

Elaboración de prototipos didácticos de fenómenos físicos

Development of educational prototypes of the physical phenomena

Ameyalli Ortiz Rico Zapata¹, Karla Ximena Ávalos García², Iván Alejandro Reyna Bueno³, Bernardo Mata Carreón⁴, Miguel Ángel Montalvo de la Peña⁵, Sofía Curiel Flores⁶, Jorge Alejandro Noriega Alvarado⁷, Alan Joaquín Arias Diosdado⁸

¹Bachillerato General, Escuela de Nivel Medio Superior de Guanajuato | a.ortizricozapata@ugto.mx¹, ²Bachillerato General, Escuela de Nivel Medio Superior de Guanajuato | kx.avalosgarcia@ugto.mx², ³Escuela de Nivel Medio Superior de Guanajuato, Colegio del Nivel Medio Superior | ia.reynabueno@ugto.mx³, ⁴Escuela de Nivel Medio Superior de Guanajuato, Colegio del Nivel Medio Superior | b.matacarreon@ugto.mx⁴, ⁵Escuela de Nivel Medio Superior de Guanajuato, Colegio del Nivel Medio Superior | ma.montalvodelapena@ugto.mx⁵, ⁶Escuela de Nivel Medio Superior de Guanajuato, Colegio del Nivel Medio Superior | ja.reynabueno@ugto.mx⁶, ⁷Escuela de Nivel Medio Superior de Guanajuato, Colegio del Nivel Medio Superior | ja.noriega@ugto.mx⁷, ⁸Escuela de Nivel Medio Superior de Guanajuato, Colegio del Nivel Medio Superior | aj.ariasdiosdado@ugto.mx⁸

Resumen

La inducción electromagnética es un fenómeno físico que consiste en la generación de una corriente a partir de la variación con el tiempo del flujo magnético que atraviesa a un conductor¹. Las leyes de Newton nos ayudan a describir como es el movimiento de objetos debido a la aplicación de fuerzas, dichos objetos pueden encontrarse en diferentes estados de la materia, lo cual nos hace plantearnos diversos conceptos físicos como fuerza, presión, fricción, etc. El estudio de dichos fenómenos requiere del entendimiento de las relaciones entre diversos conceptos físicos abstractos y de los conceptos mismos, por lo que su comprensión íntegra puede resultar compleja. Con esto en mente, se crearon prototipos didácticos e interactivos que ejemplifican ilustrativamente a la inducción electromagnética, dinámica del movimiento y principio de pascal empleando materiales, mecanismos y dispositivos de fácil acceso y bajo costo económico.

Palabras clave: inducción electromagnética; dinámica; principio de pascal, prensa hidráulica; prototipo didáctico; electromagnetismo; física.

Introducción

Inducción electromagnética

Una corriente puede ser inducida en un conductor cuando existe un cambio en el flujo magnético que lo atraviesa, es decir, la cantidad de líneas de campo magnético que lo atraviesan varía con el tiempo¹. Asimismo, dado que una corriente es generada, una fuerza electromotriz (fem) es inducida. Michael Faraday representó lo anterior matemáticamente a partir de la fuerza electromotriz (fem) que se induce y el cambio del flujo magnético y del tiempo². Partiendo de esta expresión matemática, es posible observar que la magnitud de la corriente y la fem inducidas depende de la rapidez a la cual cambia el flujo magnético con el tiempo¹.

Existen tres maneras principales (y sus combinaciones) de generar un cambio en el flujo magnético que atraviesa a un conductor: 1) cambiar la magnitud del campo magnético en el que está inmerso el conductor o partes de él, 2) cambiar el área del conductor que se encuentra dentro del campo y 3) variar el ángulo entre la dirección del campo magnético y el plano del conductor^{1,3}. Los puntos anteriores pueden lograrse de diversas maneras, ya sea directamente aumentando y disminuyendo la magnitud del campo magnético, moviendo un imán respecto al conductor o moviendo el conductor respecto al imán (rotándolo, metiéndolo y sacándolo del campo, moviéndolo dentro del campo, etc.)^{1,2,4}. A pesar de que, con base en los puntos previamente descritos, es posible inducir una corriente, es importante tomar en cuenta que esta se produce debido a causas diferentes entre los tres métodos brindados. El flujo de electrones inducido por un cambio directo en el campo magnético se debe a la aparición de un campo eléctrico^{1,2}. De acuerdo con lo anterior, se puede entender que un campo magnético cambiante induce un campo eléctrico que, al encontrarse un conductor inmerso total o parcialmente en dichos campos, ejerce una fuerza eléctrica que arrastra a los electrones del conductor, produciendo así una corriente^{1,5}. Por otro lado, la corriente observada al cambiar el área del conductor en el campo o el ángulo entre la dirección del campo y el plano del conductor es causada por la fuerza magnética experimentada por los electrones al encontrarse el conductor y el imán en movimiento relativo entre ellos^{3,4}.

Otro aspecto importante a entender sobre la inducción electromagnética es que la dirección del flujo inducido de electrones puede ser determinada a partir del cambio del flujo magnético que atraviesa al conductor, ya que, como

¹ (Halliday, Resnick y Walker, 2013).

² (Serway y Jewett, 2019).

³ (Dourmashkin et al., 2020).

