

# ELECTRICIDADE E ELECTRÓNICA



TECNOLOXÍA E ENXEÑERÍA I



## Tema 3: Máquinas eléctricas de corrente continua

<b>TEMA 1: MÁQUINAS ELÉCTRICAS DE CORRENTE CONTINUA.....</b>	<b>3</b>
<b>1. Introducción.....</b>	<b>3</b>
<b>2. Fundamentos físicos.....</b>	<b>3</b>
2.1. Campo magnético.....	4
2.1.1. Orixe dos campos magnéticos.....	4
2.1.2. Parámetros do campo magnético.....	5
2.2. Lei de Faraday.....	5
2.3. Lei de Laplace.....	6
<b>3. Constitución das máquinas eléctricas.....</b>	<b>7</b>
3.1. Estátor.....	7
3.2. Rotor.....	9
<b>4. Funcionamento como motor das máquinas eléctricas.....</b>	<b>11</b>
4.1. Explicación do funcionamento.....	11
4.2. Par motor.....	14
4.3. Forza contraelectromotriz.....	14
4.4. Tipos de motores segundo os sistemas de excitación.....	15
4.4.1. Motor de excitación independente.....	16
4.4.2. Motor en serie.....	16
4.4.3. Motor en derivación, paralelo ou Shunt.....	16
4.4.4. Motor Compound.....	17
<b>4.5. Funcionamento en carga e en baleiro.....</b>	<b>17</b>
<b>4.6. Balance de potencias. Rendemento.....</b>	<b>17</b>
<b>5. Característica par- velocidade.....</b>	<b>20</b>
5.1. Tipos de pares dun motor de corrente continua.....	20
5.2. Definición da característica par- velocidade.....	20
5.3. Fases de funcionamento.....	21
5.4. Estabilidade de funcionamento.....	22
<b>6. Inversión do sentido de xiro.....</b>	<b>22</b>
<b>7. Principio de reversibilidade.....</b>	<b>23</b>
<b>8. Atribución da propiedade intelectual.....</b>	<b>23</b>

# TEMA 1: MÁQUINAS ELÉCTRICAS DE CORRENTE CONTINUA

## 1. Introducción

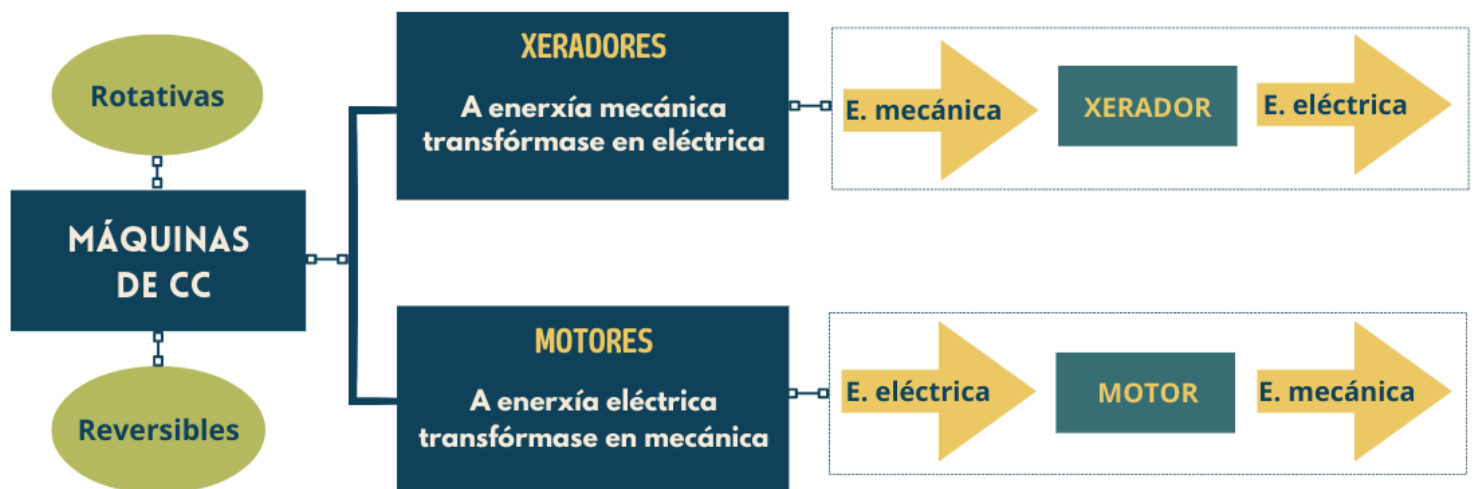
As máquinas eléctricas son todo o conxunto de mecanismos capaces de xerar, aproveitar e transformar enerxía eléctrica, ben transformando a enerxía eléctrica en enerxía mecánica ou viceversa.

