

Motores Eléctricos

Carlos Daniel Gil Guzman ()
 Cristian López Uribe (1002634528)
 Juan Leandro Parra Arias ()
15 de septiembre de 2024

Resumen— Un motor eléctrico funciona mediante la conversión de energía eléctrica en energía mecánica, basándose en principios electromagnéticos fundamentales. Aplicando la Ley de Faraday, el motor induce una fuerza electromotriz al variar el flujo magnético a través de bobinas. Según la Ley de Ampère, la corriente eléctrica en estas bobinas genera un campo magnético que interactúa con el campo del estator, produciendo una fuerza de Lorentz que causa el movimiento rotacional. La Ley de Ohm regula la relación entre voltaje, corriente y resistencia en el circuito del motor, influyendo en su eficiencia. La Ley de Lenz asegura que el campo magnético generado se opone a los cambios que lo originan, manteniendo la conservación de la energía. Finalmente, el motor debe ser diseñado para minimizar pérdidas de energía, cumpliendo con la Ley de Conservación de la Energía.

Palabras clave— Campo magnético, Eficiencia energética, Fuerza electromotriz, Imán, Magnetismo, Materiales conductores.

I. Introducción

En nuestro entorno, es común estar rodeados de dispositivos industriales, ya que muchos de los dispositivos y sistemas que encontramos en nuestra vida cotidiana tienen su origen en diversos sectores industriales. Estos dispositivos son fundamentales para la operación de una amplia gama de procesos y servicios esenciales, desde la producción de bienes de consumo hasta el suministro de energía y la gestión de infraestructura.

Uno de los grandes desafíos que se han presentado con el paso de los años en los motores eléctricos son los problemas relacionados con la eficiencia energética, el mantenimiento y el desgaste de materiales, entre otros factores de gran impacto e importancia. La eficiencia energética es crítica no solo para reducir los costos operativos, sino también para minimizar el impacto ambiental. El mantenimiento y el desgaste de materiales afectan directamente la vida útil de los motores, la fiabilidad de las operaciones y los costos asociados con el tiempo de inactividad y las reparaciones.

Además, continuamente se busca mejorar estos dispositivos a través de la investigación y la implementación de nuevos materiales y tecnologías, con el objetivo de lograr un mejor rendimiento. La innovación en materiales y tecnologías emergentes, como la integración de sistemas de monitoreo en tiempo real y el uso de inteligencia artificial

para el mantenimiento predictivo, están transformando la gestión y optimización de estos dispositivos.

Por lo tanto, en cuanto al mejoramiento de estos dispositivos, los aspectos clave incluyen la eficiencia, la durabilidad y el costo-beneficio. La eficiencia se refiere a la capacidad del motor para convertir la energía eléctrica en energía mecánica con mínimas pérdidas. La durabilidad está relacionada con la capacidad del motor para operar de manera fiable durante un período prolongado bajo diversas condiciones de carga y ambiente. El costo-beneficio implica evaluar no solo el costo inicial de los motores y materiales, sino también los costos a lo largo de su vida útil, incluyendo el mantenimiento, la operación y la energía consumida.

Estos factores son muy decisivos para las personas que manipulan dichos elementos en el ámbito laboral. Los ingenieros, técnicos y operadores dependen de motores eléctricos que sean fiables, eficientes y fáciles de mantener para garantizar la continuidad y eficacia de las operaciones industriales. La selección de motores y materiales adecuados puede tener un impacto significativo en la productividad y los costos operativos.

Por otra parte, teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo que se pretende con el dispositivo es determinar cuáles propiedades son fundamentales para su mejoramiento. Identificar y priorizar las propiedades críticas permite un enfoque más dirigido en el diseño y desarrollo de motores eléctricos avanzados. La optimización y el diseño juegan un papel crucial para cumplir con este objetivo en general, contribuyendo a la creación de motores eléctricos que no solo satisfacen las necesidades actuales de la industria, sino que también están preparados para enfrentar los desafíos futuros.

II. Marco teórico

- **Campo magnético:** Un campo magnético es una descripción matemática de la influencia magnética de las corrientes eléctricas y de los materiales magnéticos. El campo magnético en cualquier punto está especificado por dos valores, la dirección y la magnitud; de tal forma que es un campo vectorial. Específicamente, el campo magnético es un vector axial, como lo son

los momentos mecánicos y los campos rotacionales. El campo magnético es más comúnmente definido en términos de la fuerza de Lorentz ejercida en cargas eléctricas.

