

## 1. INTRODUCCIÓN

O **magnetismo** é a parte da Física que estuda as accións magnéticas e os campos magnéticos. O **electromagnetismo** é a parte da Electrotecnia que estuda as relacións recíprocas entre os campos magnéticos e as correntes eléctricas.

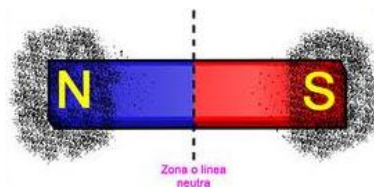
## 2. IMÁNS

O imán é unha substancia con propiedades magnéticas, é dicir, coa facultade de atraer ao ferro e a outros metais magnéticos. Observamos que este atrae con forza aqueles que son de ferro, aceiro, níquel ou cobalto.

Aos materiais que son susceptibles de ser atraídos por un imán coñéceselles polo nome de **materiais ferromagnéticos**.

As aplicacións dos imáns son moi variadas: pequenas dínamos, micrófonos, altosfalantes, aparellos de medida analóxicos, pequenos motores eléctricos de corrente continua.

As zonas dun imán onde se produce a maior atracción denomínanse **polos magnético** e a zona onde non hai atracción denomínase **liña neutra**.



A brúxula é unha agulla imantada que pode xirar libramente sobre o seu eixo central. Se se deixa xirar libremente á agulla dunha brúxula, esta orientarase cun extremo cara ao polo norte e o outro cara ao sur. De aí provén o nome dos polos dun imán. Ao extremo da agulla que se orienta cara ao norte xeográfico terrestre denomínase **polo norte**, e ao outro **polo sur**.

Nos imáns os polos do mesmo nome desenvolven forzas de repulsión entre eles, mentres que os de diferente nome de atracción.

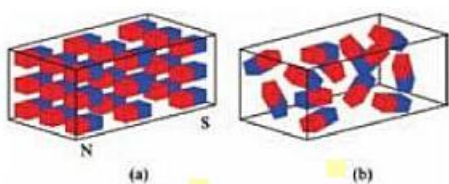
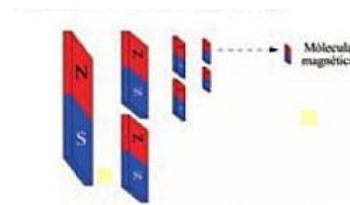
Existen distintos xeitos de clasificar os imáns. Segundo a súa orixe haberá:

- Imáns **naturais**. Atópanse na natureza, como por exemplo a magnetita.
- Imáns **artificiais**. Fabricados a partir de substancias ferromagnéticas e nos que se poden potenciar as propiedade magnéticas. A súa vez os imáns artificiais, poden clasificarse en:
  - Imáns **permanentes**: unha vez imantados poden manter longo tempo as propiedades magnéticas (aceiro).
  - Imáns **temporais**: só presentan as propiedade magnéticas cando están sometidos á acción de campos magnéticos (ferro puro).

Os imáns temporais son de gran utilidade para a construción de núcleos para electroimáns, motores, xeradores e transformadores. Nestes casos emprégase chapa de ferro aliada con silicio.

### Teoría molecular dos imáns

Cando se parte un imán en dous, as dúas partes resultantes son imáns completos cos seus polos correspondentes. Se os volvésemos a romper cada unha das partes, obteríamos dous novos imáns. Este proceso pódese repetir infinidade de veces ata alcanzar o que se chamaría a molécula magnética.

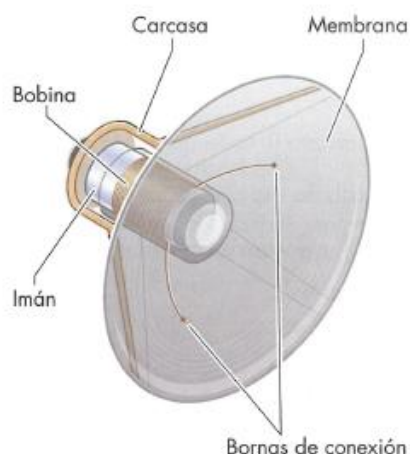


Segundo esta teoría, suponse que un imán está composto de moléculas magnéticas perfectamente orientadas cos polos respectivos do imán. Un cacho de ferro sen imantar está composto de moléculas magnéticas totalmente desorientadas.

Esta teoría pode explicar o comportamento dos materiais magnéticos utilizados na elaboración de imáns permanentes. Nos imáns permanentes, aparece unha especie de rozamento interno entre as moléculas magnéticas que dificulta o retorno ao estado inicial unha vez orientadas e magnetizadas. Nos imáns temporais existe moita facilidade para a reorientación das mesmas.

As propiedades magnéticas dos imáns poden verse alteradas pola temperatura, ou por golpes mecánicos.

As aplicacións dos imáns son múltiples: portas de cociña e neveira, suxeición de pezas metálicas en máquinas e ferramentas, separación de materiais en distintas aplicacións (extraer labra, *virutas*, de ferro de aceites ou refrixerantes, separación de ganga de mena na metalurxia, deflexión de cargas en movemento. Ademais na fabricación de altosfalantes e auriculares, pequenos motores eléctricos, dínamos de bicicletas freos en contadores eléctricos. Vexamos o caso do altosfalante dinámico.

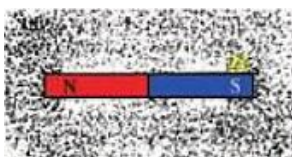


O altosfalante dinámico está formado por un imán permanente de forma cilíndrica e unha bobina concéntrica a el unida a unha membrana de papel. A bobina está moi próxima ao imán pero non hai contacto entre elas. Se a bobina é percorrida por unha corrente eléctrica, reacciona producíndose atraccións e repulsións e ao arrastrar á membrana xeran presións e depresións no aire que dan lugar ao son. A intensidade de corrente que circula pola

bobina procede dun amplificador de son. O altosfalante é un transdutor electroacústico, é dicir, que converte sinais eléctricos en sonoras.

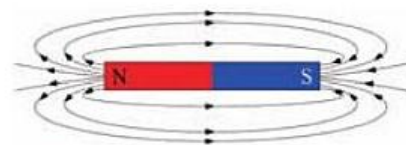
### 3. CAMPO MAGNÉTICO

Pódese dicir que un campo magnético é a rexión do espazo, no cal son apreciables fenómenos magnéticos (atraccións e repulsións con outros elementos magnéticos), é dicir, o espazo que rodea un imán.

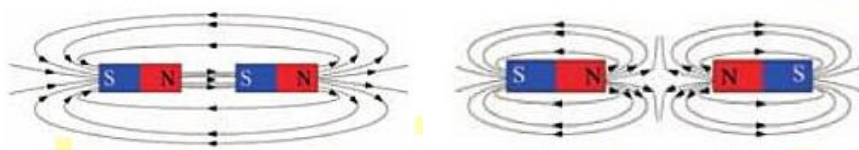


Cando se achegan limaduras de ferro a un imán pódese ver como estas se orientan dun xeito determinado ao seu redor, oriéntanse baixo a influencia do campo magnético que crea o imán.

As **liñas de forza** do campo representan a forma do campo magnético. Estas liñas teñen un sentido de circulación, convencionalmente as liñas de campo saen do polo norte percorren o espazo exterior e entran polo sur, tal como mostra a figura. Canto máis concentradas estean as liñas de forza maior será o campo nesa zona.



Nas seguintes figuras pódese ver a representación das liñas de campo cando achegamos dous imáns. Se se achegan polos iguais repélense mentres que se son diferentes intensifícanse o campo e atráense.



Se se abandona un imán no interior dun campo magnético xirará ata situarse de xeito que as liñas de forza entren polo polo sur e saian polo norte.