Clasifícanse en dous grandes grupos:

- **Xeradores** → A enerxía mecánica transfórmase en enerxía eléctrica. No caso que nos ocupa, que é o da corrente continua, os xeradores denominanse tamén **dínamos**.
- **Motores** → A enerxía eléctrica transfórmase en enerxía mecánica.

Estas máquinas tamén reciben o nome de máquinas eléctricas **rotativas** de corrente continua porque para o seu funcionamento é necesario que unha das súas partes xire, como veremos máis adiante.

Son máquinas **reversibles**, é dicir, a mesma máquina pode funcionar como xerador de enerxía eléctrica ou como motor.



## 2. Fundamentos físicos

Como as máquinas de corrente continua, xeradores e motores, baséanse en fenómenos electromagnéticos é necesario coñecer varios conceptos básicos do electromagnetismo. Non entraremos a estudialos cuantitativamente, pero si que temos que estudialos cualitativamente e entender como se producen e que relación teñen con xeradores e motores.

## 2.1. Campo magnético

O campo magnético é unha rexión do espazo que se ve afectada por forzas magnéticas.

Poñamos como exemplo un imán: sabemos que ten dous polos (un positivo e outro negativo) e que dependendo de como os xuntemos poden atraerse (polo positivo con polo negativo) ou repelerse (polo positivo con polo positivo ou polo negativo con polo negativo). Esa atracción e repulsión son **forzas magnéticas**, e a rexión do espazo na que esas forzas teñen efecto sería o **campo magnético**.

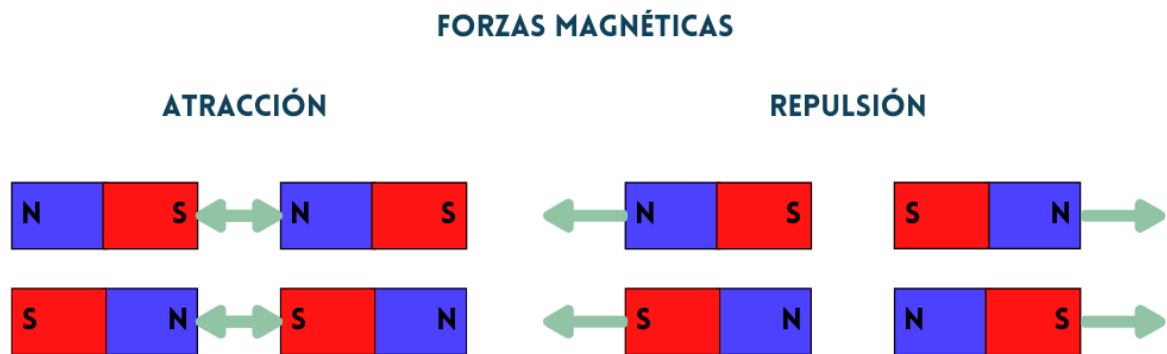


Figura 1: forzas magnéticas.

### 2.1.1. Orixe dos campos magnéticos

- **Imáns**

Podemos atopar materiais na natureza que son imáns por si mesmos, como por exemplo a **magnetita**. Por outro lado hai certos metais que poden ser **imantados** para convertilos en imáns, como o níquel, o ferro ou o cobalto.

- **Corrente eléctrica**

Grazas ao descubrimento de **Oersted** (físico e químico danés) sabemos que mediante a corrente eléctrica tamén podemos xerar un campo magnético.

