

ELECTROMAGNETISMO E INDUCCIÓN

- 1. Relacións entre fenómenos eléctricos e magnéticos**
 - 1.1. Campos magnéticos creados por correntes eléctricas**
 - 1.2. Forzas magnéticas: Lei de Lorentz**
 - 1.3. Interaccións entre correntes eléctricas**
- 2. Explicación do magnetismo natural**
- 3. Experiencias reais e simulacións: Bobinas, Imáns, Motores**
 - 3.1. Experiencias de Faraday**
 - 3.2. Experiencia de Henry**
- 4. Inducción electromagnética**
- 5. Lei de Lenz e conservación da enerxía**
- 6. Autoinducción**
- 7. Obtención e transporte de enerxía eléctrica, impactos e sustentabilidade**
- 8. Enerxía eléctrica e fontes renovables. Análise da situación galega**

Acabamos de comprobar na unidade anterior a existencia de cargas eléctricas e a perturbación que provocan as mesmas sobre a rexión do espazo na que se atopan.

Vimos como durante todo o século XVIII xurdían experimentos que explicaban a natureza das cargas eléctricas e as súas interaccións entre elas. Ademais, xa a comezos do século XIX, a ciencia comezou a xerar correntes eléctricas.

Aprenderemos agora a relación que teñen as cargas eléctricas en movemento cos campos magnéticos, e a tremenda revolución que se levou a cabo a nivel tecnolóxico debido á aplicación dos coñecementos que agora imos a explicar.

1. Relacións entre fenómenos eléctricos e magnéticos

As propiedades magnéticas dos imáns son coñecidas dende a Antigüidade e os imáns non eran máis ca obxectos que podían atraer fortemente a materiais de ferro. O primeiro imán natural coñecido foi a magnetita (un mineral composto por óxidos de ferro), que era tremendamente común na Asia Menor.

Ademais, xa dende os séculos XI e XII se estendeu o uso do compás para a navegación, xa que este permitía a orientación tanto diúrno como nocturna, e ademais non dependía da metereoloxía para ser usado. Pero non se relacionara coa corrente eléctrica ate o século XIX.

1.1. Campos magnéticos creados por correntes eléctricas



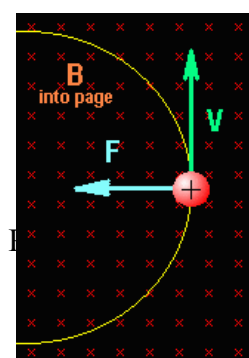
En 1820, un profesor universitario chamado C. Oersted observou como unha agulla imantada desviaba a súa posición cando se achegaba a unha corrente eléctrica (creada, por aquel entón, por unha pila Volta bastante rudimentaria). Cando cambiaba o sentido da corrente eléctrica, a agulla modificaba a súa orientación 180° xusto co sentido da corrente eléctrica. Desta forma descubriu que unha corrente eléctrica era capaz de desviar unha agulla imantada dunha compás do mesmo xeito que o faría calquera imán natural.

Mentres non existe unha corrente eléctrica no entorno da agulla da compás, esta indica a súa posición habitual (o norte magnético). Pero ao conectar a corrente eléctrica, a agulla orientase en dirección perpendicular á corrente, e a desviación faise maior canto maior é a intensidade da corrente. Deste xeito, Oersted puxo de manifesto a relación entre correntes eléctricas e magnéticas.

Veremos que, en realidade, campo magnético e campo eléctrico son dúas expresións físicas dunha mesma realidade.

1.2. Forzas magnéticas: Lei de Lorentz

Do mesmo xeito que existen unha forza gravitatoria (entre masas que se atopen nunha certa rexión do espazo) e unha forza eléctrica (entre cargas que se



atopen nunha certa rexión do espazo), tamén podemos dicir que existe unha forza magnética sobre *cargas en movemento*, que se expresa segundo a Lei de Lorentz: $\vec{F} = q \cdot (\vec{v} \wedge \vec{B})$

Da propia ecuación da Lei de Lorentz podemos deducir as seguintes consideracións:

- A carga ten que estar en movemento (como vemos na ecuación, aparece o vector velocidade que, lembremos, é tanxente á traxectoria da carga en cada punto). Se a carga non se move, non existe forza magnética.
- A carga ten que moverse nunha rexión do espazo onde exista un campo magnético.
- E o valor da forza que se exerce sobre esa carga en movemento será tanto maior canto maior sexan o valor da carga, a súa velocidade e o campo magnético sobre o que se move.
- A dirección e sentido da forza virá dado polas propiedades do produto vectorial, tal e como vimos nos primeiros temas da primeira avaliación. Se é necesario, repasa estes contidos.

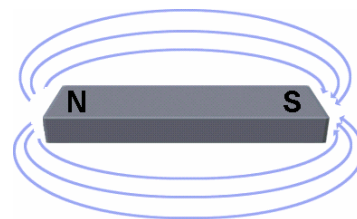
Ademais (por ser produto vectorial), o módulo da forza vale $F = q \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha$, onde α é o ángulo que forman \vec{v} e \vec{B} . A dirección da forza coñécese pola regra da man dereita (ou do sacacorchos)¹.

Como vemos, a forza é perpendicular sempre a B e a v, polo tanto non modificará o valor da velocidade da carga, pero si a súa dirección. Igualáranse $F_{\text{centrípeta}} = F_{\text{Lorentz}}$, de xeito que $m \frac{v^2}{R} = qvB$, polo tanto provocará un movemento circular con radio $R = \frac{m \cdot v}{q \cdot B}$.

Polo de agora só nos queda lembrar que, como xa é ben coñecido, as unidades para velocidade son os metros/segundo (m/s), para carga os Coulombios (C) e para forza os Newtons (N).