⁴ (Tippens, 2011).

⁵ (Einstein, 1905).

queda expresado en la ley de Lenz, la corriente inducida tiene una dirección tal que el campo magnético generado por esta opone el cambio del flujo magnético externo². Por ejemplo, si, en un conductor, se da un aumento en el flujo magnético con dirección hacia arriba, la corriente tendrá una dirección tal que produzca un campo magnético con líneas de campo hacia abajo para oponerse al aumento del flujo magnético. Opuestamente, si, posteriormente, el flujo magnético hacia arriba disminuye, la corriente inducida cambiará de sentido para lograr crear un campo magnético con dirección hacia arriba y contrarrestar el descenso de flujo magnético en dicho sentido¹. Todo esto y otros aspectos es lo que se toma en cuenta al estudiar la inducción electromagnética.

Dinámica

En física, la dinámica es la rama que se encarga de estudiar el movimiento de los cuerpos y las causas que lo producen. Esta se enfoca en la descripción matemática de cómo los objetos se mueven bajo la influencia de fuerzas y cómo estas fuerzas afectan su velocidad, aceleración y dirección. A través del análisis de lo antes mencionado, la dinámica proporciona un marco teórico para comprender y predecir los desplazamientos de los objetos en el espacio, al ser afectados por una fuerza, sin embargo ¿Qué es una fuerza?

Fuerzas

En términos técnicos, una fuerza es una magnitud capaz de modificar el estado de movimiento o la forma de un cuerpo, sin embargo, la definición de fuerza que nos será útil proviene de las leyes de Newton: *“Una fuerza es un vector que provoca que un objeto con masa se acelere.”*¹ De acuerdo con el Sistema Internacional, la fuerza se mide en unidades llamadas Newtons (N), en honor al físico británico. Dichas unidades corresponden a la cantidad de fuerza aplicada durante un segundo a una masa de un kilogramo, para que adquiera la velocidad de un metro por segundo, es decir;²

$$1 N = \frac{1kg \times 1m}{1s^2}$$

Leyes de Newton.

La dinámica se basa en las leyes de Newton, especialmente en la segunda ley del movimiento.

Segunda Ley: Ley de la aceleración.

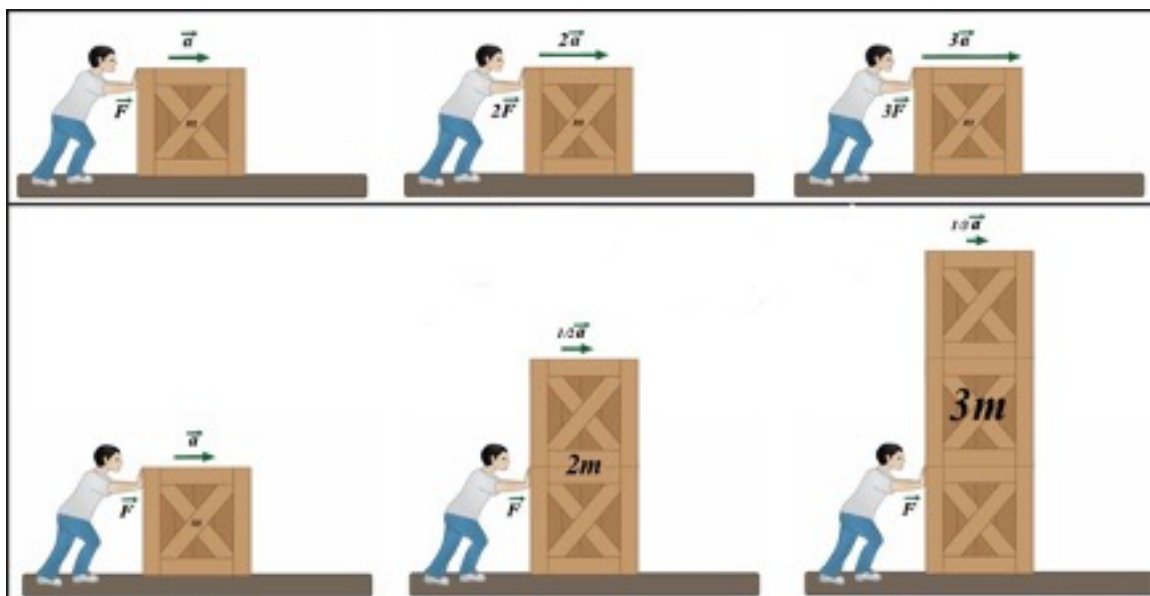
La fuerza es igual a la masa por la aceleración, es decir;

$$F = M * A$$

O escrito de otra manera;

$$A = \frac{F}{M}$$

Esto quiere decir que la aceleración es directamente proporcional a la fuerza e inversamente proporcional a la masa. Esto significa que, mientras más fuerte sea la fuerza, mayor será la aceleración del objeto, mientras más grande sea, más lento te moverá.¹



Ley Hooke.

La ley de Hooke es un principio fundamental de la física que describe la relación entre la fuerza aplicada a un resorte y la deformación que experimenta dicho resorte, dicho de otra manera:

$$F = -k * \Delta x$$

Donde:

F es la fuerza aplicada al resorte en Newtons (N).

k es la constante de elasticidad del resorte, también conocida como constante de fuerza o constante elástica. Esta constante depende de las propiedades del material del resorte y se mide en Newtons por metro (N/m).