- **Eficiencia energética:** El concepto de uso eficiente de la energía hace referencia a la capacidad para obtener los mejores resultados en cualquier actividad empleando la menor cantidad posible de recursos energéticos. Nos permite reducir el consumo de cualquier tipo de energía y con ello los posibles impactos ambientales asociados a ella. Esto es aplicable desde la generación de dicha energía hasta su consumo final.
- **Fuerza electromotriz:** En electromagnetismo y electrónica, fuerza electromotriz o voltaje inducido (también electromotancia, abreviada fem, denotada como E) es la acción eléctrica producida por una fuente no eléctrica, medida en voltios. Los dispositivos llamados transductores eléctricos proporcionan una fem mediante la conversión de otras formas de energía en energía eléctrica, como baterías (que convierten energía química) o generadores (que convierten energía mecánica). Esta conversión de energía se consigue mediante fuerzas físicas aplicando trabajo físico sobre cargas eléctricas. Sin embargo, el término fuerza electromotriz no es realmente una fuerza. El error de Volta de etiquetarla como fuerza es un nombre erróneo que persiste como reliquia histórica.
- **Imán:** Se conoce como imán a un cuerpo de cualquier material capaz de producir un campo magnético y atraer hacia sí o ser atraído hacia otro imán o hacia cualquier otro cuerpo de hierro, cobalto u otros metales ferromagnéticos. Es un material con propiedades ferromagnéticas naturales o artificiales, que generan un campo magnético continuo.
- **Magnetismo:** El magnetismo es el conjunto de fenómenos físicos mediados por campos magnéticos. Estos pueden ser generados por las corrientes eléctricas o por los momentos magnéticos de las partículas constituyentes de los materiales. Es parte de un fenómeno más general: el electromagnetismo. También denomina a la rama de la física que estudia dichos fenómenos
- **Materiales conductores:** Los materiales conductores son aquellos que, en mayor o menor medida, son capaces de conducir electricidad. Este tipo de materiales permiten el desplazamiento libre y fluido de electrones de un punto a otro si se conectan a un punto de tensión. Los metales como el cobre, hierro, oro, aluminio y plata son los mejores materiales conductores de electricidad.

II-A. Descripción

El funcionamiento de un motor eléctrico se basa en el principio de que una corriente eléctrica que pasa a través de un conductor genera un campo magnético alrededor de dicho conductor. Este campo magnético interactúa con otro campo magnético para producir movimiento. La ley

de Faraday de la inducción electromagnética establece que una corriente inducida es producida en un circuito cuando existe un cambio en el flujo magnético a través del circuito, y este principio es fundamental para el funcionamiento de generadores y motores eléctricos. Además, la fuerza que actúa sobre una carga eléctrica en movimiento en un campo magnético se describe por la ley de Lorentz, la cual establece que $F=q(E+v \times B)$. En motores eléctricos, esta ley se manifiesta en la interacción entre el campo magnético y la corriente en los conductores del rotor.

Por otro lado, el estator es la parte fija del motor y generalmente contiene los devanados del campo magnético. Estos devanados pueden ser bobinas de alambre a través de las cuales pasa corriente eléctrica, creando un campo magnético estacionario o giratorio. En contraste, el rotor es la parte móvil del motor que gira dentro del estator y contiene conductores que interactúan con el campo magnético del estator, generando fuerzas que causan el movimiento rotatorio. En motores de corriente continua (CC), el conmutador es un dispositivo mecánico que invierte la dirección de la corriente en el rotor, asegurando que el rotor gire en una dirección continua, mientras que las escobillas son contactos eléctricos que presionan contra el conmutador, permitiendo que la corriente fluya hacia el rotor. Además, algunos motores utilizan imanes permanentes en lugar de devanados de campo en el estator para crear el campo magnético necesario para el funcionamiento del motor.

Al aplicar corriente eléctrica a los devanados del estator, se crea un campo magnético. En motores de corriente alterna (CA), este campo magnético puede ser un campo magnético giratorio debido a la naturaleza alternante de la corriente. En consecuencia, el campo magnético creado por el estator induce una corriente en los conductores del rotor (si es un motor de inducción) o interactúa directamente con el campo magnético del rotor (si es un motor de imanes permanentes).

La interacción entre el campo magnético del estator y la corriente en el rotor genera una fuerza de Lorentz que actúa sobre los conductores del rotor. Esta fuerza es perpendicular tanto al campo magnético como a la corriente, creando un par de torsión que hace que el rotor gire.

En motores de corriente continua, el conmutador invierte la dirección de la corriente en los conductores del rotor en el momento adecuado, asegurando que el rotor continúe girando en la misma dirección. En motores de corriente alterna, el campo magnético giratorio del estator mantiene el rotor en movimiento continuo. Finalmente, a medida que el rotor gira, convierte la energía eléctrica suministrada al motor en energía mecánica que puede ser utilizada para realizar trabajo, como mover una carga, accionar una bomba o hacer girar una herramienta.

