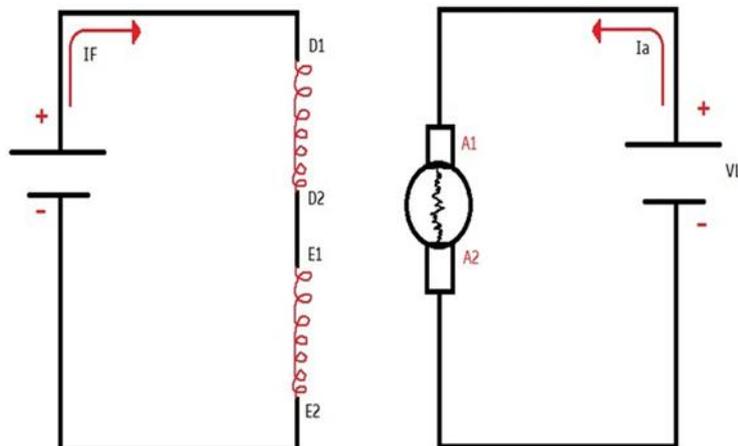
Fuente: autoría propia, 2023.

Conexión en excitación independiente

e. Diagrama de conexión en excitación independiente de un motor CC.

Figura 79

Diagrama de conexión excitación independiente.

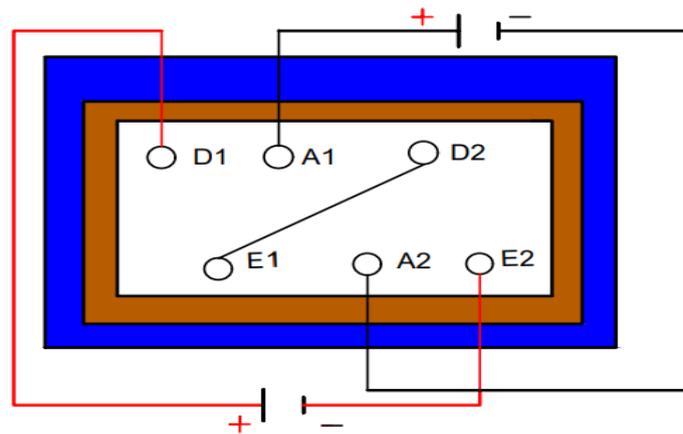


Fuente: autoría propia, 2023.

f. Conexión de los terminales en excitación independiente de acuerdo al diagrama de la figura 79.

Figura 80

Conexión de terminales en excitación independiente.



Fuente: autoría propia, 2023.

Figura 81

Conexión del puente rectificador de diodos.



Fuente: autoría propia, 2023.

g. En este proceso se realizará la conexión del puente rectificador de diodos en el cual ingresara de 220 VAC alterna para que a la salida obtener 220 VCC el cual permite el funcionamiento correcto de la práctica previamente en el esquema que se ha otorgado antes de la clase.

Figura 82

Conexión del puente rectificador de diodos hacia el motor.

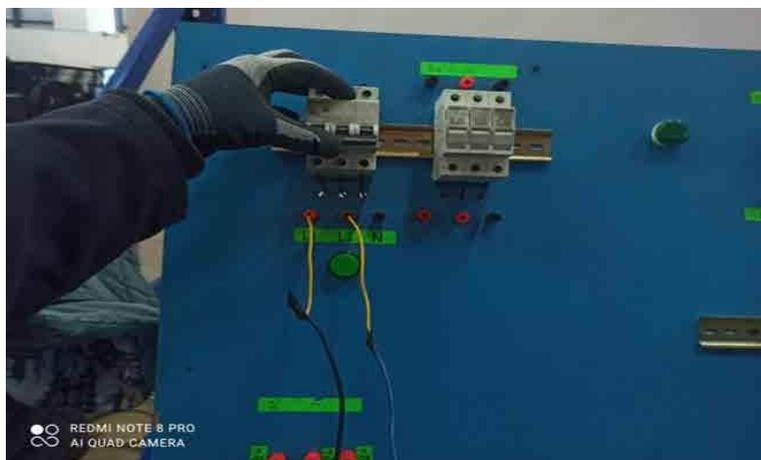


Fuente: autoría propia, 2023.

h. Se procede a realizar las conexiones de potencia y control en el tablero con un breaker, contactor, relé térmico, puente de diodos y finalmente el motor de CC según el diagrama a continuación.

Figura 83

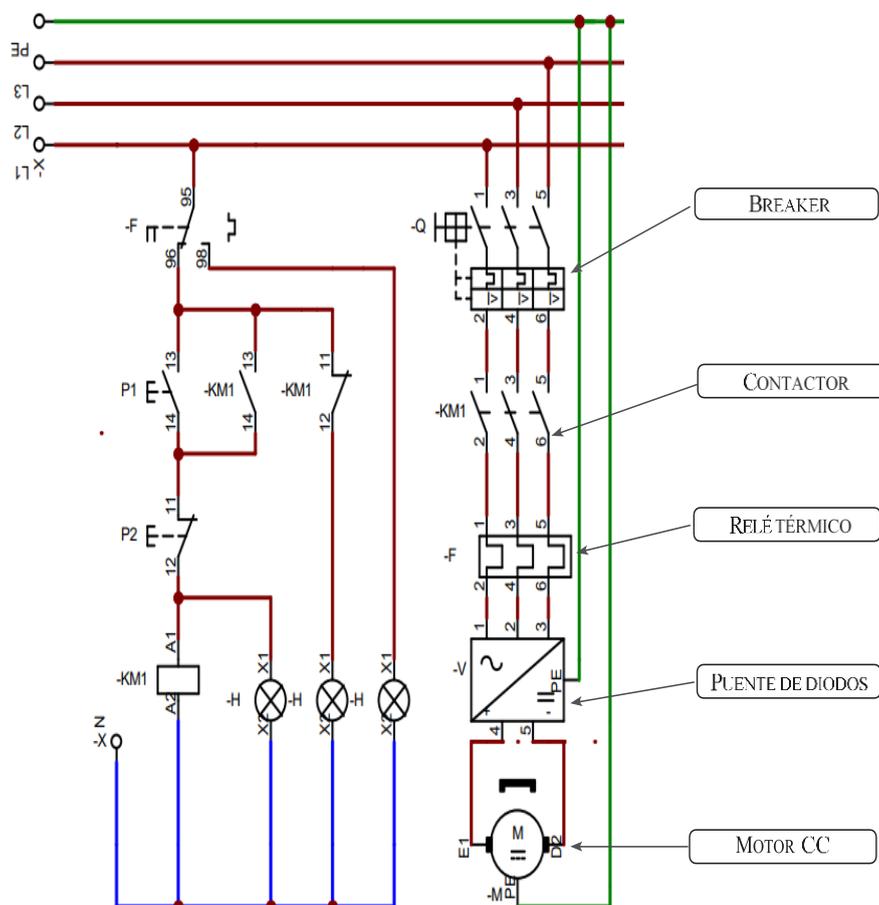
Salida de voltaje 220 VAC hacia el contactor.



Fuente: autoría propia, 2023.

Figura 84

Diagrama de control y fuerza.



Fuente: autoría propia, 2023.

Figura 1

Funcionamiento del motor CC de acuerdo al diagrama de la figura 84.



Fuente: autoría propia, 2023.

i. Medición escobillas.

$I_F = 0,03 \text{ A}$

Figura 86

Conexión en excitación independiente-medición de amperaje.



Fuente: autoría propia, 2023.

j. Medición del voltaje en el puente rectificador de diodos.

$V_L = 196$

Figura 87

Voltaje obtenido del puente rectificador de diodos.



Fuente: autoría propia, 2023.

k. Medición de bobinas

$I_{A-IL} = 0,07 \text{ A}$

$I_L = I_F$

Figura 88

Corriente obtenida del motor terminales A1 y A2.



Fuente: autoría propia, 2023.

I. Voltaje obtenido en la conexión del motor mediante sus terminales entre A1 y A2.
 $V_L = 72,9$

Figura 89

Voltaje obtenido del motor terminales A1 y A2.



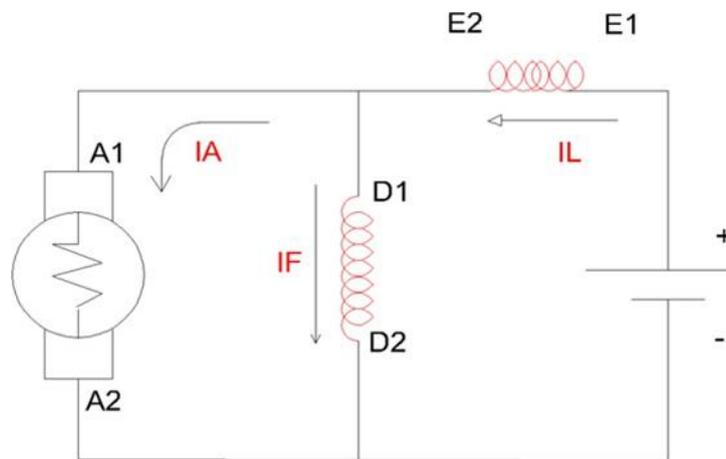
Fuente: autoría propia, 2023.

Conexión en derivación corta

a. Diagrama de conexión en derivación corta de un motor CC.

Figura 90

Diagrama en derivación corta.

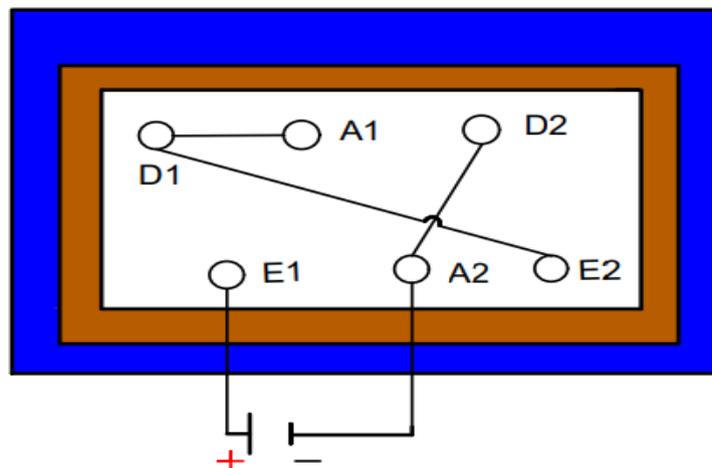


Fuente: autoría propia, 2023.

b. Conexión de los terminales en derivación corta de acuerdo al diagrama de la figura 90.

Figura 91

Conexión de terminales en derivación corta.



Fuente: autoría propia, 2023.

c. Conexión del puente rectificador de diodos con un voltaje de alimentación 220 VAC, del cual se obtendrá una salida de 220 VCC, que permitirá el correcto funcionamiento del arranque del motor CC.

Figura 92

Conexión del puente rectificador de diodos a 220 VAC.



Fuente: autoría propia, 2023.

d. Con la ayuda del módulo de un contactor se realiza la conexión para el encendido del motor.

Figura 93

Conexión del contactor.



Fuente: autoría propia, 2023.

e. Arranque del motor CC en derivación corta.

Figura 94

Arranque motor CC en derivación corta.



Fuente: autoría propia, 2023.

f. Medición escobillas E2-E1, en donde se obtiene un valor de 232 VCC.

Figura 96

Conexión derivación corta-medición de escobillas.



Fuente: autoría propia, 2023.

g. Medición del voltaje en el puente rectificador de diodos, con una salida de 232 VCC.

Figura 97

Conexión derivación corta-medición de voltaje.



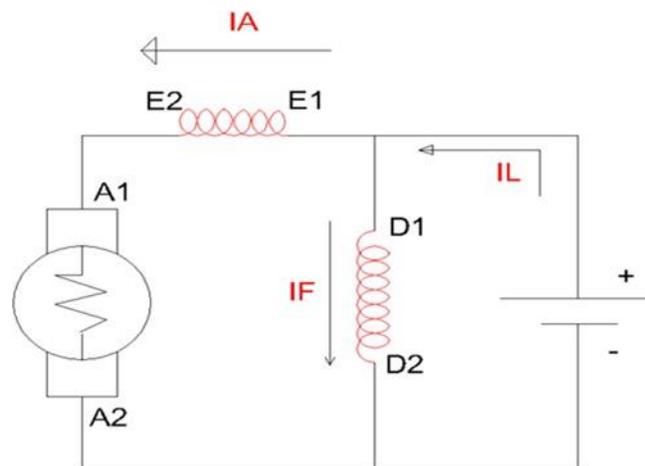
Fuente: Autoría propia, 2023.

Conexión en derivación larga

a. Diagrama de conexión en derivación larga del motor CC.

Figura 98

Diagrama en derivación larga.

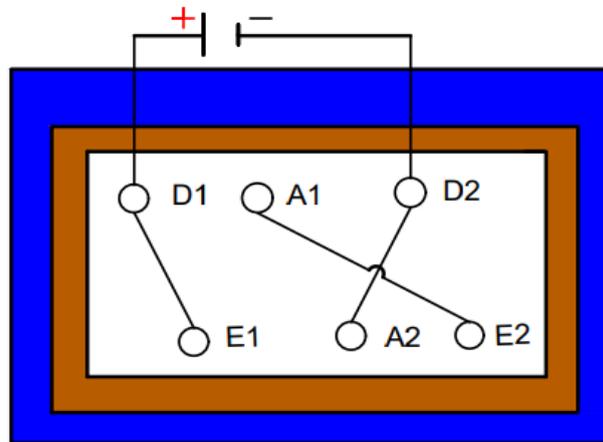


Fuente: autoría propia, 2023.

b. Conexión de los terminales en derivación larga de un motor CC de acuerdo al diagrama de la figura 98.

Figura 99

Conexión de terminales en derivación larga.



Fuente: autoría propia, 2023.

c. Conexión del puente rectificador de diodos con un voltaje de alimentación 220 VAC, del cual se obtendrá una salida de 220 VCC, que permitirá el correcto funcionamiento del arranque del motor CC.

Figura 100

Conexión del puente rectificador de diodos 220 VAC.



Fuente: autoría propia, 2023.

d. Con la ayuda del módulo de un contactor se realiza la conexión para el encendido del motor.

Figura 101

Conexión del contactor.



Fuente: autoría propia, 2023.

e. Arranque del motor CC en derivación larga.

Figura 102

Arranque motor CC en derivación larga.



Fuente: autoría propia, 2023.

f. Medición del voltaje en el puente rectificador de diodos, con una salida de 232 VCC.

Figura 103

Conexión derivación larga-medición de escobillas.



Fuente: autoría propia, 2023.

g. Medición de la corriente en las escobillas E2-E1, del cual se obtiene un valor de 0.11A.

Figura 104

Conexión derivación larga-medición de corriente.



Fuente: autoría propia, 2023.

h. Medición del voltaje en los terminales A1-A2 del motor CC, del cual se obtiene un valor de 232 VCC.

Figura 105

Conexión derivación larga-medición de voltaje.



Fuente: autoría propia, 2023.

Resultados obtenidos

Tabla 6

Resultados obtenidos de las mediciones.

Resultados de la conexión en serie del Motor CC.		
IF	D2+E1	0,12A
IA	A1+D1	0,12A
IL	A2+E1	0,12A
VL	A1+A2	230VCC

Fuente: autoría propia, 2023.

3.8 Inversión de giro en los motores universales

Introducción

Existen diferentes tipos de arranque en los motores AC pueden ser inductivos con encendido mediante inducción, capacitivos con encendido por inducción o encendido por condensador. Los motores de corriente alternan pueden ser de un voltaje o doble con uno o dos bobinados respectivamente. En los motores de doble voltaje, como los de 110/220V, los devanados se conectan en serie o paralelo según el voltaje del sistema. Por otro lado, el sentido de rotación del motor CC se basa en la forma de la conexión de la bobina de arranque. Al cambiar la polaridad en relación con la bobina principal, se cambia el sentido de giro de los motores AC monofásicos (Walch, 2017).

“La inversión del giro permite al motor monofásico ejercer fuerza mecánica en sentidos opuestos, aunque no de forma simultánea. Por ejemplo, cuando se utiliza un motor de este tipo para elevar una plataforma para vehículos, se puede invertir el giro para pararla.

Un motor monofásico es una máquina rotativa alimentada por corriente eléctrica capaz de transformar la energía eléctrica en mecánica. Sin embargo, para

que esa energía mecánica se pueda ejercer en diferentes sentidos, se ha de producir la inversión de giro del motor” (Ruta 401, 2018).

“El motor universal es un tipo de motor que puede ser alimentado con corriente alterna o con corriente continua. Son conocidos también con el sobrenombre de motor monofásico en serie. La velocidad es directamente proporcional a la corriente y el arranque es muy elevado. Cuando se tiene un voltaje de alterna la velocidad es menor a si tiene un voltaje de corriente continua. Los motores universales están diseñados para potencias menores a los 0.5 CV (caballos vapor) y velocidades de hasta 3000 r.p.m” (Villa, 2023).

“La inversión del giro permite al motor monofásico ejercer fuerza mecánica en sentidos opuestos, aunque no de forma simultánea” (Ruta 401, 2018).

A continuación, se detallará el procedimiento para cambiar la dirección de rotación del motor CC.

“El sentido de rotación o giro de algunos motores universales de aparatos accionados con ellos no puede ser cambiado ya que, al hacerlo, podrían dañarse dichos aparatos o las personas que los opera, por lo que antes de efectuar un cambio de sentido en la rotación de un motor, debe analizar cuidadosamente las consecuencias.

El cambio de sentido de giro del motor universal, lo puede realizar cambiando las conexiones de los carbones o escobillas” (Motor AC, 2014).

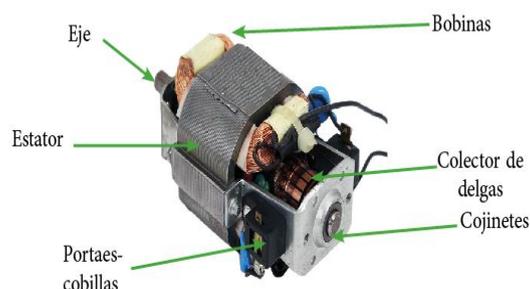
“Otras veces, se montan dos devanados en el estator por los que la corriente circula en sentido opuesto, y se invierte el sentido de giro con un conmutados exterior” (Motor AC, 2014). Las conexiones que se pueden realizar en un motor universal con corriente continua son las mismas que se realizan en un motor CC, ya que su constitución es similar, para esto se debe conseguir el motor de una licuadora.

