

Campo magnético

Presentación

Aunque es un fenómeno conocido desde la antigüedad, el magnetismo no fue bien comprendido hasta su unificación con la teoría de la electricidad a mediados del siglo XIX, gracias sobre todo a los trabajos de Maxwell.

El electromagnetismo está en la base de la producción de energía eléctrica, la radio, la TV, la Informática y los medios de telecomunicación, por lo que podemos decir que juega un papel crucial en nuestra civilización actual.

Nos proponemos abordarlo de forma sencilla, sin gran aparato matemático, para hacer comprensibles algunas de sus características más importantes.

Pulsa avanzar para ver detallados nuestros objetivos.

Objetivos

- Recordar las características cualitativas de los fenómenos magnéticos estudiadas en cursos anteriores.
- Comprender los efectos del campo magnético sobre partículas cargadas y sobre corrientes, entendiendo algunas de las aplicaciones prácticas de estas fuerzas.
- Saber medir el campo magnético producido en condiciones sencillas y comprender el magnetismo natural.
- Comprender el fenómeno de la inducción magnética y su aplicación a la producción de corriente alterna, así como algunos elementos característicos de los circuitos de corriente alterna.

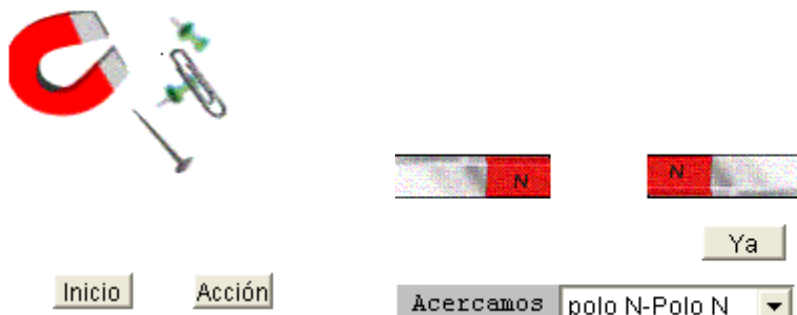
Conocimientos previos

Imanes naturales

Muchas veces hemos visto como un imán, hecho de magnetita o ciertas otras aleaciones férricas, atrae objetos de acero u otros metales derivados del hierro. Las sustancias que son fuertemente atraídas por los imanes se llaman **ferromagnéticas**, las que sólo son atraídas muy débilmente (de forma imperceptible a nuestra vista) son **paramagnéticas**, y las que no son afectadas de ninguna forma o son débilmente repelidas por un imán son **diamagnéticas**.

También sabemos que cada imán tiene dos zonas donde el magnetismo es más intenso, los polos. Además los polos de diferentes imanes presentan una gran interacción mutua como puedes ver en la figura adjunta. En la escena puedes elegir qué polos de dos imanes acercas y, pulsando el botón Ya, ves la acción entre ellos.

Para justificar los nombres de los polos: **norte y sur**, pulsa el botón avanzar.



La brújula y el imán terrestre



Todos conocemos **el comportamiento de la brújula. En cualquier lugar que señalemos nos indica el Norte.**

También recordamos su explicación:

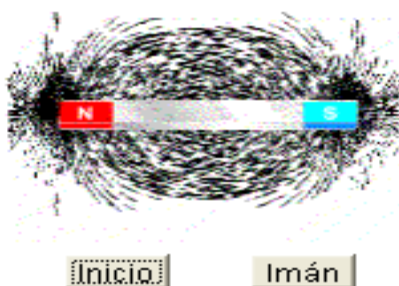
La Tierra es un gran imán con sus polos cerca de los polos geográficos y la brújula es un pequeño imán con muy poco rozamiento, lo que le permite moverse en el campo magnético terrestre.

Llamaremos polo norte del imán al que apunta cerca del Polo Norte geográfico y polo sur del imán al que apunta cerca del Polo Sur geográfico. De esta forma el Polo Norte geográfico está cerca del Polo Sur magnético de la Tierra y viceversa.

En el apartado siguiente tendrás una ilustración gráfica del gran imán planetario.

Líneas de fuerza

El campo magnético es el único en que las líneas de fuerza que indican la dirección del campo son visibles.

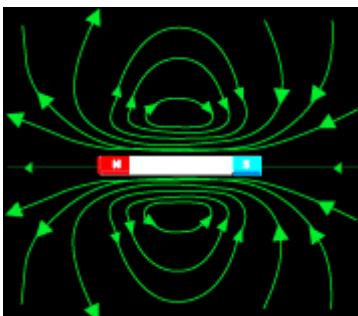


En la figura de la izquierda ves una superficie salpicada de limaduras de hierro. Si pulsas el botón Imán verás sus líneas de fuerza debido a que cada partícula de hierro se convierte en un pequeño imán y todas ellas se alinean según las líneas de fuerza existentes.

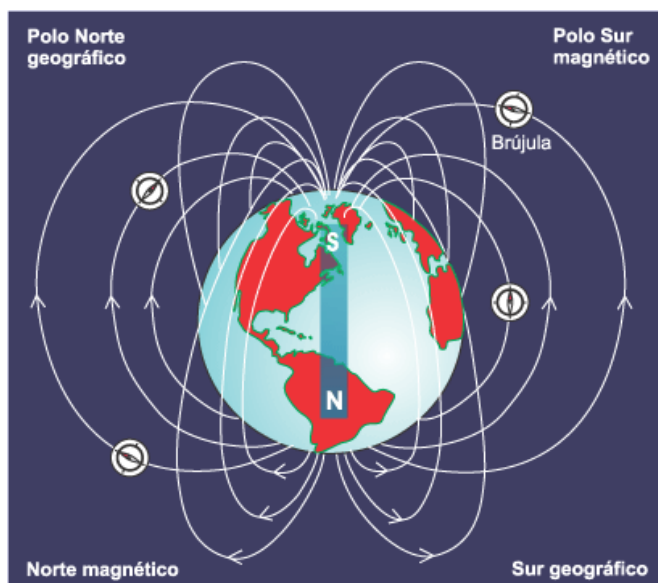
Existe el convenio de admitir que las líneas de fuerza salen del polo norte del imán y se introducen por el polo sur, tal como vemos en la figura adjunta.

Dentro del imán las líneas de fuerza se mantendrían paralelas, indicando un valor homogéneo de la intensidad de campo.

Pulsa avanzar para ver las líneas de fuerza de la Tierra.



El enorme imán terrestre



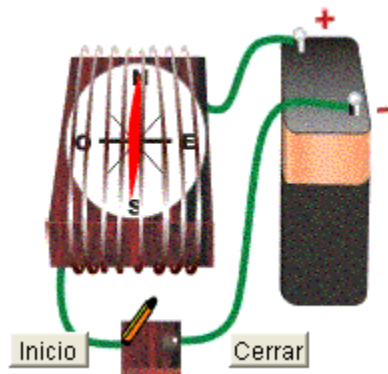
En la figura vemos las líneas de fuerza debidas a las propiedades magnéticas terrestres.

Obsérvese cómo tales líneas parten del Polo Sur (el Norte magnético) y mueren en el Polo Norte (el Sur magnético).

Obsérvese también cómo las brújulas se alinean con estas líneas de fuerza.

Hay que reseñar que los polos magnéticos y geográficos no coinciden. Visto desde cada lugar terrestre hay una diferencia de algunos grados desde la dirección de la brújula hasta el Norte geográfico, diferencia llamada **declinación magnética**. La declinación magnética cambia lentamente con el tiempo, indicando movilidad de los polos magnéticos terrestres. Más aún, la polaridad de la Tierra, en escalas geológicas de tiempo, cambia en periodos irregulares.

Imanes y corrientes



Investigando sobre el campo magnético, Ørsted realizó la experiencia que vemos en la imagen adjunta. En principio la brújula señala el Norte geográfico, pero cerrando el circuito cambia su orientación, de forma que se sitúa perpendicular a la corriente.

Esta experiencia daba el mismo resultado en cualquier lugar que pusiera la brújula.

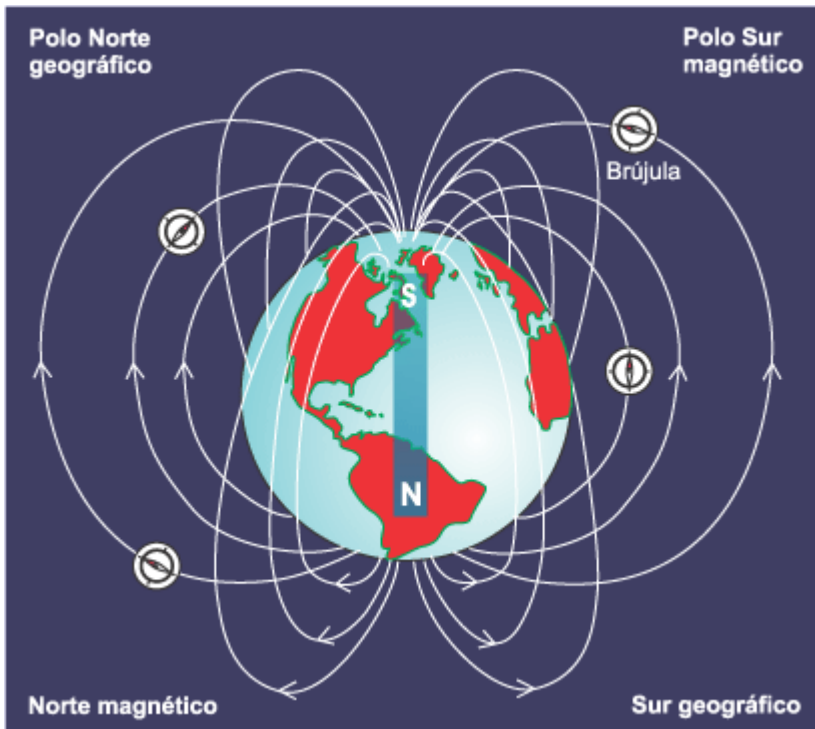
La única interpretación posible era que la corriente creaba líneas de fuerza magnéticas circulares y concéntricas con la corriente.

¿Qué tienen de común un imán de magnetita y un circuito eléctrico? Esta pregunta será contestada más adelante, en esta misma unidad. De momento, notemos que si las corrientes eléctricas, es decir, las partículas cargadas en movimiento, crean campo magnético, será lógico suponer que también serán afectadas por los campos magnéticos creados por imanes u otras cargas móviles.

Conclusiones sobre introducción al magnetismo



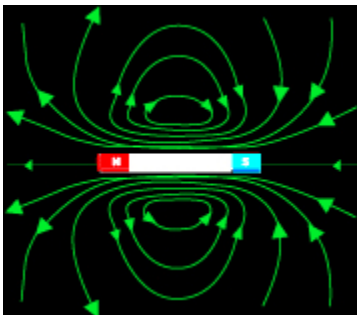
Los imanes atraen fuertemente, sobre todo hacia sus **dos polos**, a las llamadas sustancias ferromagnéticas, débilmente a las paramagnéticas y nada a las diamagnéticas. Las sustancias atraídas se portan a su vez como imanes mientras están en el campo.



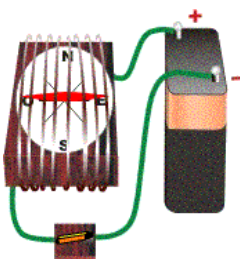
El comportamiento de la brújula indica que la Tierra es un gran imán con sus polos magnéticos cerca de los geográficos.

El polo de un imán que tiende a orientarse hacia el Norte terrestre se denomina **polo norte del imán**, y el que se oriente hacia el Sur geográfico es el **polo sur del imán**. Los imanes se

atraen por sus polos opuestos y se repelen por sus polos idénticos.



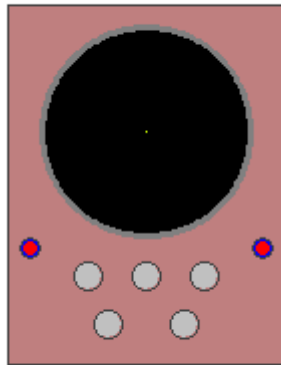
El campo magnético tiene la dirección dada por sus líneas de fuerza que parten del polo norte del imán y se sumergen en el polo sur. En el interior del imán, las líneas de fuerza se mantienen paralelas, de sur a norte, indicando un campo homogéneo.