Este tipo de imáns chámase **electroimáns** e a relación entre o campo magnético e a corrente eléctrica é o **principio de funcionamento dos motores e xeradores** de corrente continua.

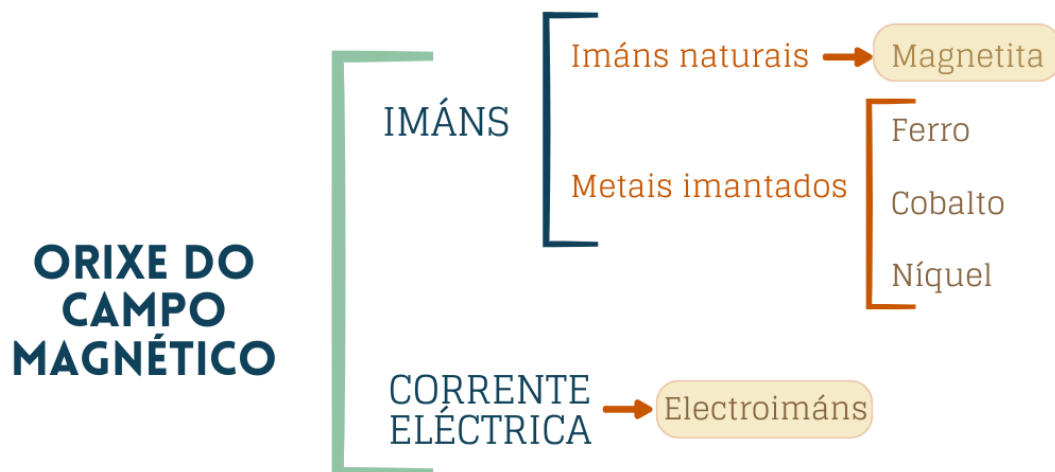


Figura 2: orixe do campo magnético

### 2.1.2. Parámetros do campo magnético

- **Campo magnético**

Representase coa letra **B** e indica a cantidade de fluxo magnético por unidade de superficie.

A unidade de medida do campo magnético é o **Tesla [T]**. O seu nome vendo apelido do físico serbio Nicola Tesla.

- **Liñas de campo**

Son a representación no espazo do campo magnético **B**.

As liñas de campo magnético saen do polo norte do imán e rematan no polo sur, continuando polo interior do imán ata saír de novo polo norte.

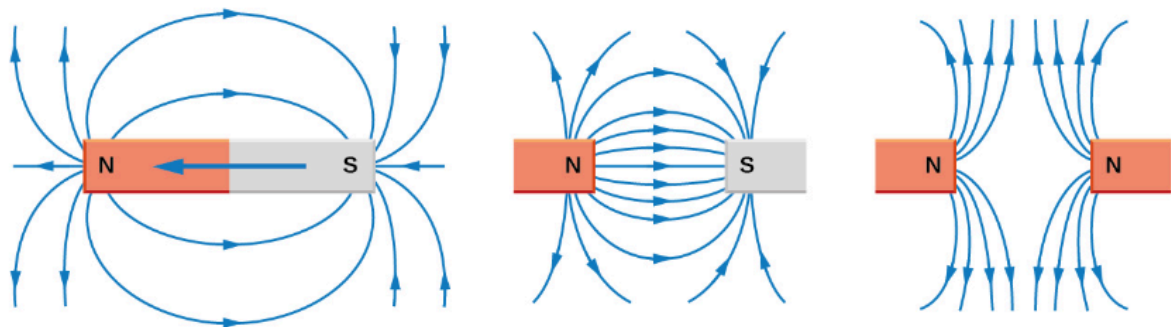


Figura 3: liñas de campo magnético.

- **Fluxo magnético**

Representase coa letra grega  $\Phi$ , e é unha medida da cantidade de campo magnético que atravesa unha superficie dada

## 2.2. Lei de Faraday

É o fundamento físico dos xeradores.



Cando un condutor de **lonxitude L** se move a **velocidade v** dentro dun **campo magnético constante B**, perpendicular ao condutor, aparece no devandito condutor unha corrente inducida, e esa corrente xera unha tensión ou f.e.m. (forza electromagnética inducida).