Δx es la deformación o cambio en la longitud original del resorte, es decir, la diferencia entre su longitud final y su longitud inicial, medida en metros (m).

La ley de Hooke se aplica siempre y cuando el material del resorte permanezca dentro de su rango elástico, es decir, que la deformación no supere cierto límite. Si la fuerza aplicada supera este límite, el material puede deformarse permanentemente o incluso fracturarse.

Fricción.

Siempre que un cuerpo se mueve estando en contacto con otro objeto, existen fuerzas de fricción que se oponen al movimiento. Estas fuerzas se deben a que una superficie se adhiere contra la otra ya que encajan entre sí las irregularidades de las superficies de rozamiento.

Velocidad y Aceleración.

La velocidad es una cantidad vectorial, es la razón a la que un objeto se desplaza en un intervalo de tiempo, es decir;

$$v = \frac{d}{t}$$

La aceleración es el proceso en donde la velocidad de un objeto cambia en determinado tiempo, o en el cambio de dirección de este objeto durante el movimiento, en general, la ecuación de la aceleración es la siguiente, la cual es la que vamos a ocupar para el análisis de los datos obtenidos:⁵

$$a = \frac{v2 - v1}{t}$$

Presión

La eficiencia de una cierta fuerza a menudo depende del área sobre la que actúa. A la fuerza normal por unidad de área se le llama presión. Simbólicamente, la presión P está dada por:

$$P = F/A$$

donde A es el área donde se aplica la fuerza perpendicular F. La unidad de presión resulta de la relación entre cualquier unidad de fuerza y la unidad de área. En el sistema SI de unidades, al N/m² se le llama pascal (Pa).

Presión del fluido.

Es importante la diferencia entre cómo actúa la fuerza sobre un fluido y cómo lo hace sobre un sólido. Puesto que el sólido es un cuerpo rígido, puede soportar que se le aplique una fuerza sin que cambie apreciablemente su forma. Por otra parte, un líquido puede soportar una fuerza únicamente en una superficie o frontera cerrada. Si el fluido no está restringido en su movimiento, empezará a fluir bajo el efecto del esfuerzo cortante, en lugar de deformarse elásticamente.

La fuerza que ejerce un fluido sobre las paredes del recipiente que lo contiene siempre actúa en forma perpendicular a esas paredes.

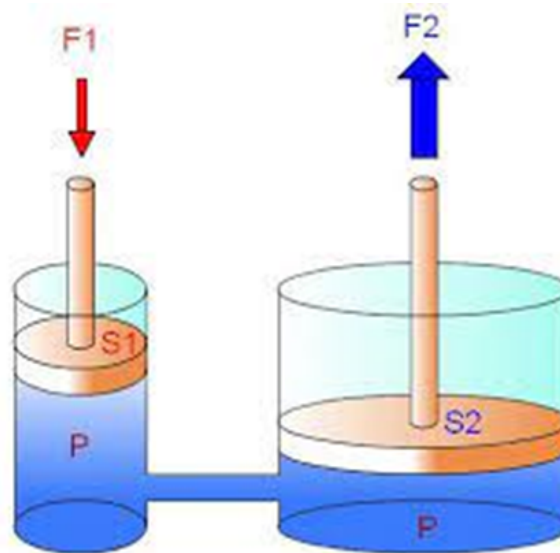
La presión del fluido en cualquier punto es directamente proporcional a la densidad del fluido y a la profundidad bajo la superficie del fluido.

La prensa hidráulica.

De acuerdo con el principio de Pascal, una presión aplicada al líquido en la columna izquierda se transmitirá íntegramente al líquido de la columna de la derecha. Por lo tanto, si una fuerza de entrada F_1 actúa sobre un émbolo de área A_1 causará una fuerza de salida F_2 que actúa sobre un émbolo de área A_2 de modo que:

$$\begin{aligned} \text{Presión de entrada} &= \text{Presión de salida} \\ F_1/A_1 &= F_2/A_2 \end{aligned}$$

Una pequeña fuerza de entrada puede ser multiplicada para producir una fuerza de salida mucho mayor utilizando simplemente un émbolo de salida con un área mucho mayor que la del émbolo de entrada. (Tippens, 2011)



Enseñanza y comprensión de la física

En una sociedad cuyo fundamento en diversas áreas es la tecnología, la enseñanza de la física es indispensable. La comprensión de estos temas forma parte de los aprendizajes esperados en el nivel medio superior y numerosas licenciaturas, sin embargo, su verdadera comprensión puede ser un reto para el estudiante, ya que, como se pudo observar en la explicación teórica proporcionada de dicho fenómeno, su entendimiento requiere de la asimilación de conceptos físicos abstractos. En diversos estudios, se ha mostrado las deficiencias e ideas erróneas o incompletas que los estudiantes de diversos niveles educativos pueden presentar en los tópicos referentes a la física, la inducción electromagnética entre ellos⁶. Un estudio realizado en 2001, mostró que el alumnado analizado de primer semestre de Ciencias Físicas tiene problemas definiendo el concepto de flujo magnético debido a una incapacidad de relacionarlo con las líneas de campo⁷. Similarmente, en otro artículo, se reportó que, del alumnado cuestionado, sólo el 5% era capaz de relacionar la inducción de un campo eléctrico con un campo magnético cambiante⁸. Además, directamente en el área de la inducción electromagnética, gran parte de los estudiantes muestran dificultades representando cualitativamente los fenómenos de esta índole y reconociendo claramente las relaciones entre el cambio del flujo magnético, la inducción y magnitud de la fem y de la corriente y la dirección de esta última^{6,9}.

