

- REPORTE DE FISICA -

INTEGRANTES DEL EQUIPO:

- Bryan Alhadi Castillo Benítez
- Fernando Chuc Rosado
- Danel Aldair Hernández Dzib
- Alfonso Robles Prieto
- Alfredo Serrano Nuñez
- Miguel de Jesús Tugores Rodríguez

Grupo: A

Matrículas: {15258180, 15258819, 15259059, 15258875, 15257799, 15259130}

Profesor(a): Alberto Gabriel Vega Poot

Asignatura: Física Aplicada

Semestre Escolar: Enero - junio 2026

Mérida, Yucatán, 3 de junio de 2026

OBJETIVO GENERAL:

- Demostrar el principio de funcionamiento de un motor lineal mediante la construcción de un acelerador magnético impulsado por electroimanes, evaluando la relación entre los datos teóricos y las mediciones experimentales del sistema.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

1. Construir un circuito electromagnético funcional utilizando bobinas de alambre esmaltado y fuentes de alimentación de corriente continua.
2. Medir las cantidades físicas involucradas en el sistema durante su funcionamiento para generar una estadística adecuada.
3. Comparar analíticamente los resultados experimentales obtenidos con un ejercicio teórico resuelto basado en las leyes del electromagnetismo.

Semestre Escolar: Enero - junio 2026

Mérida, Yucatán, 3 de junio de 2026

INTRODUCCIÓN

Detrás de la respuesta háptica de un mando de consola y de los sistemas de enfriamiento activo en el hardware de alto rendimiento, se esconde un principio físico fundamental: el electromagnetismo. En el ámbito del Desarrollo de Tecnología y Software, comprender la convergencia entre la energía eléctrica y el movimiento mecánico es un pilar para el diseño de soluciones innovadoras. Este documento presenta el desarrollo y análisis de un acelerador magnético lineal impulsado por electroimanes, abordando de manera práctica los conceptos de la Ley de Ampère y la interacción de los campos magnéticos.

Históricamente, el estudio del electromagnetismo ha transformado el diseño de motores e interfaces físicas. Sin embargo, su complejidad a menudo queda relegada a simulaciones numéricas o cálculos aislados. La relevancia de este proyecto radica en llevar la teoría a un entorno tangible, permitiendo visualizar y cuantificar cómo una corriente eléctrica estructurada a través de un solenoide es capaz de generar una fuerza motriz directa sobre un elemento con un campo magnético inherente, como un imán de neodimio.

El objetivo principal de este texto es analizar detalladamente el funcionamiento del prototipo construido, demostrando la relación directa entre las variables eléctricas suministradas y el rendimiento mecánico del sistema. Se busca no solo describir el fenómeno físico, sino evaluar analíticamente su comportamiento frente a las ecuaciones ideales.

Para lograr este propósito, el documento se estructura partiendo de una revisión de los principios físicos involucrados. Posteriormente, se expone la metodología empleada para la construcción del circuito con alambre esmaltado y fuentes de corriente continua, detallando las técnicas e instrumentos utilizados para la medición de las cantidades físicas. Finalmente, se presentan los resultados recabados para contrastar los valores experimentales frente al ejercicio teórico matemático, cerrando con las conclusiones sobre las variables del entorno real que influyen en el experimento.

Semestre Escolar: Enero - junio 2026

Mérida, Yucatán, 3 de junio de 2026

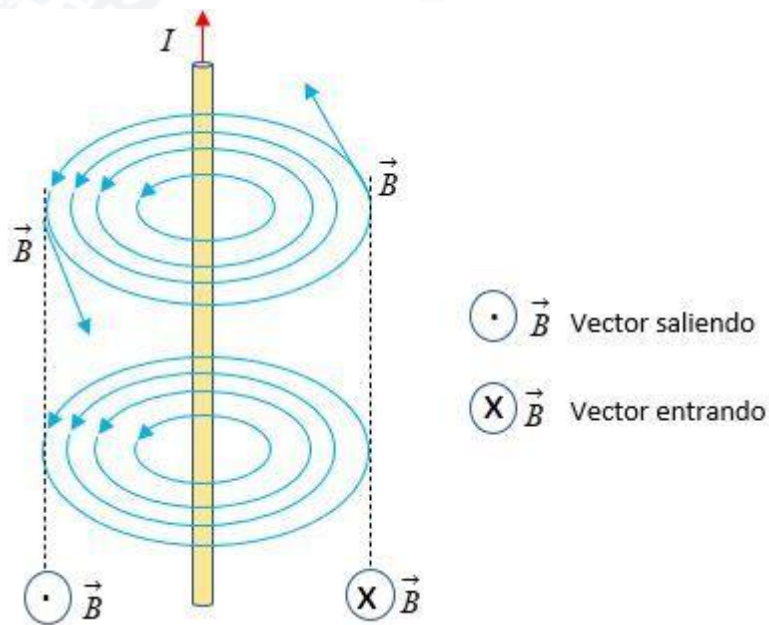
MARCO TEORICO:

Para entender el funcionamiento de nuestro acelerador magnético, es necesario repasar los conceptos clave del electromagnetismo que hacen posible este fenómeno:

1. Fundamentos del Electromagnetismo

Para comprender cómo logramos mover el vehículo de prueba sin ningún tipo de contacto mecánico tradicional, debemos partir de la estrecha relación entre la electricidad y el magnetismo. Como se documenta en los textos de la Universidad Nacional Autónoma de México (s.f.), el movimiento de cargas eléctricas (es decir, una corriente) a través de un material conductor genera invariablemente un campo magnético a su alrededor.

Históricamente, esto fue descubierto por Hans Christian Ørsted cuando notó que la aguja de una brújula se desviaba al acercarla a un cable con corriente. En nuestro proyecto, aprovechamos este preciso principio físico para crear campos magnéticos temporales y controlables a voluntad, permitiéndonos encender y apagar la fuerza de atracción según lo requiera el sistema.



(Figura 1. Representación gráfica de un campo magnético generado alrededor de un conductor recto)

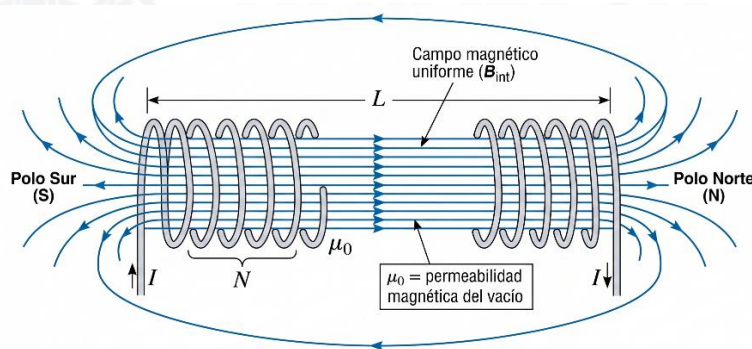
Semestre Escolar: Enero - junio 2026

Mérida, Yucatán, 3 de junio de 2026

2. La Ley de Ampère y el Solenoide

Si un solo cable recto genera un campo magnético débil, ¿cómo logramos la fuerza suficiente para mover el peso del carrito? Aquí es donde entra la **Ley de Ampère**. Esta ley nos dice, en términos prácticos, que podemos sumar campos magnéticos.

En lugar de usar un cable estirado, tomamos alambre de cobre esmaltado y lo enrollamos en forma de espiral sobre un tubo. A esta estructura en física se le conoce como **solenoides**. Al enrollar el alambre, el campo magnético de cada pequeña vuelta (o espira) se suma con el de la siguiente. El resultado es un campo magnético súper concentrado en el interior del tubo, funcionando exactamente igual que un imán de barra tradicional, con su polo norte y su polo sur, pero con la ventaja de que podemos encenderlo y apagarlo a voluntad.



(Figura 2. Líneas de campo magnético en el interior y exterior de un solenoide ideal)

Para nuestro reporte, la cantidad física principal que nos interesa medir y calcular es la magnitud de este campo magnético. Para un solenoide, la fórmula teórica ideal es:

$$B = \mu_0 \cdot \frac{N}{L} \cdot I$$

Donde es vital usar las unidades de medida correctas del Sistema Internacional (SI):

Semestre Escolar: Enero - junio 2026

Mérida, Yucatán, 3 de junio de 2026

- B : Es la magnitud del campo magnético, y se mide en **Teslas (T)** (o microteslas μT en la práctica, ya que 1 T es una cantidad enorme).
- μ_0 : Es la permeabilidad magnética del vacío, una constante universal que equivale a $4\pi \times 10^{-7} T \cdot \frac{m}{A}$
- N : Es el número total de vueltas o espiras de alambre que conforman nuestra bobina (es una cantidad adimensional).
- L : Es la longitud total de la bobina, medida en **metros (m)**.
- I : Es la intensidad de la corriente eléctrica suministrada por las baterías, medida en **Amperios (A)**.