### Magnitudes magnéticas

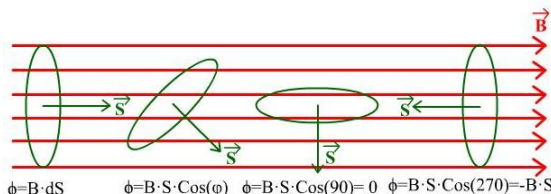
As magnitudes magnéticas están baseadas no número de liñas de forza de campo magnético e son as seguintes

| Nome (símbolo)                                                       | Definición                                                        | Unidade no sistema internacional |
|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| <b>Fluxo magnético (<math>\Phi</math>)</b>                           | É o numero total de liñas de forza existentes no campo magnético, | O Weber [ $Wb$ ]                 |
| <b>Indución magnética (<math>\beta</math>) ou densidade de fluxo</b> | É o número de liñas de forza por unidade de superficie            | O tesla [ $T$ ]                  |

Dada unha superficie  $S$  atravesada por un fluxo de valor  $\Phi$ , a indución magnética a través da devandita superficie ven dada por:

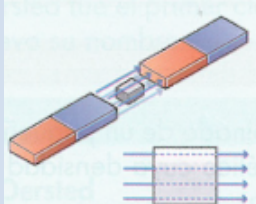
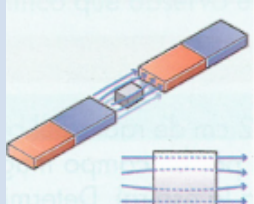
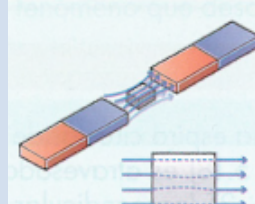
$$\Phi = \beta \cdot S \cdot \cos \varphi \quad \Rightarrow \quad \beta = \frac{\Phi}{S \cdot \cos \varphi}$$

Onde  $\varphi$  é o ángulo entre un vector perpendicular á superficie da espira e o vector indución. Se a espira e o vector  $\Phi$  son perpendiculares,  $\varphi = 0$ , o fluxo é máximo.



### Propiedades magnéticas da materia

Non todos os medios se comportan igual xeito ante un campo magnético. A permeabilidade magnética indica o comportamento dos materiais cando as liñas de forza tentan de atravesalas, e permiten clasificalos

| Material                                    | Paramagnéticos                                                                                                                                                                                   | Diamagnéticos                                                                                                                                                                                                           | Ferromagnéticos                                                                                                                                                                                |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Características</b>                      |  <p>As liñas de forza atopan a mesma dificultade a través do material que a través do aire (ou o baleiro)</p> |  <p>As liñas de forza tratan de eludir o paso a través do material, como se atopasen maior dificultade nel que a través do aire</p> |  <p>Os materiais favorecen o paso de liñas de forza co que se consegue multiplicar o efecto magnético</p> |
| <b>Exemplos</b>                             | Papel, cartón, madeira,...                                                                                                                                                                       | Cobre, ouro, gases nobres                                                                                                                                                                                               | Metais derivados do ferro, cobalto, níquel e as súas aliaxes                                                                                                                                   |
| <b>Permeabilidade (relativa ao baleiro)</b> | $\mu_r = 1$                                                                                                                                                                                      | $0 < \mu_r < 1$                                                                                                                                                                                                         | $\mu_r \gg 1$                                                                                                                                                                                  |
| <b><math>\mu_r</math></b>                   | Aire: 1,0000004<br>Aluminio: 1,000022                                                                                                                                                            | Prata: 0,999981<br>Zinc: 0,999988<br>Auga: 0,89991                                                                                                                                                                      | Ferro: < 6.000<br>Chapa magnética: >6.500<br>Aliaxes Fe-Ni: <300.000<br>Ferritas (brandas) :> 10.000                                                                                           |

A permeabilidade magnética é coñecida e recóllese en táboas referida ao baleiro. Confecciónanse táboas coa permeabilidade relativa,  $\mu_r$ , mentres que para os cálculos emprégase a permeabilidade absoluta  $\mu$ . A permeabilidade do baleiro designase con  $\mu_0$

$$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$$

e a relación entre ambas as dúas é:

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \quad \text{ou ben} \quad \mu = \mu_r \cdot \mu_0$$

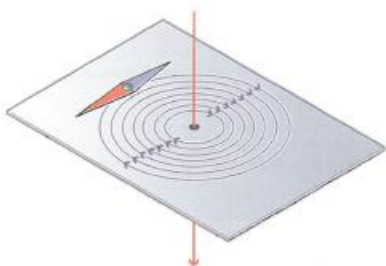
### EXERCICIOS

1. Un imán de sección cadrada é atravesado por un fluxo de 20 mWb. Se a indución magnética no seu interior ten un valor de 0,5 T, determina a lonxitude do lado da sección do imán.
2. A indución  $\beta$  dun imán é de 1,256 T, sendo 15 cm a súa lonxitude e 3 cm<sup>2</sup> a súa sección. Calcula o fluxo magnético.
3. Unha espira circular de 2 cm de radio do bobinado dun pequeno solenoide é atravesado por un campo magnético de densidade  $\beta=2$  T (perpendicular á espira). Determina:
  - a) O valor do fluxo a través da mesma.
  - b) Fluxo se o ángulo entre o vector superficie da espira e o vector campo vale 30°.

### 4. ELECTROMAGNETISMO

Vexamos mediante un par de experiencias, o vínculo entre as correntes eléctricas e os campos magnéticos

#### Unha corrente xera un campo magnético

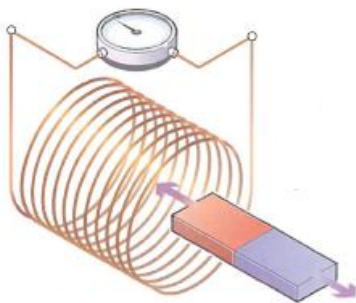


Se se colocan limaduras de ferro nos redores dun condutor polo que circula unha corrente eléctrica, estas oríentanse formando un espectro circular ao seu redor. Este fenómeno demostra que **cando circula unha corrente por un condutor ao seu redor aparece un campo magnético**, neste caso en forma de círculos concéntricos.

Se se achega un compás imantado a un condutor polo que circule unha corrente eléctrica, o compás cambia de posición, deixa de apuntar ao norte magnético terrestre

A intensidade do campo magnético desenvolvido polo condutor depende fundamentalmente da intensidade de corrente que flúe polo condutor. A máis intensidade de corrente máis intensidade de campo, se non circula corrente desaparece o campo magnético.

#### Un campo magnético crea unha corrente eléctrica



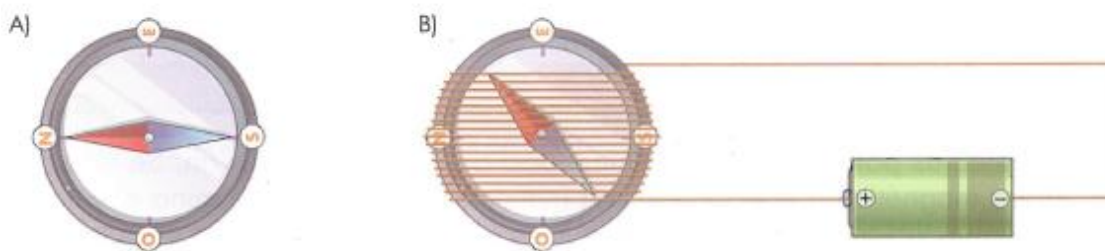
Se conectamos un amperímetro aos bornes dunha bobina e a sometemos ao fluxo dun imán pódese observar que, cando se despraza o imán achegándose ou afastándose dela (ou se se move a bobina e se deixa fixo o imán) o amperímetro detecta o paso de corrente. Se ambos os dous están en repouso non se rexistra paso de corrente.

A variación de fluxo do fluxo que atravesa a bobina é a causa de que se xere unha forza electromotriz inducida, que da lugar a circulación dunha corrente eléctrica.

#### 4.1. Xeración dun campo magnético a partir dunha corrente eléctrica

Os imáns producen campos magnéticos que para certas aplicacións resultan moi débiles. Para conseguir campos magnéticos máis intensos utilizaremos bobinas fabricadas con condutores eléctricos, que ao ser percorridas por unha corrente producen campos magnéticos dunha intensidade que depende da intensidade de corrente e do número de espiras da bobina.

O paso de corrente eléctrica a través dun condutor sempre xera un campo magnético ao seu redor. Na imaxe pode verse a experiencia realizada por **Oersted**, onde se mostra a desviación dunha agulla magnética en presenza dun condutor por unha intensidade de corrente.



### Intensidade de campo magnético (H)

A intensidade de campo magnético indica o intenso que é un campo e defínese como o número de liñas de forza por unidade de superficie, polo que é equivalente á indución magnética, so se diferencia na magnetización. A súa unidade no sistema internacional é o ampere-volta/m [Av/m].

A permeabilidade absoluta é a relación entre a indución creada e o campo que a produce:

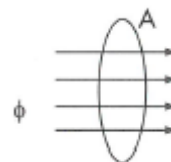
$$\mu = \frac{\beta}{H} \quad \text{ou ben} \quad \beta = \mu \cdot H$$

Isto significa que a causa do campo é a circulación de corrente a través dun bobinado (A-v/m) pero que se potencia pola acción un núcleo ferromagnético.

Non deben confundirse  $\beta$  e  $H$ , no baleiro son equivalentes coa excepción da constante de proporcionalidade  $\mu$ .