II-B. Leyes Físicas y Ecuaciones de Campo

■ Leyes Físicas

1. Ley de Faraday de inducción Electromagnética

- a) Descripción: Esta ley establece que un campo magnético variable en el tiempo induce una fuerza electromotriz (FEM) en un conductor.
- b) Ecuación:

$$\varepsilon = -\frac{d\varphi_B}{dt}$$

Donde

$$\varepsilon$$

es la FEM inducida y

$$\varphi_B$$

es el flujo magnético a través del conductor.

2. Ley de Lenz

- a) Descripción: La Ley de Lenz afirma que la dirección de la corriente inducida por una FEM es tal que genera un campo magnético que se opone al cambio en el flujo magnético que la originó.
- b) Ecuación: Ya está incorporada en la ecuación de Faraday como el signo negativo.

3. Ley de Ohm

- a) Descripción: Establece la relación entre la tensión (V), la corriente (I) y la resistencia (R) en un circuito eléctrico.
- b) Ecuación:

$$V = IR$$

4. Ley de Ampère

- a) Descripción: Relaciona el campo magnético alrededor de un conductor con la corriente que lo atraviesa.
- b) Ecuación:

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 I$$

Donde

$$\mathbf{B}$$

es el campo magnético,

$$d\mathbf{l}$$

es un elemento diferencial de la trayectoria cerrada,

$$\mu_0 I$$

es la permeabilidad del vacío, y

$$I$$

es la corriente.

5. Ley de Lorentz

- a) Descripción: Describe la fuerza que actúa sobre una carga en movimiento en un campo eléctrico y magnético.
- b) Ecuación:

$$\mathbf{F} = q (\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

Donde

$$\mathbf{F}$$

es la fuerza sobre la carga q,

$$\mathbf{E}$$

es el campo eléctrico,

$$\mathbf{v}$$

es la velocidad de la carga, y

$$\mathbf{B}$$

es el campo magnético.

• Ecuaciones de campo

1. Ecuaciones de Maxwell

- a) Descripción: Un conjunto de ecuaciones fundamentales que describen cómo los campos eléctricos y magnéticos se generan y se modifican por cargas y corrientes.
- b) Ecuaciones:
 - Ley de Gauss para el Campo Eléctrico

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

- Ley de Gauss para el Campo Magnético

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

- Ley de Faraday

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

- Ley de Ampère-Maxwell

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$$

2. Ecuación del Campo Magnético en Motores

- Descripción: La ecuación que describe el campo magnético generado por corrientes en el estator y el rotor de un motor.
- Ecuación:

$$B = \mu_0 \left(H + \frac{M}{\mu_0} \right)$$

Donde

$$H$$

es el campo magnético,

$$M$$

es la magnetización, y

$$\mu_0$$

es la permeabilidad del vacío.

3. Ecuación de la Fuerza Electromagnética en un Motor

- Descripción: Calcula la fuerza que actúa sobre un conductor en un campo magnético.
- Ecuación:

$$\mathbf{F} = I \mathbf{L} \times \mathbf{B}$$

Donde

$$I$$

es la corriente,

$$L$$

es la longitud del conductor en el campo magnético, y

$$B$$

es el campo magnético.

II-C. *Proyección de las Ecuaciones de Campo al plano circuital*

En el proceso de proyección, se traduce el comportamiento del campo magnético y eléctrico del motor en parámetros circuitales. En este caso se determina que dichos parámetros son:

- Resistencia del estator: Representa la oposición al flujo de corriente en el devanado del estator.

- Inductancia del rotor: efleja la capacidad del rotor para almacenar energía en el campo magnético.
- Fuerza electromotriz (FEM): Indica la tensión generada por la interacción entre el campo magnético y el rotor.

Los cuales permiten realizar un análisis detallado del rendimiento del motor eléctrico en su configuración circuital, facilitando la identificación de mejoras y optimizaciones necesarias para cumplir con las especificaciones técnicas del motor.

III. Metodología

III-A. *Herramientas utilizadas*

- Alambre esmaltado calibre 20
- Balso
- Balso
- Imanes
- Laminas de cobre
- Transformador de 110V a 12V

III-B. *Montajes*

1. Preparación de componentes:

- Cortar dos círculos con un diámetro de 2,5 cm. Estos círculos serán las bases de la estructura del motor.
- Cortar cuatro balso (maderas redondas) con un diámetro de 5 cm. También cortar otro balso para utilizarlo como eje.
- Cortar un bálso redondo #14 con una medida de 2,5 cm de largo. Este bálso se usará para la estructura adicional del motor.

2. Construcción de la Estructura:

- Hacer una estructura para colocar los rodamientos, que servirá para montar el eje y mantener toda la estructura del rotor y el estator en su lugar.