Segundo a lei de Lorentz que acabamos de estudar, non é difícil entender cal será o valor do campo magnético \vec{B} . Será un vector con un módulo que vale

$B = \frac{F}{qv \sin \alpha}$. As súas unidades no sistema internacional son as Teslas (T). As liñas de campo magnético serven para visualizar o campo magnético nunha zona determinado do espazo. As liñas de campo magnético, ao contrario das de campo eléctrico, son fechadas, é dicir, van dende o polo norte ao polo sur do imán.



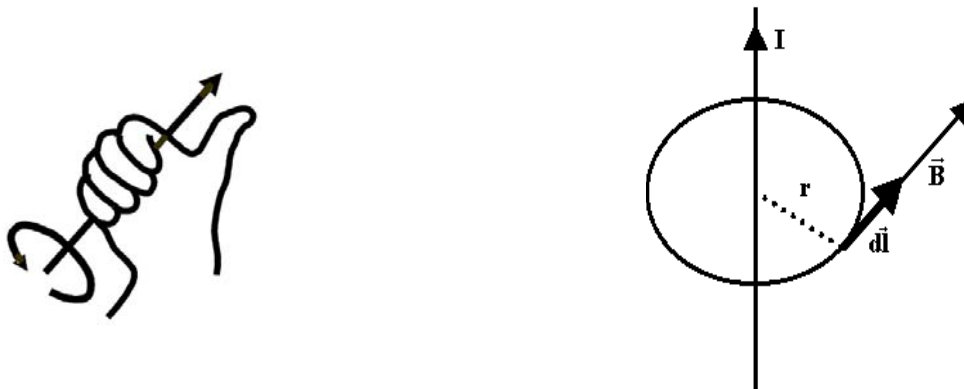
1.3. Interaccións entre correntes eléctricas

Estudaremos a continuación as interaccións eléctricas e magnéticas (electromagnéticas) que teñen lugar cando aproximamos varias correntes eléctricas entre si. Pero para coñecer con exactitude como actúan unhas correntes eléctricas sobre outras, antes temos que entender qué efecto provoca un fluxo calquera de electróns no seu entorno próximo.

¹ Ter en conta que a regra da man dereita é a regra xeral do produto vectorial. Normalmente en electromagnetismo fálase da regra da man esquerda porque normalmente as cargas que se moven son electróns: Moito ollo, se a carga que se move é un electrón, o sentido é oposto ao que marca a regra da man dereita!!!

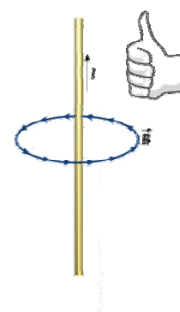
Como as liñas de campo magnético son pechadas, non podemos aplicar o teorema de Gauss, xa que o fluxo a través dunha superficie pechada sería nulo. Pero si podemos utilizar a lei de Ampère para calcular o campo magnético creado por algunhas correntes eléctricas de xeometría sinxela.

Chámaselle circulación do campo magnético á integral, ó longo de certa traxectoria, do produto escalar do vector campo magnético, \vec{B} , polo elemento de traxectoria $d\vec{l}$. Representase como $\oint \vec{B} d\vec{l}$. **Teorema de Ampère:** "A circulación do campo magnético sobre calquera curva pechada C é igual ao produto da permeabilidade μ_0 pola intensidade de corrente eléctrica I_C que atravesa a superficie limitada pola curva pechada C. $\oint \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 I_C$. Para nós, a maioría de problemas serán baixo campo magnético constante, polo tanto pode saír fora da integral, e se integramos $\vec{B} \oint d\vec{l} = \vec{B} \vec{l} = B l \cos 0^\circ = B l$. Para coñecer a dirección do campo podemos aplicar "outra regra da man dereita": o dedo pulgar indica a dirección da intensidade de corrente e os outros catro dedos, o sentido do campo magnético creado, tal e como indica a figura adxunta. NOTA: μ_0 é a permeabilidade, e ten un valor de $4\pi 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m} \cdot \text{A}^{-1}$.



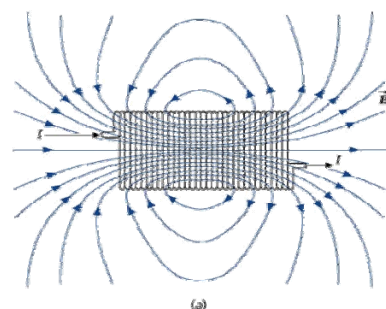
A Lei de Ampère ten interesantes aplicación ao cálculo de campos. Vexamos varios exemplos:

a) *Campo creado por un fío infinito:* Se aplicamos o teorema de Ampère a un fío infinito, teríamos que $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi \cdot r}$, onde r é o valor da distancia do punto onde se quere calcular o campo ate o fío infinito.



b) *Campo creado por un solenoide:* Un solenoide non é máis ca un condutor envolvido cunha densidade de voltas moi altas. Coma se fora un conxunto de espiras moi elevado. O campo magnético calculado a través do teorema de Ampère resulta: $B = \mu_0 \frac{N}{l} I$, onde N é o número de voltas do solenoide, l é a lonxitude do solenoide e I é a intensidade de corrente que pasa por ela.

(o campo é nulo no exterior do solenoide e constante no

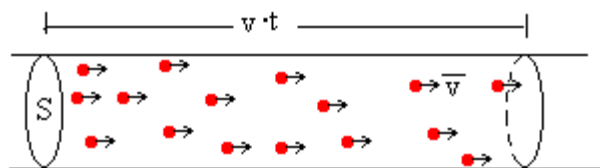


interior).