Como comprobó Öersted, las corrientes eléctricas producen campos magnéticos con líneas de fuerza que forman círculos concéntricos centrados en la misma corriente. **El campo magnético está originado por partículas cargadas en movimiento.**

Acción del campo magnético

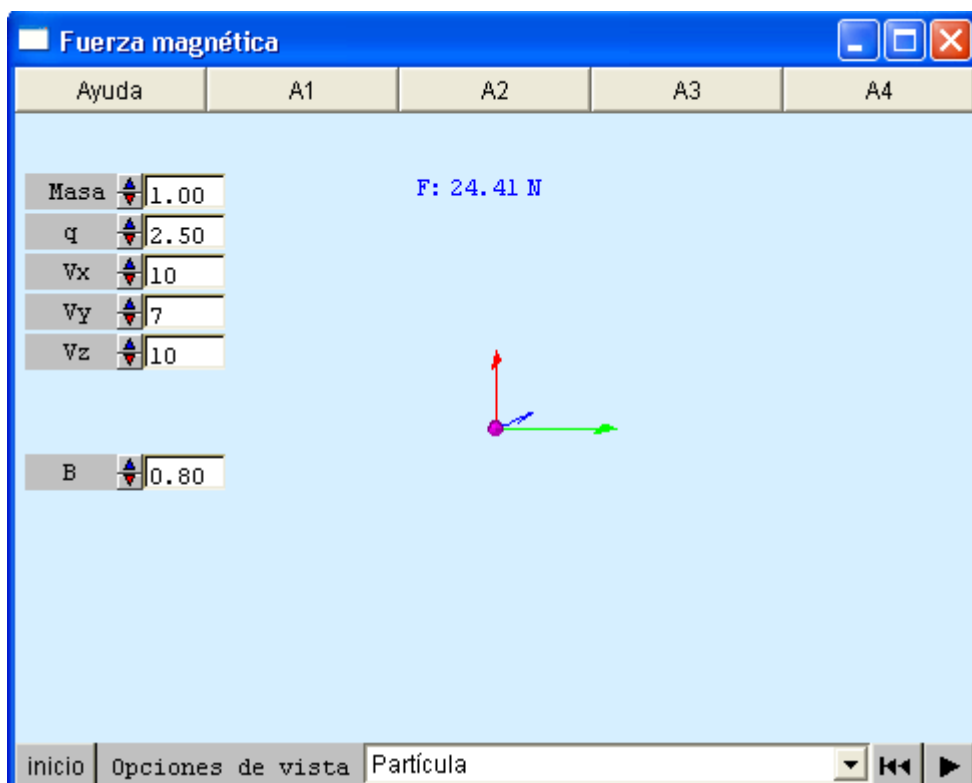
Acción sobre una partícula cargada



ondax	<input type="text" value="sinusoid"/>
frx	<input type="text" value="0.00"/>
Ax	<input type="text" value="1.000"/>
Ay	<input type="text" value="0.005"/>
onday	<input type="text" value="sinusoid"/>
fry	<input type="text" value="0.00"/>
Vy	<input type="text" value="220.00"/>
fasey	<input type="text" value="0.00"/>

En la escena superior ves un osciloscopio, donde un chorro de electrones es desviado de su trayectoria por campos magnéticos variables según la voluntad del usuario. Practica con él sus posibilidades (sobre todo con frx y fry) y, después, pulsa [fuerza magnética](#) para estudiar más detalladamente el efecto de una fuerza magnética sobre una partícula cargada. También puedes usar [De frente](#) y [De perfil](#) para realizar ese mismo estudio con partículas elementales muy conocidas.

Fuerza magnética



A1:

Da valores al vector velocidad en el eje x y al campo B. ¿Aparece el vector fuerza? Pulsa el botón de animación. ¿Qué observas?

¿Y si la velocidad en el eje X fuera negativa?

¿Y si la carga fuera negativa?

Haz cero la velocidad en el eje x y prueba a dar valores a las velocidades en los ejes y o z, de forma que estas velocidades sean perpendiculares a B.

Puedes cambiar la perspectiva de la pantalla si no ves bien los vectores.

¿Qué pasa si cambiamos el signo de la carga?

¿Y si alteramos el valor de la carga de la partícula?

¿Y si cambiamos el valor de la masa?

Busca en tu texto la ley que justifica tus observaciones.

A2:

Llamamos inducción magnética al vector propio del campo magnético.

Su unidad, el tesla, es la inducción capaz de producir una fuerza determinada sobre la unidad de carga moviéndose a la unidad de velocidad perpendicular al campo.

Haz $q=1$; $V_y=1$; $V_x=0$; $V_z=0$; y $B=1$. ¿Qué fuerza producirá sobre la unidad de carga un campo de 1 tesla?

A3:

Manteniendo $B=0.5$, $V_x=0$, $V_z=0$ y $V_y=10$, pulsa el botón de animación.

¿Qué trayectoria sigue la partícula? (puedes pulsar la opción de vista Trayectoria y girar la imagen con el ratón)

Altera los valores de velocidad, masa, carga y campo hasta que logres deducir una expresión matemática del radio de la trayectoria en función de estos parámetros.

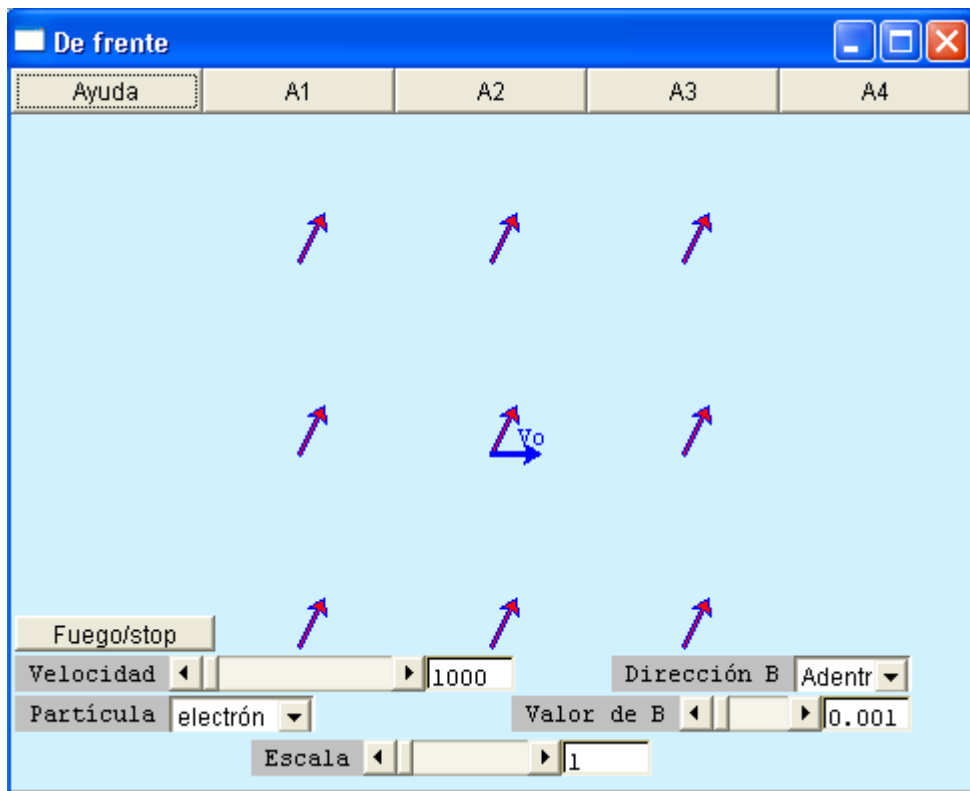
Busca en tu texto la justificación de estos resultados.

A4:

Da a la velocidad valores diferentes de cero en cada eje e introduce un campo fuerte de un tesla.

Pulsa el botón de animación. ¿Cómo explicas lo que observas?. Quizás lo puedas ver mejor con la opción de vista trayectoria.

De frente



A1:

Disparamos un haz de electrones. Si no percibes nada, aumenta la escala.

Comprueba qué hubiera ocurrido si lanzamos un positrón (de igual masa pero carga opuesta a la del electrón).

¿Qué puedes deducir de esta comparación?

Prueba ahora con un neutrón. ¿Cómo puedes explicar el resultado?

A2:

Escoge ahora como tipo de carga el protón y anota los valores del radio de curvatura de su trayectoria y del periodo de su movimiento.

Haz lo mismo, sin cambiar la velocidad ni el campo, para un deuterón.

Si las dos partículas tienen la misma carga, ¿a qué se deberá la diferencia?

Compara ahora con los resultados de una partícula alfa.

¿Cómo explicas el resultado?

A3:

Elige una partícula, por ejemplo un protón, y anota los valores de periodo y radio de curvatura de la trayectoria para diversos valores de la velocidad. ¿Qué puedes deducir?

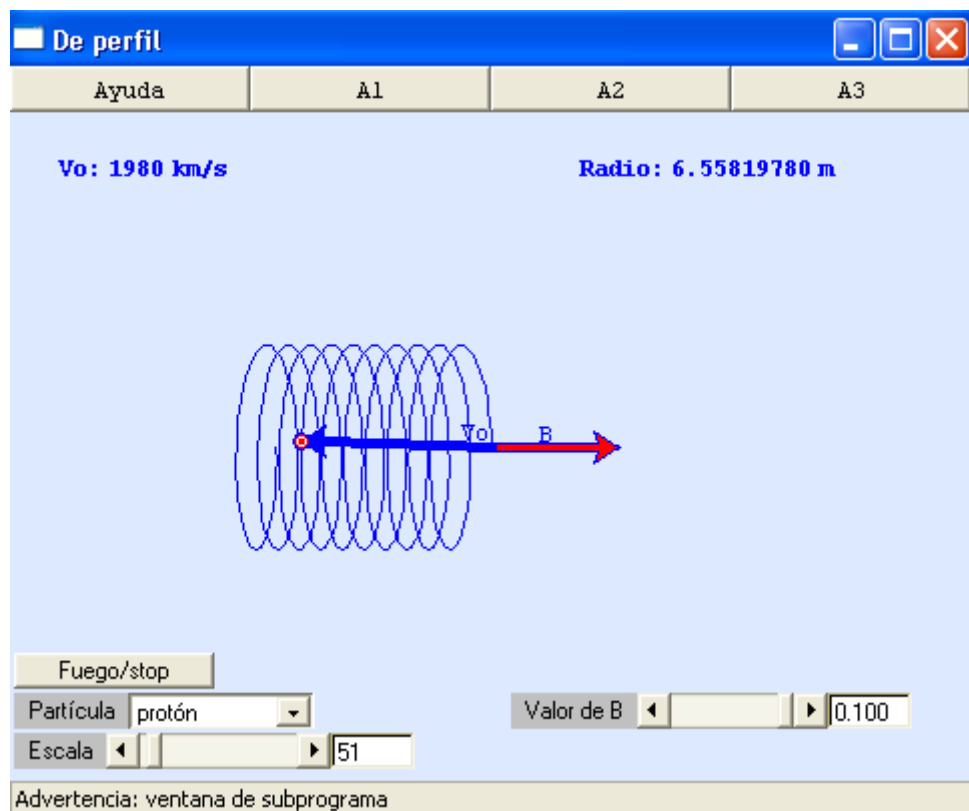
A4:

Lanza un protón y comprueba el efecto que se produce si se cambia el sentido del campo magnético.

Si alteramos el módulo del vector B, ¿cómo afecta esto a la trayectoria de las partículas?

Deduce un par de fórmulas para obtener el periodo y radio de curvatura de la trayectoria de una partícula a partir de las actividades anteriores.

De perfil



A1:

Pulsa el botón Fuego/stop para lanzar un electrón. Su movimiento circular aparece en perspectiva. Altera la dirección de su velocidad.

¿Qué ocurre con su trayectoria?

¿Qué pasa cuando V_0 tiene la dirección de B (en el mismo sentido o en el opuesto)

¿Cómo podrías explicar la forma de ésta?

Como pista, considera la velocidad dividida en dos componentes, una en la dirección de B y otra perpendicular a B.

A2:

Elige ahora la partícula positrón y oprime el botón Fuego/stop. ¿Que diferencia ves con el caso del electrón?

Si tomas un protón, un deuterón o una partícula alfa, tendrás que cambiar severamente la escala. ¿A qué se deberá?

¿Cuál es la razón de este diferente comportamiento?

¿Qué ocurre si elegimos un neutrón? ¿Por qué?

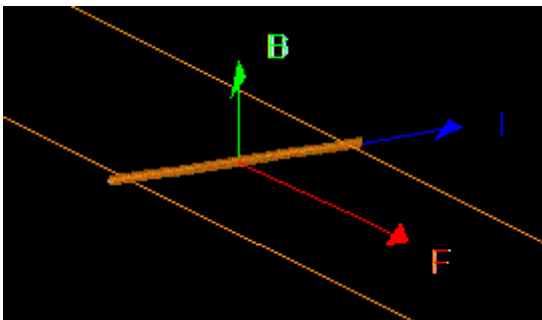
A3:

Elige como partícula un protón, oprime el botón de Fuego/stop. ¿Qué efecto tiene alterar el valor de la intensidad de campo?