Dada unha superficie de valor  $S$  atravesada por un fluxo de valor  $\Phi$ , a intensidade de campo magnético a través da devandita superficie é:

$$H = \frac{\Phi}{\mu \cdot S \cdot \cos \varphi}$$



Experiencias de oersted: <http://vimeo.com/39100199>

### Exercicios

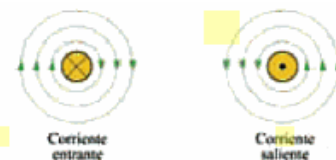
- Unha barra de metal ten unha superficie transversal rectangular de 2 cm de ancho e 4 cm de lonxitude, que é atravesado perpendicularmente por un fluxo de 1 Wb. Determina o valor da intensidade de campo no seu interior.
- Entre dúas caras polares existe unha intensidade de campo de 20 Av/m: introdúcese un núcleo magnético que adquire unha indución de 1,4 T. determina o valor da permeabilidade do núcleo (absoluta e relativa).

### Campo xerado por un condutor rectilíneo



Cando por un condutor circula unha corrente ao seu redor créase un campo magnético circular.

Para determinar o sentido das liñas de forza, aplícase a lei do sacarrolos ou de Maxwell: O sentido das liñas de forza, concéntricas ao condutor, é o que indicaría o xiro dun sacarrolos ou un un parafuso que avanzase no mesmo sentido que a corrente.



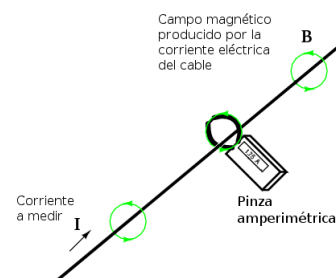
O valor da indución magnética xerada polo condutor, que se supón infinitamente longo, en calquera punto P ao seu redor ven dado pola seguinte expresión (derivada da lei de Biot e Savart)

$$B_P = \frac{\mu_0 \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot d}$$

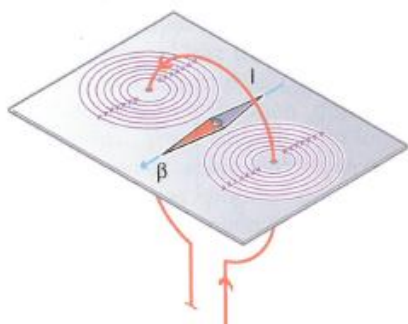
Onde:

- $B_P$  representa o vector indución magnética xerada no punto P en teslas [T].
- $I$  é a intensidade de corrente a través do condutor en amperios [A].
- $\mu_0$  é a permeabilidade do baleiro( ou do medio que o rodee) [H/m].
- $d$  é a distancia ao punto considerado [m].

Unha aplicación práctica do campo xerado por un condutor infinitamente longo, atópase na pinza amperimétrica que permite medir a intensidade de corrente que circula a través dunha liña eléctrica sen interromper o circuíto, por medio do campo magnético que xera o paso de corrente a través do condutor



### Campo xerado por unha espira circular



Cando se enrola un condutor formando unha espira e se fai circular unha corrente por el, o campo magnético creado ten a forma mostrada na imaxe. No interior da espira as liñas de forza teñen o mesmo sentido, saíndo por unha cara e entrando por outra. Pódese considerar que a espira ten polaridade como os imáns, posúe unha cara norte e unha sur

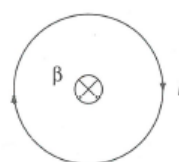
A partir da lei de Biot e Savart, dedúcese que o campo magnético no centro dunha corrente circular é:

$$B_C = \frac{\mu_0 \cdot I}{2 \cdot R}$$

Onde:

- $B_C$  representa o vector indución magnética xerada no centro da esfera en [T].
- $I$  é a intensidade de corrente na espira en [A].
- $\mu_0$  é a permeabilidade do baleiro( ou do medio que rodee a espira) en [H/m].
- $R$  é o radio da espira en [m].

A lei de maxwell aplicada a unha espira di que o sentido do campo magnético xerado no centro dunha espira,  $\beta_C$ , coincide co de avance dun parafuso que xirase no sentido da corrente.



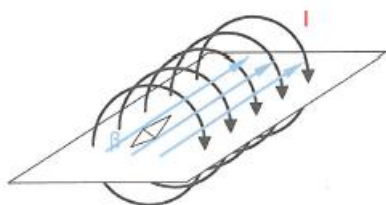
Sentido horario  
o dextrógiro



Sentido antihorario  
o levógiro

### Campo xerado por un solenoide

Un solenoide é un condutor en forma de bobina ou enrolamento. No seu interior, o núcleo, está constituído por un material non magnético (aire, cartón...)



Ao circular unha corrente eléctrica polo solenoide no seu interior parece un campo magnético onde as liñas de forza levan a mesma dirección e sentido. O sentido das liñas de forza, e polo tanto a polaridade do solenoide, determínase mediante a regra de Maxwell. A imaxe mostra un esquema do espectro magnético do solenoide.

Aplicando Biot e Savart a este caso particular:

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

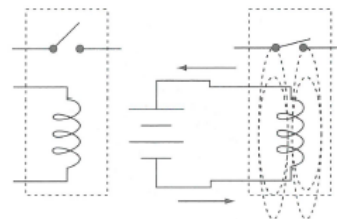
Nos extremos do solenoide a indución pode estimarse na metade que no interior:

$$B_{Extremos} = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot I}{2 \cdot L}$$

Onde:

- $B_c$  representa o vector indución magnética xerada no interior do solenoide en [T].
- $I$  é a intensidade de corrente no enrolamento en [A].
- $\mu_0$  é a permeabilidade do baleiro( ou do medio que rodee o solenoide) en [H/m].
- $L$  é a lonxitude do solenoide en [m].
- $N$  é o número de espiras do solenoide.

Como aplicación práctica do campo xerado por un solenoide podemos considerar un relé. Ao aplicar unha tensión á bobina, circula unha intensidade de corrente a través do seu enrolamento que xera un campo magnético capaz de atraer unha armadura solidaria a un interruptor



### Exercicios

- Un solenoide de 0,2 m de lonxitude e 3000 espiras xera un campo no seu interior de 1 T. Determina o valor da intensidade de corrente que circula polo solenoide.

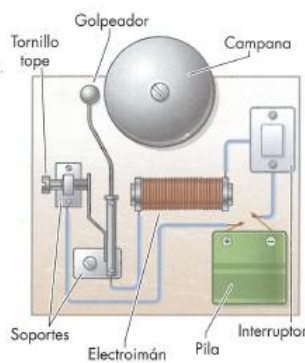
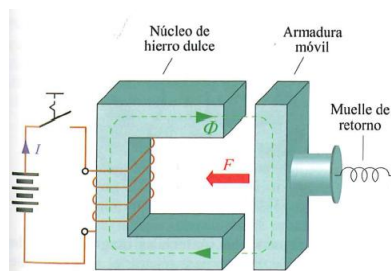
### Electroimán

Para aumentar o efecto magnético dun solenoide pódese introducir un núcleo de material ferromagnético no seu interior, xa que mellora a permeabilidade do medio que deben atravesar as liñas de forza, estas concéntranse e melloran notablemente o campo no seu interior.

Este elemento é un electroimán, e as súas aplicacións

máis importantes son semellantes as dos imáns, pero as forzas son maiores e actívanse e desactívanse conectando o electroimán á corrente eléctrica.

Cando os electroimáns levan partes móbiles que pechan o circuíto magnético estas denomínanse **armaduras** (móvil e fixa). A separación entre armaduras denomínase **entreferro**.



Un exemplo de circuíto magnético é un timbre como se ve na figura.

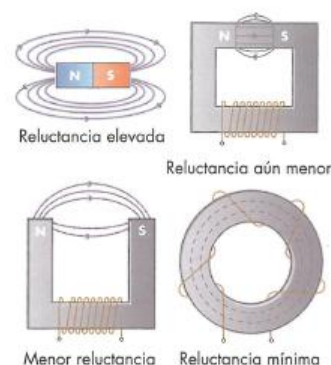
### Circuíto magnético

Unha mellora nos dispositivos electromagnéticos consiste en conseguir que o núcleo ferromagnético sexa pechado para que se perda a menor cantidade posible de liñas de forza, mellorando así o rendemento.

Un núcleo de material ferromagnético pechado constitúe un **circuíto magnético** e é unha parte moi importante das máquinas eléctricas.

As magnitudes características dos circuítos magnéticos son:

- **Relutancia( $\mathcal{R}$ ):** é a oposición ao paso das liñas de forza a través dun determinado núcleo. É comparable á resistencia



eléctrica e a súa unidade é o A-v/Wb.