Tamén a Lei de Lorentz explicada no apartado anterior (1.2 Forzas magnéticas: Lei de Lorentz) ten interesantes aplicacións. A máis utilizada para o noso nivel de coñecementos consiste en calcular a forza magnética que experimenta unha corrente de electróns a través de un conductor cando este se atopa nunha rexión do espazo onde existe un campo magnético \vec{B} . Vexamos:

Unha corrente eléctrica rectilínea non é máis ca un conxunto de cargas que se moven e, polo tanto, se situamos esa corrente nun campo magnético, aparecerá unha forza que actuará sobre a corrente. Tomaremos un elemento de corrente con intensidade I . A carga que transporta nun tempo t , será $q = I t$.

Se a velocidade que levan os electróns é constante, v , podemos ver que a lonxitude que recorren no tempo t será $v \cdot t = l$. Polo tanto, aplicando a ecuación de forza magnética explicada anteriormente: $\vec{F} = q(\vec{v} \wedge \vec{B})$, con módulo: $F = qvB \sin \alpha$. Pero tendo en conta que $q = I t$, teremos: $\vec{F} = I t(\vec{v} \wedge \vec{B})$, e introducindo a constante t dentro do produto vectorial: $\vec{F} = I(t\vec{v} \wedge \vec{B})$, ou o que é o mesmo: $\vec{F} = I(\vec{l} \wedge \vec{B})$, con módulo: $F = I l B \sin \alpha$, onde o ángulo α é o formado por \vec{l} e \vec{B} .



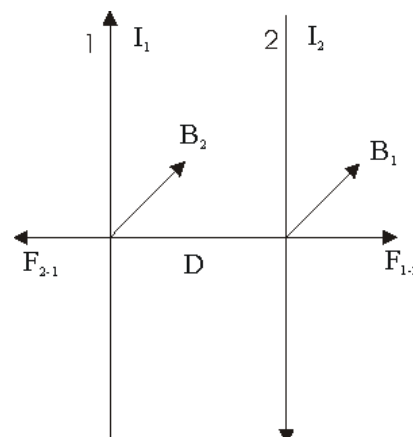
Como vemos, o cálculo da forza magnética que experimenta a corrente rectilínea faise bastante simple, pois só precisamos coñecer a lonxitude do conductor, a intensidade de corrente que circula polo seu interior, e o campo magnético no que se atopa.

Xa estamos en disposición de calcular as forzas atractivas ou repulsivas que se dan cando achegamos a unha certa distancia varias correntes eléctricas.

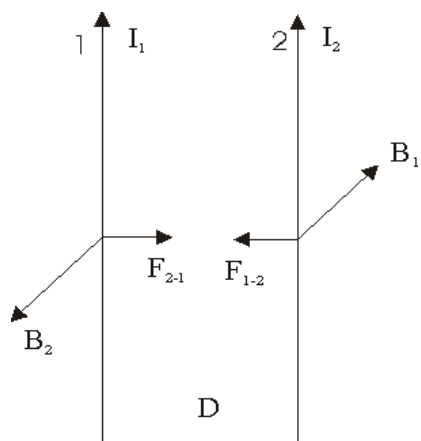
Como xa vimos, cando existe unha corrente eléctrica aparece un campo no seu entorno. Polo tanto se temos dúas correntes paralelas próximas, cada unha provocará na outra un campo magnético, de forma que cada unha das correntes verase afectada por unha forza que será atractiva ou repulsiva segundo sexan os sentidos das súas correntes. Xa sabemos calcular o valor

do campo creado por unha corrente sobre a outra: $B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi d}$, e tamén a forza que exerce un conductor sobre o outro: $F_{12} = I_2 l B_1$. Pero ás veces interesante tamén calcular a forza por unidade de lonxitude, que sería: $\frac{F}{l} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$. Sendo, para todos os casos, d = distancia entre unha corrente e a outra.

No debuxo da dereita representamos as forzas coas que se repelen dous fíos conductores rectos e paralelos sobre os que circulan correntes de sentidos opostos. Se facemos unha análise detallada, podemos decatarnos de que o fío número 1 (con corrente vertical e cara arriba) crea un campo magnético sobre o dous que é perpendicular ao plano do papel en sentido entrante. De forma que este fío conductor dous vese repelido



polo primeiro debido á forza magnética. Pero do mesmo xeito, o fío número 2 crea un campo magnético sobre o un que é perpendicular ao plano do papel en sentido entrante. De forma que tamén este fío vese repelido polo segundo debido á forza magnética.



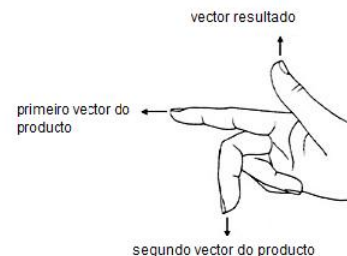
Se analizamos a figura da esquerda, vemos que os dous fíos condutores son iguais aos anteriores, pero coa única diferenza de que estes dous teñen correntes no mesmo sentido. Este feito fai que o primeiro cree un campo sobre o segundo perpendicular ao plano do papel e entrante nel, pero como agora a súa corrente cambiou de sentido, a forza magnética que aparece é atractiva cara o outro fío. E o fío número 2, de igual xeito, crea un campo magnético sobre o un que neste caso é perpendicular ao plano do papel pero saínte deste, e polo tanto a forza magnética que aparece tamén é atractiva cara o condutor 2.

Para un entendemento total destas dúas situacións, recomendamos utilizar as dúas regras da man dereita que coñecemos.



A primeira para saber o sentido do campo magnético creada por cada condutor.