¿Puedes contrarrestar ese efecto variando la velocidad?

Varía ahora la dirección de la velocidad. ¿Qué efecto tiene ahora variar B? Considera no sólo el radio de los círculos sino también su frecuencia.

Acción sobre una corriente rectilínea



Si el campo magnético afecta a las partículas cargadas en movimiento, también deberá afectar a un conductor por el que pase una corriente. Las cargas en su interior tenderán a moverse empujadas por el campo, pero al estar confinadas dentro del cuerpo del conductor realizarán una fuerza medible sobre él.

En la escena [campo/corriente](#) se estudia el efecto del campo sobre una corriente rectilínea. Si se trata de un conductor con recorrido curvado, o un campo no homogéneo, es preciso considerar el conductor descompuesto en infinidad de fragmentos rectos de longitud dL y sumar (integrar) la fuerza hecha sobre cada uno.

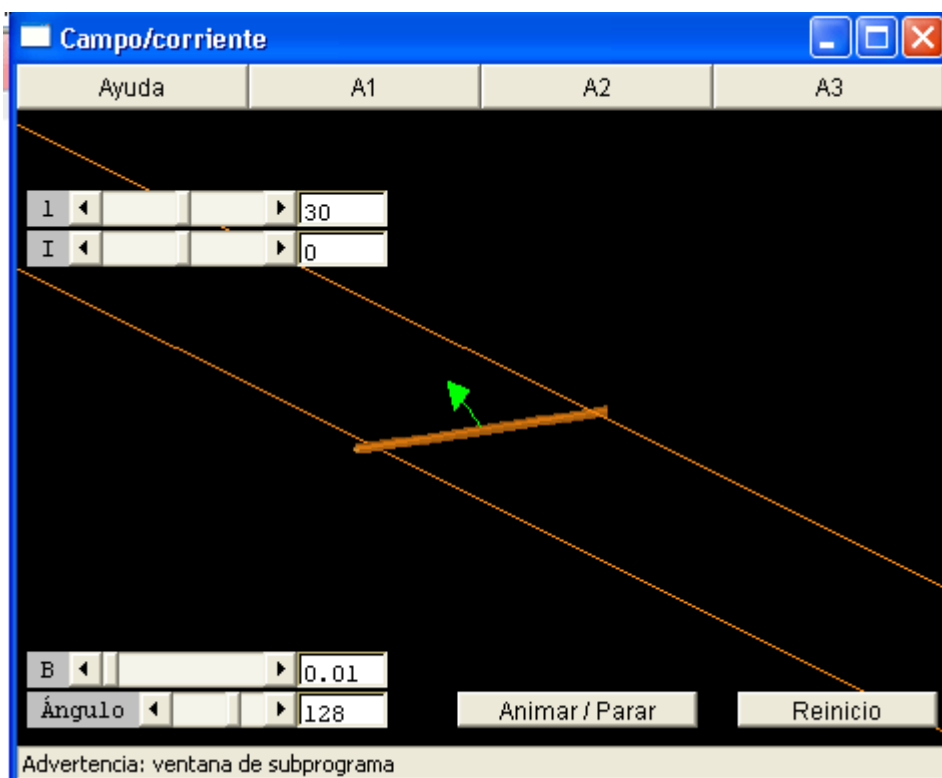
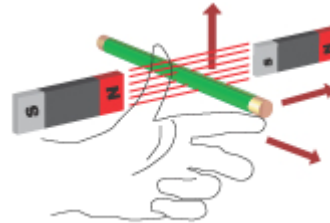
La dirección de la fuerza nos la proporciona la regla de la mano izquierda: si el dedo índice apunta en la dirección del campo y el dedo medio en la dirección de la corriente, el dedo pulgar apunta en la dirección de la fuerza.

Corriente recta:

$$\vec{F} = I \cdot (\vec{L} \times \vec{B})$$

Corriente curva:

$$\vec{F} = \int I \cdot (d\vec{L} \times \vec{B})$$



A1:

Damos a la corriente un valor positivo, por ejemplo 5 A.

¿Qué relación gráfica tienen los vectores que indican el sentido de la corriente, la intensidad de campo y la fuerza?

¿Y si cambiamos el sentido de la corriente?

A2:

Anotamos la fuerza que se produce para distintos valores de la intensidad.

¿Qué relación observas entre fuerza e intensidad de corriente?

Haz lo mismo variando sólo la longitud del conductor y determina la relación entre fuerza y longitud del conductor.

Repite el estudio variando el valor de B

El estudio de la influencia del ángulo requiere un paso intermedio: haz una tabla de valores del seno del ángulo (por ejemplo cada 30°) y relaciónala con los valores correspondientes de la fuerza.

Trata de resumir en una única ley matemática las observaciones anteriores.

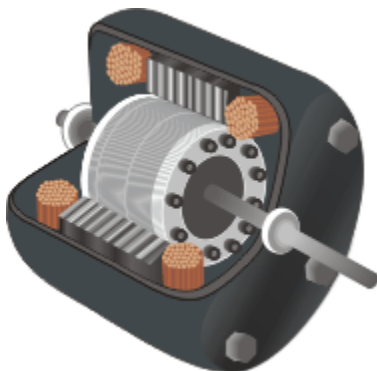
A3:

Tras dar a la intensidad un valor distinto de cero, pulsa el botón animar y deténlo cada 5 sg para anotar el espacio recorrido por el conductor.

¿Con qué tipo de movimiento se está desplazando?

Justifica por qué posee este movimiento.

Acción sobre una espira de corriente



Una de las aplicaciones más interesantes del electromagnetismo ha sido la producción de energía mecánica en los motores eléctricos como el de la figura.

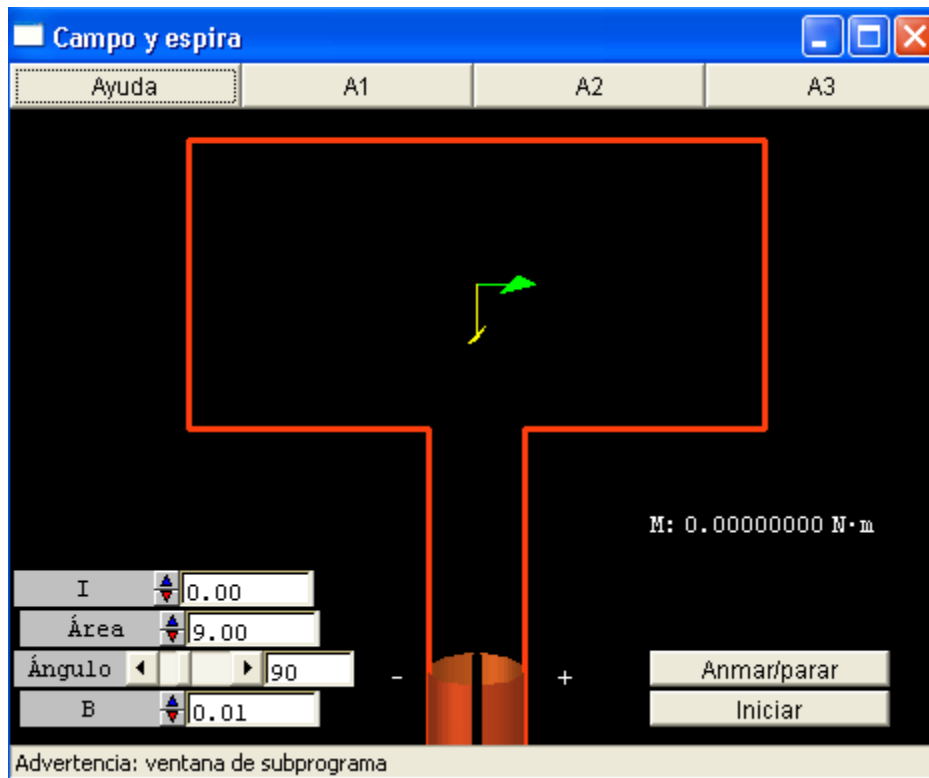
Todos sabemos que en ellos una o más bobinas giran dentro de un campo magnético al hacer pasar corriente por ellas.

¿Por qué ocurre así?. Para comprenderlo vamos a estudiar el caso más sencillo posible.

Se trata de una espira moviéndose en un campo magnético. Puedes comprender que en el caso de una bobina se produciría el mismo efecto, multiplicado por el número de espiras.

Pulsa [campo y espira](#) para realizar este estudio.

Campo y espira



A1:

Hágase que la intensidad de corriente sea 1 A. Obsérvense los tres vectores.

Justifíquese la dirección y sentido del vector superficie (hay que tener en cuenta el sentido de la corriente). Si no se ve bien el ángulo de los vectores, increméntese el ángulo inicial.

¿Qué ángulo forma el vector momento con los vectores superficie e inducción?

¿Por qué ocurrirá esto?

A2:

Alterando sólo el valor de la intensidad, ¿cómo varía el momento?

¿Y si alteramos únicamente el área?

¿Y si variamos el valor de B?

Para estudiar también la variación con el ángulo debes anotar el seno de los ángulos en cada caso.

Reúne tus conclusiones en una ley matemática.

A3:

Da el valor de 1 A a la intensidad de corriente y 0.1 T a B.

Pulsa el botón de animación y anota el ángulo girado a los 5, 10, 15, 20s.

¿Qué tipo de movimiento se produce? ¿Podrías asegurar que tiene una aceleración uniforme?

Repite la experiencia desde el principio, pero alterando el ángulo inicial para que sea 0° . ¿Qué ocurre ahora al pulsar el botón de animación? ¿Por qué?

¿En qué puntos del movimiento es mayor el momento?

Conclusiones sobre acción del campo magnético

Un campo magnético \mathbf{B} produce sobre una partícula de carga q y velocidad \mathbf{V} una fuerza \mathbf{F} dada por la expresión adjunta.

$$\vec{F} = q \cdot \vec{V} \times \vec{B}$$

Bajo esta fuerza la partícula se mueve en una trayectoria circular (si \mathbf{V} es perpendicular a \mathbf{B}), o helicoidal (si \mathbf{V} y \mathbf{B} forman un ángulo oblicuo).

La **unidad de inducción magnética, el tesla**, producirá una fuerza de un newton sobre la unidad de carga moviéndose a la velocidad de 1 m/s perpendicular al campo.

Un conductor rectilíneo, de longitud L , portador de corriente de intensidad I es afectado por el campo \mathbf{B} según la expresión superior de la derecha.

Si el conductor es curvilíneo o \mathbf{B} no es homogéneo, hay que integrar el efecto del campo sobre infinitos elementos de conductor $d\mathbf{L}$. Así se indica en la expresión inferior de la derecha.

Corriente recta:

$$\vec{F} = I \cdot (\vec{L} \times \vec{B})$$

Corriente curva:

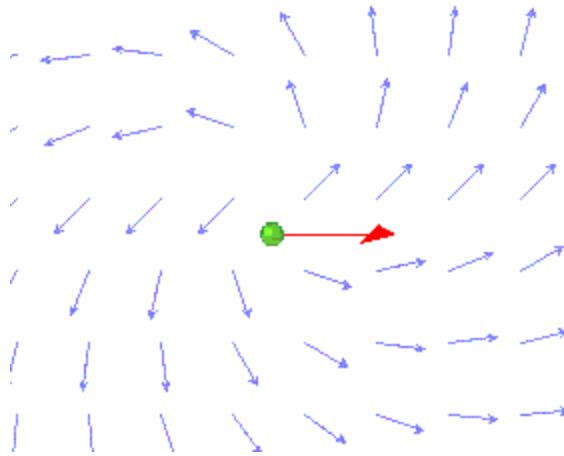
$$\vec{F} = \int I \cdot (d\vec{L} \times \vec{B})$$

Una espira de superficie \mathbf{S} , portadora de corriente sufriría bajo un campo magnético un par de fuerzas \mathbf{M} dado por la expresión de la derecha. Una bobina sufriría un efecto similar, multiplicado por el número de espiras.

$$\vec{M} = I \cdot \vec{S} \times \vec{B}$$

Creación de un campo magnético

Campo creado por una partícula cargada



Desde la experiencia de Ørsted ya sabemos que las corrientes eléctricas producen campos magnéticos, puesto que una corriente eléctrica afecta a la brújula.