Mantenimiento del motor universal

a. Identificar las partes del motor universal.

Figura 106

Partes del motor universal.



Fuente: autoría propia, 2023.

b. Realizar el desmontaje de las partes, en este proceso se debe tener precaución para que los cojinetes no se dañen, porque puede provocar que el rotor y el estator entre en contacto, por consecuencia al momento de alimentar el motor y no gire.

Figura 107

Desmontaje del motor universal.



Fuente: autoría propia, 2023.

c. Limpieza del motor con una lija faneli para eliminar el óxido.

Figura 2

Eliminación de óxido.



Fuente: autoría propia, 2023.

d. Con un guaípe y Dw40 limpiar las partes fijas y móviles para eliminar la suciedad.

Figura 109

Limpieza de las partes fijas y móviles.



Fuente: autoría propia, 2023.

e. Una vez realizado la limpieza verificar que las bobinas inductoras no este conectadas entre, si están conectadas se debe separar las bobinas para que sea dos bobinas independientes, luego verificar con el multímetro que entre los extremos de las bobinas exista continuidad para realizar la conexión en el módulo.

Figura 110

Reconocimiento de las bobinas.



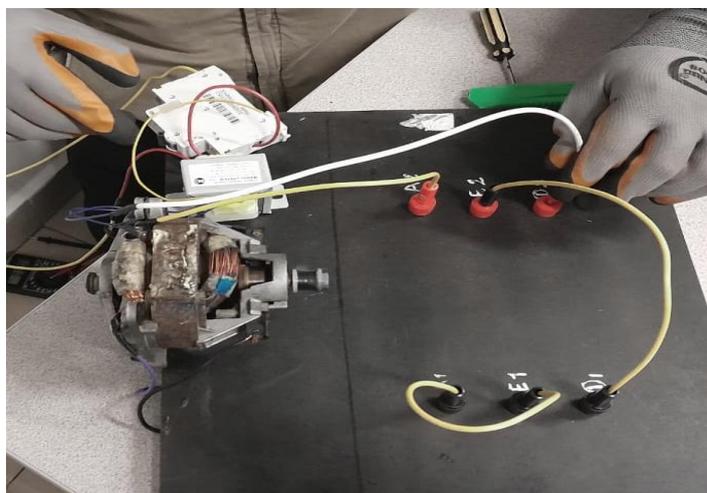
Fuente: autoría propia, 2023.

f. Verificar que las escobillas se encuentren en buen estado y sacar los terminales de las bobinas y de las escobillas para armar el módulo, para esto se utilizó:

- Cable
- Plugs banana hembra
- Cinta aislante

Figura 111

Módulo del motor universal.



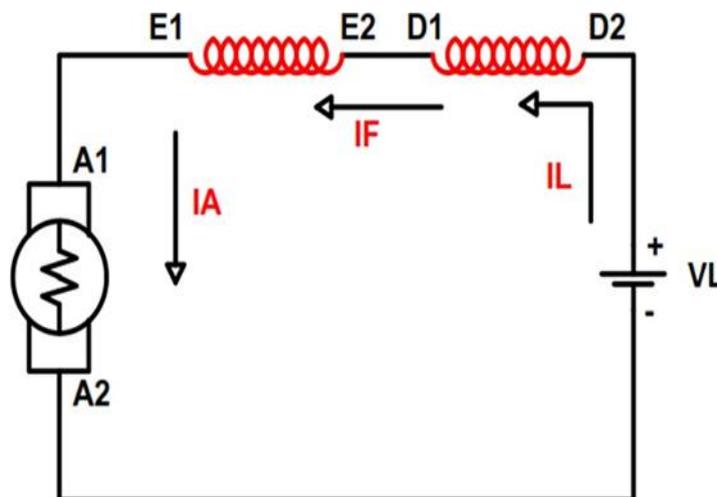
Fuente: autoría propia, 2023.

Conexión en serie

Es la única que se puede ocupar en corriente alterna y continua en un motor universal, su funcionalidad será deficiente con las demás conexiones, porque el motor no trabajará de manera eficiente.

Figura 112

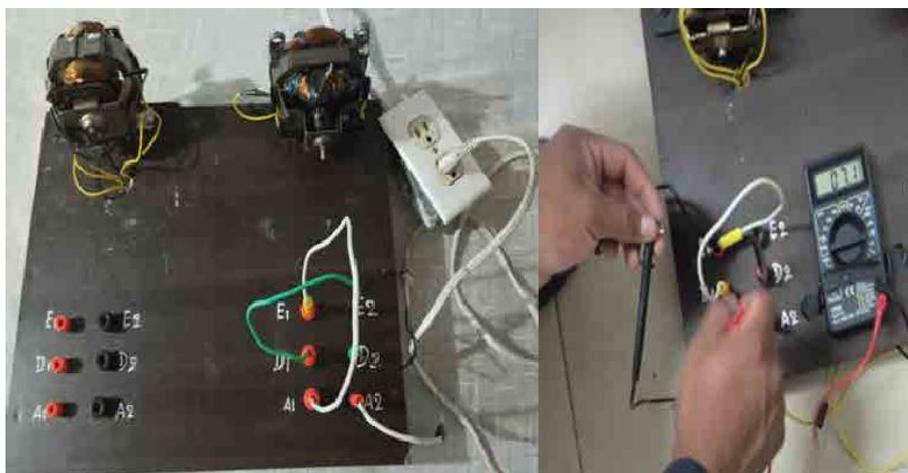
Diagrama de conexión en serie del motor monofásico universal.



Fuente: autoría propia, 2023.

Figura 113

Conexión serie del motor monofásico universal en tablero.



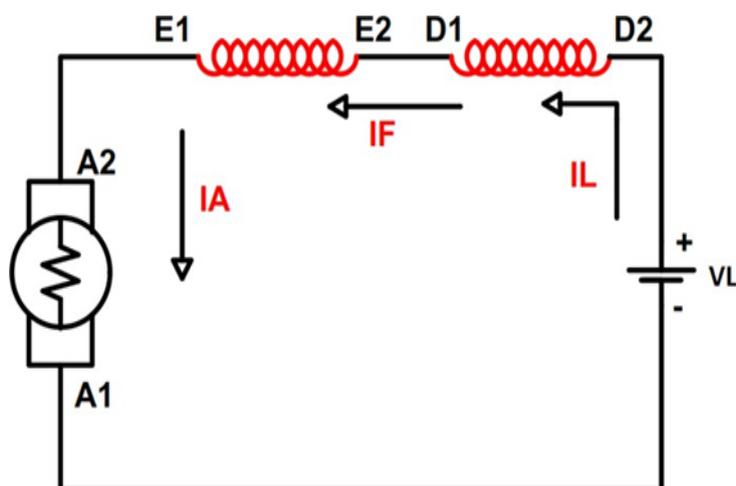
Fuente: autoría propia, 2023.

- Se da la inversión de giro de un motor en serie al cambiar la conexión de las escobillas o carbones A1-A2, este gira en sentido anti horario con una corriente de 0.02 A.

Inversión del giro conexión del motor en serie

Figura 114

Diagrama de inversión de giro en serie de un motor monofásico universal, conmutando la conexión de las escobillas o carbones.



Fuente: autoría propia, 2023.

Figura 115

Diagrama conexión inversión de giro en serie.



Fuente: autoría propia, 2023.

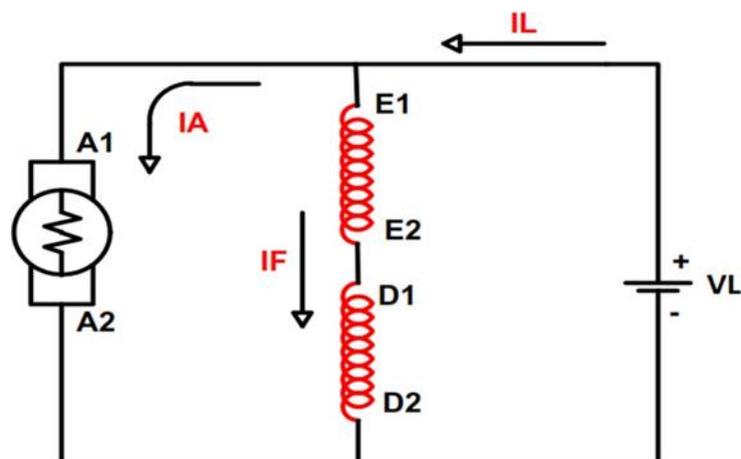
En la inversión de giro en serie cuando se cambia la conexión de las escobillas o carbones A1 - A2, esta gira en sentido anti horario con una corriente de 0.02 mA.

Conexión en paralelo

En los circuitos en paralelo, la intensidad se distribuye entre los elementos, mientras que el voltaje es el mismo en todos los componentes.

Figura 116

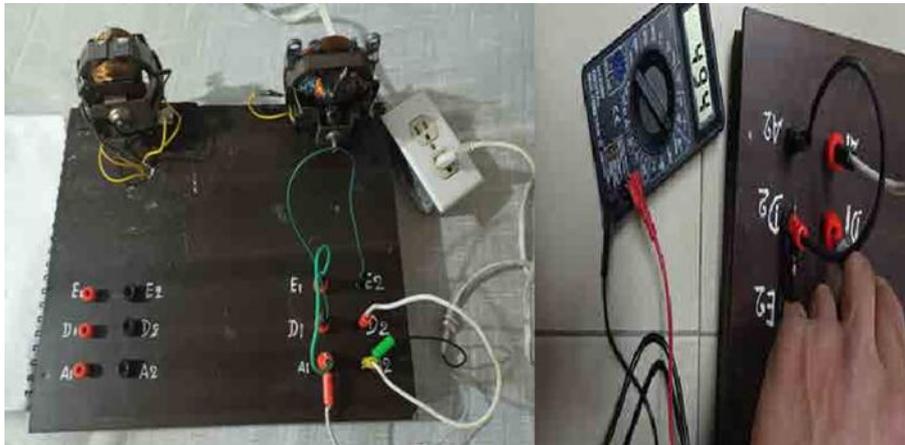
Diagrama de conexión en paralelo.



Fuente: autoría propia, 2023.

Figura 117

Conexión en paralelo del motor monofásico universal.



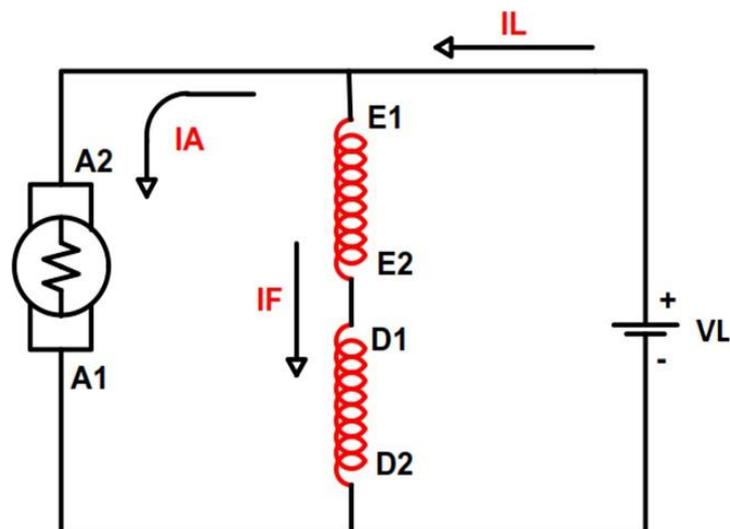
Fuente: autoría propia, 2023.

Cuando se conecta el motor en paralelo en sentido horario, la corriente de consumo es de 494 mA.

Inversión de giro conexión en paralelo

Figura 118

Diagrama de inversión de giro paralelo de un motor universal, conmutando las conexiones de las escobillas o carbones.



Fuente: autoría propia, 2023.

Figura 119

Conexión inversión de giro conexión en paralelo.



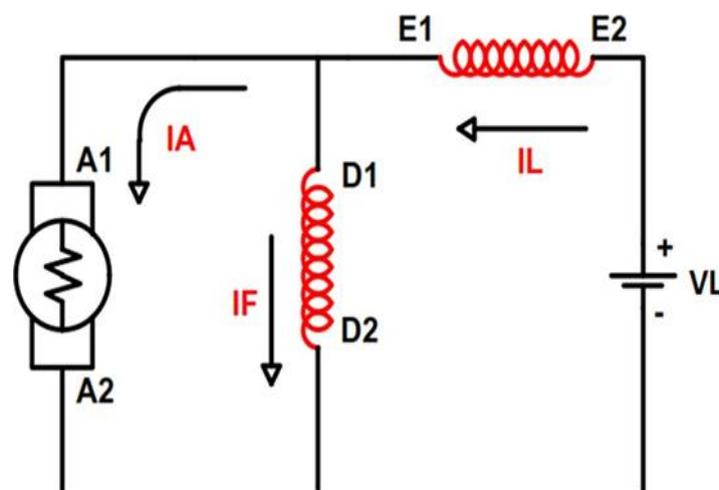
Fuente: autoría propia, 2023.

Se da la inversión de giro en un motor en paralelo al cambiar la conexión de las escobillas o carbones A1-A2, este gira en sentido anti horario con una corriente de 323 mA.

Conexión derivación corta

Figura 120

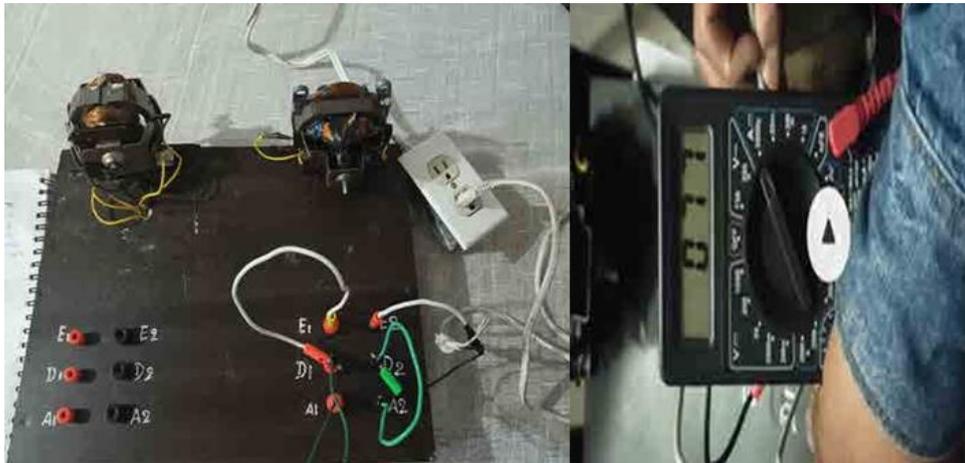
Diagrama derivación corta.



Fuente: autoría propia, 2023.

Figura 121

Conexión en derivación corta.



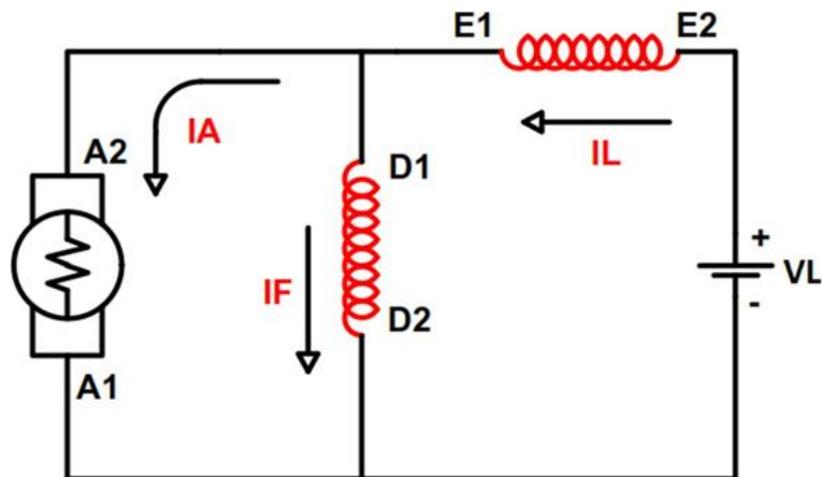
Fuente: autoría propia, 2023.

Cuando se conecta el motor en derivación corta en sentido horario la corriente de consumo es de 77 mA.

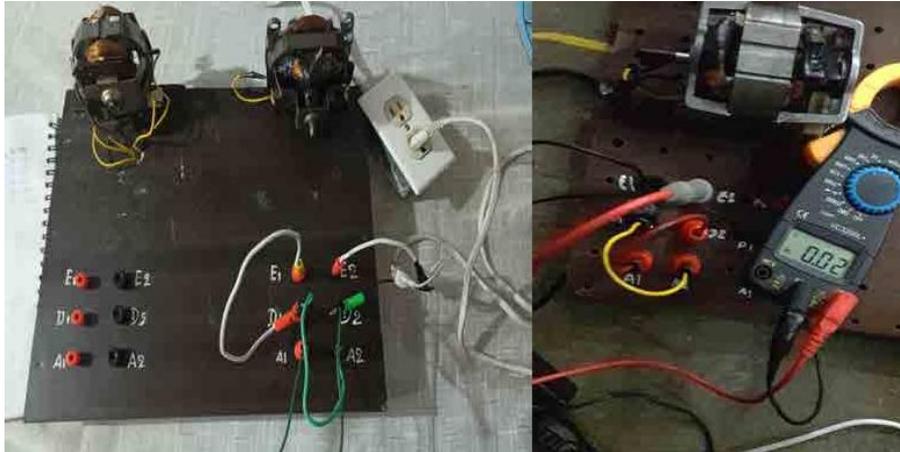
Inversión de giro derivación corta

Figura 122

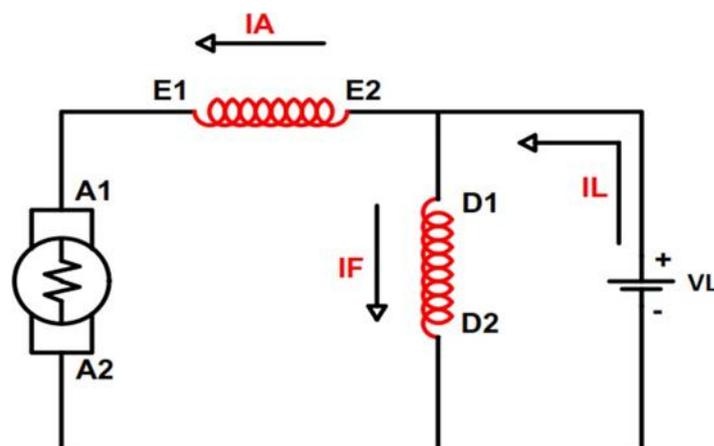
Diagrama de inversión de giro derivación corta de un motor universal, conmutando las conexiones de las escobillas o carbones.