A segunda para coñecer o sentido da forza magnética dende o produto vectorial de intensidade de corrente por campo magnético:



REGRA DA MAN DEREITA

2. Explicación do magnetismo natural

A experiencia de Oersted confirma que as correntes eléctricas son capaces de producir os mesmos efectos cós imáns. En realidade, é posible pensar que todos os imáns son pequenas correntes eléctricas que se producen no interior dos átomos. Ademais, os electróns xiran sobre si mesmos producindo á súa vez efectos magnéticos adicionais. Así, podemos imaxinar que en toda materia existen pequenas correntes eléctricas que, se están orientadas ao chou non provoca a imantación de dito material, pero si as correntes están orientados no mesmo sentido, forman un imán natural.

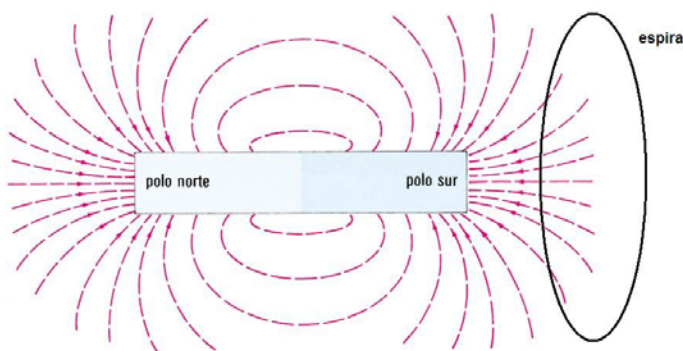
Desta forma poderíase entender perfectamente por qué determinados materiais teñen esas características especiais, mentres que outros materiais carecen delas.

Tamén se explicaría desta forma o feito de que un mesmo imán poida ser dividido en varias partes, e nunca conseguiremos separar o polo norte do polo sur, senón ao contrario, todas as partes nas que é dividido conservan ambos polos.

3. Experiencias reais e simulacións: Bobinas, Imáns, Motores

Dende a experiencia de Oersted sobre a posibilidade de crear un campo magnético a partir dun campo eléctrico, houbo intentos de facer xusto o contrario: crear campos eléctricos a partir de magnéticos. Diversas observacións experimentais acabaron dando coa chave para entender cal era a forma de producir correntes eléctricas a partires de campos magnéticos.

Nun comezo, simplemente tentábase traballar con imáns naturais para conseguir que estes provocaran corrente eléctrica sobre circuitos situados nos seus campos magnéticos. Pero finalmente o punto clave produciuse cando se descubriu que a única forma de provocar correntes eléctricas era con campos magnéticos variables. Para isto, necesitamos entender o concepto de fluxo magnético, Φ , a través dunha espira (circuíto circular fechado):



Supoñamos, tal e como vemos no debuxo, que temos unha espira próxima a un imán. A través da espira “pasarán” liñas de campo magnético do imán. A cantidade de estas liñas de campo que atravesan a espira se lle chama fluxo. De forma máis exacta, podemos escribir que “o fluxo magnético a través dunha superficie é unha medida do número de liñas de campo que atravesan esa superficie”.

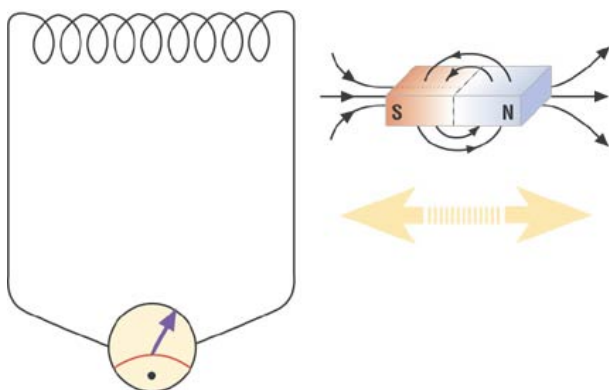
Calcúlase como $\Phi = \int \vec{B} \cdot \vec{S}$, onde \vec{B} é o campo magnético que atravesa a espira e \vec{S} é a superficie da mesma. En xeral, nós teremos campos constantes e superficies tamén concretas, de formas que poderemos calcular o fluxo como $\Phi = BS \cos \alpha$, onde α é o ángulo que forman B e S. As unidades de fluxo son os weber (Wb), que coinciden con $T \cdot m^2$. Ten en conta, para rematar, que se o fluxo fose calculado para unha bobina², hai que calcular o fluxo que se produce a través de cada unha das súas espiras e sumalas: $\Phi = NBS \cos \alpha$.

A partires do concepto de fluxo magnético, podemos comezar a estudar e entender as experiencias de Faraday e Henry.

² Lembra que unha bobina é un conxunto de espiras unidas e agrupadas, polas que circula unha corrente eléctrica.

3.1. Experiencias de Faraday

Foi Michael Faraday quen conseguiu realizar unha serie de experimentos, que agora presentamos, que nos axudan a comprender o fenómeno da *inducción electromagnética* que será explicada máis adiante.



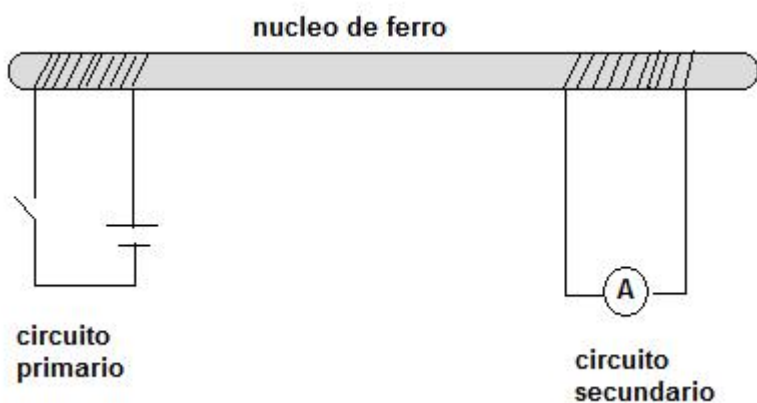
Faraday ideou dúas experiencias que acabarían por poñer de manifesto a relación entre correntes eléctricas e campo magnético.