La corriente eléctrica más pequeña que podemos imaginar es una simple partícula cargada. Por eso en la escena [campo/partícula](#) Estudiamos el campo magnético creado por una partícula en movimiento.

Observarás que en esa escena estudiamos el campo desde dos perspectivas, ya que el campo magnético creado por una partícula es asimétrico.

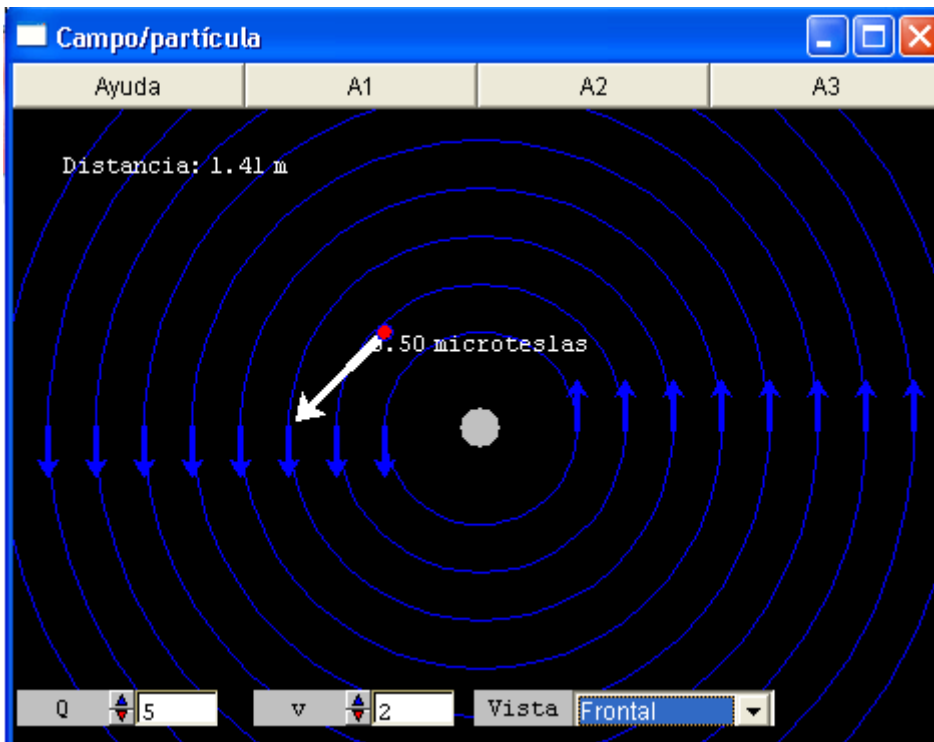
Esperamos que, con ella y tu libro de texto hayas podido comprender la siguiente expresión:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 \cdot q \cdot \vec{V} \times \vec{R}}{4 \cdot \pi \cdot R^3}$$

En ella, la partícula de carga q y velocidad \vec{V} crea el campo \vec{B} en un punto definido por el vector \vec{R} desde la partícula.

La constante μ_0 se llama permeabilidad magnética del vacío.

Campo/partícula



A1:

En la vista frontal la partícula se dirige hacia el observador.

Al dar un valor a la velocidad aparecen las líneas de fuerza del campo. ¿Qué ocurre si cambiamos el signo de la carga?

Arrastra el punto rojo a lo largo de una línea de fuerza. ¿Qué relación hay entre el vector inducción y la línea de fuerza?

A2:

Para unos valores fijos de Q y v , estudia cómo depende el valor de b de la distancia r .

Trata de buscar una expresión matemática que responda a tus observaciones.

Estudia también la dependencia de b respecto a los valores de q y v para un punto fijo.

Busca en tu texto la ley matemática que justifica tus observaciones.

A3:

Elige para una carga y velocidad determinada, la vista lateral.

Estudia ahora el valor de b para puntos que estén a la misma distancia de la carga, pero con diferentes valores angulares.

¿Qué deduces de estas observaciones?

Busca en tu libro de texto la justificación teórica de estas observaciones.

Campo creado por una corriente rectilínea



Una corriente eléctrica rectilínea de longitud indefinida crea un campo magnético a su alrededor.

Puedes estudiar las características de este campo en la escena [campo/corriente](#). Allí lograrás entender que el valor de la inducción magnética viene dado por:

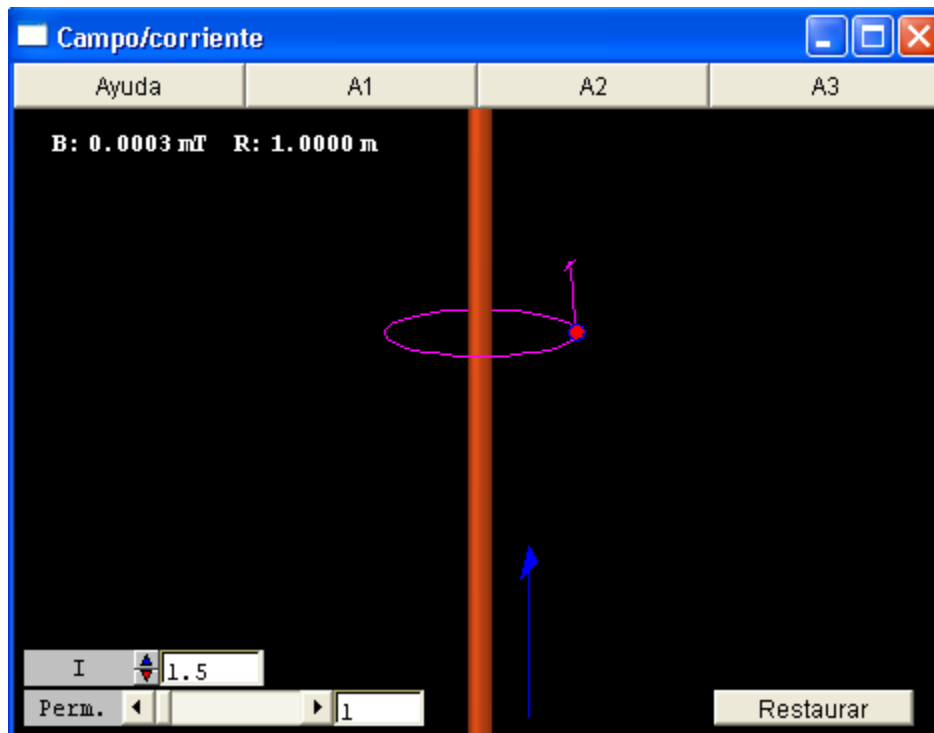
$$B = \frac{\mu \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot r}$$

donde **I** es la intensidad de corriente y **r** la distancia al punto en que se mide el campo **B**. La constante **μ**, permeabilidad magnética, depende del medio.

En esa expresión no se determina la dirección y sentido del campo. Para eso es muy práctica la regla de la mano derecha que ves ilustrada en la imagen superior.

En la escena [entre corrientes](#) se estudia el efecto que realiza el campo magnético de un conductor sobre otro.

Campo/corriente



A1:

Da a la intensidad el valor 1 A. y mueve el punto rojo por la pantalla.

Aparece una curva y un vector campo. ¿Cómo es la curva? ¿Qué posición tiene respecto al conductor?

Puedes cambiar el punto de vista pinchando y arrastrando desde cualquier punto de la pantalla.

¿Qué ocurre si cambiamos el signo de la corriente?

Busca en tu texto alguna relación entre lo que has visto y una

A2:

Para un punto dado varía el valor de la intensidad. ¿Cómo varía el valor de B?

Prueba ahora, para una intensidad dada, a ver el valor a diferentes distancias del conductor. ¿Cómo varía

Finalmente, prueba la variación de B con la permeabilidad magnética del medio.

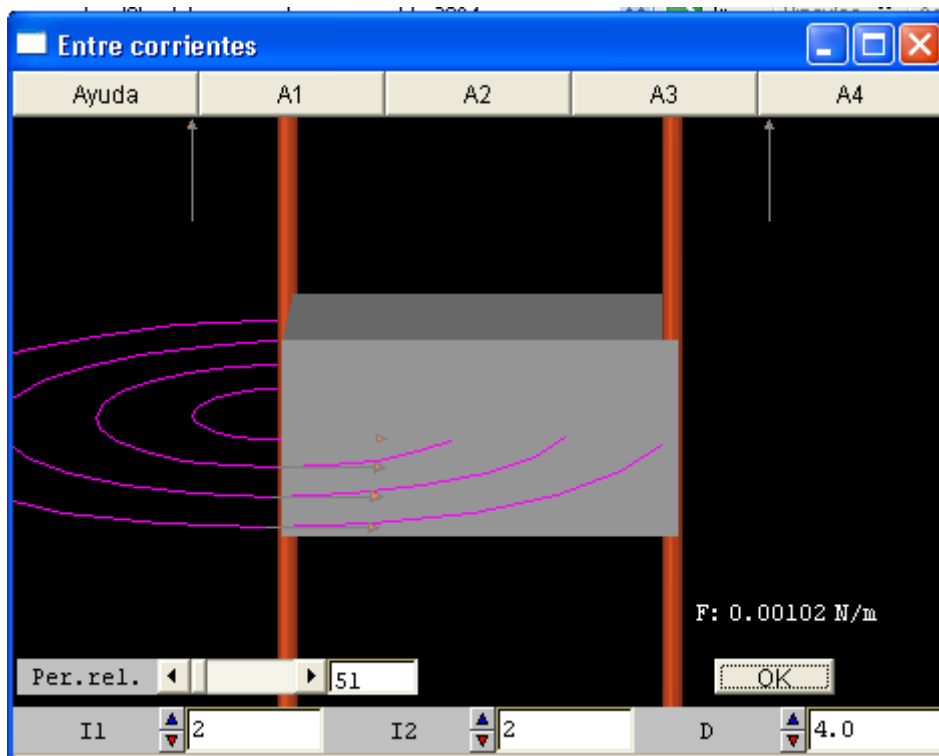
A3:

En la escena observamos que para determinar el valor de B, sabiendo intensidad y permeabilidad, sólo importa la distancia a la corriente, no si el punto de observación está más arriba o más abajo, delante o detrás.

¿Por qué ocurre esto?

¿Qué pasaría cerca de los límites del conductor si este no tuviera una longitud indefinida?

Entre corrientes



A1:

Da a I1 un valor positivo y pulsa el botón OK.

Ves algunas líneas de fuerza del campo creado por este conductor y unas flecha que indican su sentido.

¿Qué ocurre si cambio el sentido de la corriente?

A2:

Asigna ahora valores positivos a I1 e I2. Pulsa OK. ¿Hacia dónde empuja la fuerza?

Prueba con diferentes valores positivos de I1 e I2. ¿Qué relación ves entre la fuerza y las intensidades de corriente?

Cambia también la distancia entre los conductores. ¿Cómo influye en la fuerza observada?

Prueba con intensidades de distinto signo. ¿En qué se diferencian los resultados de los de antes?

A3:

Con valores de I1 e I2 diferentes de cero pulsa OK.

Incrementa el valor de la permeabilidad relativa.

Ahora aparecerá un medio entre los dos conductores.

¿Qué influencia tiene el medio en la fuerza registrada?

¿Cómo reunirías en una sola expresión matemática las conclusiones de esta actividad y la anterior?

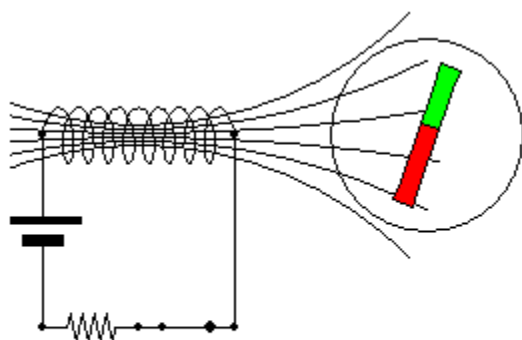
A4:

Da el valor 1 A a I1 e I2, el valor 1 a la permeabilidad relativa y haz la distancia $D=1\text{cm}$.

¿Qué fuerza actúa entre los conductores? Calcula cuánto hubiera valido esta fuerza si la distancia fuera 1m.

Crema una definición de la unidad de intensidad de corriente, el amperio, teniendo en cuenta la fuerza que acabas de calcular.

Campo creado por una bobina



conectado SI

En la escena adjunta tienes un circuito con una bobina o solenoide y una brújula en sus proximidades. Cuando cerramos el circuito la bobina se porta como un electroimán, desviando la brújula hacia uno de sus polos.