A relutancia dunha barra de lonxitude  $L$ , sección transversal  $S$  e fabricado cun material de permeabilidade  $\mu$  ven dada por:

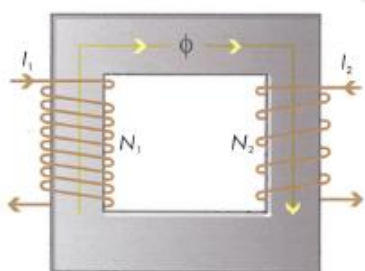
$$\mathfrak{R} = \frac{L}{\mu \cdot S}$$

- **Forza magnetomotriz (fmm):** é a responsable de xerar un fluxo nun circuíto magnético e depende do número de espiras,  $N$ , e da bobina e da intensidade de corrente,  $I$ . A súa unidade é o A-v

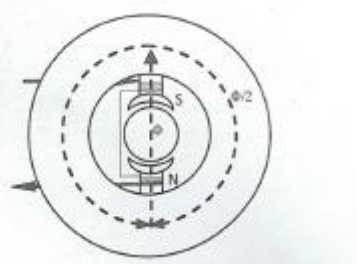
$$\mathcal{F} = N \cdot I = H \cdot L$$

A expresión que relaciona ambas magnitudes é a lei de Hopkinson:

$$\Phi = \frac{\mathcal{F}}{\mathfrak{R}}$$

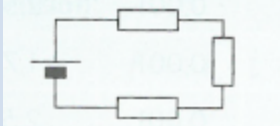
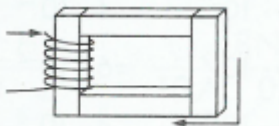


Circuíto magnético dun transformador



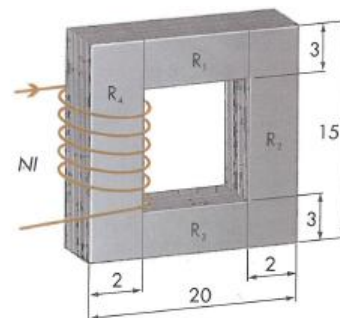
Circuíto magnético dun motor de corrente continua

Existe un paralelismo notable entre as magnitudes eléctricas e as magnéticas, así como entre ambos tipos de circuítos, eléctricos e magnéticos. Se sabemos analizar un circuíto eléctrico, saberemos estudar un circuíto magnético

| Magnitudes eléctricas                                                               | Magnitudes magnéticas                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Resistencia, $R$ [ $\Omega$ ]                                                       | Relutancia, $\mathfrak{R}$ [ $A - V/Wb$ ]                                            |
| Intensidade, $I$ [ $A$ ]                                                            | Fluxo, $\Phi$ [ $Wb$ ]                                                               |
| Forza electromotriz, fem, $\varepsilon$ [ $V$ ]                                     | Forza magnetomotriz, fmm, $\mathcal{F}$ [ $A - v$ ]                                  |
| Lei de Ohm $I = \frac{\varepsilon}{R}$                                              | Lei de Hopkinson $\Phi = \frac{\mathcal{F}}{\mathfrak{R}}$                           |
|  |  |

## Exercicios

- Para o funcionamento dun electroimán precísase unha forza magnetomotriz de 500 Av. Indicar dúas posibilidades de conseguilo.
- Determinar o valor do fluxo e a indución en cada parte do circuíto magnético dun transformador semellante ao da figura, sabendo que a permeabilidade relativa do núcleo  $\mu_r = 10^4/\pi$  e dispón dun enrolamento de 500 espiras polas que circula unha intensidade de 0,7 A. O espesor de todo o circuíto é de 2 cm e as cotas da figura están en cm.



### Forza electromagnética

Cando se coloca un condutor eléctrico no interior dun campo magnético e circula polo devandito condutor unha corrente, o condutor sofre unha forza  $F$  que o pode desprazar como se indica na figura.

A forza electromagnética exercida sobre unha corrente eléctrica inmersa no interior dun campo magnético ven dada pola seguinte expresión, a lei de Laplace.

$$\vec{F} = (\vec{I} \cdot \vec{l}) \times \vec{\beta}$$

No que a aspa representa o produto vectorial de dous vectores, que da por resultado un vector  $F$ , das seguintes características:

- **Módulo** de  $F$ : ven dado pola expresión do produto vectorial:

$$F = I \cdot l \cdot \beta \cdot \sin \phi$$

Onde  $\phi$  é o ángulo que forma o primeiro vector  $(\vec{I} \cdot \vec{l})$  co segundo,  $\vec{\beta}$ .

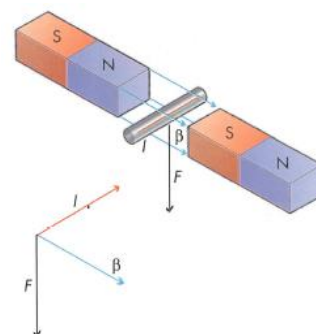
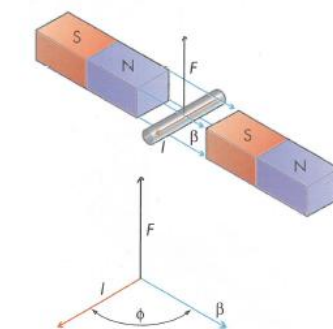
- **Dirección** de  $F$ : é perpendicular ao plano definido polos vectores  $(\vec{I} \cdot \vec{l})$  e  $\vec{\beta}$ .
- **Sentido** de  $F$ : Ven dado pola regra de Maxwell, é dicir a forza levará o sentido de avance dun parafuso que xire para levar o primeiro vector sobre o segundo polo camiño máis curto.

A forza será nula se o son a intensidade de corrente ou a indución, ou se o vector campo e o condutor están aliñados (Se  $\phi = 0 \Rightarrow \sin \phi = 0$  e  $\vec{F} = 0$ ).

A forza será máxima se o vector campo e intensidade, o condutor, son perpendiculares (Se  $\phi = 90 \Rightarrow \sin \phi = 1$  e  $\vec{F} = I \cdot l \cdot \beta$ ).

### Exercicios

9. Determinar o valor da indución do campo magnético no que un condutor eléctrico, pertencente ao rotor dun motor de corrente continua, que transporta unha corrente de 10 A e que ten unha lonxitude de 15 cm, e está sometido a unha forza de 8 N que o expulsa do mesmo segundo se observa na figura



### 4.2. Xeración dunha corrente eléctrica a partir dun campo magnético

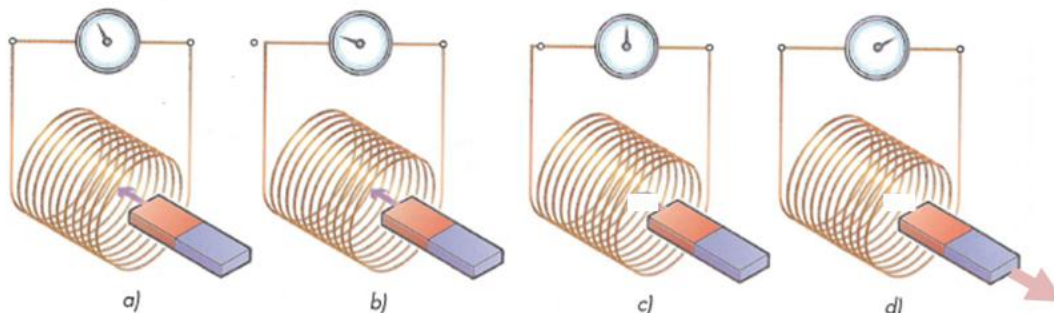
Esta segunda vertente do electromagnetismo vailos permitir obter unha corrente eléctrica a partir dun fluxo magnético que sexa variable, ou ben que, sendo o fluxo constante, sexa o condutor o que ao moverse no seu interior estea sometido a un fluxo variable.

#### Lei de Faraday

Para que o fluxo magnético que atravesa unha bobina sexa variable, condición indispensable para que se xere unha forza electromotriz, f.e.m., o que se fai é modificar a posición do imán respecto a bobina achegándoo ou afastándoo da mesma (ou a inversa). Obsérvase que canto maior é a velocidade de desprazamento, maior é a tensión inducida. Tamén se aprecia que a polaridade da tensión inducida cambia segundo que polo se achegue a bobina.