3. Preparación de los Círculos:

- Dividir los dos círculos de 2,5 cm de diámetro en ocho sectores iguales. Esto permitirá colocar tornillos que sostendrán las bobinas.
- Realizar una perforación en el centro de los círculos de 2,5 cm de diámetro para el eje, con un diámetro aproximado de 14 cm.
- Hacer cuatro agujeros en cada círculo para los terminales de las bobinas.

4. Montaje de la Estructura del Estator:

- Colocar el eje a través del orificio central de los círculos de 2,5 cm de diámetro.
- Instalar los cuatro balso de 5 cm en el eje para soportar la estructura del estator.
- Fijar tornillos en los círculos de 2,5 cm de diámetro para el soporte de las bobinas.

5. Bobinado de las Bobinas:
 - En cada círculo de 2,5 cm de diámetro, colocar cuatro tornillos (dos en cada círculo) de manera que queden en una disposición paralela.
 - Comenzar el bobinado utilizando alambre de calibre 20 AWG, realizando 20 espiras alrededor de los tornillos en cada círculo.
 - Bobinar con cuidado para asegurar que el alambre se coloque uniformemente y que las espiras estén bien sujetas.
 - Pasar las puntas del alambre a través de los agujeros para los terminales, obteniendo cuatro salidas para las cuatro bobinas.
6. Preparación del Balso redondo #14:
 - Perforar el balso redondo 14 para que encaje a presión en el eje, asegurando que se ajuste de manera precisa y firme.
7. Montaje de los Terminales y Placas de Cobre:
 - Realizar una perforación en el balso redondo 14 para que encaje perfectamente en el eje.
 - Montar el balso redondo 14 en el eje.
 - Colocar ocho placas de cobre (cada una de 5 mm por 2,5 cm) en el balso para los terminales de las bobinas.
 - Soldar cada terminal a las placas de cobre, asegurando un desfase de 180 grados entre cada terminal. Esto se logra ubicando las placas con una separación de 4 placas para lograr el desfase requerido.
8. Montaje Final:
 - Montar la estructura completa en los rodamientos.
 - Ubicar los imanes en la estructura para generar el campo magnético necesario para el funcionamiento del motor.
9. Conexión y Prueba:
 - Conectar las bobinas a un transformador de 110V a 12V.
 - Verificar que al colocar los terminales en las bobinas, se genere una chispa. Esto indica que las bobinas están generando un campo magnético.
 - Observar el movimiento generado por la interacción entre las bobinas y los imanes, lo que debería resultar en un movimiento casi continuo, que se convierte en energía mecánica.

IV. Resultados

IV-A. Banco de pruebas

IV-B. Variables y condiciones de frontera

V. Análisis

VI. Conclusiones

- Los motores eléctricos están estrechamente vinculados a la calidad de los materiales utilizados y la precisión en su ensamblaje. Factores como la resistencia

eléctrica y las pérdidas por fricción son críticos y deben ser gestionados adecuadamente para maximizar el rendimiento del motor.

- La eficiencia juega un papel fundamental debido a que contribuye de manera significativa a la reducción del consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero. Esto los hace alinearse con los objetivos de sostenibilidad ambiental y eficiencia energética, lo cual es crucial en el contexto actual de cambio climático.
- El campo magnético generado por los motores eléctricos es crucial para su funcionamiento. La optimización de la intensidad y la orientación del campo magnético puede mejorar significativamente el rendimiento del motor. Además, el diseño de los sistemas magnéticos debe ser una prioridad para aumentar la eficiencia y reducir las pérdidas.
- La adopción de nuevos materiales y tecnologías, como imanes y conductores, se han identificado como áreas con gran potencial para mejorar significativamente la eficiencia y el rendimiento de los motores eléctricos. Estas implementaciones pueden hacer que los motores sean más compactos y potentes

REFERENCIAS

- [1] "Campo magnético", Wikipedia, la enciclopedia libre. el 19 de abril de 2024. Consultado: el 31 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Campo_magnético&oldid=159543147
- [2] «¿Qué es la eficiencia energética y qué ventajas tiene?», REPSOL. Accedido: 31 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.repsol.com/es/sostenibilidad/ejes-sostenibilidad/cambio-climatico/eficiencia-energetica/que-es-la-eficiencia-energetica/index.cshtml>
- [3] "Fuerza electromotriz", Wikipedia, la enciclopedia libre. el 26 de mayo de 2024. Consultado: el 31 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Fuerza_electromotriz
- [4] "Imán - Concepto, tipos, características y funcionamiento", <https://concepto.de/>. Consultado: el 31 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://concepto.de/iman/>
- [5] "Magnetismo", Wikipedia, la enciclopedia libre. el 17 de julio de 2024. Consultado: el 31 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Magnetismo>
- [6] "Qué son los materiales conductores y sus características", Ferrovial. Consultado: el 31 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.ferrovial.com/es/recursos/materiales-conductores/>