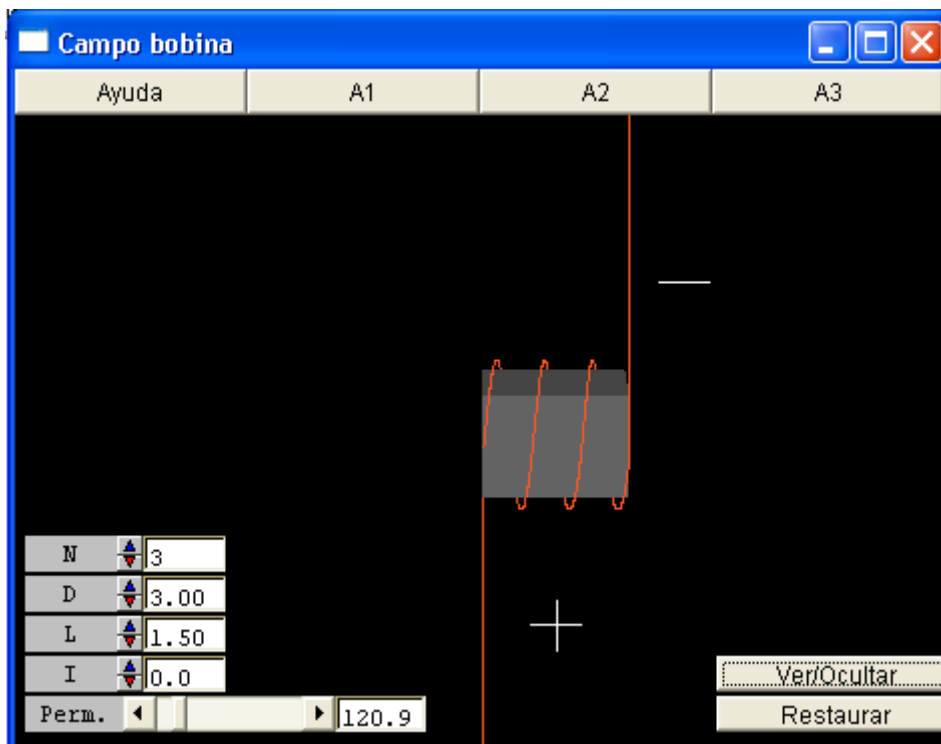
¿Cómo sabemos cuál es el polo norte y cuál es el polo sur del electroimán que hemos creado?

¿De qué depende que el campo magnético tenga más

intensidad? Estas son las preguntas que puedes contestar después de estudiar la escena [campo bobina](#).

Hemos estudiado "experimentalmente" el campo magnético creado por corrientes rectas y bobinas. En estos casos y otros igualmente sencillos podríamos haber recurrido a la Ley de Ampere, que se estudia en [Ampere](#), para deducir el valor de B de modo teórico.

Campo bobina



A1:

Aumenta el valor de L hasta el máximo y da a la intensidad algún valor mayor que cero.

Observa (botón Ver/Ocultar) que las líneas de fuerza en el interior del solenoide se mantienen paralelas.

¿Qué relación tiene esto con la intensidad de campo?

¿Dónde será más intenso el campo, dentro o fuera del solenoide?

Haz girar la bobina de forma que veas casi de frente la cara por donde surgen las líneas de fuerza. ¿Cuál de los dos polos magnéticos es éste? ¿En qué sentido está circulando la corriente por el solenoide visto desde esta perspectiva?

Gira el solenoide hasta que se vea claramente el otro polo y contesta las mismas preguntas.

A2:

Ve alterando el valor de I y observa como varía B. ¿Qué clase de relación hay?

¿Y si varía el número de espiras?

¿Y si varía el diámetro de la bobina?

¿Y si varía su longitud?

Trata de recoger todas estas relaciones en una ley matemática.

A3:

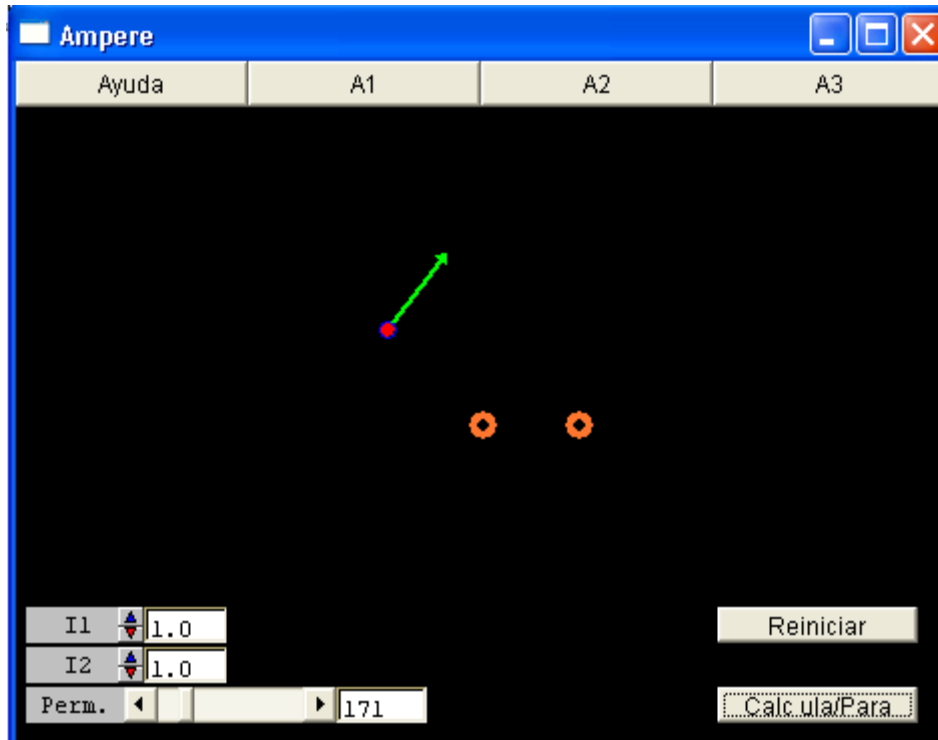
Haz variar la permeabilidad magnética. Los medios diamagnéticos tienen una permeabilidad similar (o menor) a la del vacío, los medios paramagnéticos (la

mayoría de los metales) tienen una permeabilidad hasta unas decenas de veces mayor que el vacío y los ferromagnéticos (siempre derivados del hierro) cientos o miles de veces la del vacío.

¿Cómo varía el campo con la permeabilidad? ¿Qué tipo de sustancia se usará como núcleo en los electroimanes?

Incorpora la relación entre la permeabilidad y B a la ley que dedujiste en la actividad anterior.

Ampere



A1:

Da a I1 e I2 cualquier valor, por ejemplo 1 y 2 A.

Pulsa el botón Calcula/Para y arrastra el botón rojo en una trayectoria cerrada cualquiera, que no incluya en su interior a los dos conductores.

Repite la experiencia varias veces con valores diferentes de las intensidades.

¿Alrededor de qué cifra está la circulación en todos los casos?

A2:

Da a I1 el valor 2 A y a I2 el valor cero. Pulsa el botón Calcula/Para y arrastra el punto rojo en una trayectoria cerrada que contenga al conductor. ¿Qué observas en el valor de cir/perm.vac?

Y si das a I1 un valor negativo?

¿Y si das a I1 e I2 valores positivos?

¿Y si das a I1 un valor positivo y a I1 un valor igual pero negativo?

Deduce una norma general para el valor de la circulación de B en una trayectoria cerrada.

A3:

Da un valor elevado a la permeabilidad del medio, 500, por ejemplo, y valores $I_1=1$ e $I_2=0$ a las intensidades.

Calcula ahora la circulación en una trayectoria cerrada que contenga al conductor.

Compara tus resultados con los de la actividad anterior.

Prueba ahora con intensidades diferentes de cero en ambos conductores.

Modifica la ley obtenida en la actividad anterior para incluir los últimos resultados.

Acabas de obtener la Ley de Ampere.

Explicación del magnetismo natural

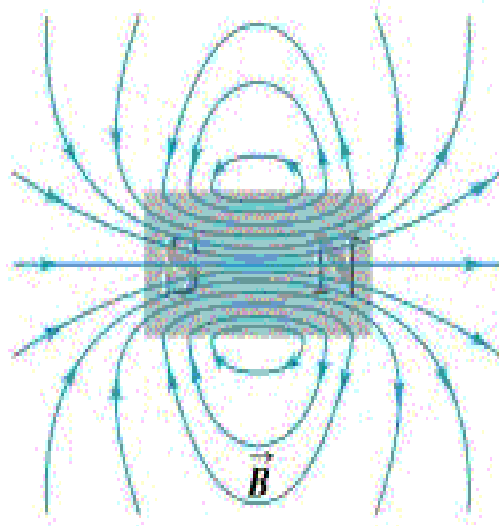
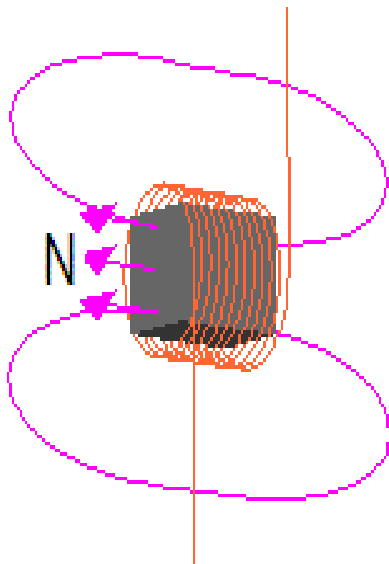


Nos preguntábamos al principio de la unidad la relación entre el campo magnético del campo creado por un imán natural y el creado por una corriente.

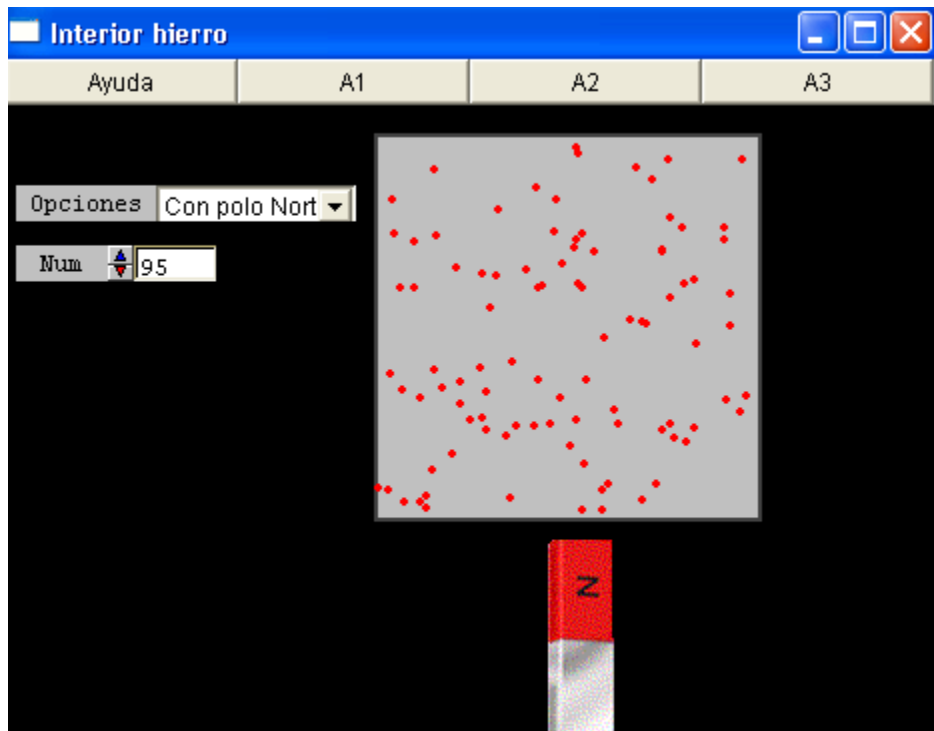
Después de ver el campo magnético creado por una bobina, vemos la similitud que hay entre el campo que creado por ella y el de un imán.

Ambos cuerpos tienen polaridad y líneas de fuerza similares.

Si pulsamos [interior hierro](#) comprenderemos el motivo de esta similitud.



Interior hierro



A1:

Al arrancar la escena ves una nube de electrones dentro del metal. ¿Tienen algún patrón fijo de movimiento? Si te resulta difícil responder, baja el número de electrones (parámetro Num).

Busca en tu libro de texto de Física y Química de 1º de Bachillerato la justificación de esta nube (capítulo de enlace químico)

A2:

Elige la opción

A3:

Elige una de las opciones con campo magnético. Compara el movimiento de los electrones con el campo magnético creado por un solenoide.