Na figura represéntanse catro momentos desa experiencia. Cando se induce unha f.e.m., como o circuito eléctrico está pechado, circula unha corrente pola bobina que se detecta no amperímetro da parte superior. Ao achegar polo sur do imán, prodúcese un desprazamento da agulla cara a esquerda (a); se o desprazamento se fai a maior velocidade a agulla desprázase máis á esquerda (b); Se se deixa quieto o imán non se induce ningunha f.e.m. e a agulla marca

cero(c); ao afastar o polo sur da bobina, invértese a tensión xerada , e o desprazamento da agulla vai en sentido contrario



Forza electromotriz inducida nun bobinado ao desprazar alternativamente un imán, provocando a variación de fluxo no seu interior.

A condición para que se xere unha forza electromotriz no bobinado, é que as liñas de forza que atravesan o bobinado sexa continuamente variable. Se se deixa de variar o fluxo a f.e.m. inducida é nula.

A **forza electromotriz inducida** nun bobinado é directamente proporcional ao número de espiras do bobinado e á velocidade de variación do fluxo, isto é o que nos di a lei de Faraday.

$$\varepsilon_{inducida} = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

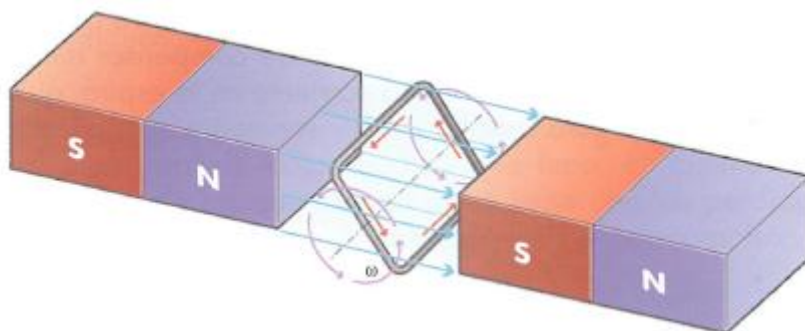
Onde:

- $\varepsilon$  é a forza electromotriz inducida en voltios [V].
- $N$  é o número de espiras da bobina.
- $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  indica a variación do fluxo cortado pola bobina respecto do tempo, [Wb/s]

O signo negativo indica que a forza electromotriz inducida oponse á causa que a produce, lei de Lenz.

#### Xerador elemental

O xeito máis simple e eficaz de conseguir un fluxo variable para xerar unha forza electromotriz é facer xirar unha bobina con velocidade constante,  $\omega$ , no interior dun campo magnético de dirección constante e valor  $\beta$  (ou ben xirando o campo magnético e deixando fixa a bobina).



Cando xira a bobina, modifícase a súa posición no interior do campo e o fluxo que a atravesa é distinto en cada instante:

- Se perde fluxo, a bobina reacciona creando un fluxo no mesmo sentido no que o perde, facendo circular unha corrente no sentido indicado.
- Se gaña fluxo, a reacción da bobina sería o contrario, é dicir, xerar un fluxo que tente contrarrestar a ganancia de fluxo, a corrente xerada iría en sentido contrario.

En resumo, a consecuencia de facer xirar unha bobina no interior dun campo magnético é a xeración dunha f.e.m. inducida, que se o condutor é pechado, dá lugar a unha corrente. Tendo en conta que:

$$\left. \begin{array}{l} - \quad \varepsilon_{inducida} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \\ - \quad \Phi = \beta \cdot S \cdot \cos \varphi \end{array} \right\}$$

E como a posición da espira, dada polo ángulo  $\varphi$ , depende do instante  $t$  considerado e da velocidade de xiro,  $\omega$  en rad/s (ou  $n$ , revolucións por minuto, r.p.m)

$$\left. \begin{array}{l} - \quad \varphi = \omega \cdot t \\ - \quad \omega = 2 \cdot \pi \cdot n \end{array} \right\} \Rightarrow \varepsilon_{inducida} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -N[\beta \cdot S \cdot 2 \cdot \pi \cdot n \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot n \cdot t)]$$

Que se adoita escribir como:  $\varepsilon_{inducida} = \varepsilon_{máx} \sin \omega t$

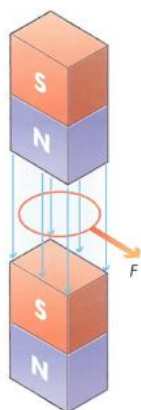
Ademais a f.e.m. tamén se expresa como:

$$\varepsilon = \beta \cdot l \cdot v$$

Onde:

- $\varepsilon$  a f.e.m. media inducida en voltios, V.
- $\beta$  a indución magnética en teslas, T.
- $l$  a lonxitude do condutor dentro do campo magnético en m.
- $v$  a velocidade en m/s.

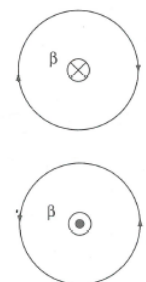
## Lei de Lenz. Sentido da forza electromotriz inducida.



Consideremos o caso dunha espira que se introduce ou se saca do interior dun campo magnético. Ao modificar o fluxo xérase unha f.e.m. inducida na espira. Como a é un condutor pechado, inmediatamente circula unha corrente a través dela. O sentido da corrente vén dada pola lei de Lenz que di:

“A forza electromotriz inducida opónse sempre á causa que a produce”.

- Cando se saca a espira do campo, como esta perde fluxo, ele xera un campo que tende a compensar a devandita perda, entón a f.e.m. inducida fai circular unha corrente na espira que crea un fluxo compensatorio
- Se introducimos a espira no interior do campo magnético a espira gaña fluxo, polo que xera unha corrente que tenta compensar esa ganancia. Para elo xera unha f.e.m. que fai circular unha corrente na espira, que dá lugar a un fluxo de compensación.



Principio de Faraday: [http://www.youtube.com/watch?v=Z1T3Q4\\_26Y8](http://www.youtube.com/watch?v=Z1T3Q4_26Y8)

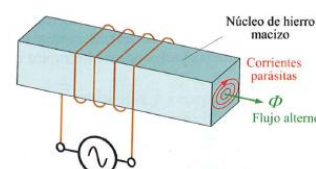
Indución electromagnética, transformadores: <http://www.youtube.com/watch?v=79VEaV5jOE4>

- Principio funcionamento motores <http://www.youtube.com/watch?v=IE3I-lfWPi8>

## 4.3. Consecuencias dos fluxos variables

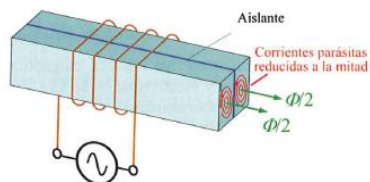
### Correntes de Foucault

As correntes de Foucault tamén se denominan correntes parasitas e prodúcese en calquera condutor eléctrico que estea sometido a fluxos variables, incluídos os circuitos magnéticos que é onde



máis se manifestan. Establécense no núcleo da máquina e se distribúen aleatoriamente por toda a súa sección.

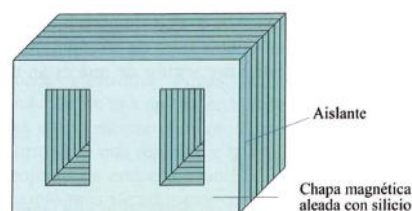
Estas correntes, que non se poden extraer do núcleo para aproveitalas, teñen como inconveniente unha perda de potencia da máquina que se manifesta como un aumento da temperatura do núcleo magnético



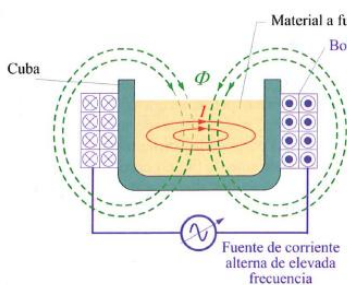
Nas máquinas de corrente alterna este efecto é especialmente importante, xa que os fluxos aquí sempre son variables. Para evitar quentamentos por efecto Joule, que diminúen o rendemento da máquina, o que se adoita facer é laminar o núcleo para minimizar as perdas, así as correntes parásitas teñen o espazo limitado e son menores

As chapas utilizadas para formar o núcleo son dun espesor de menos de un milímetro e illanse electricamente mediante unha fina capa de verniz. Ademais, estas chapas magnéticas alíanse con silicio nunha pequena porcentaxe para elevar a resistividade e reducir as perdas.

Estas correntes tamén teñen algunha aplicación práctica, como por exemplo:



- O freo eléctrico dalgúns vehículos pesados para non “queimar” o sistema de freo principal.

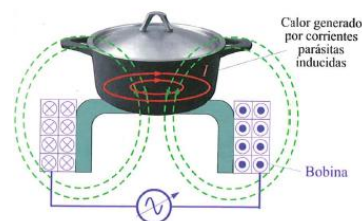


- Os fornos eléctricos de indución para fundir chatarra.