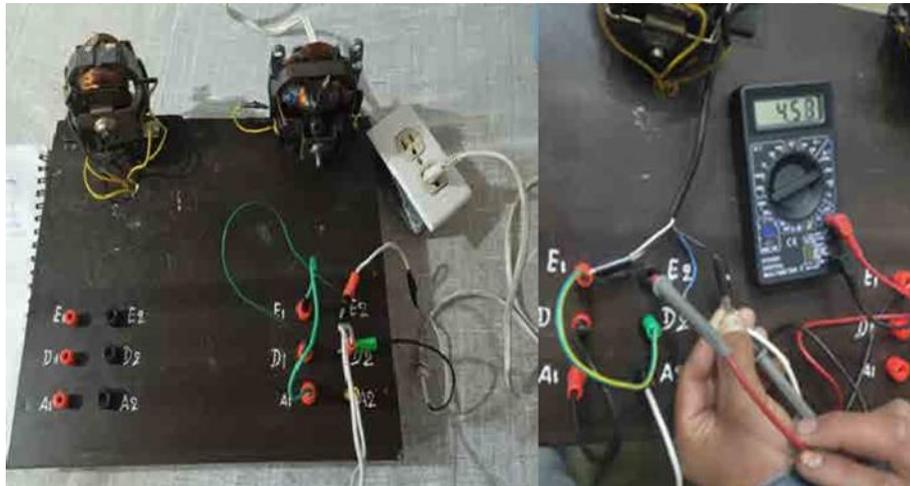
Fuente: autoría propia, 2023.

Figura 123*Inversión de giro derivación corta.**Fuente: autoría propia, 2023.*

En la inversión de giro en serie cuando se cambia la conexión de las escobillas o carbones A1 - A2 gira en sentido anti horario con una corriente es: 0.02 mA.

Conexión derivación larga**Figura 124***Diagrama derivación larga.**Fuente: autoría propia, 2023.*

La corriente es: 4.58 mA.

Figura 125*Conexión derivación larga.**Fuente: autoría propia, 2023.*

Cuando se conecta el motor en derivación en sentido horario la corriente de consumo es de 4.58 mA.

Inversión giro derivación larga**Figura 125**

Diagrama de inversión de giro derivación larga de un motor universal, conmutando las conexiones de las escobillas o carbones.

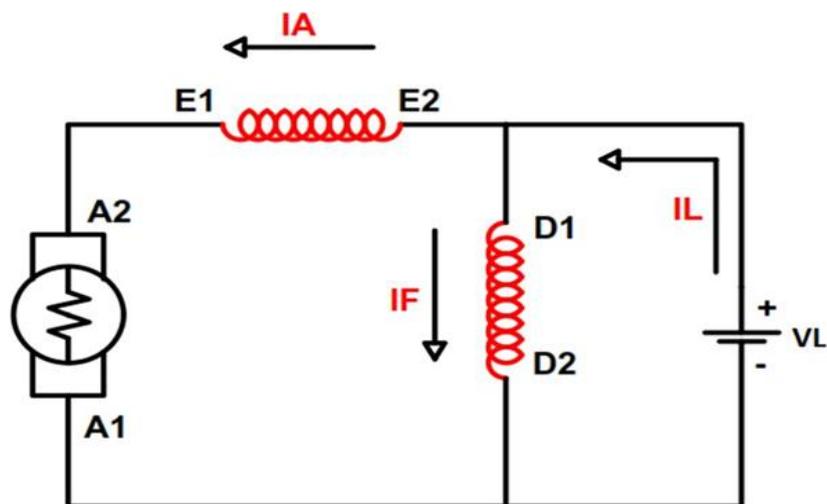
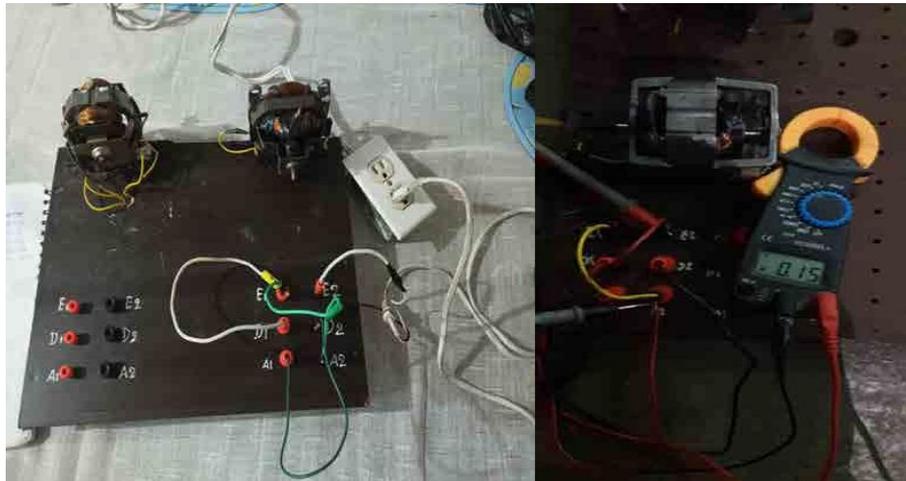
*Fuente: autoría propia, 2023.*

Figura 126

Inversión giro derivación larga.



Fuente: autoría propia, 2023.

Se da la inversión de giro en derivación larga del motor al cambiar la conexión de las escobillas o carbones A1 - A2, este gira en sentido anti horario con una corriente de 0.15 mA.

3.8 Arranque del motor

“El arranque de un motor es el instante en que conecta a la red. En ese momento, el par motor debe ser mayor que el par resistente que opone la carga” (Automatismoindustrial, 2018).

Al momento del encendido, el motor al estar en reposo la velocidad es cero, lo que implica que su fuerza contraelectromotriz también es cero debido a que mantienen una relación constante. Como resultado todo el voltaje de alimentación consume la bobina del inducido, por esta razón, en el momento del encendido, la corriente que atraviesa la máquina es demasiado alta, ya que puede alcanzar rangos de diez veces la corriente nominal comparada con la condición de funcionamiento normal, especialmente para los motores con una alta potencia, esto sucede cuando el motor ha alcanzado una velocidad constante y el par motor se equilibra con el par resistente de la carga (Automatismoindustrial, 2018).

“La intensidad que recorre el inducido tiene por expresión” (Automatismoindustrial, 2018):

$$I_i = \frac{U - E - 2U}{R_i} \approx \frac{U - E}{R_i}$$

Donde:

U: Voltaje aplicado

I_i : Corriente del inducido.

E: Fuerza electromotriz

R_i : Resistencia del inducido.

“Como en el arranque $E=0$, ya que $\omega=0$, la expresión anterior resulta” (Automatismoindustrial, 2018):

$$I_{arr} = \frac{U - 0}{R_i}$$

Donde:

I_{arr} : Corriente de arranque

U: Voltaje aplicado

R_i : Resistencia del inducido.

Con el fin de delimitar la intensidad del arranque a niveles adecuados para las diferentes necesidades de trabajo y evitar daños en las bobinas se añade al inducido una resistencia conectada en serie, el cual consiste de un reóstato para el arranque de muchos niveles, que al momento de arrancar “estará totalmente introducido y que durante el proceso de cebado del motor hasta alcanzar el régimen nominal se va extrayendo, bien manualmente, o bien automáticamente mediante dispositivos electrónicos, el número de saltos o “plots” que presente el reóstato de arranque dependerá de la suavidad que precise el arranque y de la potencia del motor” (Junta de Andalucía, 2011).

“Además de estos reóstatos también se utilizan otros equipos, como variadores electrónicos de tensión, generalmente de tiristores (SCR), se alimentan con corriente alterna que convierten en tensión continua variable, permitiendo el arranque por aplicación creciente de tensión, limitando la corriente y el par de arranque” (Automatismoindustrial, 2018).

“El criterio para elegir el uso de los diferentes sistemas de arranque suelen ser soluciones de compromiso de tipo técnico-económica” (Automatismoindustrial, 2018).

3.9 Métodos de arranque del motor de corriente continua

La ecuación básica de voltaje operacional de un motor de CC se da como $E = E_{segundo} + I_{una}R_{una}$ y por lo tanto, $I_{una} = (E - E_{segundo}) / R_{una}$

Ahora, cuando el motor está en reposo, obviamente, la parte trasera $E_{segundo} = 0$. Por lo tanto, la corriente de armadura en el momento del arranque se puede dar como $I_{una} = E / R_{una}$. En máquinas de corriente continua la resistencia de armadura es básicamente muy baja, generalmente alrededor de 0.5Ω . Por lo tanto, una gran corriente fluye a través de la armadura durante el arranque, esta corriente es lo suficientemente grande como para dañar el circuito de la armadura.

Debido a esta corriente de arranque excesiva:

- Los fusibles pueden explotar y la disposición del cepillo del conmutador y/o de la armadura puede dañarse.
- Se producirá un par de arranque muy alto (como el par de torsión es directamente proporcional a la corriente de la armadura), y este par de arranque alto puede causar una gran fuerza centrífuga que puede desprenderse del devanado de la armadura.
- Otras cargas conectadas a la misma fuente pueden experimentar una caída en el voltaje del terminal.

Un motor de CC grande aumentará la velocidad muy lentamente, debido a la gran inercia del rotor. Por lo tanto, subirá lentamente el nivel de la corriente de arranque mantenida durante bastante tiempo, lo que puede causar daños severos, para evitar esto, se debe utilizar un adecuado motor CC. Sin embargo, los motores de CC muy pequeños se pueden iniciar directamente conectándolos al suministro eléctrico con la ayuda de un contactor o un interruptor; no produce ningún daño porque aumentan la velocidad rápidamente debido a la inercia del rotor pequeño. En este caso, la gran corriente de arranque se extinguirá rápidamente debido al rápido aumento de la F.e.m (Urdaneta, 2012).

Arrancadores de motor DC

Para evitar los peligros anteriores mientras arrancando un motor de corriente continua, es necesario limitar la corriente de arranque. Entonces, un motor de corriente continua se arranca usando un arrancador. Hay varios tipos de arrancadores de motor de corriente continua, como arrancador de 3 puntos, arrancador de 4 puntos, arrancador de bobina de liberación sin carga, arrancador del controlador de tiristores, etc.

El concepto básico detrás de cada motor de arranque CC está agregando resistencia externa al devanado de la armadura durante el arranque; de los siguientes puntos, se utilizan arrancadores de 3 puntos y arrancadores de 4 puntos para arrancar motores de derivación y motores de bobina compuesta (Urdaneta, 2012).

Tres puntos de arranque

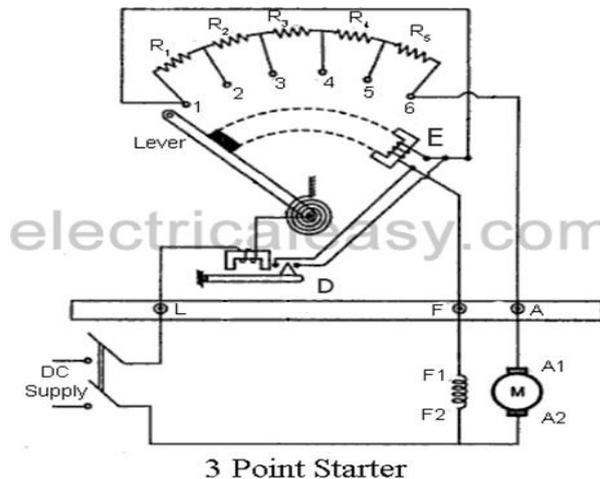
El cableado interno de un arranque de 3 puntos, es como se muestra en la figura 127.

Cuando se va a arrancar el motor dc conectado, la palanca se gira gradualmente hacia la derecha. Cuando la palanca toca el punto 1, el devanado de campo se conecta directamente a través del suministro, y el devanado de armadura se conecta con las resistencias R1 a R5 en serie. Durante el arranque, la resistencia total se agrega en serie con el devanado de la armadura. Luego, a medida que la palanca se mueve más lejos, la resistencia se corta gradualmente del circuito de la armadura. Ahora, cuando la palanca llega a la posición 6, toda la resistencia se elimina del circuito de la armadura y la armadura se conecta directamente a través del suministro. El electroimán "E" (sin bobina de tensión) mantiene la palanca en esta

posición. Este electroimán libera la palanca cuando no hay (o baja) tensión de alimentación.

Figura 127

Tres puntos de arranque.



Fuente: información tomada de Urdaneta, 2012.

Se puede ver que, cuando se mueve el brazo desde la posición 1 hasta la última posición, la resistencia de arranque se agrega en serie con el devanado de campo. Pero, como el valor de la resistencia de arranque es muy pequeño en comparación con la resistencia en derivación, la disminución en la corriente de campo en derivación puede ser despreciable. Sin embargo, para superar este inconveniente, se puede emplear un arco de latón o cobre dentro de un arrancador de 3 puntos que hace una conexión entre el brazo móvil y el devanado de campo, como se muestra la figura del arrancador de 4 puntos a continuación.

Cuando el motor está sobrecargado más allá de un predefinido valor, el "electroimán de liberación de sobreintensidad" D se activa, cortocircuita el electroimán E y, por esta razón, libera la palanca y el motor se apaga.

Arrancador de 4 puntos

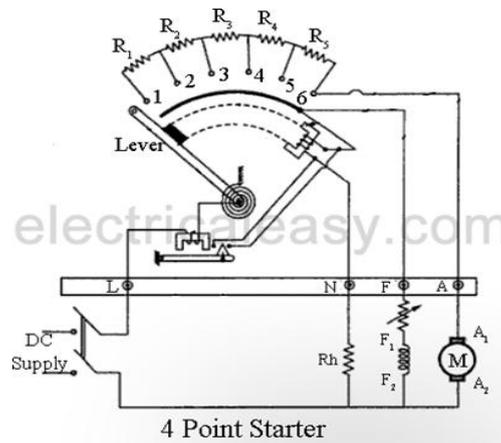
La principal diferencia entre un arrancador de 3 puntos y un arrancador de 4 puntos es que la bobina de voltaje (electroimán E) no está conectado en serie con la bobina de campo.

El devanado de campo se conecta directamente al suministro, a medida que la palanca se mueve al tocar el arco de latón (el arco debajo de los pernos de resistencia). La bobina sin voltaje (o la bobina de retención) está conectada con una resistencia limitadora de corriente R_h . Esta disposición garantiza que cualquier cambio de corriente en el campo de derivación no afectará en absoluto a la corriente a través de la bobina de retención. Esto significa que la tracción electromagnética de la bobina de retención siempre será suficiente para que el resorte no restablezca

innecesariamente la palanca a la posición de apagado. Se utiliza un arrancador de 4 puntos donde la corriente de campo se ajusta por medio de un reóstato de campo con el fin de operar el motor por encima de la velocidad nominal al reducir la corriente de campo (Urdaneta, 2012).

Figura 128

Arrancador de cuatro puntos.



Fuente: información tomada de Urdaneta, 2012.

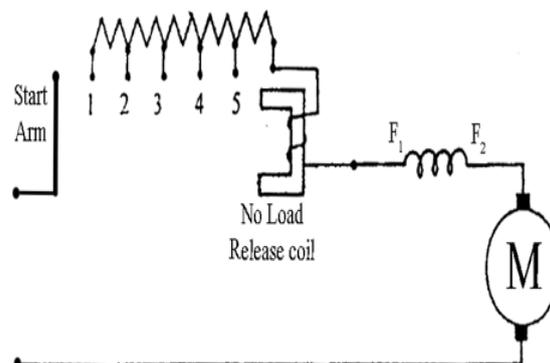
Arranque del motor DC en serie

La construcción de arrancadores de motor serie DC es muy básico como muestra la figura 129.

El mecanismo para arrancar simplemente se desplaza hacia la derecha para arrancar el motor; por ende, se realiza la conexión en serie de la resistencia máxima con el rotor en el instante de arrancar y posteriormente reduce progresivamente cuando el mecanismo se desplaza hacia la derecha. Este método de arranque también es conocido como arranque de dos puntos. La bobina sin liberación de carga mantiene el brazo de inicio en la posición de marcha y lo deja cuando se pierde el voltaje (Urdaneta, 2012).

Figura 129

Arrancador de motor serie CC.



Fuente: información tomada de Urdaneta, 2012.

¿Sabías que?

Según el reglamento electrotécnico artículo 36 para bajo voltaje menciona que para los motores con potencias superiores a 0.75 Kw, tienen la obligación de estar equipados con dispositivos equivalentes o reóstatos de arranque que regulen la corriente al momento de encender, garantizando así el cumplimiento de los valores mencionados a continuación:

Para $0,75 \text{ Kw} < P_{\text{motor}} < 1,5 \text{ Kw}$ $I_{\text{arranque}} < 2,5 I_{\text{nominal}}$

Para $1,5 \text{ Kw} < P_{\text{motor}} < 5 \text{ Kw}$ $I_{\text{arranque}} < 2 I_{\text{nominal}}$

Para $P_{\text{motor}} > 5 \text{ Kw}$ $I_{\text{arranque}} < 1,5 I_{\text{nominal}}$

3.10 Circuitos electrónicos de arranque

En la utilización de arrancadores de motores de CC en sus diferentes conexiones ingresa una parte fundamental que está directamente relacionada como es el control de velocidad que a continuación se abordará.