¿Puedes explicar por qué el metal se comportará ahora como un imán?

¿Dónde estará su polo Norte?

¿Y su polo Sur?

En algunos compuestos de hierro, la situación alterada de los electrones persiste después de retirar el campo magnético, de forma que quedarán convertidos en imanes permanentes. Si quieres saber más al respecto busca en una buena enciclopedia la palabra histéresis.

Conclusiones sobre creación de campos magnéticos

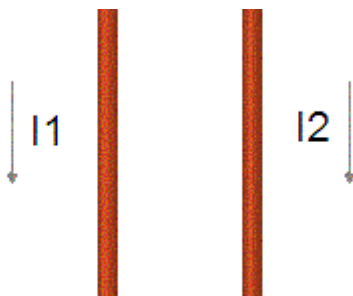


Una corriente rectilínea o una carga en movimiento crean a su alrededor líneas de fuerza magnéticas como las dadas en la figura

El módulo de la creada por una corriente rectilínea de longitud indefinida es:

$$B = \frac{\mu \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot r}$$

donde **I** es la intensidad de corriente y **r** la distancia hasta el punto de intensidad **B**, mientras que μ es la permeabilidad magnética del medio.



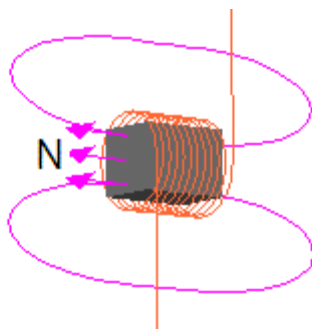
Entre dos corrientes rectilíneas se crea una interacción magnética de atracción si son corrientes del mismo sentido y de repulsión en caso contrario. El valor de estas fuerzas por unidad de longitud es:

$$F/l = \frac{\mu \cdot I_1 \cdot I_2}{2 \cdot \pi \cdot r}$$

donde **r** es la distancia entre los conductores, **I1** e **I2** las intensidades respectivas y μ es la permeabilidad magnética del medio.

Pulsa [avanzar](#) para leer más conclusiones.

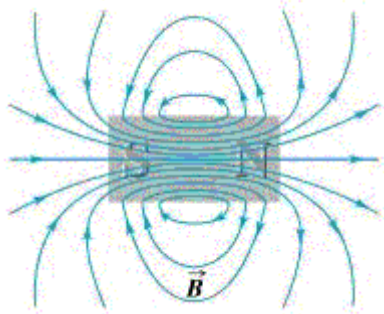
Más conclusiones sobre creación de campos magnéticos



Una bobina crea un campo:

$$B = \frac{\mu \cdot n \cdot I}{l}$$

donde **l** es la longitud de la bobina y **n** es el número de espiras. El polo norte es el lado de la bobina en que la corriente va en sentido contrario a las agujas del reloj.



Un imán natural se porta como una bobina porque un número importante de los componentes de su nube electrónica tienen preferencia por la realización de revoluciones determinadas.

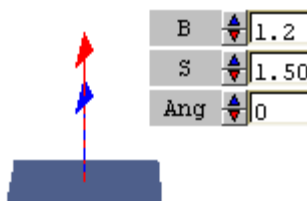
La influencia de su campo sobre los electrones de otro mineral de hierro reorientan los electrones de éste para comportarse como otro imán. Si después de extraer este otro cuerpo sus electrones recuperan el movimiento caótico, la magnetización ha sido **temporal**, en caso contrario es **permanente**.

Ampere demostró que si descomponemos una trayectoria cerrada en infinitos elementos y realizamos la suma (integral de los productos escalares de la inducción **B** y cada elemento **dl** de la trayectoria) el resultado es proporcional a la suma de las intensidades de corriente que atraviesan la superficie limitada por la trayectoria cerrada. Esta ley ha sido muy importante en el análisis teórico de muchos campos magnéticos.

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu \cdot \sum I$$

Corrientes inducidas

Flujo magnético



El concepto matemático de flujo nos va a ser útil al tratar con corrientes inducidas, por lo que introducimos ahora su definición.

Llamamos flujo magnético a través de una superficie al producto escalar:

$$\Phi = 0.0 \cdot 1.5 \cdot \cos(0.0)$$

$$\Phi = 1.80 \text{ T}\cdot\text{m}^2$$

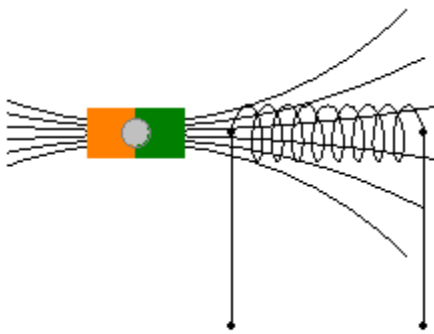
$$\Phi = \vec{B} \cdot \Delta\vec{S}$$

donde **B** es la inducción magnética y **ΔS** es el vector superficie.. En la escena superior podemos estudiar cómo varía el flujo con cada variable implicada.

Cuando el campo no es homogéneo o la superficie es curva, debemos considerar a ésta dividida en fragmentos elementales $d\mathbf{S}$ y sumar (integrar) el flujo a través de todos los elementos. Así, la expresión más general para el flujo será:

$$\Phi = \int \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

Leyes de Faraday y Lenz



La escena adjunta ilustra cualitativamente sobre la experiencia de Faraday. En ella vemos un imán, con sus líneas de fuerza, cerca de un circuito formado por una bobina y una bombilla, sin fuente de alimentación.

Si acercamos o alejamos el imán (arrastrado por su punto medio) la bombilla se iluminará. Es la **variación del flujo magnético** a través de la

bobina la que genera una corriente en la bombilla, a la que llamamos **corriente inducida**.

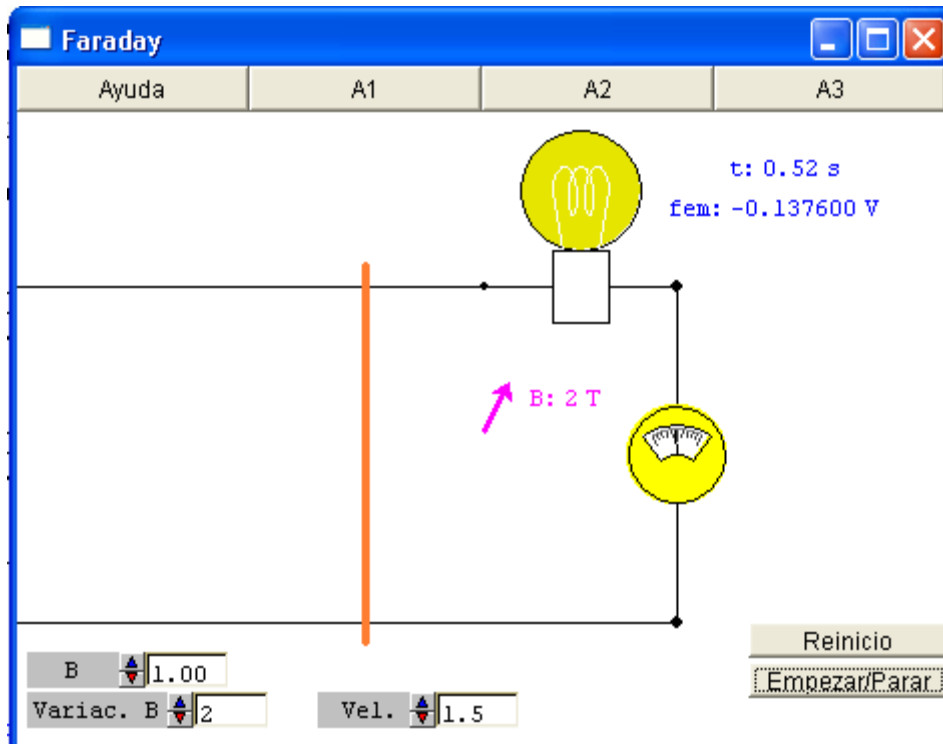
Para realizar un estudio más serio de la producción de corrientes inducidas pulsa [Faraday](#). En esta escena estudiarás la corriente inducida en un circuito sencillo cuando se altera el campo o la superficie del circuito y aprenderás las leyes de Faraday y Lenz que se resumen en la expresión:

$$f_{em} = - \frac{d\Phi}{dt}$$

donde f_{em} es la fuerza electromotriz inducida.

En el apartado de corriente alterna estudiaremos cómo se produce corriente inducida cuando varía el ángulo entre el campo y la superficie del circuito.

Faraday



A1:

Da una tasa de variación positiva al campo B y pulsa el botón Empezar/Parar. Prueba con diferentes valores positivos de esta tasa. ¿Cómo influye esta variación con el tiempo?

Observa el sentido de la corriente inducida. ¿Hacia dónde se dirigirá el campo inducido por esta corriente al atravesar el circuito? Prueba ahora con valores negativos de la tasa de variación de B. ¿Hacia dónde va ahora la corriente inducida? ¿Y el campo magnético que ella produce en el circuito?

A2:

Prueba a dar una velocidad positiva a la varilla y pulsa el botón Empezar/Parar. ¿Aumentará o disminuirá la superficie del circuito dentro del campo?

¿Qué corriente inducida se produce? ¿En qué sentido? ¿Hacia dónde irá el campo magnético producido por esta corriente?

Prueba con diferentes valores positivos de la velocidad. ¿qué relación ves entre la corriente inducida y la velocidad de la varilla?

Prueba también con valores negativos de la velocidad.

¿Qué diferencias observas con los casos en que la velocidad era positiva?

A3:

Tras anotar los resultados de tus actividades anteriores, busca en tu libro de texto las leyes de Faraday y Lenz y trata de justificar con ellas los resultados de tu experiencia.

Autoinducción



Una forma muy simple de producir corrientes inducidas en un circuito es variar la intensidad de corriente que lo atraviesa, pues así se genera un campo magnético variable. Esto es lo que pasa cuando se cierra o abre el interruptor de un circuito.

El efecto resulta mucho más patente si el circuito incluye una bobina como la de la figura.

En la escena [autoinducción](#) puedes estudiar el fenómeno de la autoinducción en una bobina y comprender cómo depende de sus características, justificando la ley de Henry:

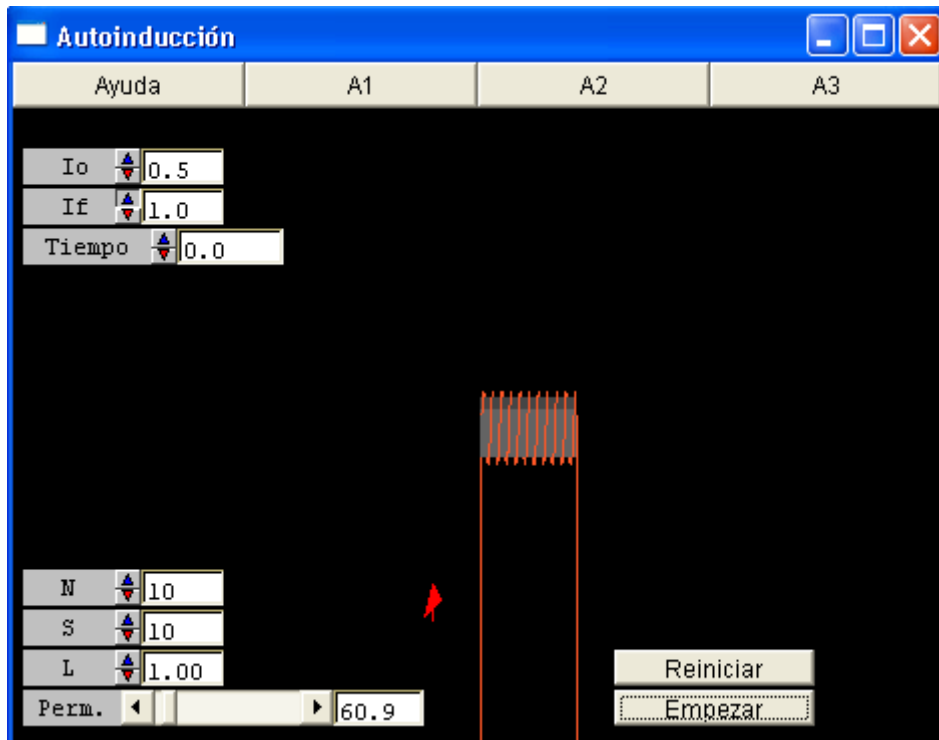
$$f_{em} = -L \cdot \frac{dI}{dt}$$

donde f_{em} es la fuerza electromotriz auto inducida, dI/dt es la variación de la intensidad de corriente con el tiempo y L , el coeficiente de auto inducción, es una característica de la bobina, cuya unidad se denomina henrio. Su valor resulta ser:

$$L = \frac{\mu \cdot n^2 \cdot s}{l}$$

donde μ es la permeabilidad magnética, n el número de espiras, s la superficie y l la longitud de la bobina.