A expresión matemática é a seguinte:

$$\varepsilon = BLv$$

Esta fórmula é válida sempre que a dirección de movemento do condutor sexa perpendicular ás liñas de campo magnético.

Onde:

- $\varepsilon$ : a letra grega épsilon é a fem inducida medida en voltios [V].
- B: campo magnético medido en teslas [T]
- L: lonxitude do condutor medida en metros [m]
- v: velocidade de desprazamento do condutor medida en metros por segundo [m/s]

Na seguinte imaxe podemos ver un esquema explicativo da Lei de Faraday.

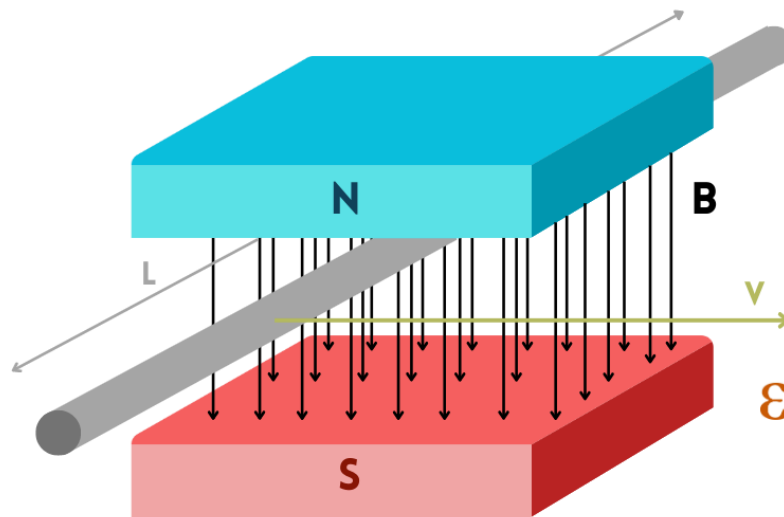


Figura 4: representación da Lei de Faraday.

### 2.3. Lei de Laplace

É fundamento físico dos motores.



Cando un condutor de **lonxitude L** polo que circula unha **corrente eléctrica I** está no seno dun **campo magnético uniforme B**, perpendicular ao condutor, aparece sobre o devandito condutor unha forza **F**, de valor:

$$F = BLI$$

Esta fórmula é válida sempre que a dirección da corrente eléctrica sexa perpendicular ás liñas de campo magnético.

Onde:

- **F**: é a forza que experimenta o condutor medida en newtons [N]
- **B**: campo magnético medido en teslas [T]
- **L**: lonxitude do condutor medida en metros [m]
- **I**: intensidade de corrente eléctrica medida en amperios [A].

Na seguinte imaxe podemos ver un esquema explicativo da Lei de Laplace.

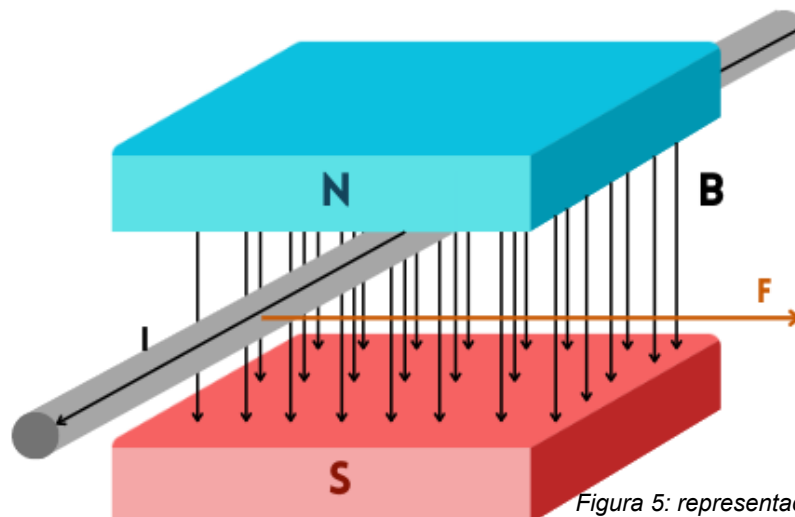


Figura 5: representación da Lei de Laplace.