Sistema Ward-Leonard y los controladores de velocidad en estado sólido

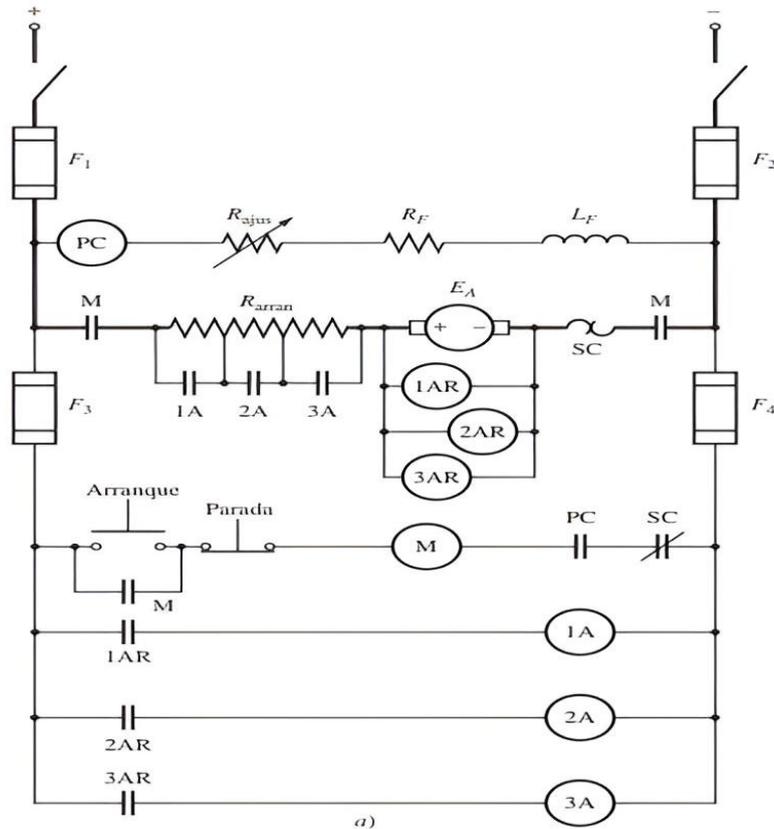
Se puede variar la velocidad de un motor de cd de excitación separada, en derivación o compuesto de tres maneras diferentes: cambiando la resistencia de campo, variando el voltaje del inducido o modificando la resistencia del inducido. De estos métodos, probablemente el más útil es el de control por voltaje del inducido, puesto que permite amplias variaciones de velocidad sin afectar el par máximo del motor” (Chapman, 2014, pág. 180).

“Se ha desarrollado un cierto número de sistemas de control de motor a través de los años para sacar ventaja de los altos pares y de la velocidad variable disponibles con el control por voltaje del inducido de los motores de cd. Antes de que hubiera componentes electrónicos en estado sólido, era muy difícil producir un voltaje de cd variable. De hecho, la manera normal de variar el voltaje del inducido de un motor de cd era alimentado con su propio generador de cd independiente” (Chapman, 2014, pág. 380).

“En la figura se puede ver un sistema de control por voltaje del inducido de este tipo. Esta figura muestra un motor de ca que sirve como motor primario de un generador de cd, que a su vez se utiliza para alimentar un voltaje de cd a un motor de cd. Este tipo de máquina se llama sistema Ward-Leonard y es extremadamente versátil” (Chapman, 2014, pág. 380).

Figura 130

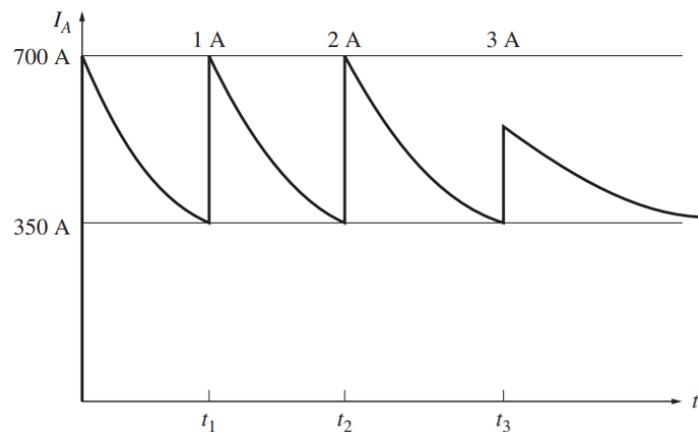
Circuito de arranque de un motor cd que utiliza relés sensores de contra tensión para eliminar el resistor de arranque



Fuente: información tomada de Chapman, 2014, 180, p. 381.

Figura 131

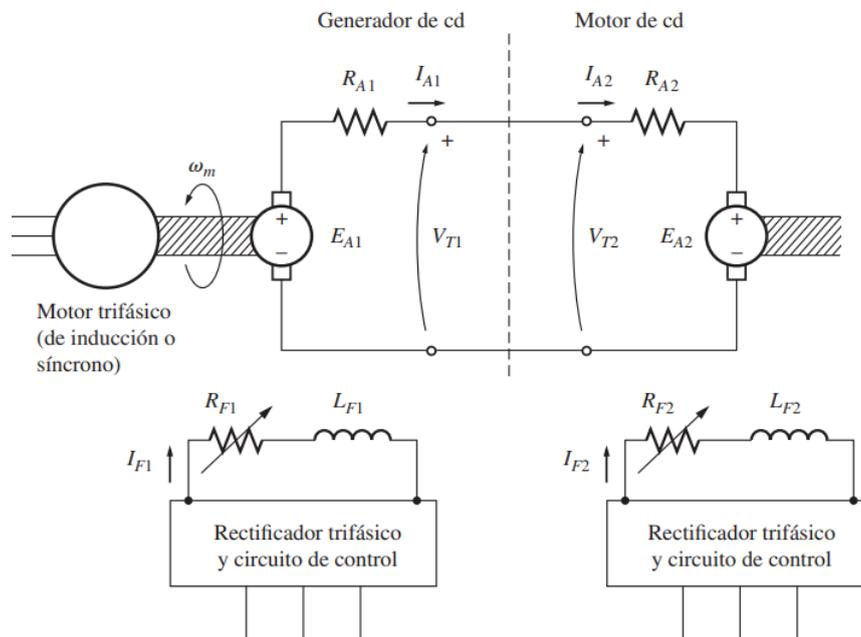
Corriente del inducido en un motor cd durante el arranque



Fuente: información tomada de Chapman, 2014, p. 381.

Figura132

“Sistema ward-leonard para controlar la velocidad de un motor de cd” (Chapman, 2014).



Fuente: información tomada de Chapman, 2014, p. 382.

“En un sistema de control de motor de este tipo, el voltaje en el inducido del motor se puede controlar por medio de la variación de la corriente de campo del generador de cd. El voltaje del inducido permite que la velocidad del motor varíe suavemente entre un valor muy pequeño y la velocidad base. La velocidad del motor se puede ajustar a un valor por arriba de la velocidad base al reducir la corriente de campo del motor. Con un arreglo tan flexible se puede lograr el control de velocidad total de un motor” (Chapman, 2014, pág. 381).

“Además, si se invierte la corriente de campo, también se invertirá la polaridad del voltaje del inducido del generador. Esto invertirá la dirección de rotación del motor. Por lo tanto, es posible obtener un amplio intervalo de variación de la velocidad en cualquier dirección de rotación con un sistema de control de motor de cd Ward-Leonard” (Chapman, 2014, pág. 181).

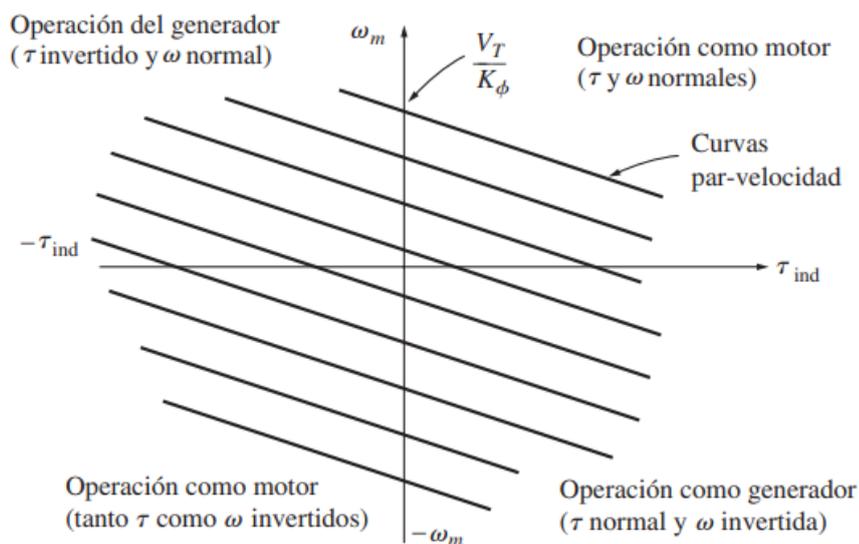
“Otra ventaja del sistema Ward-Leonard es que puede “regenerar” o regresar la energía de movimiento de la máquina a las líneas de suministro. Si se utiliza el motor de cd de un sistema WardLeonard para subir una carga pesada y luego bajarla, cuando la carga desciende el motor de cd actúa como generador y suministra potencia de regreso al sistema de potencia. De esta manera se puede recuperar mucha de la energía que se requiere para levantar la carga en primera instancia, lo cual reduce los costos de operación generales de la máquina” (Chapman, 2014, pág. 381).

La siguiente figura da a conocer los métodos posibles para el accionamiento de una máquina CC, el motor al girar en sentido normal y proporcionar el torque en el

sentido de rotación, trabaja en el cuadrante primero de la gráfica, pero, al invertir la intensidad del generador en el campo, se cambiará el voltaje del generador en las terminales, por este motivo, la tensión del inducido se invertirá. Cuando la tensión del inducido se invierte y la intensidad del campo no cambia en el motor, la velocidad y el par del motor se invertirá, la máquina estará trabajando en el cuadrante tercero de la gráfica. Al invertir solo la velocidad o el par en el motor y la otra magnitud no se cambia, la máquina trabaja como un generador y retorna la potencia a su sistema. Este sistema tiene una desventaja, debido a que el operador está obligado a adquirir tres máquinas similares, lo que resulta costoso, esto provocará que el costo de las máquinas, no sea igual a una del mismo precio, debido a su baja eficiencia, por este motivo, este tipo de sistema ha sido sustituidos en las recientes aplicaciones por circuitos controlados mediante SCR (Chapman, 2012).

Figura 133

Cuadrantes para el control de operación del motor.

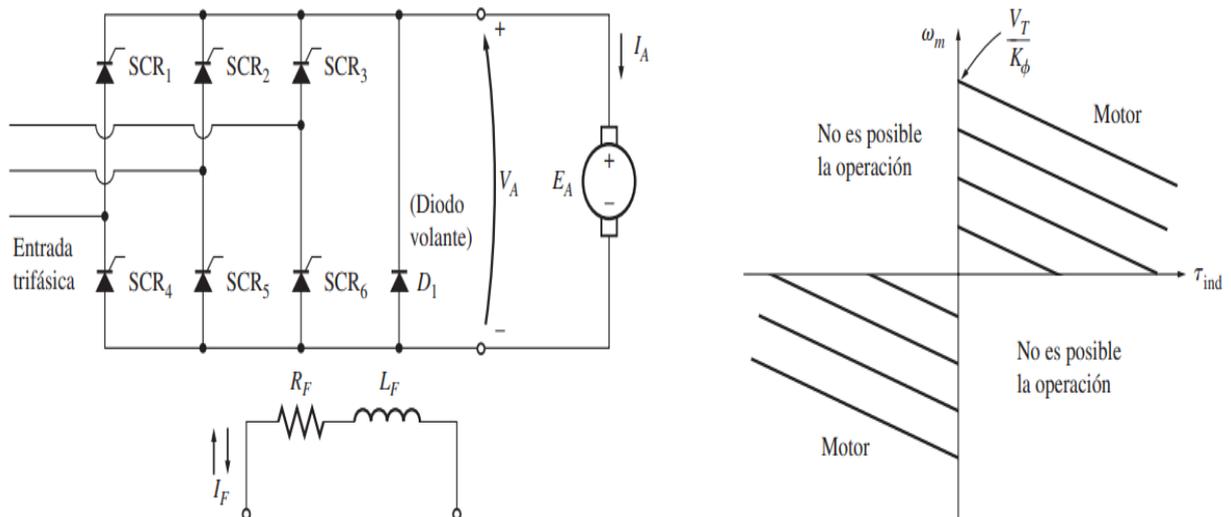


Fuente: información tomada de Chapman, 2014, p.382.

En la figura 133 se muestra un circuito controlador de voltaje del inducido de cd sencillo. A su vez, esto depende de la fase relativa en la que se encienden los SCR en el circuito rectificador. Este circuito en particular sólo es capaz de suministrar voltaje al inducido con una sola polaridad, por lo que sólo se puede invertir la dirección del motor por medio de la conmutación de polaridad de su conexión de campo. Nótese que no es posible que la corriente del inducido fluya hacia afuera del terminal positivo del motor, puesto que la corriente no puede fluir de regreso a través de un SCR. Por lo tanto, este motor no puede regenerar y cualquier energía que se le suministre no se puede recuperar. Este tipo de circuito de control es un controlador de dos cuadrantes, como el que se muestra en la figura (Chapman, 2014, p. 382).

Figura 134

Controlador de motor de cd en estado sólido de dos cuadrantes. Puesto que la corriente no puede fluir hacia afuera de las terminales



Fuente: información tomada de Chapman, 2014, p. 383.

“Un controlador de dos cuadrantes o completo de cuatro cuadrantes con SCR es más barato que las dos máquinas completas que requiere el sistema Ward-Leonard, por lo que los sistemas de control de velocidad en estado sólido lo han desplazado casi por entero en las aplicaciones nuevas. En la figura se muestra el típico accionador de motor de cd en derivación de dos cuadrantes con control de velocidad de voltaje del inducido, mientras que en la figura se ilustra un diagrama de bloque simplificado del accionador” (Chapman, 2014, p. 383).

Arduino en arranque de motores CC

Arduino es una plataforma de creación de electrónica de código abierto, la cual está basada en hardware y software libre, flexible y fácil de utilizar para los creadores y desarrolladores. Esta plataforma permite crear diferentes tipos de microordenadores de una sola placa a los que la comunidad de creadores puede darles diferentes tipos de uso. (Rosado, 2014)

Funcionamiento

El Arduino es una placa basada en un microcontrolador ATMEL. Los microcontroladores son circuitos integrados en los que se pueden grabar instrucciones, las cuales las escribes con el lenguaje de programación que puedes utilizar en el entorno Arduino IDE. Estas instrucciones permiten crear programas que interactúan con los circuitos de la placa. (Rosado, 2014)

“El microcontrolador de Arduino posee lo que se llama una interfaz de entrada, que es una conexión en la que podemos conectar en la placa diferentes tipos de periféricos. La información de estos periféricos que conectes se trasladará al

microcontrolador, el cual se encargará de procesar los datos que le lleguen a través de ellos” (Rosado, 2014).

“El tipo de periféricos que puedas utilizar para enviar datos al microcontrolador depende en gran medida de qué uso le estés pensando dar. Pueden ser cámaras para obtener imágenes, teclados para introducir datos, o diferentes tipos de sensores” (Rosado, 2014).

“También cuenta con una interfaz de salida, que es la que se encarga de llevar la información que se ha procesado en el Arduino a otros periféricos. Estos periféricos pueden ser pantallas o altavoces en los que reproducir los datos procesados, pero también pueden ser otras placas o controladores” (Rosado, 2014).

Aplicar Arduino en arranque de motores

Como se revisó en los apartados anteriores tenemos varias formas de arrancar y controlar un motor CC, muy a parte de su conexionado ya sea esta serie o paralelo excitación independiente compuesto. La placa Arduino en la aplicación para controlar motores de corriente continua ingresa como el circuito de control la cual se programa el comportamiento de nuestro motor en base a los parámetros que ingresemos de acuerdo a la aplicación correspondiente.

Ejemplos

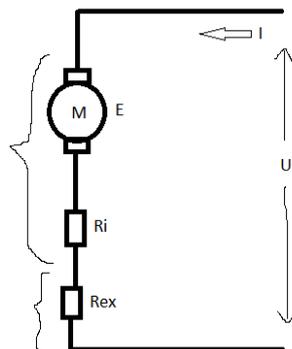
1. Hallar la intensidad de arranque de un motor CC en serie, alimentado con 110V, la resistencia de la bobina inductora es de $1,2\Omega$ y la del inducido es de $0,5\Omega$.

Datos

$$U = 110V$$

$$R_i = 0,5\Omega$$

$$R_{ex} = 1,2\Omega$$



$$\begin{aligned}
 U &= E + V_{R_i} + V_{R_{ex}} \\
 U &= E + I_a R_i + I_a R_{ex} \\
 U &= E + I_a (R_i + R_{ex}) \\
 E &= 0 \\
 I_a &= \frac{U}{R_i + R_{ex}} \\
 I_a &= \frac{110}{0,5 + 1,2} \\
 I_a &= 57,89 A
 \end{aligned}$$

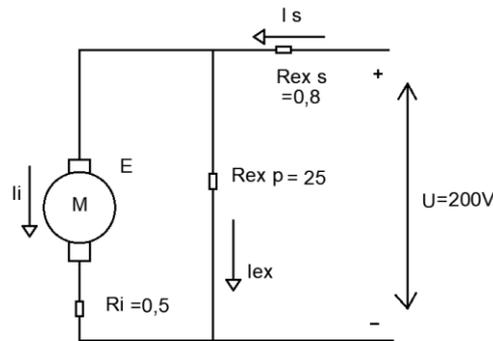
2. Hallar el par del motor conectado en shunt cuya potencia útil es de 4 KW a 2000 rpm.

$$M = \frac{P_{\text{útil}}}{\omega}$$

$$\omega = 2000 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{2\pi \text{rad}}{1 \text{rev}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 209,43 \text{ rad/s}$$

$$M = \frac{4000}{209,43} = 19,13 \text{ N} * \text{ m}$$

3. Realizar el diagrama de un motor CC conectado en derivación corta alimentada con 200V, la resistencia del inducido es de 0,5 Ω, la resistencia de excitación en derivación (serie) es de 0,8 Ω, la resistencia en excitación en derivación (paralelo) es de 25 Ω.