Es evidente que los problemas en la comprensión verdadera de la inducción electromagnética tienen su origen en diversos factores: 1) el bajo o incompleto entendimiento por parte de los alumnos de conceptos básicos, como el flujo magnético, la fuerza electromotriz, los campos magnético y eléctrico y su relación, y 2) la falta de modelos y representaciones mentales que les permitan visualizar y profundizar en la naturaleza de la inducción electromagnética. Por esto, es primordial la creación de modelos y prototipos didácticos e interactivos que beneficien y faciliten el aprendizaje de fenómenos físicos como la inducción electromagnética, la dinámica de un objeto y el principio de pascal, entre otros. Este tipo de prototipos serviría como apoyo al estudiante para construir imágenes y modelos mentales más sofisticados y precisos sobre fenómenos físicos que involucran conceptos abstractos y complejos de visualizar tales como los campos electromagnéticos, fuerza, presión. Lo anterior

⁶ (Thong y Gunstone, 2008).

⁷ (Albe, Venturini y Lascours, 2001).

⁸ (Bagno y Eylon, 1997).

⁹ (Zuza, Almudí y Guisasola, 2012).

promovería, acompañado por mejores bases teóricas, un mejor entendimiento íntegro (cuantitativo y cualitativo) de los temas estudiados.

Diseño y elaboración de los prototipos

Uno de los prototipos diseñados tiene como propósito mostrar gráficamente la inducción de una corriente en un conductor a partir de un campo eléctrico producido por un campo magnético cambiante. A diferencia de un experimento de inducción electromagnética, los elementos como el conductor, el imán, los campos magnéticos, el campo eléctrico, el flujo de electrones y los mismos electrones serán representados con materiales varios que harán explícita referencia a los elementos originales para plasmar momento a momento el fenómeno de inducción electromagnética que tomaría lugar en un experimento ejecutado con los elementos reales. El conductor circular estará hecho con una tapa de acrílico para facilitar la visualización de la corriente, un engrane de madera como base, una pared exterior de plástico y un tubo de PVC cortado como pared interior. Dentro del conductor, se encontrarán los electrones representados por canicas pintadas que se moverán en el interior del conductor usando un mecanismo de dos engranes y un motor eléctrico para imitar la corriente inducida. El imán, a diferencia de los otros elementos, será un verdadero imán rectangular y los campos magnéticos (el del imán y el de la corriente) serán representados con fragmentos verticales y delgados de un material que brilla bajo luz negra. El campo eléctrico será indicado con un círculo pintado en la tapa de acrílico. Finalmente, habrá un sensor de campo magnético adherido debajo del conductor que ayudará a detectar el alejamiento o acercamiento del imán al conductor. Lo anterior, auxiliado de un microcontrolador y un programa, harán posibles que se simule la inducción de la corriente cuando el imán se mueve respecto al conductor, es decir, cuando existe un cambio en el flujo magnético externo. Además, habrá un cese en el flujo de electrones cuando el imán se quede a una distancia en la cual, fuese el experimento real, su campo magnético dejaría de afectar al conductor.

Elaboración

Para comenzar con la creación del prototipo, se inició cortando y pintando una tabla de madera que servirá de base con medidas de 15.3 cm por 28.5 cm y de grosor fino. También se cortó un tubo PVC de diámetro 7.48 cm y altura de 2.4 cm, dos engranes que encajaban mutuamente (uno grande con un diámetro de 11.5 cm, con un agujero circular de diámetro de 7.48 cm, y uno pequeño con un hoyo circular de diámetro de 0.14 cm), un aro de acrílico que sirvió como tapa del conductor, con un diámetro interior de 7.48 cm y uno exterior de 11.5 cm, y, finalmente, una pared circular de plástico de diámetro de 11.5 cm y una altura de 1.6 cm.

A continuación, se pintó de color plateado a todas las piezas que compondrían al conductor (el aro de acrílico, el engrane grande, el tubo de PVC y la pared de plástico) y, de color naranja neón a 8 canicas que sirvieron como representación de los electrones. Posteriormente se cortó un agujero del tamaño del tubo de PVC en la tabla base y se prosiguió a alinear las diferentes piezas del conductor de la siguiente forma: 1) se pegó el tubo PVC a la tabla alineándolo con el agujero previamente creado, 2) se introdujo el engrane grande al tubo PVC sin pegarlo a la base de madera, 3) se pegaron con silicón los electrones al engrane mayor, 4) se pegó la pared exterior de plástico al borde externo del aro de acrílico y 5) se fijó con pegamento al aro de acrílico en el tubo PVC.