A primeira delas (debuxo da esquerda) consiste nun circuíto básico de unha bobina conectada a un amperímetro (para poder medir a intensidade de corrente que circula polo circuíto). Cando achegamos a imán á bobina, podemos comprobar como o amperímetro marca unha certa intensidade de corrente. Esta intensidade cesa se deixamos o

imán estático nun lugar (sexa dentro ou fóra da bobina). Pero ao movelo nas súas proximidades, de forma que o fluxo magnético que atravesase o imán cambie, aparece unha intensidade marcada polo amperímetro.

Tamén observou como detalle interesante que a intensidade que marca o amperímetro cando o imán se achega (ou incluso se introduce) na bobina ten o signo oposto que cando se alonxa (ou se retira do seu interior).

A segunda experiencia de Faraday consiste no mesmo circuíto básico que o anterior (bobina conectada a un amperímetro), pero neste caso a bobina ten no seu interior un núcleo de ferro longo que, á súa vez, está introducido na bobina de outro circuíto que consta ademais de pila e interruptor, tal e como mostra a figura.



No circuíto primario féchase e ábrese o interruptor, de forma que, alternativamente, se permita e se impida o paso de corrente eléctrica.

A agulla do amperímetro marca os cambios na intensidade de corrente que circula polo circuíto secundario, sen que este, como se ve no debuxo, este unido a ningunha fonte de alimentación. Ademais, pódese comprobar

como a corrente que circula por circuíto secundario aparece tan só cando se acciona o interruptor, é dicir, cando hai un cambio no fluxo magnético provocado polo circuíto primario. Cando a intensidade de corrente que circula polo circuíto primario é constante, non se aprecia ningún cambio no circuíto secundario.

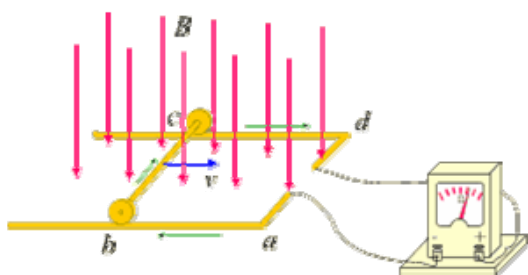
Vemos polo tanto neste novo experimento que o circuíto primario crea un campo magnético variable ao abrir e fechar o interruptor, que á súa vez provoca un cambio de fluxo de campo magnético sobre a bobina do circuíto secundario, e por iso aparecen unha corrente eléctrica.

3.2. Experiencias de Henry

O físico norteamericano Henry deseñou unha experiencia coa que descubriu, de forma independente de Faraday, que a variación dun campo magnético provoca a aparición dunha corrente eléctrica.

A experiencia de Henry ten dous puntos de especial interese: a) por un lado, porque Henry deseñou unha experiencia en que a variación de fluxo magnético que atravesa o conductor non se debe á variación de campo magnético, senón á variación da superficie do conductor (lembramos que o fluxo dependía do campo magnético pero tamén da superficie do conductor: $\Phi = \int \vec{B} \cdot \vec{S}$; b) por outro lado, porque a experiencia de Henry pode ser explicada pola Lei de Lorentz que vimos nos primeiros apartados do tema.

Sen desviarnos máis do tema, imos a estudar en qué consiste esta experiencia:



O experimento consiste nun circuíto onde un dos lados do circuíto é unha varíña móbil. O circuíto, coma sempre, está conectado a un amperímetro. Ademais, está situado nun campo magnético constante.

Como vemos, as experiencias estudadas ate o momento son moi similares. O que varía neste caso é temos unha varíña móbil que provocará o cambio no fluxo magnético. Faise interesante ver que se movemos a varíña en unha das dúas direccións, o amperímetro marca unha intensidade, pero se o movemos na outra dirección, o amperímetro marca sentido inverso.

Existe un desenvolvemento matemático para darlle explicación a este experimento partindo da Lei de Lorentz, tendo en conta que os electróns da varíña móbil móvense e, polo tanto, veranse sometidos a unha forza magnética que acabará provocando unha diferenza de potencial no circuíto. De todas formas, non nos pararemos moito máis neste aspecto.

4. Inducción electromagnética

A inducción electromagnética consiste na aparición dunha corrente eléctrica nun circuíto cando varía o número de liñas de campo magnético que o atravesan. Como xa vimos, o número de liñas de campo ven representado polo fluxo de campo magnético. E para que varíe o fluxo do campo magnético, ten que variar:

- a) o campo magnético presente no entorno do circuíto
- b) a superficie do circuíto polo que atravesa as liñas de campo magnético

Lembramos, entón, que o fluxo magnético se definía matematicamente $\Phi = \int \vec{B} \cdot \vec{S}$. Insistindo no feito de que a *Inducción Electromagnética* consiste na aparición dunha corrente nun circuíto cando varía o fluxo magnético, entón poderemos escribir que:

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

Onde: a) ε é a forza electromotriz inducida no circuíto (medida en voltios)

b) ϕ é o fluxo magnético (medido en Weber)

c) t é o tempo (medido en segundos)

d) o signo negativo débese á Lei de Lenz, que será explicada no seguinte apartado.