4. Un motor de corriente continua en conexión SERIE de 15 CV de potencia útil, está conectada con 220V, la resistencia de la bobina inductora es de 0.8Ω y la del inducido es de 0.3Ω, al medir la fuerza contraelectromotriz inducida se obtuvo un valor de 150V.

Determinar:

- Diagrama de conexiones
- Corriente que circula por las bobinas
- Rendimiento
- Corriente en el momento de arranque.

Datos

$$P_{\text{útil}} = 15 \text{ CV} * \frac{735,49 \text{ W}}{1 \text{ CV}} = 11,18 \text{ KW}$$

$$1 \text{ CV} = 735,49 \text{ W}$$

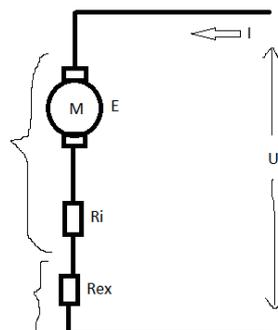
$$U = 220 \text{ V}$$

$$R_{ex} = 0,8 \Omega$$

$$R_i = 0,3 \Omega$$

$$E = 150 \text{ V}$$

a.



b.

$$I = \frac{U - E}{R_i + R_{ex}}$$

$$I = \frac{220 - 150}{0.3 + 0.8}$$

$$I = 63,33 \text{ A}$$

c.

$$n = \frac{P_{util}}{P_{abs}} * 100\%$$

$$P_{abs} = U * I$$

$$P_{abs} = 220 * 63.33$$

$$P_{abs} = 13932,6 \text{ W}$$

$$n = \frac{11180}{13932,6} * 100\% = 80.24\%$$

Atención

Potencia útil: Cantidad de energía que se usa para realizar el trabajo mecánico.

d. Nota: En el momento de arranque, cuando todavía no ha comenzado el giro del motor, el voltaje del inducido E será 0, y el valor de la corriente I será máximo, el momento de giro será máximo M.

Intensidad en el momento de arranque

$$U = E + V_{Ri} + V_{Rex}$$

$$U = E + I_a R_i + I_a R_{ex}$$

$$U = E + I_a (R_i + R_{ex})$$

$$E = 0$$

$$I_a = \frac{U}{R_i + R_{ex}}$$

$$I_a = \frac{220}{0.3 + 0.8}$$

$$I_a = 200 \text{ A}$$

5. Un motor de corriente continua conectado en shunt alimentado con 250V, la resistencia de los devanados inductoras es de 100Ω , mientras que el devanado inducido es de 0.5Ω , al girar a 4000 RPM, la potencia del motor es de 12 KW, mientras que su fuerza contraelectromotriz es de 200 V.

Determinar:

- Diagrama de conexiones
- Corriente del inducido y excitación
- Corriente consumida por la línea
- Hallar las pérdidas en el devanado de cobre.
- Rendimiento
- Par motor

Datos:

$$U = 250V$$

$$R_{ex} = 100\Omega$$

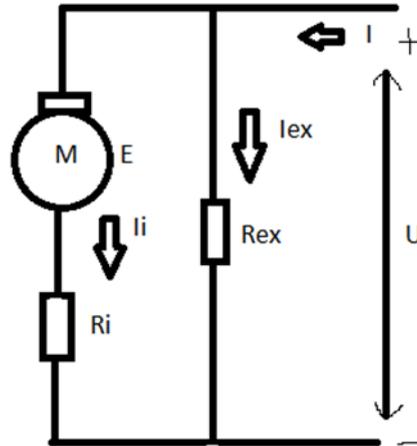
$$R_i = 0,5\Omega$$

$$P_{\text{útil}} = 12000W$$

$$W = 4000 \text{ RPM}$$

$$E = 200V$$

a.



b.

$$I_{ex} = \frac{U}{R_{ex}} = \frac{250}{100} = 2,5A$$

$$I_i = \frac{V_{Ri}}{R_i} = \frac{U - E}{R_i} = \frac{250 - 200}{0,5} = 100A$$

c.

$$I_{abs} = I_{ex} + I_i$$

$$I_{abs} = 2,5 + 100$$

$$I_{abs} = 102,5A$$

d.

$$P_{Cu} = I_i^2 R_i + I_{ex}^2 R_{ex}$$

$$P_{Cu \text{ inducido}} = I_i^2 R_i = (100)^2 (0,5) = 5000W$$

$$P_{Cu \text{ inductor}} = I_{ex}^2 R_{ex} = (2,5)^2 (100) = 625W$$

e.

$$n = \frac{P_{\text{útil}}}{P_{abs}} * 100\%$$

$$P_{abs} = UI$$

$$P_{abs} = U(I_i + I_{ex})$$

$$P_{abs} = 250(100 + 2,5) = 25625W$$

$$n = \frac{12000}{25625} * 100\% = 46.82\%$$

f.

$$M = \frac{P_{\text{útil}}}{W}$$

$$W = 4000 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{2\pi \text{rad}}{1 \text{rev}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 418,87 \text{ rad/s}$$

$$M = \frac{12000}{418,87} = 28,7 \text{ N} * \text{m}$$

Atención

Potencia consumida: Es la energía que consume un motor de la red de alimentación.

6. Un motor CC conectado en derivación larga, esta alimentado con 150v, la resistencia del inducido tiene un valor de $0,2 \Omega$, la resistencia en paralelo mide 20Ω , la resistencia en serie mide $0,1 \Omega$. La fuerza contraelectromotriz es de 120V. Hallar la corriente que circula por los devanados.

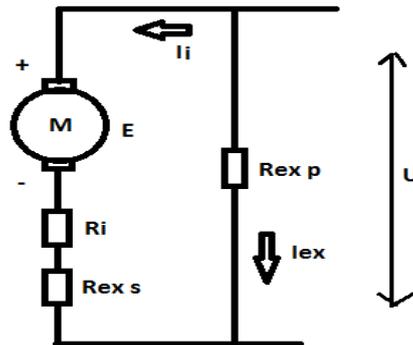
Datos

$$R_i = 0.2\Omega$$

$$R_{exp} = 20\Omega$$

$$R_{exs} = 0.1\Omega$$

$$U = 220V$$



$$I_{ex} = \frac{U}{R_{exp}} = \frac{150}{20} = 7,5 A$$

$$U = E + I_i R_i + I_i R_{exs}$$

$$U = E + I_i (R_i + R_{exs})$$

$$I_i = \frac{U - E}{R_i + R_{exs}} = \frac{150 - 120}{0.2 + 0.1} = 100 A$$

1. Un motor CC conectado en derivación larga posee una fuerza contraelectromotriz de 190V, el inducido tiene una resistencia de $0,15\Omega$, la resistencia de excitación en derivación (paralelo) es de 30Ω y la resistencia de excitación en serie de 0.10Ω . Esta alimentado con 220V, las pérdidas del hierro se consideran insignificantes. Hallar:

- Corriente que circula por los devanados
- Potencia consumida de la red, si 10000W es su potencia útil, determinar la potencia de cada devanado de cobre.
- A 1200rpm determinar el par motor
- Rendimiento

Datos

$$E=190V$$

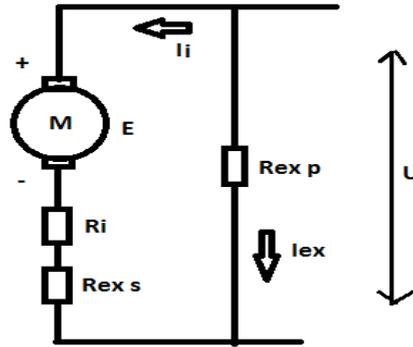
$$R_i = 0.2\Omega$$

$$R_{exp} = 30\Omega$$

$$R_{exs} = 0.1\Omega$$

$$U = 220V$$

$$P_{FE} = 0$$



a.

$$I_{ex} = \frac{U}{R_{ex p}} = \frac{220}{30} = 7,33 \text{ A}$$

$$U = E + I_i R_i + I_i R_{ex s}$$

$$U = E + I_i (R_i + R_{ex s})$$

$$I_i = \frac{U - E}{R_i + R_{ex s}} = \frac{220 - 190}{0,15 + 0,1} = 120 \text{ A}$$

b.

$$P_{con} = U * I_{abs}$$

$$P_{con} = 220 * (7,33 + 120)$$

$$P_{con} = 28012,6W$$

$$P_{\acute{u}til} = E * I_i$$

$$P_{\acute{u}til} = 190 * 120$$

$$P_{\acute{u}til} = 22800W$$

$$P_{Cu i} = R_i * I_i^2 = (0,15)(120)^2 = 2160W$$

$$P_{Cu s} = R_{ex s} * I_i^2 = (0,1)(120)^2 = 1440W$$

$$P_{Cu p} = R_{ex p} * I_{ex}^2 = (30)(7,33)^2 = 1611,86W$$

c.

$$M = \frac{P_{\acute{u}til}}{W}$$

$$W = 1200 \frac{rev}{min} * \frac{2\pi rad}{1 rev} * \frac{1 min}{60 s} = 125,66 rad/s$$

$$M = \frac{22800}{125,66} = 181,44 \text{ N} * m$$

d.

$$n = \frac{P_{\acute{u}til}}{P_{abs}} * 100\%$$

$$n = \frac{22800}{28012,6} * 100\%$$

$$n = 81,39\%$$

3.12 Actividades de aprendizaje y evaluaci3n

Evaluaci3n final

1. ¿Cu3l es la restricci3n al momento de arrancar un motor en serie?

- Se debe aadir un re3stato.
- No se debe arrancar sin carga.
- Se debe usar dos fuentes de alimentaci3n.

2. Que distancia debe ser entre el conmutador y el porta-escobillas que indican los fabricantes.

- a. $\leq 2\text{mm}$
- b. $\leq 4\text{mm}$
- c. $\leq 5\text{mm}$

3. Para alargar la vida de los rodamientos, ¿qué se debe realizar?

- a. Lubricar.
- b. Controlar la temperatura.
- c. Todas las anteriores.

4. En el motor universal que conexión funciona tanto con corriente alterna y corriente continua sin inconvenientes.

- a. Shunt
- b. Serie
- c. Derivación

5. Un motor de corriente continua en conexión SERIE de 20 CV de potencia útil, está conectada con 300V, la resistencia de la bobina inductora es de 0.7Ω y la del inducido es de 0.2Ω , al medir la fuerza contraelectromotriz inducida se obtuvo un valor de 245V.

Determinar:

- a. Diagrama de conexiones
- b. Corriente que circula por las bobinas
- c. Rendimiento
- d. Corriente en el momento de arranque.

6. Un motor de corriente continua conectado en DERIVACIÓN alimentado con 110V, la resistencia de los devanados inductoras es de 130Ω , mientras que el devanado inducido es de 0.3Ω , al girar a 3800 RPM, la potencia del motor es de 5,1 Kw, mientras que su fuerza contraelectromotriz es de 95 V.

Determinar:

- a. Diagrama de conexiones
- b. Corriente del inducido y excitación
- c. Corriente consumida por la línea
- d. Hallar las pérdidas en el devanado de cobre.
- e. Rendimiento
- f. Par motor

7. Un motor CC conectado en derivación larga posee una fuerza contraelectromotriz de 250V, el inducido tiene una resistencia de $0,2\Omega$, la resistencia de excitación en derivación (paralelo) es de 35Ω y la resistencia de excitación en serie de 0.15Ω . Esta alimentado con 300V, las pérdidas del hierro se consideran insignificantes.

Hallar:

- Corriente que circula por los devanados
- Potencia consumida de la red, si 11600W es su potencia útil, determinar la potencia de cada devanado de cobre.
- A 1100rpm determinar el par motor
- Rendimiento

Actividad de aprendizaje

1. Realizar el mantenimiento de un motor de corriente continua, medir la resistencia de la armadura y de los devanados. Realizar las conexiones y registrar los siguientes valores:

	Ra=		Re=		Rd=	
	Serie	Paralelo	Derivación larga	Derivación corta	Excitación independiente	
II						
If						
Ia						
VI						
VI ₂						
Vf						
Va						

Unidad 4



**Motor universal alimentado con
corriente alterna**

Unidad 4: Motor universal alimentado con corriente alterna

- 4.1 Alimentación con corriente Alterna con motor Universal
- 4.2 Control de velocidad de un motor universal
- 4.3 Funcionamiento
- 4.4 Actividades de evaluación y aprendizaje

¿Sabías qué?

Debido a esta característica única, los motores universales se utilizan en una amplia gama de aplicaciones, como electrodomésticos, equipos de ventilación, herramientas eléctricas portátiles y vehículos eléctricos.

Introducción

Esta unidad abarca los tipos de motores de corriente alterna existentes en la industria clasificados por su forma de conexión. La conexión en serie es la conexión más básica en que el rotor y el bobinado estatórico se encuentran conectadas en serie, y terminando por la conexión mixta llamada derivación corta que aprovecha las características de dos conexiones y sus propiedades como velocidad torque, cada conexión se escogerá de acuerdo a la necesidad de la aplicación.

Alcance

Este módulo, tiene la finalidad de enseñar al estudiante las fórmulas de comportamiento de las conexiones principales de motores AC y sus conexiones utilizando el software de simulación Open Modélica donde el estudiante ensamblará el circuito generará la simulación parametrizando todos los elementos pertenecientes al motor y finalmente evaluará el funcionamiento característico de cada conexión enfocándose principalmente en la velocidad torque y corriente de armadura.

4.1. Motor universal alimentado con AC

El motor universal o también conocido como motor monofásico universal es una clase de motor eléctrico que es capaz de trabajar con corriente alterna (AC) y corriente continua (CC). Se asemeja a un motor de corriente en serie de corriente continua, pero con numerosas y diversas modificaciones:

- Los circuitos magnéticos y todos los núcleos polares, están fabricados de chapas aisladas de hierro al silicio, colocadas una encima de otra para disminuir la carencia de energía causada por las corrientes parasitas que se generan debido a la alteración del flujo magnético en el momento de acoplar a la red de corriente alterna.
- Para evitar la saturación magnética de núcleo y reducir las pérdidas por la corriente de Foucault y por la histéresis, se usan un número menor de vueltas en el devanado inductor, esto permite intensificar la intensidad de la corriente, lo que mejora el factor de potencia y aumenta el par de fuerza.

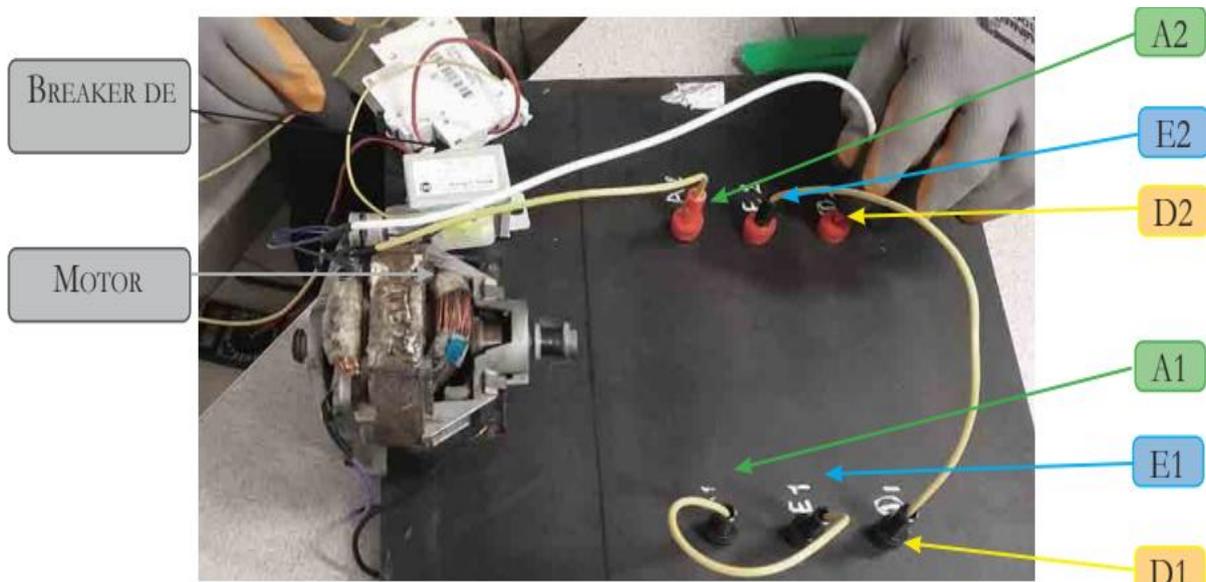
- En el inducido se utiliza un número mayor de vueltas para equilibrar la reducción del flujo en el inductor debido a la menor cantidad de vueltas.

Diagramas de conexión del motor universal con AC

- Conexión de los terminales
- Conexión del transformador reductor 110 VAC/24VAC 60 Hz, el cual permite el funcionamiento correcto del arranque del motor.

Figura 135

Identificación del del motor AC.

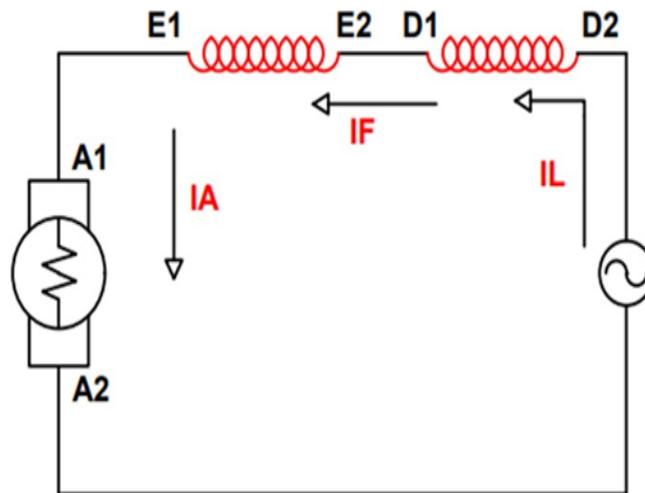


Fuente: autoría propia, 2023.