3. Materiales Magnéticos: ¿Por qué Neodimio y Cobre?

El éxito de este prototipo recae en gran medida en la selección de sus componentes, la cual se basó en su comportamiento subatómico ante los campos magnéticos (Ingenierizando, s.f.-b):

1. **Ferromagnetismo (El móvil):** Utilizamos imanes de neodimio (NdFeB) adheridos al coche. A nivel microscópico, los materiales ferromagnéticos tienen "dominios magnéticos" (pequeños grupos de átomos) que se alinean en una sola dirección. Esto les permite mantener una magnetización permanente altísima, generando un campo sumamente fuerte en proporciones muy compactas, sin añadirle un peso excesivo a nuestro vehículo.
2. **Diamagnetismo (El actuador):** Para construir la bobina usamos alambre de cobre esmaltado. Al ser diamagnético, la estructura atómica del cobre no retiene ninguna magnetización permanente tras cortar el suministro de corriente. Esto es crucial; si hubiéramos utilizado alambre de hierro, el tubo entero se habría convertido en un imán permanente que atraparía al carrito, actuando en contra del movimiento deseado.

Característica Física	Imán de Neodimio (NdFeB)	Alambre de Cobre Esmaltado (Cu)
Clasificación Magnética	Ferromagnético (Imán permanente)	Diamagnético (No magnético)
Función en el Prototipo	Proveer el campo magnético estático e interactuar como el objeto móvil impulsado por la fuerza de Lorentz.	Conducir la corriente eléctrica (I) para inducir un campo magnético temporal (Electroimán/Solenoides).
Comportamiento ante un campo externo	Es fuertemente atraído o repelido dependiendo de la polaridad.	No es atraído por los imanes. Genera una ligerísima repulsión casi imperceptible.
Conductividad Eléctrica	Moderada (metálico, pero con resistencia).	Muy Alta. Es uno de los mejores conductores eléctricos a temperatura ambiente.
Retentividad Magnética	Altísima. Conserva su magnetización permanentemente sin necesidad de energía externa.	Nula. Al apagar la corriente, el campo magnético desaparece instantáneamente (ideal para no frenar el carrito).



VS



"Figura 3. Materiales utilizados y su clasificación magnética"

Semestre Escolar: Enero - junio 2026

Mérida, Yucatán, 3 de junio de 2026

4. Interacción Magnética y Fuerza de Lorentz

El trabajo mecánico, o el "empuje", se produce en el milisegundo en que cerramos el circuito: la corriente fluye por las espiras de cobre e induce el campo magnético direccional de la bobina. De manera inmediata, las líneas de este campo electromagnético interactúan violentamente con el campo estático del imán de neodimio.

Como detalla la Universidad Carlos III de Madrid (s.f.), esta interacción entre cargas en movimiento y campos magnéticos externos se rige por el principio de la Fuerza de Lorentz (Fiscalab, s.f.). Dependiendo de la orientación de los polos (norte y sur), esta fuerza se traduce en nuestro prototipo en una fuerza de atracción masiva hacia el centro del tubo, otorgándole al carrito la aceleración lineal que observamos a simple vista.

5. Consideraciones Físicas Reales: Ley de Lenz y Fricción

Es importante destacar que el modelo analítico de las fórmulas es un escenario "ideal" en el vacío; sin embargo, el rendimiento experimental de nuestro proyecto se ve duramente afectado por la realidad de la física termodinámica y mecánica. Además de la obvia fricción mecánica (fricción cinética) entre las llantas del carrito y las imperfecciones de la madera del riel, nos enfrentamos a dos pérdidas de energía principales:

- **Efecto Joule:** Gran parte de la energía eléctrica proporcionada por las baterías no se convierte en movimiento, sino que se disipa en forma de calor debido a la resistencia eléctrica natural del alambre de cobre.
- **Ley de Lenz:** Al desplazarse el imán de neodimio a gran velocidad por el interior hueco de la bobina, su propio campo magnético en movimiento induce una "fuerza contraelectromotriz" en el cobre que se opone directamente a la causa que la produce (Definición.edu.lat, s.f.). Este fenómeno actúa, irónicamente, como un freno magnético inherente que limita la velocidad y aceleración máxima que nuestro sistema puede alcanzar.

6. Aplicaciones en el Desarrollo de Tecnología y Software

Para los desarrolladores y futuros ingenieros en software, este principio electromagnético es la piedra angular del control de hardware. En la industria, un acelerador de múltiples etapas o un brazo robótico no se enciende con un botón manual de plástico, sino que está estrechamente vinculado al software.