Vemos entón que o valor da forza electromotriz inducida depende de canto varíe o fluxo magnético respecto ao tempo. Se a variación de fluxo magnético é grande, entón a forza electromotriz inducida no circuíto é elevada. Se a variación é pequena, a forza electromotriz inducida tamén o será.

Para variar o fluxo magnético, lembremos unha vez máis que debemos manter o circuíto nun campo magnético variable ou modificar a superficie do circuíto polo que pasan as liñas de campo magnético.

5. Lei de Lenz e conservación da enerxía

Das experiencias de Faraday e Henry dedúcese que a indución de corrente eléctrica nun circuíto é debido á *variación de fluxo magnético* a través do mesmo circuíto, como acabamos de mencionar. Como o fluxo ven dado por $\Phi = BS \cos \alpha$ (integrando a ecuación inicial), podemos inducir unha corrente variando calquera dos tres factores que interveñen na expresión matemática, isto é: o campo magnético, a superficie ou o ángulo que forman. Para determinar o sentido da corrente inducida, aplícase a *lei de Lenz*: **O sentido da corrente inducida é tal que se opón á causa que a produce.**

Como vemos, un campo magnético variable é capaz de crear unha corrente eléctrica. Para cuantificar este fenómeno usaremos a lei de Faraday. Para isto traballaremos coa **forza electromotriz inducida** ou **fem. inducida**. Experimentalmente vemos que $\varepsilon = \frac{-d\Phi}{dt}$, é dicir que a forza electromotriz inducida nun circuíto é igual á velocidade con que varía o fluxo magnético a través dese circuíto, cambiada de signo. O signo negativo non fai máis que referencia á lei de Lenz, xa que o sentido da intensidade oponse á causa que a provoca. Para coñecer a intensidade da corrente inducida debemos coñecer a fem. inducida e a resistencia do circuíto, aplicando a lei de Ohm: $\varepsilon = IR$, onde I é a intensidade e R a resistencia.

Para rematar, explicar que a Lei de Lenz ten a súa razón de ser no principio de conservación de enerxía. A bobina tenta “contrarrestar” o aumento ou diminución de fluxo inducindo unha forza electromotriz, é dicir, manter a enerxía constante.

6. Autoinducción

Existe un fenómeno tremendamente interesante relacionado coa inducción electromagnética: a chamada autoinducción. Isto é, cando a intensidade de corrente que percorre un circuíto eléctrico varía, o campo magnético creado e o fluxo magnético a través do propio circuíto tamén varía, de forma que aparece unha forza electromotriz inducida (normalmente chamada forza contraelectromotriz). Esta forza contraelectromotriz autoinducida depende da variación do fluxo magnético. O fluxo é directamente proporcional á intensidade I que percorre o circuíto. $\Phi = LI$

A constante de proporcionalidade, L , recibe o nome de coeficiente de autoinducción ou inductancia e depende das características físicas do circuíto. Como a variación de intensidade no circuíto provoca a variación no fluxo, acabamos escribindo que: $\varepsilon = \frac{-d\Phi}{dt}$, polo tanto:

$$\varepsilon = \frac{-d\Phi}{dt} = -L \frac{dI}{dt}$$

As unidades no sistema internacional da inductancia é o henry (H).

Para unha bobina de N espiras, lonxitude l e superficie S , podíamos calcular: $B = \mu_0 \frac{N}{l} I$, tendo en conta que

$\Phi = NBS$ e que $\Phi = LI$, podemos poñer que $NBS = LI$, e substituíndo o valor de B , e

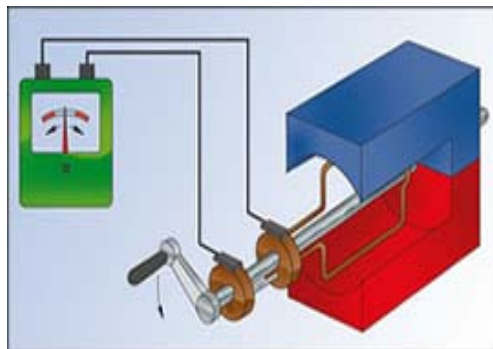
despexando a inductancia, temos que $L = \mu_0 \frac{N^2}{l} S$

7. Obtención e transporte de enerxía eléctrica, impactos e sustentabilidade

Antes do descubrimento da inducción electromagnética, a única fonte de enerxía era a pila ou batería, como a Volta ou a Daniell. Gracias á inducción, gran cantidade de traballo mecánico pode ser transformado en enerxía de forma económica. Unha das principais aplicacións da inducción electromagnética é a xeración de corrente eléctrica a través de xeradores ou dínamos.

Un xerador eléctrico é calquera dispositivo que transforma unha determinada forma de enerxía en enerxía eléctrica. Se o xerador produce corrente continua chámase dínamo, e se produce corrente alterna, chámase alternador.

Como vemos no debuxo, consta de un imán e unha espira que xira dentro do campo magnético creado polo imán. A espira ten unha superficie S , e ao xirar, o ángulo que forma os vectores B e S van cambiando, de forma que o fluxo $\Phi = BS \cos \alpha$ varía. Se a espira xira con velocidade constante ω , implica que o ángulo $\alpha = \omega \cdot t$ (lembrar cinemática angular!)