Para la finalización del mecanismo de engranes, se introdujo el engrane pequeño al eje del motor eléctrico, se cortó un agujero circular en la tabla base de diámetro igual al del motor y se fijó el motor a la madera usando tornillos de manera tal que el engrane pequeño encajara con el eje grande ya ensamblado con el resto del conductor. Asimismo, pegando bajo la tabla cuatro bloques rectangulares de madera de 6.5 cm de altura cada uno, se crearon soportes para la base. Luego, se creó y pegó al lado del conductor una etiqueta con la información teórica referente a la inducción electromagnética pertinente para la comprensión del prototipo. Para la representación del campo eléctrico, se marcó un círculo de color verde neón en la tapa de acrílico y, para los campos magnéticos, se pegó tiras de plástico pintadas de color amarillo neón alrededor del conductor y del imán.



Figura 1. Izquierda a derecha. Imán con líneas de campo magnético. Ensamblaje del conductor en la base. Construcción del conductor.

Finalmente, se colocó un sensor de campo magnético bajo el conductor y se empleó un programa que, auxiliado con un microcontrolador y el sensor, generó el movimiento de los electrones en el conductor cuando el imán se acercaba y alejaba.

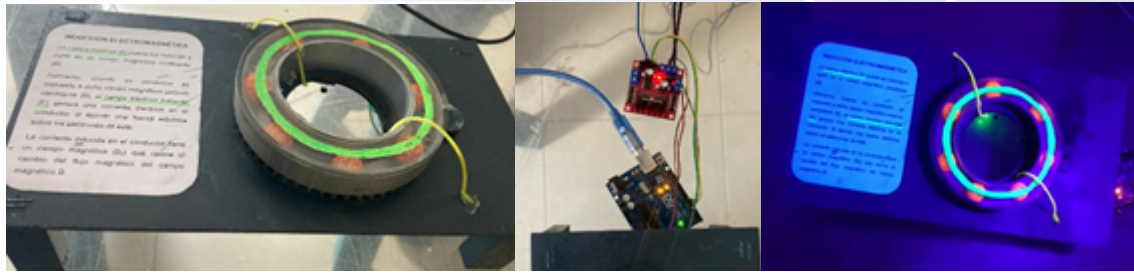


Figura 2. Izquierda a derecha. Prototipo finalizado. Microcontrolador empleado. Prototipo terminado bajo luz negra.

En el segundo experimento, se construyó una pista de bucle (pista donde un tramo consta en una vuelta de 360° de manera vertical), el inicio y el final de la pista fueron construidos de madera, debido a que era un material económico y fácil de trabajar.

La parte inicial de la pista consta de un tramo de 52.5cm, al comienzo se encuentra un dispositivo que hace la función de cañón, elaborado de tubo PVC y propulsado por ligas, al cañón se encuentra conectado un dinamómetro, con el propósito de saber cuánta es la fuerza que se ejerce sobre la canica. el cañón cuenta con 3 niveles de fuerza indicados con unos agujeros, cada uno ejerce las siguientes fuerzas;

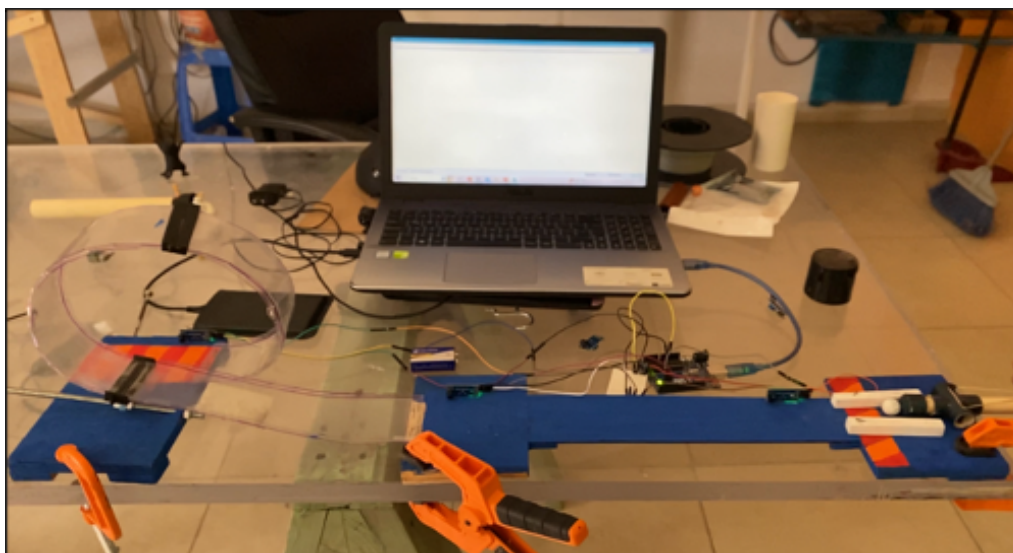
Primer nivel: $3.8N \pm 0.1N$. Segundo nivel: $5.5N \pm 0.1N$. Tercer nivel: $7.8N \pm 0.1N$.

A los costados del cañón se encuentran unas guías que ayudan a la canica a seguir una ruta hacia el bucle.

Posteriormente se encuentra la parte del bucle, la cual fue elaborada con PETG, ya que este material es flexible, lo que nos permitió darle la forma deseada, en total el tramo de la curva mide 81cm de longitud, cortamos cada 27cm de esta para añadir unas uniones impresas en 3D, las cuales sirven de refuerzo, lo que evita que la pista se deforme.