Circuito en serie

Figura 136

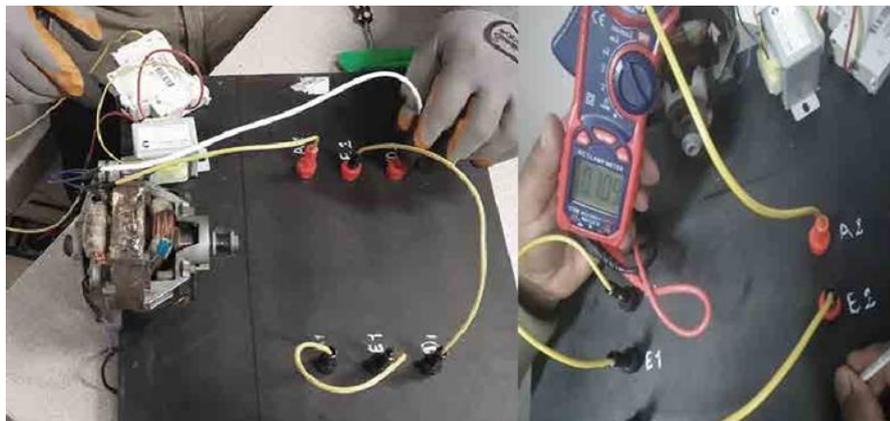
Diagrama de conexión en Serie.



Fuente: autoría propia, 2023.

Figura 137

Conexión en serie.



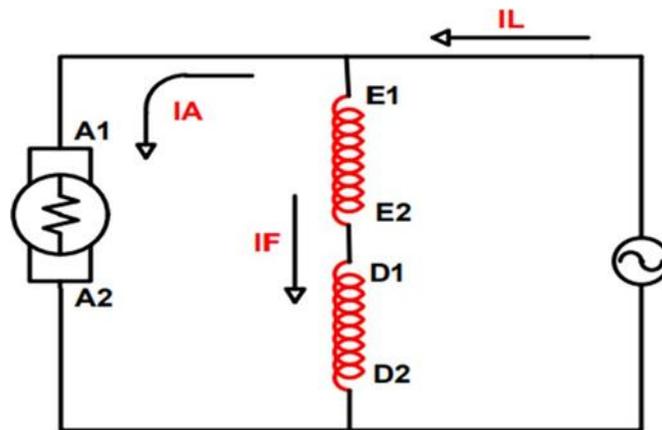
Fuente: autoría propia, 2023.

En un circuito en serie la corriente consumida por sus elementos es la misma, dado que la corriente atraviesa por todos sus componentes, dando a conocer que el motor si arranca en una mínima velocidad de 0.10A.

Circuito en paralelo

Figura 138

Diagrama de circuito en paralelo.



Fuente: autoría propia, 2023.

Verificación del funcionamiento en la conexión en paralelo, la corriente en un circuito en paralelo sube dado que el arranque del motor fue mínimo de 0.345 A.

Figura 139

Conexión en paralelo.

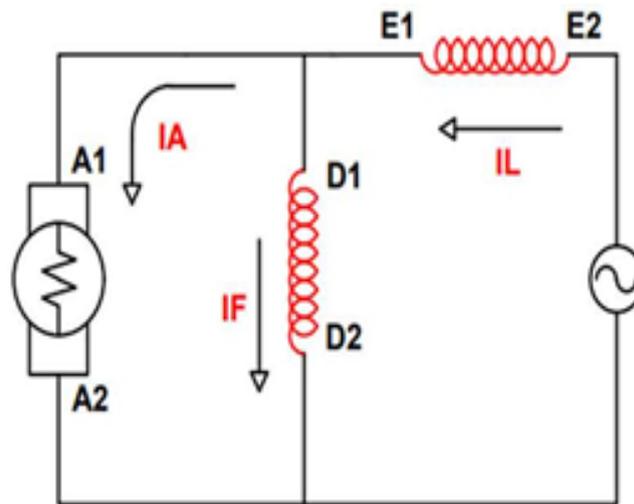


Fuente: autoría propia, 2023.

Circuito derivación corta

Figura 140

Diagrama de derivación corta.

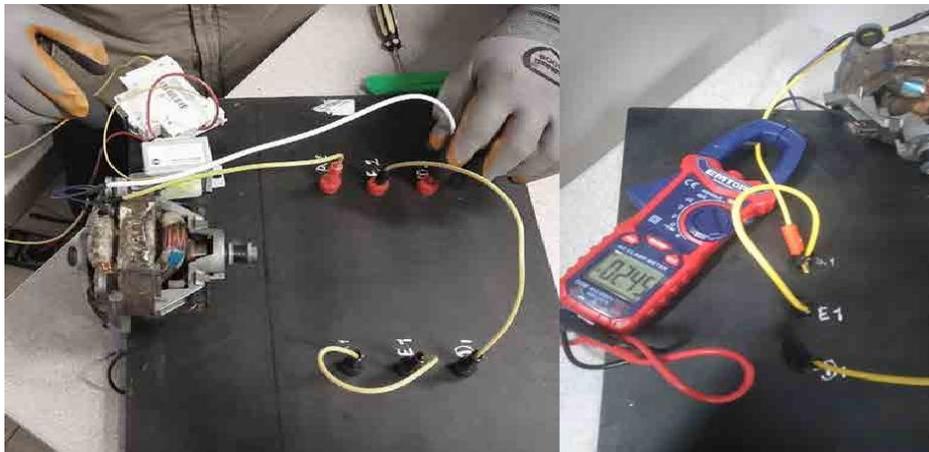


Fuente: autoría propia, 2023.

- Verificación del funcionamiento en la conexión derivación corta.
- La corriente en un circuito en derivación corta no funcionó debido la potencia es baja y el motor funciona en su estado normal a 0.24A.

Figura 141

Conexión en derivación corta.

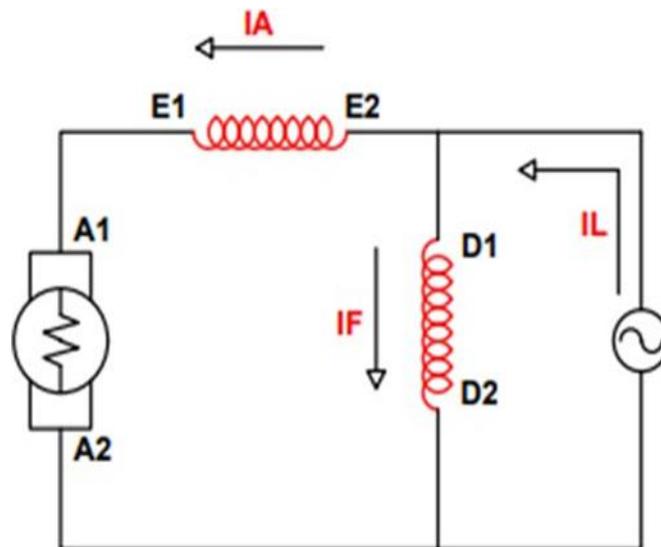


Fuente: autoría propia, 2023.

Circuito derivación larga

Figura 142

Diagrama de derivación larga.

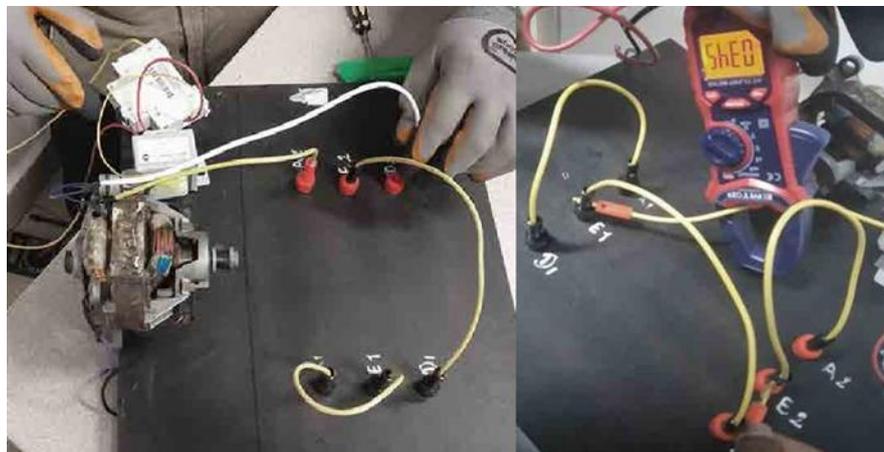


Fuente: autoría propia, 2023.

- Verificación del funcionamiento en la conexión derivación larga.
- La corriente en un circuito supera la corriente nominal en derivación larga sube dado que el arranque del motor fue mínimo de 0.345A.

Figura 143

Circuito en derivación larga.



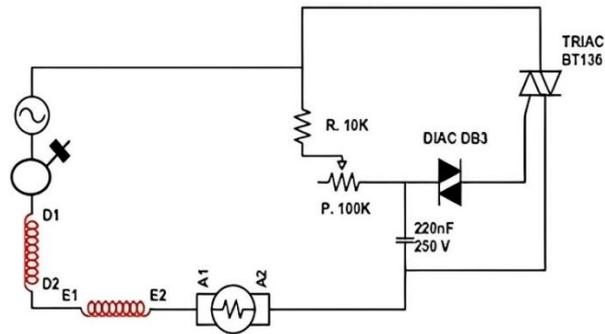
Fuente: autoría propia, 2023.

4.1 Control de velocidad del motor monofásico universal

“El principio de funcionamiento de este motor eléctrico está determinado por el efecto motor que produce un conductor recorrido por una corriente eléctrica y que está sometido a un campo magnético. Por acción magnetomotriz existirá un desplazamiento y por ende una rotación” (Unicrom, 2023).

Figura 144

Diagrama para el control de velocidad del motor monofásico universal.



Fuente: autoría propia, 2023.

Diac

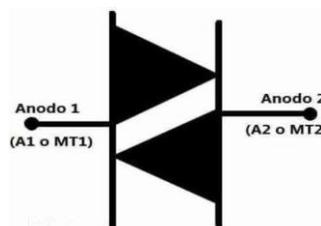
“Es un diodo de disparo bidireccional, especialmente diseñado para disparar TRIAC. Es un dispositivo disparado por tensión. Tiene dos terminales MT1 y MT2” (Nkravtsov, 2018). “Cuando la tensión de disparo se alcanza, la tensión en el diac se reduce y entra en conducción dejando pasar la corriente necesaria para el disparo del scr o triac. Se utiliza principalmente en aplicaciones de control de potencia mediante control de fase” (Unicrom, s.f.). Los diac “se fabrican con capacidad de disipar potencia de 0.5 a 1 watt” (Joaled_pk, 2011).

“Las principales características para el funcionamiento de un diac son:

- Tensión de disparo.
- Corriente de disparo.
- tensión de recuperación.
- Disipación de potencia” (Joaled_pk, 2011).

Figura 145

Simbología del diac.



Fuente: información tomada de Roch, 2014.

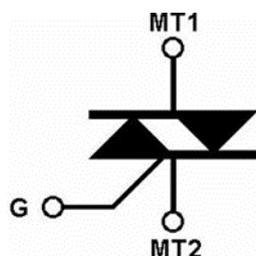
Triac

“Es en esencia la conexión de dos tiristores en paralelo, pero conectados en sentido opuesto y compartiendo la misma compuerta.

El triac sólo se utiliza en corriente alterna y al igual que el tiristor, se dispara por la compuerta. Como el triac funciona en corriente alterna, habrá una parte de la onda que será positiva y otra negativa” (Tirado, Devera, Perez, Galito, & Bailey, 2021).

Figura 146

Simbología de triac.



Fuente: información tomada de Unisonic Technologies, 2023.

“La parte positiva de la onda (semiciclo positivo) pasará por el triac siempre y cuando haya habido una señal de disparo en la compuerta, de esta manera la corriente circulará de arriba hacia abajo (pasará por el tiristor que apunta hacia abajo), de igual manera. La parte negativa de la onda (semiciclo negativo) pasará por el triac siempre y cuando haya habido una señal de disparo en la compuerta, de esta manera la corriente circulará de abajo hacia arriba (pasará por el tiristor que apunta hacia arriba). Para ambos semiciclos la señal de disparo se obtiene de la misma patilla (la puerta o compuerta)” (Tirado, Devera, Perez, Galito, & Bailey, 2021, pág. 3).

“Lo interesante es, que se puede controlar el momento de disparo de esta patilla y así, controlar el tiempo que cada tiristor estará en conducción. Recordar que un tiristor solo conduce cuando ha sido disparada (activada) la compuerta y entre sus terminales hay un voltaje positivo de un valor mínimo para cada tiristor.

Entonces, si se controla el tiempo que cada tiristor está en conducción, se puede controlar la corriente que se entrega a una carga y por consiguiente la potencia que consume” (Tirado, Devera, Perez, Galito, & Bailey, 2021, pág. 3).

“Dimmer el principio de funcionamiento, se basa en el control de potencia que se logra variando el ángulo de conducción de un triac, de 30° a 160°.

La acción que realiza un dimmer es la de recortar la señal” (Hdez, 2014) dada, “variando el tiempo en que la carga está en el ciclo de trabajo, lo que lleva a tener en lo posterior una onda recortada dependiendo de la aplicación que se la pueda dar” (Hdez, 2014, p. 2).

El dimmer es un dispositivo utilizado para controlar la luminosidad en varias o una lámpara. De este modo, se puede ajustar el grado de la claridad, de acuerdo a las características de la bombilla.

Actualmente, los circuitos más empleados incluyen la función de encendido al paso por cero de la tensión. La disminución del valor eficaz en la bombilla se logra

recortando la señal en el momento de subida en el punto que se elija, de tal manera que si cortamos la señal cuando la onda llega a un valor de voltaje llegando al menor punto se encenderá muy poco, mientras que si la cortamos la señal al llegar a valores altos de voltaje se encenderá casi al máximo (Hdez, 2014, p. 2).

4.3 Funcionamiento

El circuito de un dimmer es simple:

- El potenciómetro varía el voltaje.
- El diac permite la oscilación de la onda de 60hz o 50hz con el triac, dependiendo del triac y del diac será la potencia que podemos regular si el circuito lo utilizamos por largo tiempo es ideal colocar un disipador de calor al triac.
- Los resistores y capacitores se usan para variar el ángulo de disparo del triac.
- Los capacitores filtran los armónicos y las resistencias evitan un corto al dejar el potenciómetro en cero” (Hdez, 2014).

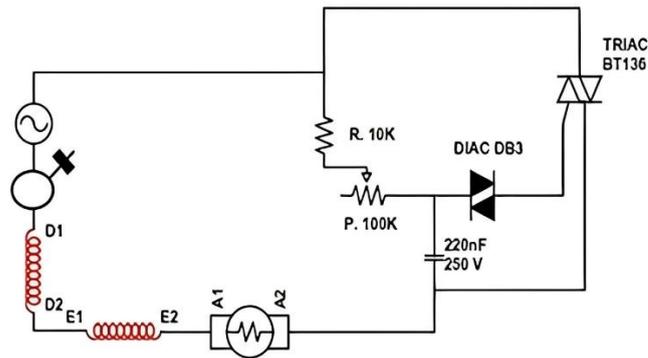
Lista De Materiales

- Resistencias de 8.2 K Ω
- Potenciómetro de 220 K Ω
- Capacitor cerámico de 100 nf
- Capacitor cerámico de 47 nf
- Diac Nte6408, o sus equivalentes: Ecg6408 ó Sk7901
- Triac 226
- Socket
- clavija
- Cable” (Hdez, 2014).
- 1 motor de licuadora universal

Diagrama para el control de velocidad del motor universal.

Figura 147

Diagrama para controlar la velocidad del motor universal.



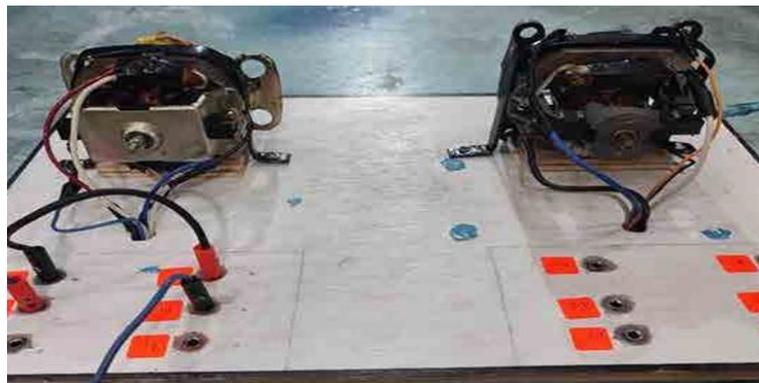
Fuente: autoría propia, 2023.

Desarrollo

a. Conexión respectiva de los terminales.

Figura 148

Conexión de los terminales.

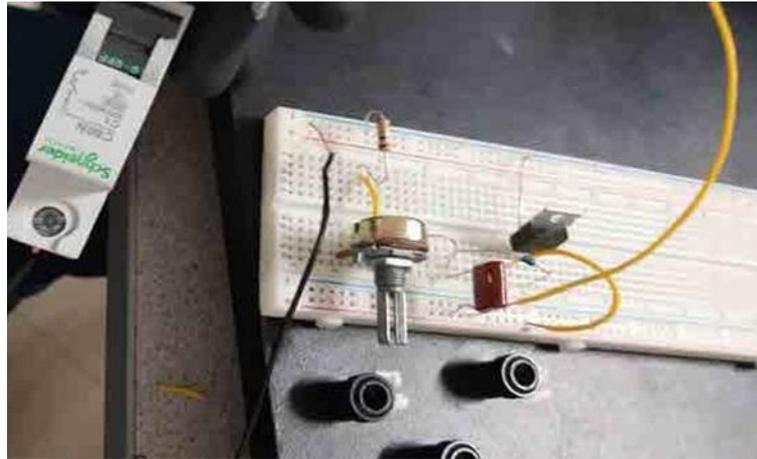


Fuente: autoría propia, 2023.

b. Realizar la conexión del Dimmer electrónico, su función es regular la cantidad de voltaje en el motor universal con el fin de controlar la velocidad de rotación, siempre y cuando las propiedades del motor permitan, este dispositivo tiene una variedad de aplicaciones, se puede variar la velocidad de rotación del motor al bajar y subir el potenciómetro con la ayuda de un módulo de motores universales.