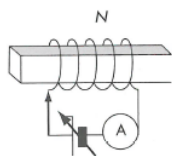
O recipiente sométese a fortes campos magnéticos alternos de elevada frecuencia creados por un electroimán. O calor aparece directamente nos compostos ferromagnéticos da chatarra. Os ciclos de histérese e as fortes correntes parásitas que circulan polos compostos metálicos da chatarra, elevan moito a temperatura ata fundila.

- As cociñas vitro

**cerámicas de indución.** O calor necesario para a cocción dos alimentos aparece directamente no recipiente metálico que se utiliza, mentres que a placa permanece fría. Para o control da potencia destes elementos regúlase a frecuencia do campo alterno aplicado.

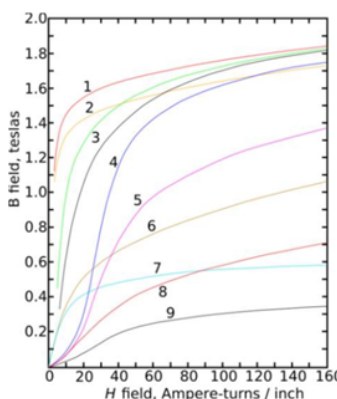


## Histérese magnética



Cando se monta un sinxelo circuíto cunha bobina e un núcleo ferromagnético, pódese estudar a relación entre a indución magnética e a intensidade de campo e recollela nunha gráfica. Pódese ver que ao principio a relación é lineal pero logo faise constante. Isto significa que chegado a un determinado punto,  $\beta$ , a indución, non aumenta máis aínda que aumentemos a intensidade de corrente (aumentando polo tanto a intensidade de campo,  $H=NI$ ). De aí dedúcese que a permeabilidade magnética,  $\mu$ , non é constante, xa que o núcleo satura.

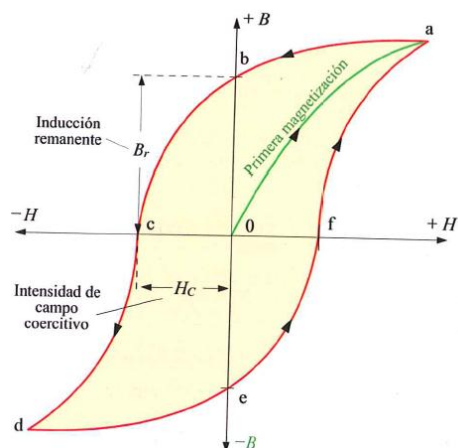
Se agora se diminúe a intensidade



Curvas de magnetización de nove materiais ferromagnéticos diferentes, mostrando o efecto de saturación.

1. Folla de aceiro.
2. Aceiro ao silicio.
3. Aceiro crucible (de crisol).
4. Aceiro ao tungsteno.
5. Aceiro magnético.
6. Ferro crucible (de crisol).
7. Níquel.
8. Cobalto.
9. Magnetita.

de corrente, obsérvase que os valores son distintos, é dicir que a curva de volta non coincide coa de ida. Se ademais se inverte o sentido da corrente eléctrica, tamén cambiará o sentido do campo e o da indución. Ao diminuír a tensión con polaridade cambiado de novo as curvas de ida e de volta non coinciden.



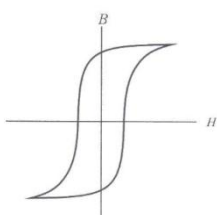
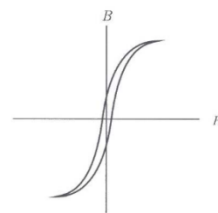
Na figura adxunta pode verse un **ciclo de histérese** completo. Nel pode distinguirse os dous puntos seguintes:

- O **magnetismo remanente**,  $\beta_R$ . É a memoria magnética que queda no material cando cesa a excitación magnética.
- O campo ou **forza coercitiva**,  $H_C$ . Representa a cantidade de excitación magnética, de signo contrario, que habería que aplicar ao material perdesse o seu magnetismo remanente, para desmagnetizalo.

A consecuencia do anterior é a perda de enerxía que se produce nas máquinas eléctricas, dado que ao traballar con fluxos variables (alternos), fórzase aos núcleos a realizar o ciclo de histérese, que en cada cambio de polaridade quéntase cada vez máis. O rendemento das máquinas diminúen sen que estas perdas aporten ningunha vantaxe. A única opción para minimizar estas perdas é elixir ben o material co que se fabrican estas máquinas.

Pódese comprobar que a superficie interior ao contorno do ciclo de histérese é proporcional as perdas de enerxía para percorrelo.

- Para fabricar núcleos de máquinas eléctricas interesan materiais que teñan un ciclo de histérese o máis estreito posible, cun pequeno campo coercitivo, **materiais brandos**. Por exemplo a chapa de aceiro ao silicio de grao orientado.



- Pola contra para fabricar imáns permanentes interesa un material cun ciclo de histérese moi ancho, **material duro**, porque terá un elevado valor de magnetismo remanente,  $\beta_R$ . As aliaxes de aluminio, cobalto e níquel (alnico) empréganse con frecuencia para fabricar imáns.

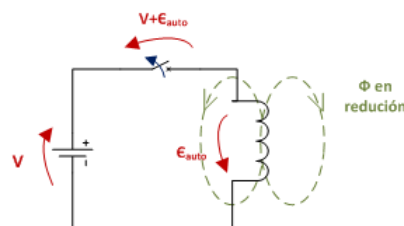
Nunha máquina as perdas por histérese magnética xunto coas perdas por correntes de Foucault ou parasitas conforman as **perdas no ferro**.

## 4.4. Coeficiente de autoindución

A **autoindución** é o fenómeno polo que unha corrente eléctrica que varía no tempo nun circuío eléctrico produce no mesmo circuío outra forza electromotriz inducida que se opón á variación da forza electromotriz.

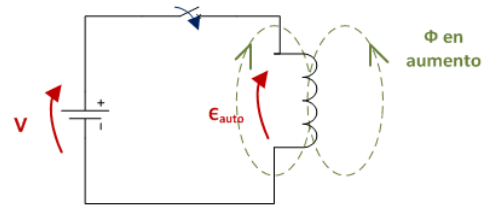
A autoindución dunha bobina maniféstase do seguinte modo:

- Ao diminuír a intensidade de corrente variable que circula por unha bobina, o fluxo que a atravesa tamén diminúe. Como reacción xérase un fluxo que se opón a tal diminución, tratando de compensar as perdas, lei de Lenz. Ao cortar este novo fluxo as espiras da



bobina, xérase unha f.e.m. que se denomina de autoindución. Esta f.e.m. inducida súmase á tensión da rede, que xera unha sobretensión comportándose a bobina como un xerador.

- Cando aumenta a intensidade que circula pola bobina ocorre todo o contrario, xérase un fluxo crecente, que se contrarresta cun aumento do fluxo inducido na bobina, pero en sentido contrario, xerándose unha f.e.m. que se opón á rede, restándose ambas. Neste caso compórtase como un receptor.



A f.e.m. sempre se opón á variación da intensidade de corrente. Como a f.e.m. inducida nunha bobina de  $N$  espiras, por variación de fluxo é  $\epsilon_{inducida} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$

Como xa se viu, ao variar a corrente que circula pola bobina modifícase o fluxo, polo que existe unha certa proporcionalidade entre o fluxo e a intensidade, polo que se pode deducir que:

$$\epsilon_{ind} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \Rightarrow \epsilon_{ind} = -N \cdot K \frac{\Delta I}{\Delta t} \Rightarrow N \cdot \Phi = N \cdot K \cdot I \Rightarrow N \cdot \Phi = L \cdot I$$

Despexando:

$$L = \frac{N \cdot \Phi}{I}$$

Onde  $L$  é o coeficiente de autoindución en Henrios, [H]. Tendo en conta o fluxo dunha bobina cando circula 1 A a f.e.m. inducida é:

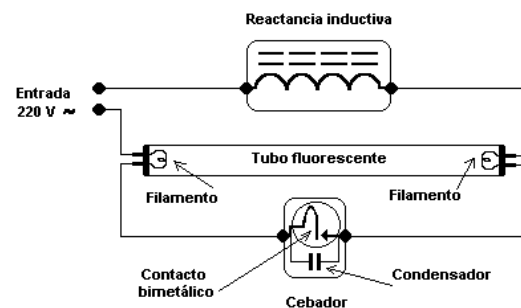
$$\epsilon_{ind} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} \Rightarrow L = -\frac{\epsilon}{\frac{\Delta I}{\Delta t}} \text{ en } \left[ H = \frac{V \cdot s}{A} \right]$$

O **coeficiente de autoindución  $L$**  é a constante de proporcionalidade entre o fluxo,  $\Phi$ , e a intensidade  $I$  e 1 henrio, H, representa unha f.e.m. inducida de un voltio, cando a intensidade de corrente cambia a razón de 1 ampere por segundo.