Mediante la programación de microcontroladores y sistemas embebidos, se ejecuta código estructurado para enviar señales de Modulación por Ancho de Pulsos (PWM). El software calcula la posición del objeto mediante sensores e interrumpe el flujo eléctrico de las bobinas en el microsegundo exacto para maximizar la aceleración sin que la bobina jale al objeto hacia atrás. Este proyecto demuestra de manera fehaciente cómo las leyes abstractas de la física se traducen en variables y algoritmos que nosotros podemos controlar mediante líneas de código para interactuar con el mundo físico.



METODOLOGÍA

Para demostrar la aplicación de los conceptos de electromagnetismo, se optó por el diseño y construcción de un acelerador magnético lineal. La solución al problema planteado se dividió en dos fases principales: el ensamblaje mecánico del riel en la parte superior y la integración del circuito eléctrico en la parte inferior de la base.

Materiales Utilizados

- Base y riel contruidos con cartón.
- Alambre de cobre de un solo hilo (1.5mm de grosor) para las bobinas.
- 2 baterías AA de 1.5V (proporcionando un total de 3V en serie) con su respectivo portapilas.
- 2 botones pulsadores (interruptores normalmente abiertos).
- 60 cm de cable eléctrico con recubrimiento aislante.
- 1 vehículo de prueba (carro de juguete).
- 10 imanes de neodimio adheridos al vehículo.
- Cables con pinzas tipo caimán y soldadura para asegurar los empalmes.

Procedimiento de Construcción

1. **Ensamblaje del chasis y riel:** Se utilizó una base rectangular de cartón rígido. En la cara superior, se construyó un canal o riel guía delimitado por tiras de cartón, diseñado con el ancho exacto para permitir el libre desplazamiento del carro de juguete en línea recta, minimizando la fricción lateral.
2. **Manufactura de los solenoides:** En ambos extremos del riel, se fabricaron bobinas enrollando el alambre de cobre de 1.5mm. Se retiró el esmalte en las puntas del cobre para garantizar una correcta conductividad eléctrica.
3. **Preparación del Móvil:** Se adhirieron los 10 imanes de neodimio a la estructura del carro de juguete, prestando especial atención a la orientación de sus polos magnéticos para asegurar la atracción hacia el centro de la bobina activa.

Semestre Escolar: Enero - junio 2026

Mérida, Yucatán, 3 de junio de 2026

4. **Integración del Circuito Eléctrico:** El cableado se ocultó en la cara inferior de la base de cartón para una presentación limpia. Se conectó el portapilas (con las 2 baterías AA en serie) distribuyendo el cableado hacia los dos pulsadores. Mediante empalmes y el uso de pinzas tipo caimán, se cerró el circuito conectando cada botón a su respectiva bobina. Esto permite que los electroimanes permanezcan apagados hasta que el usuario accione manualmente cada pulsador.

Ejercicio Teórico Resuelto

Para validar el diseño del prototipo, se calculó teóricamente la magnitud del campo magnético (B) que una de las bobinas de cobre es capaz de inducir al cerrar el circuito.

Planteamiento del problema:

El solenoide construido en uno de los extremos tiene una longitud aproximada de **0.03 m** (3 cm) y está compuesto por **20 vueltas** de alambre de cobre de 1.5mm. El circuito es alimentado por dos baterías AA en serie que suministran un voltaje de 3V, entregando una corriente estimada de **1.5 A** al sistema. Calcule el campo magnético generado en el interior de la bobina al accionar el pulsador.

Datos:

- Longitud del solenoide (L): 0.03 m
- Número de espiras (N): 20
- Corriente eléctrica (I): 1.5 A
- Permeabilidad del vacío (μ_0): $4\pi \times 10^{-7} T \cdot m / A$

Fórmula y Desarrollo:

Partimos de la ley de Ampère para el campo magnético en el interior de un solenoide:

$$B = \mu_0 \cdot \frac{N}{L} \cdot I$$

Semestre Escolar: Enero - junio 2026

Sustituyendo los valores en la ecuación:

$$B = (4\pi \times 10) \cdot \left(\frac{20}{0.03}\right) \cdot (1.5)$$

$$B = (1.256 \times 10^{-7}) \cdot \left(\frac{20}{0.03}\right) \cdot (1.5)$$

$$B = 1.256 \times 10^{-3} T$$

Resultados

Una vez finalizado el ensamblaje mecánico y el circuito eléctrico, se procedió a la fase de pruebas para demostrar el funcionamiento del acelerador magnético y la solución al problema planteado. Al accionar el pulsador, el solenoide generó el campo magnético esperado, atrayendo exitosamente el vehículo de prueba (equipado con imanes de neodimio) desde el reposo hasta el centro de la bobina.