Autoinducción



A1:

Manteniendo $I_0=0$ haz $I_f=5$ A y el tiempo=0.1.

Pulsa el botón Comenzar.

Observa que la escena considera pequeñas variaciones de tiempo y las variaciones de intensidad correspondiente.

Halla el cociente entre incremento de intensidad e incremento de t y anótalo junto al valor de la fem producida.

Haz lo mismo para diferentes valores de la intensidad final. ¿Qué relación observas entre los cocientes de incrementos y la fem?.

Prueba ahora a dar los valores $I_0=5$ e $I_f=0$. ¿Qué diferencia encuentras?

¿Con qué ley se relaciona el sentido de la corriente inducida?

A2:

Haz $I_0=0$ A e $I_f=5$ A. Haz Tiempo=0.1 s.

Aumenta a 10 el número de espiras de la bobina y pulsa el botón Comenzar.

¿Cómo ha influido el número de espiras en la fem inducida? Prueba con otros valores de N para ver si hay una relación de proporcionalidad o de otra clase.

Prueba del mismo modo las influencias de los parámetros S , L y la permeabilidad relativa del núcleo.

¿Podrías escribir una relación matemática que agrupara todas estas dependencias?

A3:

Busca en tu texto la ley que corresponde al fenómeno que acabas de estudiar.

¿Qué es el coeficiente de autoinducción? ¿Qué relación tiene con las actividades anteriores?

Conclusiones sobre corrientes inducidas

Concepto de flujo

Se llama flujo magnético a través de una superficie al producto escalar de los vectores inducción y superficie, o , si este producto es variable a través de la superficie, a la integral

$$\Phi = \int \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

Corrientes inducidas

Cuando varía el flujo magnético que atraviesa un circuito en el se produce una corriente eléctrica que llamamos inducida.

Leyes de Faraday y Lenz

La corriente eléctrica inducida en un circuito tiene, según Faraday, una fem:

$$f_{em} = - \frac{d\Phi}{dt}$$

donde el signo indica que la fem inducida genera un flujo magnético que tiende a oponerse a la causa que creó la corriente inducida (Ley de Lenz)

Autoinducción

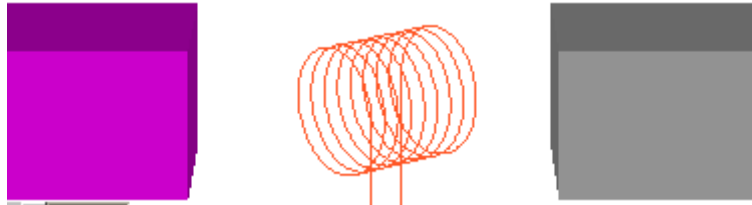
Cuando una bobina es atravesada por una corriente variable se genera en ella una corriente autoinducida:

$$f_{em} = - L \cdot \frac{dI}{dt}$$

donde **L** es el llamado coeficiente de autoinducción y se mide en henrios.

Corriente alterna

Generación de una corriente alterna



Una forma no estudiada aún de alterar el flujo magnético que atraviesa un circuito es hacerlo girar en el interior de un campo magnético.

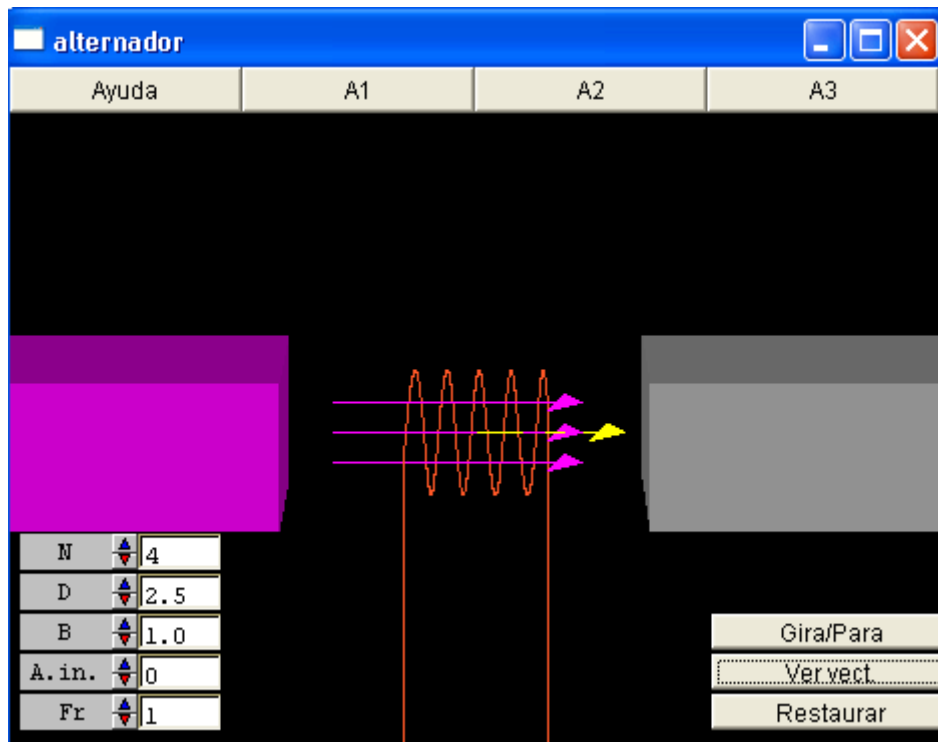
En la escena [alternador](#) estudiamos este caso haciendo girar una bobina en el interior de un campo magnético.

Descubrimos en ella que se produce un tipo de corriente eléctrica variable denominada corriente alterna. Caracterizada por un valor:

$fem = Em \cdot \text{sen}(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t + \varphi)$ donde f es la frecuencia de giro de la bobina, φ es la fase inicial (posición angular inicial de la bobina) y Em es el valor máximo de la fuerza electromotriz, dado por:

$Em = n \cdot B \cdot S \cdot \omega$ donde $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$, n es el número de espiras, B es la inducción magnética y S es la superficie de cada espira.

Alternador



A1:

Apretamos el botón de puesta en marcha y observamos que se produce corriente. ¿Cómo es posible si no han cambiado B o S ?

Para comprenderlo mejor pulsa Ver/Ocultar. ¿Forman los vectores B y S permanentemente el mismo ángulo?

Observa la gráfica y los valores que se producen a la izquierda. ¿Entiendes por qué se denomina a esta corriente como alterna?

¿A qué función matemática te recuerda la gráfica que observas?

A2:

Ve alterando el valor de N y observa como varía la fem máxima. ¿Qué clase de relación hay?

¿Y si varía el diámetro de las espiras?

¿Y si varía el campo magnético?

¿Y si varía la frecuencia?

Observa que alterar el ángulo inicial no es capaz de alterar el valor máximo de la fem. ¿En qué se nota la variación de este parámetro?

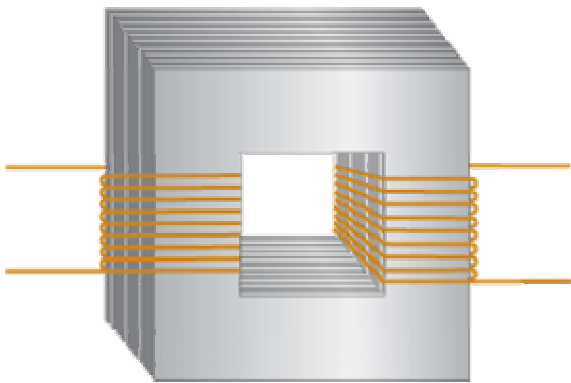
Teniendo en cuenta la forma de la gráfica y las observaciones que has realizado, trata de deducir una fórmula matemática para calcular la fem. Justifícala teóricamente con ayuda de tu libro de texto.

A3:

La fuerza electromotriz eficaz determina la fuerza electromotriz de una corriente continua que produjera sobre una resistencia los mismos efectos que la corriente alterna.

Cambiando parámetros observa la relación constante que hay entre la fem eficaz y la fem máxima. Busca en tu libro de texto la justificación teórica de esta relación.

Particularidades de los circuitos de corriente alterna

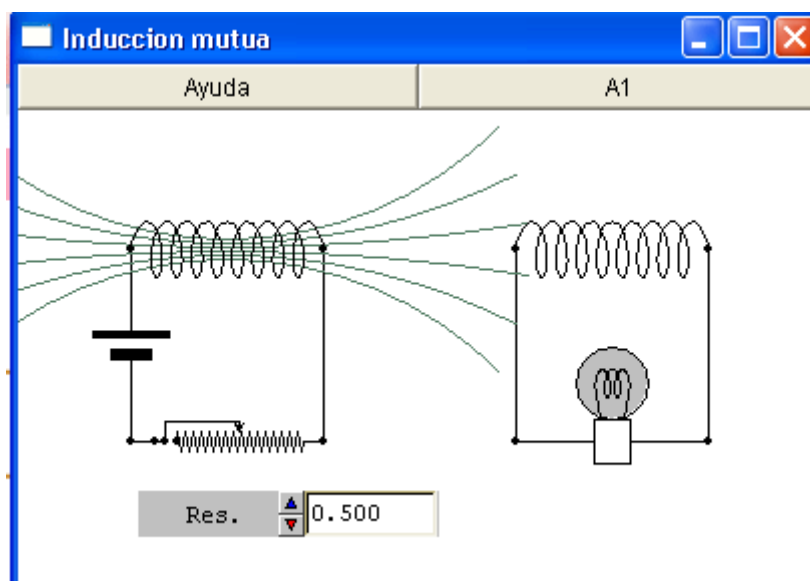


La corriente alterna permite manipulaciones de la electricidad muy difíciles con corriente continua. Al lado vemos la imagen de un transformador, capaz de alterar la fuerza electromotriz de un generador. Para comprender su funcionamiento, examinemos primero la escena [inducción mutua](#) para entender cómo un circuito puede influir sobre otro. Después pulsemos [transformador](#)

para deducir sus leyes.

Además, la corriente alterna presenta comportamientos con bobinas y condensadores muy diferentes de los propios de la corriente continua. El estudio serio de este tipo de fenómenos corresponde a niveles superiores. Sin embargo, en [circuito LRC](#) podemos ver las principales características de funcionamiento de un circuito que incluye una resistencia, una bobina y un condensador.

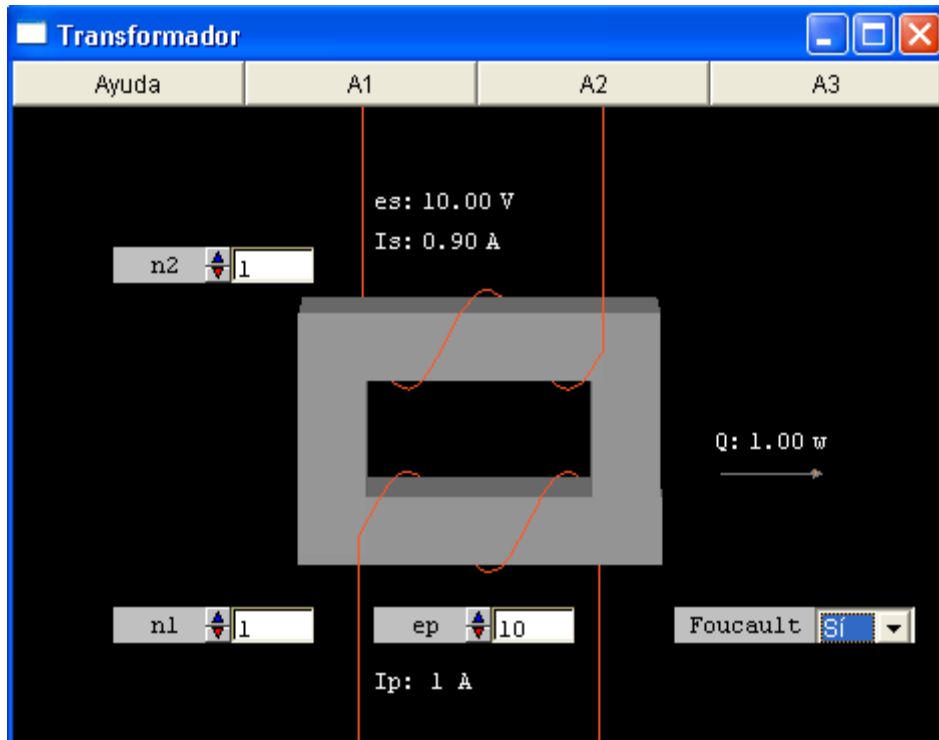
Inducción mutua



A1:

¿Qué ocurre en el segundo circuito cuando varía la resistencia del primer circuito? ¿Por qué?