Entón, o fluxo $\Phi = BS \cos \omega t$. Segundo a lei de Faraday que acabamos de estudar, créase unha forza electromotriz inducida $\varepsilon = \frac{-d\Phi}{dt}$, e como o fluxo é o que acabamos de calcular,

podemos derivar a ecuación e escribir que $\varepsilon = BS\omega \sin(\omega t)$. Ademais, debemos ter en conta que se o $\sin \omega t = 1$, $\varepsilon = BS\omega$ será a forza electromotriz máxima. Por último, en moitos exercicios traballamos co concepto frecuencia, que como é lóxico pensar será a mesma que a da espira:

$$f = \frac{\omega}{2\pi}.$$

En paralelo a esta explicación matemática, debemos entender a diferenza no funcionamento entre o alternador e a dínamo. O alternador, como xa dixemos, produce corrente alterna debido a que a fem. electromotriz que se induce no circuíto cambia de sentido cada certo tempo (dependendo da velocidade angular de xiro, ω). En cambio, a dínamo produce corrente continua, porque aínda que o sistema utilizado é moi similar, existe unha diferenza primordial: na dínamo, o contacto entre a espira que xira e o resto do circuíto realízase sobre unhas pequenas vasoiras que se moven (ou se moven uns aneis apoiados sobre elas!), de forma que cada media volta tocan un polo diferente do contacto co resto do circuíto, e deste xeito a corrente que circula polo mesmo ten sempre o mesmo sentido.

Este mecanismo de produción de enerxía eléctrica é a base actual de xeración enerxética das grandes plantas eléctricas: todas elas teñen, a grande escala, unhas turbinas conectadas a un xerador que, en esencia, traballan como acabamos de describir:

A enerxía eólica move unha turbina amarrada ás aspas do muíño de vento. A enerxía hidroeléctrica move unha turbina axudándose da grande caída de auga dos encoros nos ríos. A enerxía térmica move unhas turbinas axudándose da calor obtida por combustión (sexa carbón, derivados do petróleo), etc... Incluída a enerxía nuclear.

Poucas excepcións existen á produción enerxética a grande escala que non teña que ver cos fenómenos estudados neste tema. A gran excepción, cada vez máis tida en conta, é a enerxía solar fotovoltaica (esta técnica de obtención de enerxía apoia-se no efecto fotoeléctrico descrito por Einstein a comezos do século XX, como estudaremos en temas posteriores).

Con respecto ao transporte de enerxía, tamén houbo grandes avances tecnolóxicos derivados do estudo do comportamento electromagnético da materia. Cando queremos transportar enerxía eléctrica (sobre todo a grandes distancias), temos que tentar perder a menor cantidade de enerxía polo camiño (tod@s sabemos dos problemas de perdas enerxéticas por rozamento: de feito, cando falamos de enerxía eléctrica, a forma principal de perda de enerxía é o Efecto Joule, que consiste no quecemento de liñas de condución eléctrica). A Potencia que se perde polo camiño no transporte de enerxía calcúlase do seguinte xeito: $P = R \cdot I^2$, onde P é a potencia que se disipa, R é a resistencia dos conductores e I a intensidade de corrente.

Na actualidade existen liñas de investigación destinadas a eliminar efecto Joule utilizando superconductores (materiais con moi pouca resistencia ao paso de corrente) para o transporte de enerxía, pero aínda en fase experimental debido ao elevadísimo custe que supón. Mentres tanto, a opción máis simple é reducir a intensidade de corrente que circula polos cables no transporte de enerxía eléctrica, para que a perda sexa mínimo. Isto realízase con un transformador, que non é outra cousa que un núcleo de ferro sobre o que se enrolan dúas bobinas pertencentes a dous circuitos diferentes, que farán inducción mutua. Pois ben, dependendo do número de voltas de cada unha das bobinas, podemos conseguir aumentar moito a tensión de unha delas (e polo tanto, diminuír moito a súa intensidade) para que a perda enerxética no transporte sexa mínimo.

A ecuación que relaciona este cambio na tensión e na intensidade, sería:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

Onde V é a tensión, I a intensidade e N o número de espiras da bobina de cada circuíto; ademais, os números 1 e 2 fan referencia a cada un dos dous circuítos. Polo tanto, se o circuíto 2 ten máis número de espiras que o 1, terá unha tensión maior, e polo tanto diminuirá a súa intensidade de corrente, xusto o que necesitamos para facer un transporte eficaz.

Para falar do impacto ambiental da enerxía eléctrica, temos que resaltar que nin esta nin ningún outro tipo de enerxía son, por si mesmas, contaminantes. O problema da contaminación destas enerxías non reside nelas mesmas, senón nos modelos de produción, así como na crecente demanda enerxética dos países industrializados ou en vías de desenvolvemento. Historicamente, a enerxía eléctrica produciuse en grandes plantas transformadoras de enerxía: centrais térmicas, centrais nucleares, centrais hidroeléctricas, etc...

Ter coidado co medio ambiente supón mudar claramente os modelos de produción así como os niveis de vida que implican consumo innecesario de enerxía. O reparto do consumo enerxético mundial pon de manifesto as graves diferencias dos modelos de vida, e evidencia que o ritmo de consumo dos países “ricos” non é exportable ao resto do planeta, polo tanto son modelos inxustos por non ser universais.

8. Enerxía eléctrica e fontes renovables. Análise da situación galega.

Como acabamos de comentar no apartado anterior, un dos dous grandes problemas medioambientais da utilización da enerxía eléctrica consiste no seu modelo de produción: as fontes principais de enerxía eléctrica levan moitos anos sendo os combustibles fósiles (carbón, petróleo e gas natural). Estes combustibles eran utilizados en centrais térmicas polo seu alto poder calorífico, de forma que toda a calor obtida coa súa combustión é utilizada para mover turbinas unidas a xeradores eléctricos e, consecuentemente, producir correntes eléctricas alternas. Existían (e seguen existindo) varios problemas derivados desta produción, pero o que é considerado na actualidade como o máis grave problema dos combustibles fósiles é a grande cantidade de emisión de gases atmosfera, debido á súa combustión.