Para obtener datos recurrentes y analizar la consistencia del sistema, se realizaron 5 pruebas de lanzamiento consecutivas. Se midió el tiempo que tardó el vehículo en recorrer la distancia fija del riel (estimada en 0.15 m) desde el punto de partida hasta impactar el solenoide.

Tabla 1. Datos recurrentes de tiempo y velocidad promedio

Número de prueba	Distancia Recorrida	Tiempo Medido (S)	Velocidad Promedio (m/s)
Prueba 1	0.15	0.45	0.33
Prueba 2	0.15	0.48	0.31
Prueba 3	0.15	0.42	0.35
Prueba 4	0.15	0.50	0.30
Prueba 5	0.15	0.46	0.32
Promedio	0.15	0.462	0.322

Los resultados demuestran que el sistema es funcional y repetible. Las ligeras variaciones en los tiempos (entre 0.42 s y 0.50 s) se atribuyen al desgaste gradual del voltaje de las baterías AA tras cada intento y a mínúsculas diferencias en la alineación manual del carro de juguete antes de cada prueba.

Conclusiones

El desarrollo de este acelerador magnético lineal permitió comprobar de manera exitosa y tangible los principios del electromagnetismo y la Ley de Ampère vistos en el curso. Se logró cumplir el objetivo general de construir un motor lineal básico, demostrando que la energía eléctrica puede transformarse eficientemente en trabajo mecánico direccional mediante el uso de solenoides e imanes de neodimio.

Al contrastar nuestros resultados experimentales con la teoría, encontramos el comportamiento esperado en los sistemas físicos reales. En la sección de metodología, nuestro ejercicio teórico arrojó un campo magnético ideal de **1.256 mT** en el interior del tubo. Sin embargo, la aceleración visualizada en los resultados indica que la fuerza neta aplicada sobre el vehículo fue menor a la de un escenario ideal.

Esta discrepancia entre la teoría y la práctica tiene justificaciones físicas directas:

1. **Fricción Mecánica:** El roce de las ruedas del vehículo contra la superficie de cartón genera una resistencia al avance que no se contempla en la ecuación ideal del solenoide.

Semestre Escolar: Enero - junio 2026

Mérida, Yucatán, 3 de junio de 2026

2. **Pérdidas por Efecto Joule:** Parte de los 3V suministrados por las baterías se disipó en forma de calor debido a la resistencia inherente del alambre de cobre.
3. **Campo Magnético Disperso:** Al estar enrollada a mano, la bobina presenta pequeñas separaciones entre sus espiras, provocando que parte de las líneas de flujo magnético se dispersen hacia el exterior en lugar de concentrarse al 100% en el núcleo, reduciendo la eficiencia de atracción.

En conclusión, el proyecto no solo demostró el funcionamiento de la fuerza de Lorentz, sino que evidenció los retos de la ingeniería en el mundo real: las fórmulas teóricas nos proporcionan el límite máximo ideal, pero el diseño de hardware requiere considerar los factores del entorno físico, como la resistencia, la fricción y la disipación térmica, para optimizar el rendimiento del sistema.



Referencias

1. Definición.edu.lat. (s.f.). *Ley de Lenz y fricción*. Recuperado de <https://definicion.edu.lat/academia/0B2460853BC8052D8B0FEABB92DA1276.html>
2. Fisicalab. (s.f.). *Ley de Lorentz*. Recuperado de <https://www.fisicalab.com/apartado/ley-de-lorentz>
3. Ingenierizando. (s.f.-a). *Ley de Ampère*. Recuperado de <https://www.ingenierizando.com/electronica/ley-de-ampere/>
4. Ingenierizando. (s.f.-b). *Materiales magnéticos*. Recuperado de <https://www.ingenierizando.com/electronica/materiales-magneticos/>
5. OpenStax. (s.f.). 12.6 Solenoides y toroides. En *Física universitaria volumen 2*. Recuperado de <https://openstax.org/books/fisica-universitaria-volumen-2/pages/12-6-solenoides-y-toroides>
6. Universidad Carlos III de Madrid. (s.f.). *Interacción magnética* [Archivo PDF]. Recuperado de https://ocw.uc3m.es/pluginfile.php/1353/mod_page/content/19/interaccion_magnetica_tema8.pdf
7. Universidad Nacional Autónoma de México. (s.f.). *Fundamentos del electromagnetismo* [Archivo PDF]. Recuperado de <https://copitarxives.fisica.unam.mx/LT0005ES/LT0005ES.pdf>