Figura 149

Circuito para controlar la velocidad del motor universal.



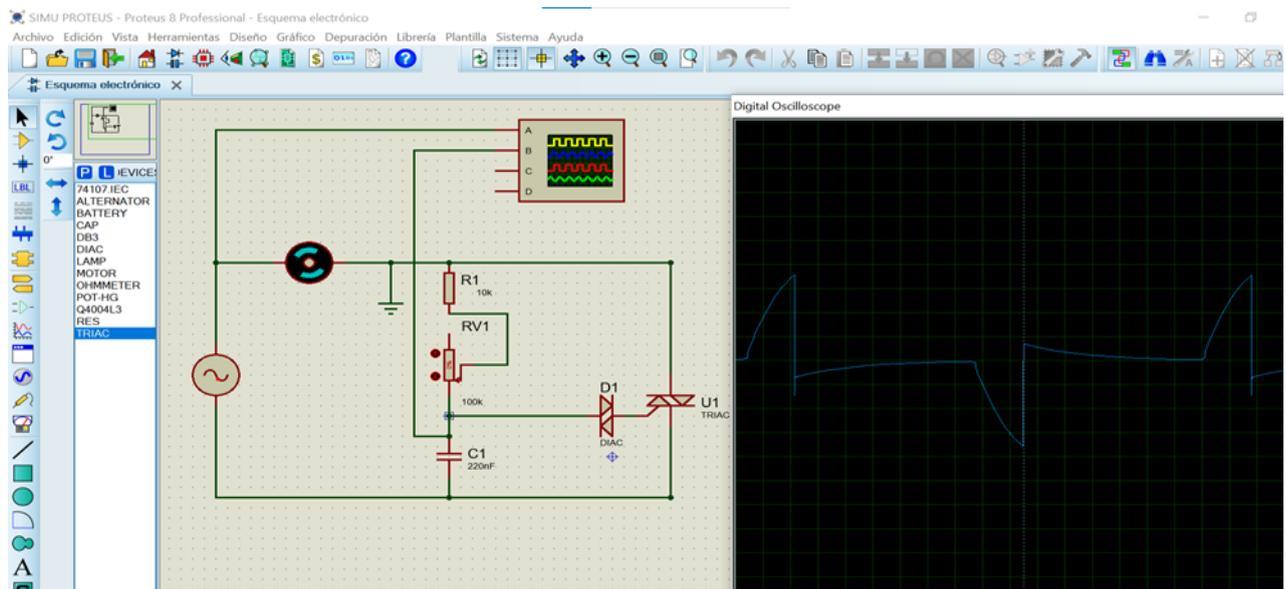
Fuente: autoría propia, 2023.

Simulación en PROTEUS y resultados de la practica

El potenciómetro al variar al 0 %, la potencia se recorta aproximadamente un 80%.

Figura 150

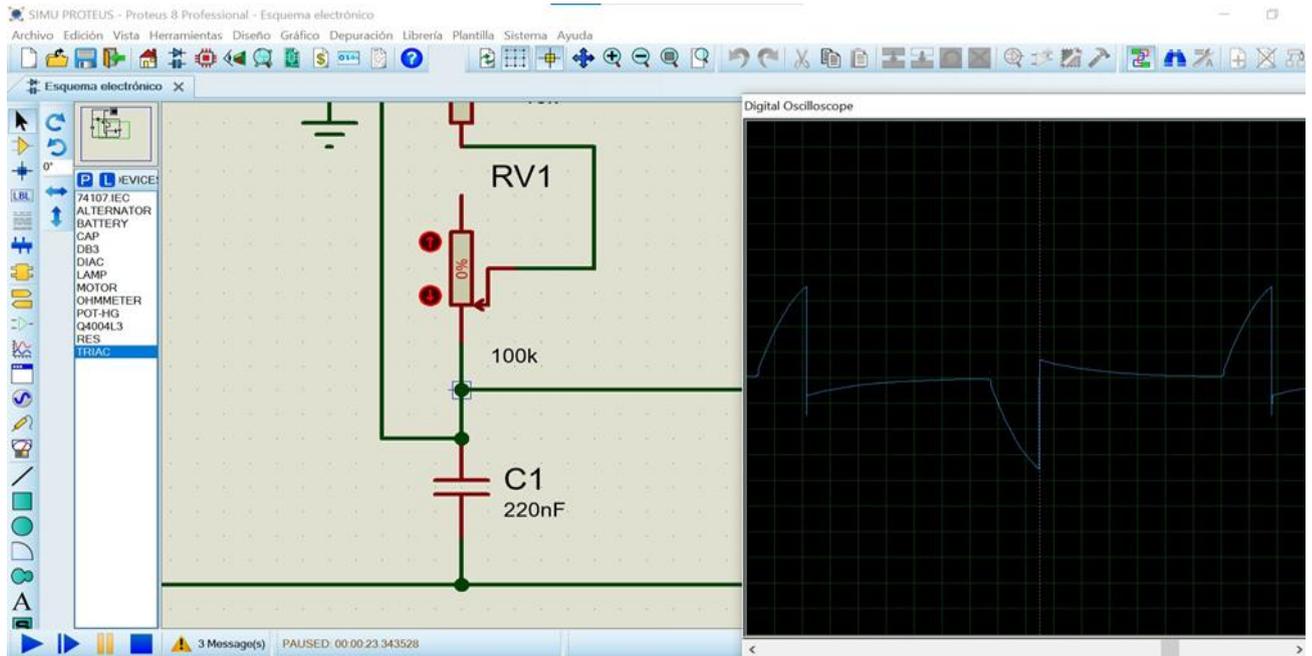
Simulación de la onda en PROTREUS-potenciómetro 0%.



Fuente: autoría propia, 2023.

Figura 151

Simulación de la onda en PROTREUS-potenciómetro 0%.

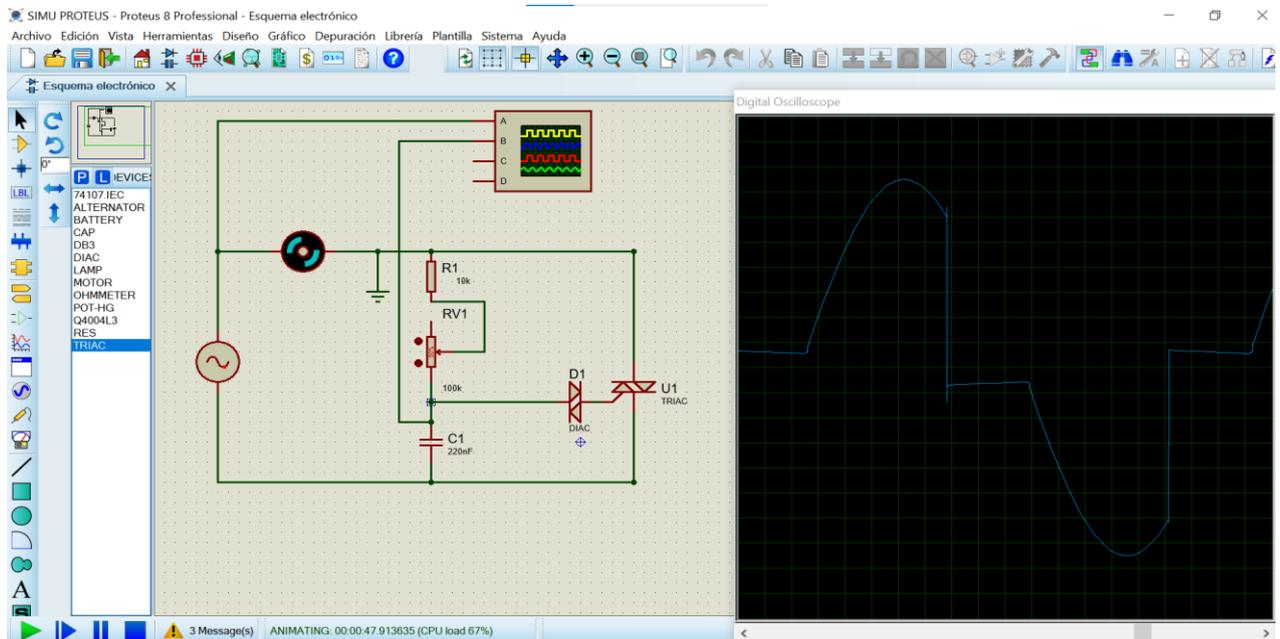


Fuente: autoría propia, 2023.

El potenciómetro al variar al 50 %, la potencia se recorta aproximadamente un 40%.

Figura 152

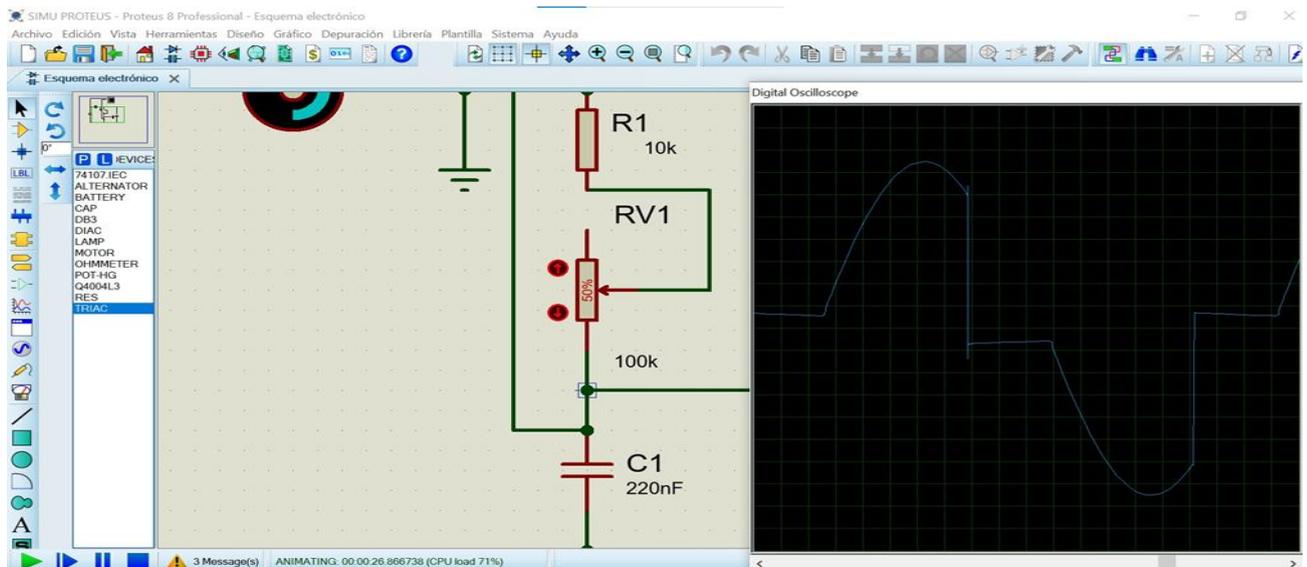
Simulación de la onda en PROTREUS-potenciómetro 50%.



Fuente: autoría propia, 2023.

Figura 153

Simulación de la onda en PROTREUS-potenciómetro 50%.

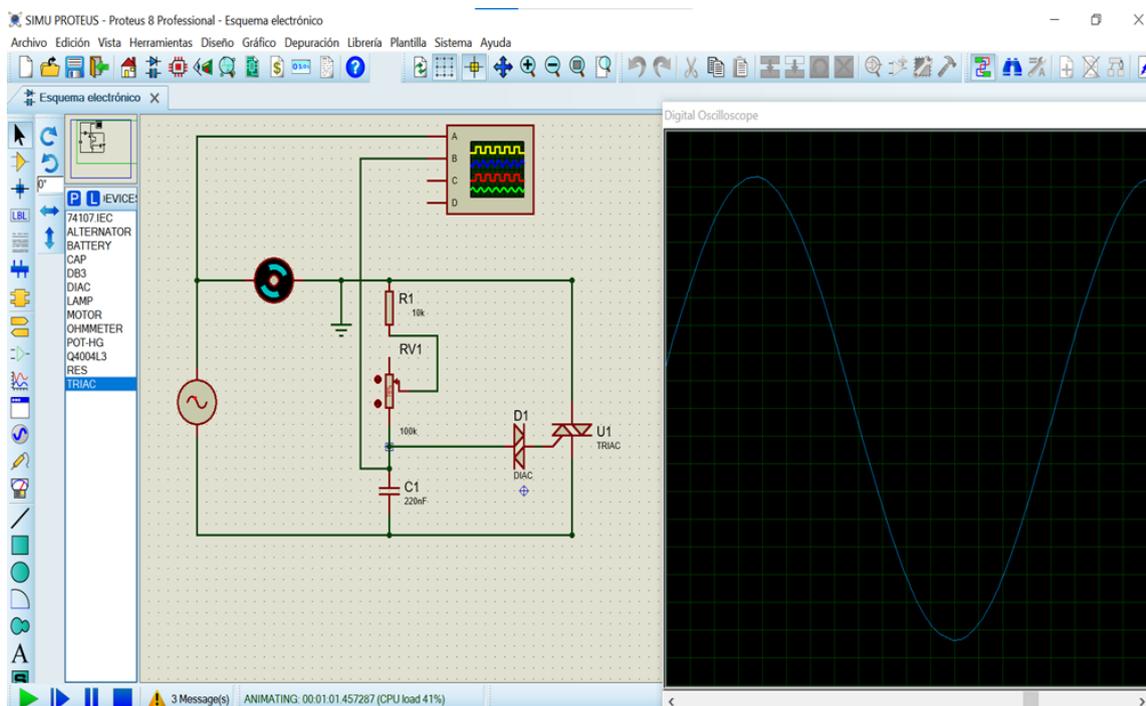


Fuente: autoría propia, 2023.

El potenciómetro al variar al 100 %, la potencia se recorta aproximadamente un 0%.

Figura 154

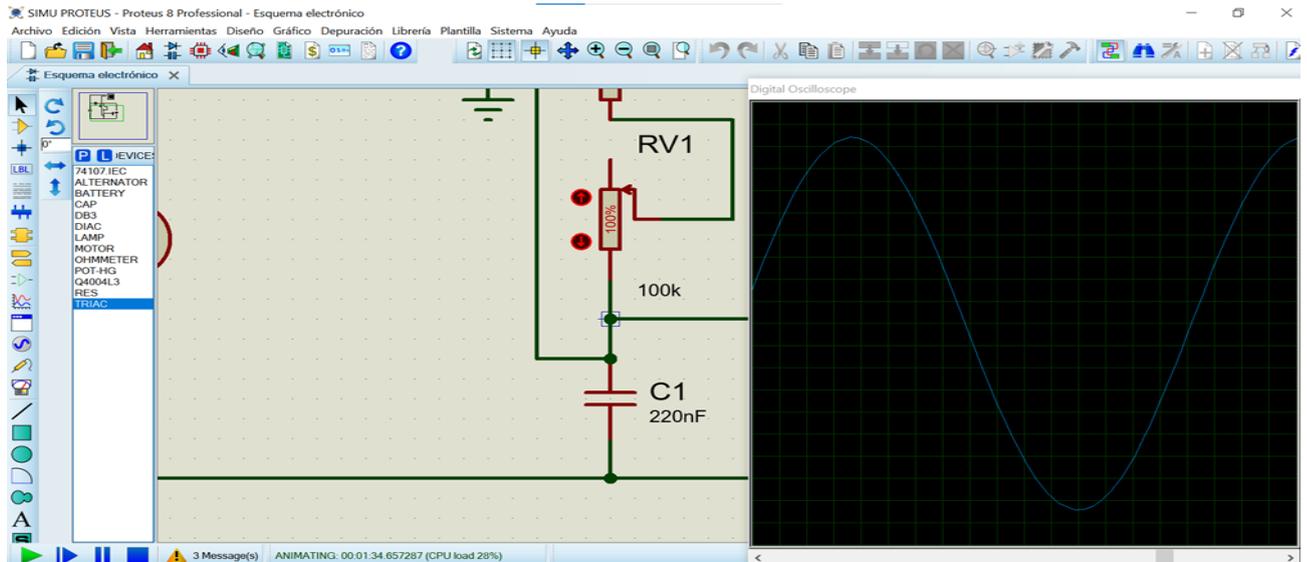
Simulación de la onda en PROTREUS-potenciómetro 100%.



Fuente: autoría propia, 2023.

Figura 155

Simulación de la onda en PROTREUS-potenciómetro 100%.