El tramo final de la pista mide 13.5cm.

En la pista colocamos 3 sensores de infrarrojo, programados con arduino UNO, con el propósito de saber la velocidad que lleva la canica en determinados segmentos de la pista, está la obtendremos de la siguiente manera; al pasar la canica por el primer sensor se activa un cronómetro que se detendrá al pasar por el segundo sensor, conociendo la distancia entre ambos sensores se puede obtener la velocidad. El primer sensor se encuentra a unos centímetros del cañón y el segundo justo antes de entrar al bucle, para saber la velocidad con la cual entra la canica al bucle, el tercer sensor se encuentra en la salida del bucle, para saber la velocidad con la cual la canica sale del bucle.



Finalmente, el último dispositivo que se preparó fue un sistema hidráulico:

Se conectaron las tuberías de PVC siguiendo el contorno de un rectángulo, pero liberando la cara superior de la figura, después, se etiquetaron las tuberías paralelas, siendo una “salida” y la otra “entrada”. La tubería etiquetada como salida tiene un diámetro exterior de 1 in. Mediante reductores se conectó a ese mismo lado una tubería con diámetro exterior de 1/2 in. Mediante conectores perpendiculares en forma de codos, se dio continuidad al sistema respetando el diámetro y la forma rectangular. La tubería de entrada fue colocada con un diámetro de 1/2 in. (Los diámetros exteriores son las medidas comerciales del material)

Se diseñaron dos émbolos de diferente diámetro, cada uno propio para el diámetro interior de cada tubería: salida = 3.71 cm, entrada = 1.29 cm. Los émbolos fueron diseñados cortando circunferencias de acrílico y caucho, se atornillaron en una base la cual funcionó de apoyo para la manipulación del dispositivo y la colocación de objetos. Finalmente, se rellenó de agua el sistema y se colocaron los émbolos.



Resultados

Funcionamiento de los prototipos

El primer prototipo creado funciona mediante un mecanismo de dos engranes y un motor eléctrico: el engrane pequeño, fijado en el eje del motor y encajado con el engrane grande, se pone en movimiento al conectar al motor a una fuente de energía de 6 volts y, en consecuencia, el engrane grande también comienza a rotar, dando lugar a la ejemplificación del flujo de los electrones en el conductor. No obstante, es otro mecanismo el que fundamenta al prototipo: el sensor de campo magnético en conjunto con un microcontrolador Arduino y un correspondiente programa redactado en el entorno de desarrollo integrado de Arduino logran que, al acercarse el imán al conductor, se produzca de forma automática el movimiento del engrane mayor, es decir, a partir del sensor, dependiendo de si el imán está cerca o lejos del conductor, se envía una señal al microcontrolador que, en respuesta, inicia o detiene el movimiento del eje del motor y, por ende, del engrane mayor que tiene a los electrones adheridos.



Figura 3. Prototipo finalizado en ejecución.

Una vez terminado el segundo diseño experimental, realizamos pruebas, donde obtuvimos los siguientes datos, pero antes hay que saber la distancia entre los sensores para poder calcular correctamente la velocidad.

Distancia entre sensor 1 y 2; 30.5cm±0.1cm

Distancia entre sensor 2 y 3; 86cm±0.1cm

Tabla 1. Valores obtenidos.

| Fuerza aplicada; | Tiempo entre sensor 1 y 2; | Tiempo entre sensor 2 y 3; | Velocidad al entrar al bucle; | Velocidad al salir del bucle; |
|------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 3.8N±0.1N | n/a | n/a | n/a | n/a |
| 5.5N±0.1N | 0.125s | 0.765s | 244cm/s=2.44m/s | 112.418cm/s=1.124m/s |
| 7.8N±0.1N | 0.093s | 0.492s | 327.957cm/s=3.27m/s | 174.8cm/s=1.74m/s |

Como se puede apreciar al aplicar el primer nivel de fuerza de 3.8N la canica no logra dar el recorrido, esto debido a que en la pista existen distintos factores que absorben la energía y que impiden un funcionamiento óptimo de la pista, tales como;

La fricción; la mayor parte de la pista está hecha de madera, un material poroso y con muchas irregularidades.

La canica no es completamente esférica, por lo que el recorrido no es totalmente limpio.

El bucle; al estar hecho de PETG, un material muy elástico, este se deforma y mueve al paso de la canica, por lo que absorbe parte de su energía.

La liga pierde su elasticidad debido al desgaste a los pocos usos.

Una vez terminado el tercer prototipo, se realizaron varias pruebas con el dispositivo construido para observar la ley de Pascal. El objetivo fue medir los resultados prácticos y compararlos con los resultados teóricos.

Datos:

- Diámetro1= 0.0129m ; área1= 0.0001307m²
- Diámetro2= 0.0371m ; área2= 0.001081m²

Resultados teóricos:

Para realizar los cálculos se supuso una fuerza de entrada de 1kg O F1= 9.81N.

Despeje: F2= (F1/A1) (A2/1)

Sustitución: F2= (9.81N / 0.0001307m²) (0.001081m²/ 1)

F2= 81.13N

La fuerza debe de multiplicarse o dividirse por 8.27 según donde sea aplicada.