### Aplicación da autoindución

- **As Reactancias** nos equipos das lámpadas de descarga. Unha das aplicacións máis frecuentes da autoindución é o cebado de circuitos de alumeados con lámpadas de descarga, para o que cómpre unha bobina en serie co cebador ou arrancador. A misión da bobina é, por unha banda, limitar a intensidade de corrente que atravesará o gas, e por outra banda, producir a sobretensión necesaria para ionizar o gas e que este comece a conducir.

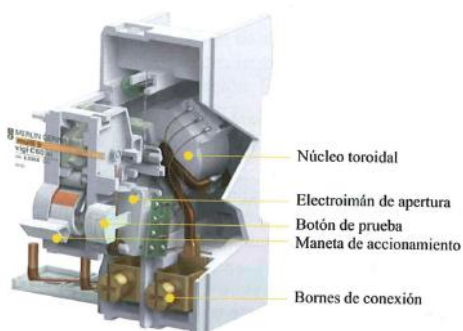
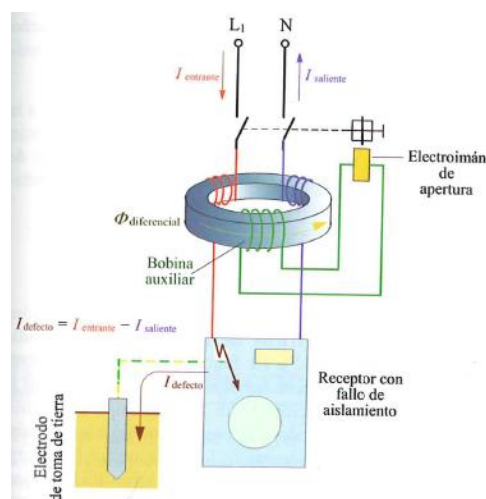
O cebador está formado por dous contactos que, cando se quentan, defórmanse interrompendo o circuíto no que se conecta a bobina, como resultado o tubo de descarga vese sometido á tensión de alimentación máis a tensión xerada por autoindución na bobina, superando entre ambas as dúas a tensión de ionización do gas que comeza a conducir e iluminar ao tempo que reduce a súa resistencia a un valor moi baixo.



### • O Interruptor diferencial

O interruptor diferencial é un dispositivo que interrompe o circuíto en caso de que exista un fallo de illamento, desconectando o circuíto xeral. Deste xeito elimínase o perigo de electrocución das persoas por esta causa.

En condicións normais, a corrente que entra por un dos condutores é igual á que sae polo outro ( $I_{\text{entrante}} = I_{\text{saínte}}$ ). Mentres se cumpre esta condición o interruptor diferencial permanece cos seus contactos pechados. Cando aparece un defecto de illamento, existe unha parte da corrente eléctrica que se deriva por terra (corrente de fuga ou de defecto), o que fai que a intensidade de entrada sexa diferente á de saída ( $I_{\text{defecto}} = I_{\text{entrante}} - I_{\text{saínte}}$ ) e produce a apertura dos contactos.



Este sistema de detección funciona grazas a indución electromagnética. Cando os fluxos magnéticos alternos de entrada e saída xerados polas corrente de entrada e saída non son iguais, prodúcese no núcleo toroidal un fluxo diferencial ( $\Phi_{\text{diferencial}} = \Phi_{\text{entrada}} - \Phi_{\text{saída}}$ ) que fai posible que nunha bobina auxiliar se induza unha pequena tensión, como se se tratase do secundario dun transformador), que ao ser aplicada a un

electroimán produce a apertura dos contactos do interruptor.

Que é a sensibilidade do interruptor diferencial?

Para que un interruptor diferencial se dispare precisa unha determinada intensidade de defecto. Os valores da sensibilidade están normalizadas e son as seguintes:

- Alta sensibilidade  $I_d = 30 \text{ mA}$
- Sensibilidade media  $I_d = 300 \text{ mA}$
- Baixa sensibilidade  $I_d = 500 \text{ mA}$

### Exercicios

10. Acha o valor do coeficiente de autoindución dunha bobina que xera unha f.e.m. de 120 V ao reducir a súa intensidade de corrente de 4 A a 0 nun tempo de 6 ms.

Principios básicos de electromagnetismo: [http://www.endesaeduca.com/Endesa\\_educa/recursos-interactivos/conceptos-basicos/iv.-electromagnetismo](http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/conceptos-basicos/iv.-electromagnetismo)

Indución electromagnética: <http://www.youtube.com/watch?v=79VEaV5jOE4>

Principio de Faraday: [http://www.youtube.com/watch?v=Z1T3Q4\\_26Y8](http://www.youtube.com/watch?v=Z1T3Q4_26Y8)

Principio funcionamento motores <http://www.youtube.com/watch?v=IE3l-lfWPi8>

Experiencias de oersted: <http://vimeo.com/39100199>

Bibliografía:

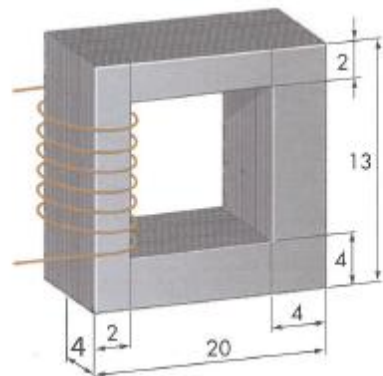
- Electrotecnia, *Pablo Alcalde San Miguel*. Paraninfo.
- Electrotecnia, *Germán Santamaría, Agustín Castejón*. Editex.
- Electrotecnia, *José Alberto Moreno Sánchez, José Luis Cano Shaw, Ignacio Guerrero Garay, Alberto Guerrero Fernández, Alejandro Porras Criado*. Mc Graw Hill. 2010

## Exercicios

1. Nun imán de  $1 \text{ cm}^2$  de sección a indución magnética é de 5 T. Que valor ten o fluxo a través do devandita sección?
2. Determinar o fluxo magnético que atravesa perpendicularmente unha bobina de superficie  $20 \text{ cm}^2$  se campo magnético no seu interior ten unha intensidade de 50 Av/m.
3. No circuíto magnético dun motor, a intensidade de campo alcanza o valor de 25 Av/m. Nun tramo do mesmo, unha superficie é atravesado por un fluxo de 0,5 Wb. Determina o valor da devandita superficie.
4. Nun campo magnético de 20 Av/m orixinado por un solenoide, introdúcese un núcleo magnético que alcanza unha indución de 1,4 T. canto vale a permeabilidade magnética do mesmo?
5. Un núcleo de ferro doce introdúcese nun campo magnético de intensidade 20 Av/m. Calcula a indución magnética producida polo mesmo sabendo que nunha táboa correspondente ao material, a unha excitación de 20 Av/m, correspóndelle unha permeabilidade relativa de 8.000.
6. A intensidade de corrente dun condutor é de 2 A. Calcular o campo nun punto situado a unha distancia de 4 cm do mesmo.
7. O radio dunha corrente circular (espira) é de  $\pi \text{ cm}$ , sendo 5 A a intensidade de corrente que a percorre. Cal é o valor da indución no centro?
8. Un solenoide que ten 150 espiras e 0,25 m de lonxitude é percorrido por unha intensidade de corrente de 4 A, cal será o valor da indución no seu interior? E nos seus extremos?
9. Calcula o campo magnético creado por un condutor percorrido por unha corrente eléctrica 10 A a unha distancia de 4 cm. O medio que rodea ao condutor é aire. Se substituímos o medio por outro de permeabilidade relativa  $\mu_r = 10^5 / 2\pi$ . Calcula en canto aumenta  $\beta$  no mesmo punto.
10. Nun solenoide de 25 cm de lonxitude deséxase obter un campo no seu interior de valor  $H=100 \text{ A/m}$ . Calcular o número de amperes volta necesarios ( $N \cdot I$ ). Se o número de espiras fose 2.000, que intensidade sería necesaria para crear o devandito campo?
11. Un solenoide toroidal ten un radio medio de 12 cm e quérese obter no seu interior un campo de 25 A/m, sendo  $N=300$  espiras. Determina a intensidade de corrente necesaria.
12. Un electroimán dispón dun bobinado se 160 espiras, percorridas por unha intensidade de corrente de 0,5 A, un núcleo de permeabilidade relativa  $\mu_r=7640$  e unha lonxitude de 200 cm. Determina o valor da intensidade de campo e da indución no seu interior.
13. Calcula a indución magnética no interior dun toroide de núcleo de fundición gris de lonxitude media 37,5 cm se a través do seu bobinado circula unha corrente de 0,15 A e se o número de espiras e 250.