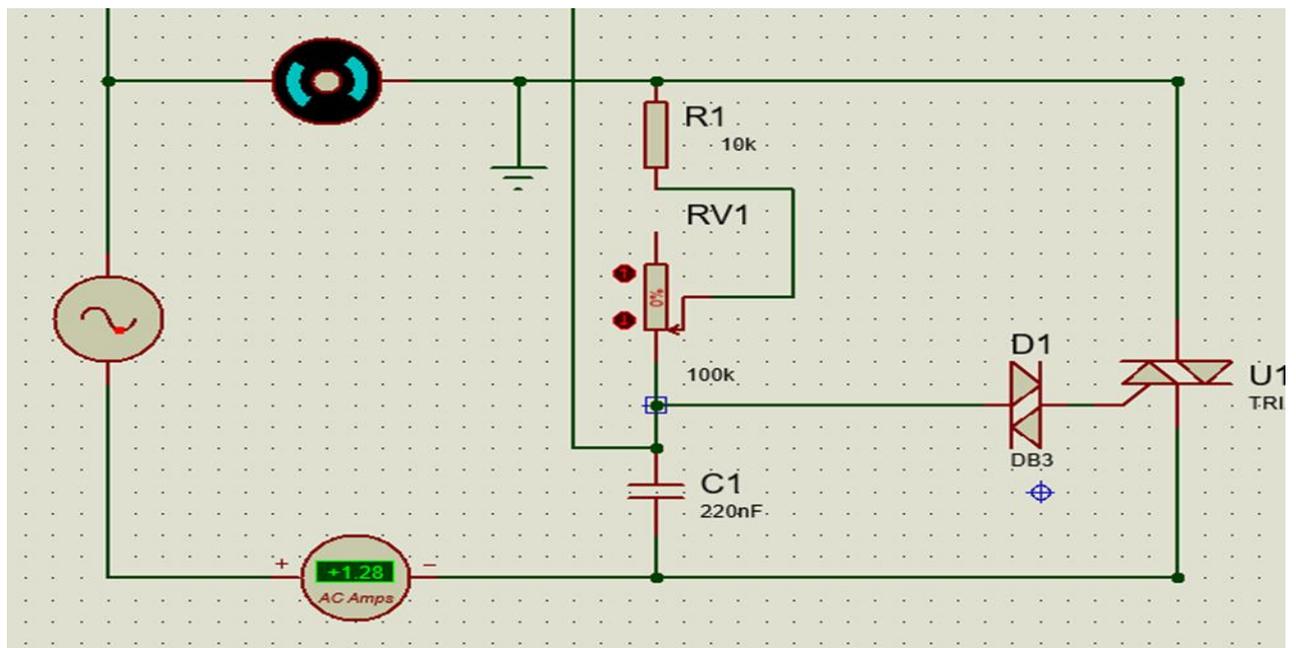


Fuente: autoría propia, 2023.

Magnitudes eléctricas

Figura 156

Medición de la corriente en PROTEUS.



Fuente: autoría propia, 2023.

Pasos a realizar

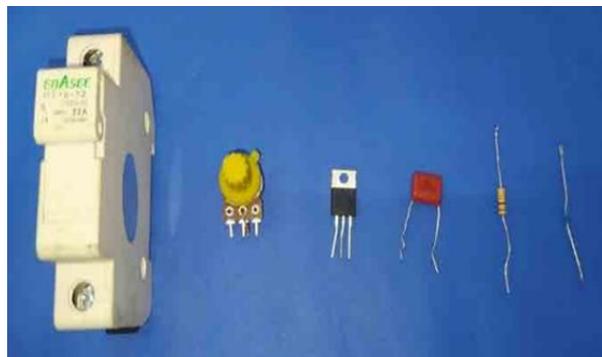
Paso 01

Obtener los materiales adecuados para realizar la conexión control de velocidad:

- Potenciómetro 100k
- Triac BT136
- Resistencia 10k
- Condensador 220nF
- Breaquer de 5A
- Diac DB 3

Figura 157

Materiales para el control de velocidad el motor universal.



Fuente: autoría propia, 2023.

Paso 02

Realizar la conexión en serie en el motor universal.

Figura 158

Conexión en serie del motor universal.



Fuente: autoría propia, 2023.

Paso 03

Conectar el triac con la resistencia 10K.

Figura 159

Conexión de la resistencia y el triac.



Fuente: autoría propia, 2023.

Paso 04

Conectar la salida de la resistencia con el A1.

Figura 160

Conexión del motor.



Fuente: autoría propia, 2023.

Paso 05

Conectar la resistencia con el potenciómetro.

Figura 161

Conexión del potenciómetro.



Fuente: autoría propia, 2023.

Paso 06

Conectar el potenciómetro de 100K con el diac DB3.

Figura 162

Conexión del potenciómetro y diac.



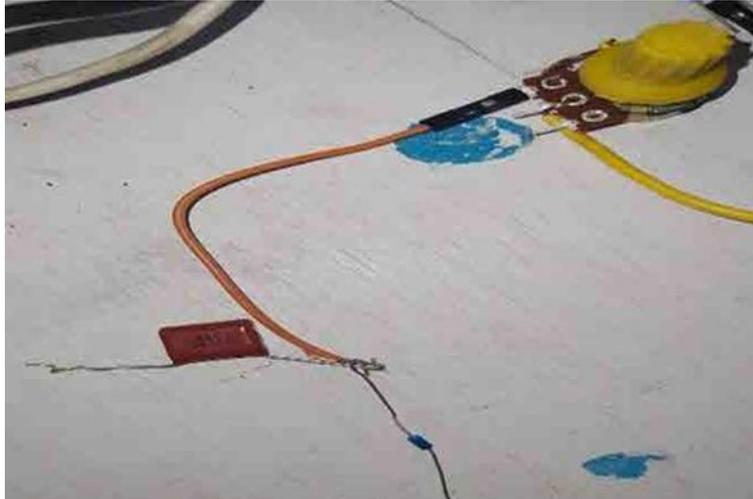
Fuente: autoría propia, 2023.

Paso 07

Conectar el potenciómetro de 100K.

Figura 163

Conexión del potenciómetro.



Fuente: autoría propia, 2023.

Paso 08

Enlazar el condensador a la fase.

Figura 164

Conexión del condensador.



Fuente: autoría propia, 2023.

Paso 09

Realizar la conexión en serie para el arranque del motor universal.

Figura 165

Conexión en serie.



Fuente: autoría propia, 2023.

Paso 10

Al variar el potenciómetro al lado positivo el valor de la corriente es de 1.28 A.

Figura 166

Medición de la corriente.



Fuente: autoría propia, 2023.

Paso 11

Medir el amperaje al girar el potenciómetro al lado negativo y el resultado fue de 0.01A.

Figura 167

Medición de amperaje.



Fuente: autoría propia, 2023.

4.4 Actividades de aprendizaje y evaluación

Evaluación final

1. ¿Para qué está diseñado el diac?

- a. Para el disparo del TRIAC y tiristores.
- b. Para resistir el flujo de corriente eléctrica, como una resistencia.
- c. Control de dispositivos de corriente alterna.

2. Para que está diseñado el triac

- a. Para el disparo del TRIAC y tiristores.
- b. Para resistir el flujo de corriente eléctrica, como una resistencia.
- c. Control de dispositivos de corriente alterna.

3. Escriba verdadero (V) o falso (F)

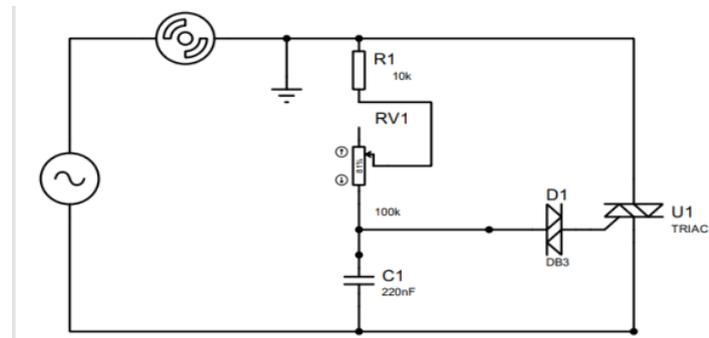
La función del Dimmer es aumentar la señal de entrada, lo provoca que la onda se recorte ().

4. Para evitar la saturación magnética de núcleo y reducir las pérdidas por la corriente de Foucault y por la histéresis, se usan:

- a. Un número menor de vueltas en el inductor
- b. En el inducido se utiliza un número mayor de vueltas
- c. La misma cantidad de vueltas en el inductor e inducido

Actividad de aprendizaje

Simular el siguiente circuito de control de velocidad de un motor AC utilizando tiristores en PROTEUS.

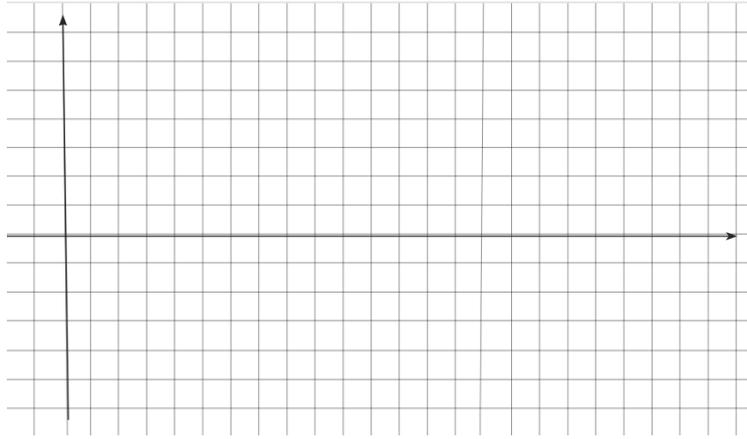


a. Analizar las formas de las ondas en los tiristores de acuerdo a los disparos del TRIAC al variar el potenciómetro en valores diferentes.

- Valor del potenciómetro _____



- Valor del potenciómetro _____



- Valor del potenciómetro _____



- Valor del potenciómetro _____



¡Felicitaciones!

Usted ha finalizado la unidad 4. Ha finalizado el libro de Motor Universal.

Referencias

- Australgomas. (16 de 11 de 2022). *Cómo funciona un motor de corriente directa?* <https://www.australgomas.com.ar/ayuda-para-autos/como-funciona-un-motor-de-corriente-directa.html>.
- Automatismoindustrial. (20 de 03 de 2018). *Arranque de los motores de c.c.* <https://automatismoindustrial.com/curso-carnet-instalador-baja-tension/motores/1-3-5-motores-de-corriente-continua/1-3-5-5-arranque-de-los-motores-de-c-c/>
- Automatismoindustrial. (17 de Junio de 2020). *Principios de funcionamiento del motor de corriente continua.* <https://automatismoindustrial.com/curso-carnet-instalador-baja-tension/motores/1-3-5-motores-de-corriente-continua/1-3-5-2-principios-de-funcionamiento/>
- Caiza, G., & Garzón, M. (06 de 06 de 2013). *Diseño e implementación de un sistema de control de temperatura en los invernaderos de los microempresarios floricultores de la asociación camino a la esperanza de la comuna jurídica de Patután, Parroquia Eloy Alfaro, cantón Latacunga*. <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/1394/1/T-UTC-0978.pdf>
- CATEDU. (2017). *Magnitudes y unidades básicas de circuitos.* http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/270/2958/html/34_magnitudes_y_unidades_basicas_de_los_circuitos_magneticos.html
- Chapman. (03 de 04 de 2014). *Máquinas Eléctricas.* https://frrq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/20762/mod_resource/content/1/Maquinas-electricas-Chapman-5ta-edicion-pdf.pdf
- Cienciasfera. (2015). *Circuito Magnético paralelo o en derivación.* https://cienciasfera.com/materiales/electrotecnia/tema07/6_circuito_magnetico_paralelo_o_en_derivacion.html
- Cienciasfera. (2017). *7. Resolución de circuitos magnético.* https://cienciasfera.com/materiales/electrotecnia/tema07/7_resolucion_de_circuitos_magneticos.html
- Cienciasfera. (2017). *Circuito Magnético serie.* https://cienciasfera.com/materiales/electrotecnia/tema07/5_circuito_magnetico_serie.html
- Circuitos. (24 de 05 de 2014). *TesisOK.* <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/13202/TesisOK.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- CLR. (22 de 05 de 2017). *Motores de corriente continua y alterna: estudio y selección.* <https://clr.es/blog/es/motores-corriente-continua-alterna-seleccion/>
- Coba. (25 de 05 de 2013). *Momento de fuerza.* <https://fisicacobaev.blogspot.com/>
<https://fisicacobaev.blogspot.com/2013/05/dinamica-las-fuerzas-y-sus-efectos->

en_29 40.html

Concha, P. (2017). *Materiales ferromagnéticos*. http://patricioconcha.ubb.cl/transformadores/materiales_ferromagneticos.htm

Electronica Ivan Espinoza. (20 de 05 de 2018). *Electrónica y microcontroladores PICS*. <http://www.electronicaivanespinoza.com/>: <http://www.electronicaivanespinoza.com/2018/05/como-hacer-una-fuente-de-alimentacion.html>

Energía, A. d. (4 de 9 de 2003). *Apuntes - EL42C*. https://www.ucursos.cl/ingenieria/2008/1/EL42C/1/material_docente/bajar%3Fid_material%3D168103

Hdez, W. (02 de 02 de 2014). *Dimmer*. <https://es.slide.share.net/wiwihdez/dimmer-30739461>

Ikastaroak. (2014). *Analogía entre los circuitos eléctricos y magnéticos*. https://ikastaroak.birt.eus/edu/es/IEA/E/E04/es_IEA_E04_Contenidos/website_155_analoga_entre_los_circuitos_elctricos_y_magnticos.html

Joaled_pk. (01 de 12 de 2011). *Electronica de Potencia*. <https://electronicapotsena.blogspot.com/2011/12/diac-el-diac-diodo-pa-ra-corriente.html>

Junta de Andalucía. (14 de Marzo de 2011). *Principios de máquinas: Motores eléctricos de Corriente CC*. https://edea.juntadeandalucia.es/bancorecursos/file/6066d3f7-2e48-4a86-8dde-10bb038cea67/1/es-an_2011031413_9194908.zip/TI2_U5_T4_Contenidos_v01.pdf?temp.hn=true&temp.hb=true

Junta de Andalucía. (14 de 03 de 2011). *TI2_U5_T4_Contenidos_v01*. https://edea.juntadeandalucia.es/bancorecursos/file/6066d3f7-2e48-4a86-8dde-10bb038cea67/1/es-an_2011031413_9194908.zip/TI2_U5_T4_Contenidos_v01.pdf?temp.hn=true&temp.hb=true

Lima, B. (05 de 11 de 2012). <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2285/10/UPS-GT000162.pdf>

Máquinas Eléctricas. (22 de 11 de 2016). <https://maquinaselectricasblog.wordpress.com/motor-sincrono/>

Motor AC. (21 de 06 de 2014). *Motores Eléctricos Monofásicos y Trifásicos*. https://proyectoelectricidadindustria.blogspot.com/2014_06_01_archive.html

Motores y Generadores. (08 de 10 de 2020). *Limpieza y rebarnizado de bobinados*. <https://motoresygeneradores.com/limpieza-y-rebarnizado-de-bobinados/>

Motores y generadores. (11 de 09 de 2020). *Mantenimiento de motores de corriente continua*. <https://motoresygeneradores.com/mantenimiento-de-motores-de-corriente-continua/>

- Murillo, A. F. (17 de 02 de 2012). *Máquinas de corriente continua*. <https://www.monografias.com/trabajos91/maquinas-de-corriente-continua/maquinas-de-corriente-continua>
- Nasimba. (5 de 18 de 2018). *Análisis de la eficiencia y características del par en función de la velocidad de un motor de corriente continua (c-d) con el campo en derivación*. Quevedo: Ecuador.
- Nkravtsov. (20 de 09 de 2018). *Electrónica industrial*. https://dgec.mep.go.cr/sites/all/files/dgec_mep_go_cr/pruebas/electronica_industrial.pdf
- Ortiz, J. F. (23 de 05 de 18). *Reparación de una Bicicleta Eléctrica*. <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/7287/1/138226.pdf>
- Pozueta, M. A. (15 de 05 de 2015). *máquinas de corriente continua*. <https://personales.unican.es/rodrigma/pdfs/maquinas%20cc.pdf>
- RAING. (2022). *anillo de Rowland*. <https://diccionario.raing.es/es/lema/anillo-de-rowland>
- Ribas, J. (02 de 2016). *Motores de Corriente Continua (CC) : Tipos de Conexiones*. https://dissenyproducte.blogspot.com/2016/02/motores-de-corriente-continua-cc-tipos_1.html
- Romero, R. S. (2015). *Conceptos y fenómenos Eléctromagnéticos:— Transcripción de la presentación*. <https://slideplayer.es/slide/5522615/>
- Rosado, A. (2014). *Arduino*. <https://angelrosado.neocities.org/aplicando%20estilos>
- Ruta 401. (22 de 02 de 2018). *Motor monofásico: ¿cómo se realiza la inversión de giro?* <https://blog.reparacion-vehiculos.es/inversion-de-giro-motor-monofasico#:~:text=Te%20lo%20contamos.,P ara%20qu%C3%A9%20sirve%20invertir%20el%20giro%20en%20un%20motor%20monof%C3%A1sico,invertir%20el%20giro%20para%20pararla>
- Significados. (03 de 02 de 2019). *Qué es el magnetismo*. <https://www.significados.com/magnetismo/>
- Tirado, Devera, Perez, Galito, & Bailey. (12 de 03 de 2021). *Controladores de voltaje de corriente alterna (C.A.)*. <https://www.monografias.com/trabajos72/controladores-voltaje-corriente-alterna/controladores-voltaje-corriente-alterna>
- Unicrom. (17 de 02 de 2023). *Motor eléctrico Universal – Constitución, funcionamiento, velocidad*. <https://unicrom.com/motor-universal-funcionamiento-velocidad/>
- Unicrom. (s.f.). *DIAC – Diodo de disparo bidireccional – Diode alternative current*. <https://unicrom.com/diac-diodo-disparo-bidireccional/>

- UNODC. (20 de 6 de 2016). *Mexico - Monitoreo de Cultivos de Amapola*.
<https://www.unodc.org/documents/crop-monitoring/Mexico/Mexico-Monitoreo-Cultivos-Amapola-2014-2015-LowR.pdf>
- Villa, P. (03 de 06 de 2023). *Motor universal*.
<https://es.scribd.com/document/650391992/TAREA-5>
- Walch, J. (21 de 07 de 2017). *Cómo conectar un motor de 110V y 220V*.
<https://www.puomotores.com/13083884/como-conectar-un-motor-de-110v-y-220v>
- Zapata, F. (19 de 02 de 2020). *Reluctancia magnética: unidades, fórmulas, cálculo, ejemplos*. <https://www.lifeder.com/reluctancia-magnetica/>

MOTOR

UNIVERSAL

<https://orcid.org/0000-0001-8390-6200>
(Fránklin Sánchez)

<https://orcid.org/0009-0005-7513-9845>
(Carlos López)

<https://orcid.org/0009-0007-9938-7397>
(Pamela Chacha)

ISBN: 978-9942-45-842-1



9 789942 458421