Os gases que se emiten son, principalmente, derivados osixenados de carbono e xofre, entre outros moitos compostos. Pero a simple emisión de dióxido de carbono, monóxido de carbono e/ou óxidos de xofre, axudan a aumentar a temperatura da superficie do planeta, debido a que se acumulan na zona baixa da atmosfera e non permiten saír a radiación solar que rebota sobre a Terra. Este aumento da temperatura coñécese como “Efecto Invernadoiro” (como é lóxico, porque produce un efecto similar ao dun invernadoiro, que aumenta considerablemente a temperatura), e considérase responsable do chamado “Cambio Climático”.

Existen personalidades públicas, tanto en Europa coma no resto do Mundo, que negan a existencia destes efectos e do propio Cambio Climático, pero as grandes teorías científicas levan lustros avisando desta situación, e na actualidade parece confirmarse.

A alternativa a este modo de destrución do planeta pasou, a priori, polas chamadas enerxías renovables. É dicir, enerxías que non se esgotan (como era o caso dos combustibles fósiles) e que non provocan *efecto invernadoiro*. Un exemplo deste tipo de enerxías serían:

- a) *Enerxía solar*: O sol é unha fonte de enerxía inesgotable (esgotarase cando o Sol morra, pero isto non sucedera para os nosos ollos nin para un futuro próximo). O aproveitamento desta fonte pódese realizar para obter enerxía eléctrica (a través de paneis solares fotovoltaicos) ou para obter calor e auga quente sanitaria (a través de paneis solares térmicos, que non obteñen enerxía eléctrica senón que quentan un fluído que, á súa vez, quenta auga para uso doméstico)

- b) *Enerxía hidroeléctrica*: utiliza a auga dos ríos como fonte enerxética. Consiste, como é ben coñecido (seguramente sexa un dos tipos de enerxías renovables que máis anos se leva utilizando), en aproveitar a forza da auga en saltos de auga para mover unhas turbinas unidas a un xerador eléctrico. Cando a auga cae dende grandes alturas, move as aspas dunha turbina unida ao xerador, que produce enerxía eléctrica. Na actualidade, estase optando polo fomento de minicentraís eléctricas, é dicir, pequenas centrais eléctricas continuadas en lugar de unha única central moi grande e con moita altura, de forma que as consecutivas caídas de auga (aínda que sexan de menor altura) compensan respecto a unha única caída de auga maior.
- c) *Enerxía eólica*: utiliza ao vento como fonte de enerxía que non se esgota. A tecnoloxía imite aos coñecidos muíños de vento de anos atrás, onde unhas aspas movidas polo vento están conectadas a unha turbina e esta, á súa vez, a un xerador de corrente eléctrica.
- d) *Enerxía maremotriz*: utiliza a auga do mar dun xeito similar á hidroeléctrica dos ríos, pero con algunha complicación a maiores. De aí que esta fonte de enerxía non sexa tan habitual como a hidroeléctrica.
- e) *Enerxía xeotérmica*: consiste no aproveitamento da calor interior da Terra para obter enerxía calorífica doméstica. Está en etapa de expansión, pero aínda con moito por traballar.

Outras fontes de enerxía, como a de biomasa, biogas, biocombustibles, etc... tamén teñen ás súas formas de obter enerxía eléctrica ou calorífica para a utilización polo ser humano.

Ningunha das enerxías nomeadas anteriormente está totalmente libre de ser considerada enerxía limpa, principalmente na acepción non contaminante do termo. Todas e cada unha delas teñen un impacto (unhas maior e outras menor) sobre o medio ambiente: dende a destrución de ecosistemas mariños, destrución de ríos, anegacións de vales, destrución de montes, sobreproducción en réxime de monocultivo de especies para o biocombustibles, etc... Deste xeito, compre ter especial coidado ao respecto do trato das enerxías renovables: o cambio da fonte de enerxía non vai a dar a solución aos problemas medio ambientais do planeta, senón única e exclusivamente o modelo de consumo enerxético.

Por se todo isto non fose suficientemente negativo, planea cada vez con máis forza as opcións que optan pola enerxía nuclear como fonte “limpa”. A solución da enerxía nuclear proposta polos defensores da mesma baséase no feito de que non colabora co quecemento da Terra (non emite gases de efecto invernadoiro) e en que a produción enerxética é moi elevada. Sendo estes dous motivos certos, tamén o son que as centrais nucleares teñen uns grandísimos problemas de seguridade ante calquera problema que xurda na central, ademais de crear un novo problema no futuro (que xa existe no presente): qué facer cos residuos radioactivos procedentes das centrais nucleares. Como último punto negativo, tamén podemos alegar que a enerxía nuclear non é renovable, pois é necesario combustible (uranio, como combustible principal) e este non é infinito.

A situación en Galicia recibe unha lectura moi similar á descrita nos parágrafos anteriores. Galicia é unha rexión que produce enerxía eléctrica en moita maior cantidade da que consome, pero o balance enerxético global ten un saldo negativo: non existen reservas petrolíferas, e cada vez a fonte de carbón destinado a produción enerxética é máis baixo.

A produción xorde, principalmente, da planta térmica de As Pontes de García Rodríguez (Ferrol), e da innumerable, e cada vez maior, cantidade de centrais e minicentraís hidroeléctrica nos ríos galegos, así como de parques eólicos ao longo e ancho das serras galegas.

Na actualidade, non existe nin un só río (por pequeno que sexa) sobre o que non pese a carga dunha central eléctrica, e practicamente ningún monte sobre o que non se divise un exército de muíños eólicos.

E a pesares desta grandísimo problema medio ambiental, o problema enerxético galego, ao igual que o problema mundial, continúa sen resolver.