Resultados prácticos:

Se realizaron 9 pruebas en las cuales se modificaron los pesos utilizados, se usaron dos contenedores para agua a los cuales se les fue agregando líquido para aumentar su peso hasta encontrar el máximo potencial del dispositivo para multiplicar la fuerza.

Notas: F1 es la fuerza de entrada, F2 es la fuerza de salida. Por cada kilogramo aplicado en F1 el dispositivo debe de ser capaz de levantar 8.27 kilogramos. 1kg= 9.81N.

| Número de prueba | Peso en kg | Observaciones |
|------------------|--------------------|--|
| Prueba 1 | F1=1kg F2=1.5kg | <ul style="list-style-type: none"> ● Existen fugas, pero no son considerables. ● F1 desciende y F2 asciende. ● Congruencia considerablemente efectiva entre el volumen desplazado por el émbolo 1 y la altura obtenida por el émbolo 2. |
| Prueba 2 | F1=1kg F2=2kg | <ul style="list-style-type: none"> ● Existen fugas, pero no son considerables. ● F1 desciende y F2 asciende. ● Congruencia considerablemente efectiva entre el volumen desplazado por el émbolo 1 y la altura obtenida por el émbolo 2. |
| Prueba 3 | F1=1kg F2=2.5kg | <ul style="list-style-type: none"> ● Existen fugas, pero no son considerables. ● F1 desciende y F2 asciende. ● Congruencia considerablemente efectiva entre el volumen desplazado por el émbolo 1 y la altura obtenida por el émbolo 2. |
| Prueba 4 | F1=1kg F2=3kg | <ul style="list-style-type: none"> ● Incrementan las fugas debido al aumento de presión dentro del dispositivo. ● F1 desciende y F2 asciende. ● Congruencia considerablemente efectiva entre el volumen desplazado por el émbolo 1 y la altura obtenida por el émbolo 2. |
| Prueba 5 | F1=1kg F2=3.5kg | <ul style="list-style-type: none"> ● Continúa incrementando las fugas debido al aumento de presión dentro del dispositivo. ● F1 desciende y F2 asciende. ● El volumen desplazado por el émbolo 1 no es proporcional a la altura obtenida por el émbolo 2. |
| Prueba 6 | F1=1kg F2=4kg | <ul style="list-style-type: none"> ● Se presentan fugas importantes en el dispositivo. ● F1 desciende y F2 asciende. ● El volumen desplazado por el émbolo 1 no es proporcional a la altura obtenida por el émbolo 2. Sin embargo, corresponde de forma más efectiva que la <i>prueba 5</i> |
| Prueba 7 | F1=1kg F2=4.5kg | <ul style="list-style-type: none"> ● Se presentan fugas importantes en el dispositivo. ● F1 desciende y F2 asciende. ● El volumen desplazado por el émbolo 1 no es proporcional a la altura obtenida por el émbolo 2. |

| | | |
|----------|--------------------|---|
| Prueba 8 | F1=1kg F2=5kg | <ul style="list-style-type: none"> ● Se presentan fugas importantes en el dispositivo. ● F1 desciende y F2 asciende. ● El volumen desplazado por el émbolo 1 no es proporcional a la altura obtenida por el émbolo 2. |
| Prueba 9 | F1=1kg F2=5.5kg | <ul style="list-style-type: none"> ● Incrementan las fugas de manera importante. ● F1 desciende, pero F2 se mantiene inmóvil. ● El volumen desplazado por el émbolo 1 no corresponde a la altura obtenida por el émbolo 2. |



En base a los resultados teóricos, con una fuerza de entrada de 1kg el dispositivo debería de ser capaz de desplazar 8.27kg. Sin embargo, el mejor resultado obtenido en la experimentación fue el que con 1kg el dispositivo consiguió desplazar un peso de 5kg (49.05N). Esta deficiencia se les atribuye a tres motivos:

1. La fricción entre los émbolos y las tuberías.
2. El desgaste del caucho utilizado para la fabricación del émbolo.
3. Las fugas en la estructura del sistema hidráulico.

El prototipo cuenta con una eficiencia del 60.45%

Características didácticas de los prototipos

El primer prototipo ilustra el fenómeno de inducción electromagnética mediante los mecanismos, dispositivos y programas ya descritos. Empleando diversos elementos se representa a los campos magnéticos, tanto al del imán como al de la corriente eléctrica inducida, aprovechando el concepto de líneas de campo, puesto que, como se presentó previamente, los estudiantes suelen tener problemas relacionando las líneas de campo al flujo magnético⁷. También se ejemplifica al campo eléctrico inducido tomando en cuenta su forma cerrada y circular que brinda una explicación a la trayectoria seguida por los electrones al ser arrastrados por dicho campo. Asimismo, dentro del conductor, se muestra el flujo de electrones que se relaciona con el cambio en el flujo magnético (el acercamiento y alejamiento del imán) y se puede notar el cese de corriente una vez que el campo magnético del imán deja de cambiar o tiene una magnitud despreciable para el conductor. Adicionalmente, dado el uso de programación y microcontroladores, se logró volver más sencillo el uso del prototipo, brindando así una experiencia más didáctica y educativa, puesto que la persona utilizando el prototipo sólo debe acercar y alejar el imán para ser capaz de observar a detalle y de manera dinámica el fenómeno de inducción electromagnética. Finalmente, ya que las representaciones de los campos y de los electrones brillan bajo luz negra, el prototipo tiene un atractivo estético que podría aumentar el impacto visual que el prototipo deja en el observador.