Transformador



A1:

Háganse que el número de espiras del primario sean 4.

Debemos variar el número de espiras del secundario para que su fem sea:

- 1.- 4 veces mayor que en el primario.
- 2.- la mitad que en el primario

Deduce una expresión que relaciona el número de espiras en cada bobina y la fem correspondiente.

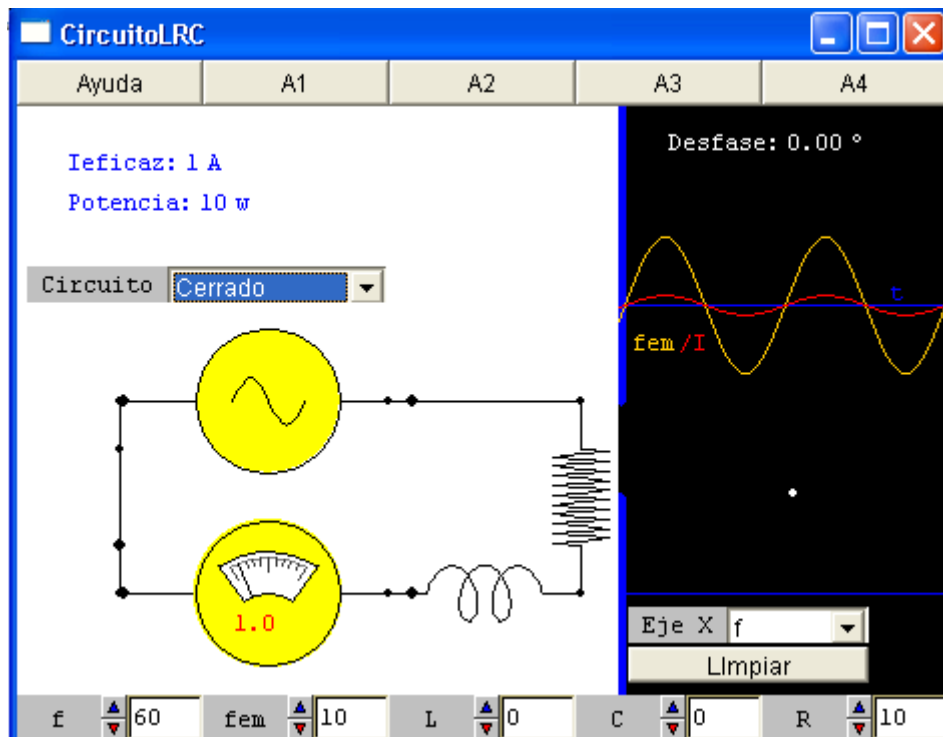
A2:

No es lo mismo multiplicar la fem que multiplicar la energía. Observa cómo varía la intensidad en el secundario a medida que varía su fem. Calcula el producto de fem X intensidad en cada bobina. ¿Qué magnitud física se está conservando?

A3:

En la realidad es preciso tener en cuenta que en el propio núcleo del transformador se producen corrientes inducidas (de Foucault). Pulsa en el menú Foucault la opción Sí. ¿Qué ocurre ahora con la intensidad en el secundario? ¿Qué significa el nuevo término Q?

Circuito LRC



A1:

Manteniendo $L=0$ y $C=0$ cierra el circuito. Observa que la fem eficaz y la intensidad eficaz respetan la misma ley de Ohm que los circuitos de corriente continua.

¿Qué desfase observas entre fem e I? ¿Y si alteramos el valor de R?

Elige R como eje X ¿Cómo varía la potencia consumida con R?

Abre el circuito y elige fem como eje X. Cierra el circuito de nuevo y da todos los valores posibles a fem.

Cómo se relacionan fem y la potencia? ¿Ves alguna relación entre fem, I y potencia?

A2:

Haz $R=1$ y $C=0$ pero da a L el valor 10. Cierra el circuito.

¿Qué ocurre con el desfase entre fem e I? ¿Hacia qué valor se acerca al acercarse la resistencia a cero?

Divide la fem entre la I eficaz. El resultado ya no es sólo la resistencia sino que hay un valor añadido.

En el gráfico inferior de la derecha elige L como eje X.

Da a L todos los valores posibles. ¿Qué efecto se produce sobre la potencia?

¿Y sobre la intensidad eficaz?

Abre el circuito, elige f como eje X y varía el valor de la frecuencia.

¿Cómo varía ahora la potencia?

Ves que el efecto de la bobina depende de L y de la frecuencia. Este efecto se llama inductancia.

A3:

Haz $L=0$, $R=1$ y $C=20$. Cierra el circuito. Elige como eje X la capacidad.

¿Qué ocurre con el desfase entre f_{em} e I ? ¿Hacia qué valor se acerca al acercarse la resistencia a cero?

Divide la f_{em} entre la I eficaz. El resultado ya no es sólo la resistencia sino que hay un valor añadido.

En el gráfico inferior de la derecha elige C como eje X. Da a C todos los valores posibles. ¿Qué efecto se produce sobre la potencia? ¿Y sobre la intensidad eficaz? Abre el circuito, elige f como eje X y varía el valor de la frecuencia.

¿Cómo varía ahora la potencia?

Ves que el efecto del condensador depende de C y de la frecuencia. Este efecto se llama capacitancia.

A4:

Manteniendo $f=60$, haz $L=0$, $C=80$ y $R=10$. Elige como eje X a L .

Cierra el circuito y ve alterando el valor de L buscando el ángulo de desfase más cercano a 0° que te permita el programa.

Compara la intensidad y la potencia que hay en este caso con la que habría si $L=0$ y $C=0$.

¿Qué puedes decir del efecto conjunto de la inductancia y la capacitancia?

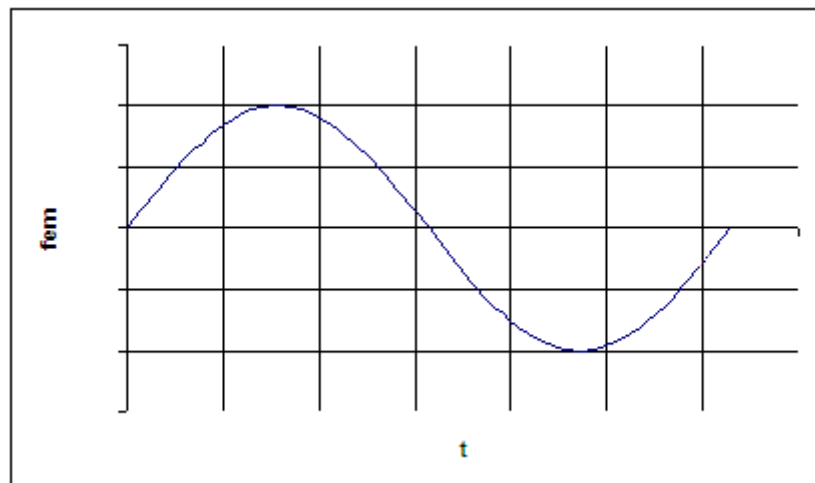
Esta situación se llama resonancia y es muy útil, por ejemplo, en la sintonía de emisoras de radio. ¿Por qué?

Para verlo, da a L y C valores en resonancia. Elige f como eje x y da todos los valores posibles a f .

¿Cómo varía la potencia al alejarnos de la resonancia?

De la misma forma se busca la resonancia en el aparato de radio para oír la frecuencia de una emisora determinada.

Conclusiones sobre corriente alterna



La corriente alterna se produce al hacer girar una bobina con movimiento circular uniforme en un campo magnético homogéneo.

Se produce una fem que varía de forma sinusoidal, según la ecuación:

$e = E_m \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t + \phi)$ donde la fuerza electromotriz máxima vale:
 $E_m = n \cdot B \cdot S \cdot \omega$ siendo **$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$** , y f es la frecuencia de giro de la bobina

Se llama fem eficaz a la que tendría un generador de continua que produjera los mismos efectos del alternador en una resistencia. Su valor es:

$$E_{\text{eficaz}} = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$$

El transformador, formado por dos bobinas con un núcleo común, permite variar la fem a voluntad, según la ecuación: **$e_1 \cdot n_1 = e_2 \cdot n_2$** de forma que alterando el número de espiras n_2 del secundario se altera la del primario. La intensidad de corriente varía de forma inversa a la fem. Siempre hay pérdidas de energía debidas a las corrientes inducidas en el núcleo (corrientes de Foucault)

La presencia de condensadores y bobinas en un circuito de corriente alterna desfasa la intensidad de corriente respecto a la fem, además de suponer una variación de la resistencia efectiva del circuito, dependiente de la frecuencia de la corriente.

EVALUACIÓN

Comprobando algunos conceptos

Rellena los huecos

El campo magnético es creado por partículas cargadas mientras se

, nunca cuando están en .

Una partícula cargada sometida a un campo magnético no aumenta

su porque su rapidez se mantiene constante.

Una corriente rectilínea crea una magnética directamente

proporcional a su e a la distancia al punto observado.

Llamamos corriente inducida a la que se produce cuando varía el

que atraviesa un circuito. Esta variación puede

deberse a cambios en el valor de la magnética, cambios

en la superficie del o cambios en el que forman

inducción magnética y superficie.

Problemas de campo magnético

1. ¿Qué intensidad de corriente debe circular por un conductor de longitud infinita para que a 0,5 m de él, en el vacío, exista una inducción magnética de 0,001 mT?
Comprueba tus resultados con la Escena

- A. ? 2,5 A
- B. ? 0,5 A
- C. ? 0,15 A
- D. ? 5 A

2. Un solenoide de 5 cm de longitud y 2 cm de sección tiene 100 espiras, arrolladas a un núcleo de permeabilidad magnética relativa 1000. ¿Qué intensidad de corriente circulará por el solenoide para crear un campo magnético de aproximadamente 1T? Comprueba tus resultados en la Escena

- A. ? 4 A
- B. ? 2 A
- C. ? 1 A
- D. ? 3 A

3. Una varilla conductora de 30 cm, por la que pasa una corriente de 1 A, puede desplazarse sin rozamiento apreciable. Su masa es de 30g. Si actúa sobre ella un campo magnético de 0,02T perpendicular a su dirección, ¿Qué espacio podría recorrer en 8 s? Puedes probar tus resultados en la Escena

- A. ? 6 m
- B. ? 1 m
- C. ? 4,25 m
- D. ? 0, no se mueve

4. En un transformador, el número de espiras del primario es 5 veces menor que 5 veces menor que en el secundario. Si la Intensidad de corriente en el primario es de 2 A, ¿cuánto vale la intensidad de corriente en el secundario? (despreciamos las corrientes de Foucault).

Comprueba tus resultados en la Escena

- A. ? 2 A
- B. ? 10 A
- C. ? 0,1 A
- D. ? 0,4 A

5. Qué momento de fuerza ejerce un campo magnético de 0,1 T sobre una espira de 30 cm², por la que pasa una corriente de 2 A, si el campo magnético forma un ángulo de 60° con la superficie de la espira.

Puedes comprobar tus resultados con la Escena

- A. ? 1,2 diezmilésimas de N·m
- B. ? 3,5 centésimas de N·m
- C. ? 1,3 N·m
- D. ? 35 N·m

6. Un circuito en forma de cuadrado de 2 dm de lado está sometido a la acción de un campo magnético perpendicular a su superficie. Si la inducción magnética baja en 0,5 s de 1T a 0 T, determina la fem inducida durante ese tiempo.

Comprueba tus resultados en Escena

- A. ? 3,5 V
- B. ? 1,4 V
- C. ? 0,32 V
- D. ? 0 V

7. ¿Qué velocidad habría que darle a un electrón para que, bajo la acción de un campo magnético de 0,001 T, su trayectoria adquiriera un radio de curvatura de 1 cm
Puedes comprobar tu resultado con la Escena

- A. ? 525
- B. ? 564
- C. ? 1760
- D. ? 1200

8. En un circuito de corriente alterna con una fem eficaz de 10 V, hay una resistencia de 10 ohmios, una autoinducción de 0,004 henrios y un condensador de 20 microfaradios. Calcula la frecuencia a la que se produce la resonancia.
Comprueba tus resultados en Escena

- A. ? 560 Hz
- B. ? 1120 Hz
- C. ? 0 Hz
- D. ? 685 Hz