| H [A/m] | 87,5   | 93,75  | 100    | 106,25 | 111,5  |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $\mu_r$ | 12.000 | 11.200 | 11.140 | 11.000 | 10.500 |

14. Nun toroide de radio interior 5 cm e exterior 7 cm atópanse enroladas 15.000 espiras polas que circulan 4 A. O toroide está composto en partes iguais (en canto a lonxitude) por dous materiais de permeabilidades relativas  $\mu_{r1} = \frac{1}{4\pi} 10^5$  e  $\mu_{r2} = \frac{3}{2\pi} 10^5$ . Determina o fluxo e a indución por cada parte do devandito toroide.
15. Calcula o fluxo e a indución da seguinte figura, sabendo que dispón dun enrolamento de 500 espiras percorridas por unha corrente de 0,06 A e que está fabricado cun material de permeabilidade relativa  $\mu_r = \frac{1}{2\pi} 10^5$ . As medidas en cm.
16. Calcula o campo magnético no interior dun solenoide de 1.500 espiras que ocupan unha soa capa, a continuación de outra sen deixar ocos. O radio do solenoide é de 0,05 m e o fío de condutor que o forma é de cobre de resistividade



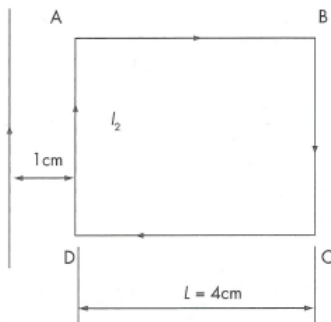
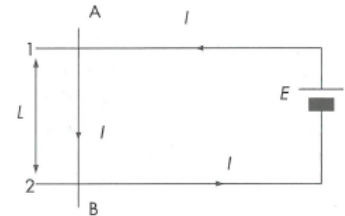
$\rho=0,017 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$  e radio 1 mm. A tensión de alimentación é de 230 V.

17. Un circuíto magnético pechado unha lonxitude media de 100 cm (de ferro), unha sección de  $20 \text{ cm}^2$  e unha permeabilidade magnética relativa de  $2000/\pi$ . O circuíto magnético dispón dun entreferro da mesma sección cunha lonxitude media de 0,8 cm. Determina a forza magnetomotriz necesaria para producir no entreferro un fluxo magnético de 0,1 Wb.

18. Nun circuíto da figura os condutores 1 e 2 están separados unha distancia  $L=10 \text{ cm}$  e pechan o circuíto co condutor AB perpendicular aos condutores e todo elo situado nun plano horizontal. A resistencia do circuíto é de  $5 \Omega$  e  $\mathcal{E}=15 \text{ V}$ .

O conxunto colócase nun campo magnético uniforme de  $\beta=0,5 \text{ T}$ , deduce o valor da forza electromagnética e o desprazamento da vara AB nos seguintes casos:

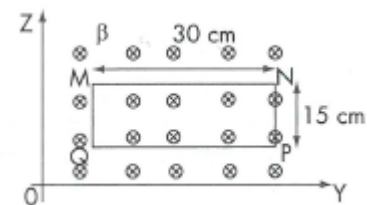
- Se  $\beta$  é vertical saíndo do plano do papel.
- Se  $\beta$  é horizontal e forma con AB un ángulo de  $30^\circ$ , que habería que facer para cambiar o sentido da forza?
- Se  $\beta$  é vertical entrando no plano do papel.



19. Un fío rectilíneo e infinito percorrido por unha corrente  $I_1=20 \text{ A}$  ascendente, contén no seu mesmo plano, o vertical un cadrado ABCD indeformable de N espiras e  $L=4 \text{ cm}$  de lado, percorridos por unha corrente  $I_2=4 \text{ A}$  no sentido das agullas do reloxo. O lado AD paralelo ao fío dista 1 cm do mesmo. Calcula o campo magnético creado por  $I_1$  nos lados AD e BC.

20. A bobina MNPQ da figura consta de 20 espiras e está situada no plano ZOY, sometida a unha indución de 8.000 Gaus ( $1\text{Gs}=10^{-4} \text{ T}$ ), perpendicular ao seu plano e entrante.

- Calcular o fluxo expresado en Wb, que atravesa cada espira da bobina.
- Invértese o sentido da indución nunha centésima de segundo. Calcula a f.e.m. xerada na bobina nese intervalo de tempo



### Test de repaso de electromagnetismo

1. As liñas de forza permítennos representar os campos magnéticos. Nun circuíto magnético:
  - a) Saen do polo norte e entran polo sur.
  - b) Saen do polo sur e entran polo norte.
  - c) Saen do polo norte e saen polo sur.
2. Un material magneticamente duro é:
  - a) Aquel que mantén as súas propiedades magnéticas moito tempo. É axeitado para construír máquinas eléctricas.
  - b) Aquel que mantén as súas propiedades magnéticas moito tempo. É axeitado para construír imáns permanentes.
  - c) Aquel que non mantén as súas propiedades magnéticas moito tempo. É axeitado para construír máquinas eléctricas.
3. A unidade de fluxo magnético é:
  - a) O amperio volta por metro (A-v/m).
  - b) O weber (Wb).
  - c) O tesla (T).
4. A experiencia de Oersted demostra que:
  - a) Unha corrente eléctrica xera un campo magnético ao seu redor.
  - b) Un campo magnético xera unha corrente.
  - c) Un campo magnético xera unha corrente e viceversa.
5. Segundo a regra de Maxwell, se nunha espira a intensidade de corrente circula no sentido das agullas do reloxo, a indución no seu centro será:
  - a) Entrante no plano da espira.
  - b) Saínte do plano da espira.
  - c) Tanxente ás liñas de forza.
6. Nun punto dun campo magnético xerado por un condutor rectilíneo:
  - a) A indución é directamente proporcional á distancia ao condutor.
  - b) A indución é inversamente proporcional á distancia ao condutor.
  - c) A indución non depende da distancia.
7. No solenoide, o aumento da súa lonxitude:
  - a) Aumenta a indución no seu interior.
  - b) Non depende da lonxitude.
  - c) Diminúe a indución no seu interior.
8. A dirección e o sentido da forza electromagnética é:
  - a) Perpendicular ao plano formado polo condutor ( $I \cdot l$ ) e o vector indución  $\beta$ , no sentido de avance dun parafuso que xirase ao levar  $I \cdot l$  sobre  $\beta$ .
  - b) Sempre perpendicular ao chan, cara arriba.
  - c) Perpendicular ao plano formado polo condutor ( $I \cdot l$ ) e o vector indución  $\beta$ , no sentido de avance dun parafuso que xirase ao levar  $\beta$  sobre  $I \cdot l$ .

9. A lei de Faraday establece que as condicións nas que se obtén unha corrente eléctrica a partir dun campo magnético, e di que a forza electromotriz inducida:
- a) É proporcional ao número de espiras e á velocidade de variación de fluxo.
  - b) Non é proporcional ao número de espiras nin á velocidade de variación de fluxo.
  - c) É inversamente proporcional ao número de espiras e á velocidade de variación de fluxo.
10. A lei de Lenz di que a forza electromotriz inducida:
- a) Non se opón sempre á causa que a produce.
  - b) Oponse sempre á causa que a produce.
  - c) A favor sempre da causa que a produce.
11. As denominadas perdas no ferro  $P_{Fe}$  son:
- a) Debidas ao efecto Joule.
  - b) Debidas á histérese magnética.
  - c) As debidas ás correntes de Foucault e a histérese magnética.
12. A área pechada co ciclo de histérese representa:
- a) A enerxía cedida ao circuíto magnético en cada ciclo.
  - b) A enerxía perdida en forma de calor en cada ciclo .
  - c) A enerxía cedida ao circuíto eléctrico en cada ciclo.
13. Un ciclo de histérese debe ser estreito para fabricar:
- a) Imáns permanentes.
  - b) Circuítos magnéticos para máquinas.
  - c) Imáns e circuíto para máquinas.
14. O coeficiente de autoindución  $L$  representa:
- a) A intensidade de corrente xerada nunha bobina cando se varía o fluxo.
  - b) A f.e.m. inducida cando a intensidade de corrente cambia a 1 A/s.
  - c) A intensidade de corrente inducida cando a f.e.m. cambia a 1 V/s.
15. A unidade do coeficiente de indución é:
- a) O julio.
  - b) O henrio.
  - c) O V·A/s, non ten nome especial.