Por otro lado, en el segundo prototipo, mediante el modelo de pista, se espera una mejor comprensión de los conceptos: velocidad, aceleración, fuerza, leyes de Newton, ley de Hooke, en general que los estudiantes relacionen los conceptos que envuelven a la dinámica. Los experimentos se convierten en una herramienta esencial para avanzar en nuestro conocimiento y comprensión del mundo físico que nos rodea.

Finalmente, el tercer prototipo, a través del sistema hidráulico utilizado, los estudiantes deberán medir y calcular valores relacionados con la presión, fuerza y área; observar y comprender los principios de la hidráulica, incluyendo la Ley de Pascal. Los resultados obtenidos demostraron la aplicación práctica de estos principios en el mundo real, como en la transmisión de fuerza en sistemas hidráulicos. Además, aplicar métodos científicos, realizar mediciones y utilizar fórmulas matemáticas para analizar e interpretar los datos recopilados, les permite fortalecer su comprensión de los conceptos de hidráulica y desarrollar habilidades prácticas en el campo de la física.

Conclusión

Dado que ha sido documentado en diversos estudios que los alumnos de diferentes niveles educativos tienden a experimentar dificultades en la comprensión cualitativa de temas de física que implican conceptos abstractos, la creación de prototipos que faciliten la construcción de imágenes y modelos mentales de los fenómenos físicos a estudiar es primordial y podría probar ser una manera viable de enseñar la física. Partiendo de lo anterior, se diseñaron y elaboraron tres prototipos didácticos que ilustran interactivamente el fenómeno de inducción electromagnética, dinámica de un cuerpo y principio de Pascal, haciendo uso de materiales y dispositivos varios para poder transmitirle al observador los detalles e información cualitativa más relevante respecto a dicho fenómeno. Finalmente, cabe destacar que los prototipos pueden ser replicados con relativa facilidad, ya que los elementos empleados son fáciles de conseguir y no representan un costo económico elevado. La producción de estos y otros tipos de prototipos didácticos que refieran a temas de física es una ruta a la que se le debe prestar más atención en la enseñanza de la física, pues podría resultar benéfica y eficiente para la comprensión verdadera de diversos fenómenos.

Bibliografía/Referencias

- Halliday, D., Resnick, R. y Walker, J. (2013, 5 de agosto). *Fundamentals of Physics, Extended* (10ª ed.). Wiley.
- Serway, R. y Jewett, J. (2019). *Física. Electricidad y magnetismo* (10ª ed.). Cengage Learning Editores.
- Dourmashkin, P., Rajagopal, K., Tomasiak, M., Barrantes, A., MacDonagh, A., Stephans, G. y Rayyan, S. (2020). *Electricity and Magnetism: MIT 8.02 Course Notes*. Massachusetts Institute of Technology.
- Tippens, P. (2011). *Física, conceptos y aplicaciones* (7ª ed.). McGraw-Hill.
- Einstein, A. (1905, 30 de junio). *On the Electrodynamics of Moving Bodies* [Archivo PDF]. <https://users.physics.ox.ac.uk/~rtaylor/teaching/specrel.pdf>
- Thong, W. M. y Gunstone, R. (2008, enero). *Some Student Conceptions of Electromagnetic Induction*. *Research in Science Education*, 38, 31-44. <https://doi.org/10.1007/s11165-007-9038-9>
- Albe, V., Venturini, P. y Lascours, J. (2001). *Electromagnetic Concepts in Mathematical Representation of Physics*. *Journal of Science Education and Technology*, 10(2), 197-203.
- Bagno, E. y Eylon, B. (1997). *From problem solving to a knowledge structure: An example from the domain of electromagnetism*. *American Journal of Physics*, 65(8), 726-736.
- Zuza, K., Almudí, J. M. y Guisasola, J. (2012). *Revisión de la investigación acerca de las ideas de los estudiantes sobre la interpretación de los fenómenos de inducción electromagnética*. *Enseñanza de las ciencias*, 30(2), 175-196.
- Las leyes del movimiento de Newton (artículo) | Khan Academy. (s. f.). Khan Academy, consultado el 15 de Julio de 2023. <https://es.khanacademy.org/computing/computer-programming/programming-natural-simulations/programming-forces/a/newtons-laws-of-motion>
- Fuerza - concepto, características, unidades, tipos y ejemplos. (s. f.). Concepto. consultado el 15 de Julio de 2023 en; <https://es.khanacademy.org/science/physics/work-and-energy/hookes-law/a/what-is-hookes-law>
- Tippens, P. E. (2007). *Physics*. McGraw-Hill Higher Education.
- Padiál, J. (2017, 22 septiembre). *¿Qué diferencia velocidad y aceleración?* Curiosoando. Consultado el 15 de Julio de 2023 en; <https://curiosoando.com/velocidad-y-aceleracion>

Streeter, V. L., Wylie, E. B., Bedford, K. W., & Saldarriaga, J. G. (1988). *Mecánica de los fluidos* (Vol. 7). Colombia: McGraw-Hill.