### 3. Constitución das máquinas eléctricas

As máquinas eléctricas rotativas dinámicas de corrente continua están formadas por unha parte fixa e outra móbil:

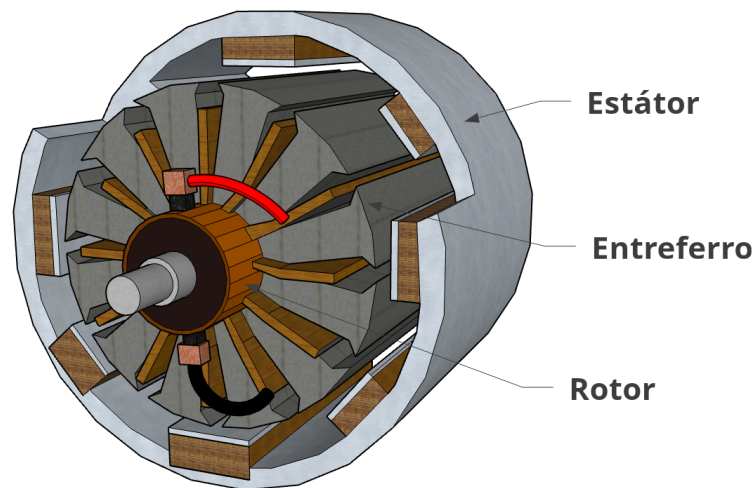
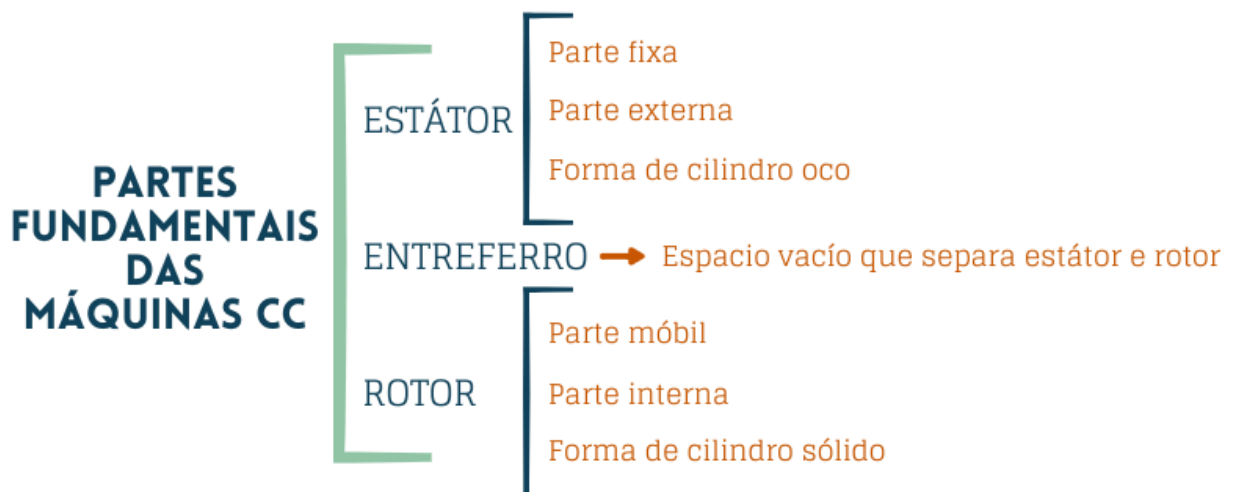


Figura 6: máquina eléctrica de cc.

- Parte fixa ou **estátor** → É a parte externa da máquina. Ten forma de cilindro oco.
- Parte móbil ou **rotor** → É a parte interna, situada no interior do estátor.

O espazo de aire entre ambos chámase **entreferro** e impide que ambas partes se rocen entre si. No entreferro teñen lugar fenómenos electromagnéticos que permiten a conversión da enerxía eléctrica en enerxía mecánica e viceversa.



#### 3.1. Estátor

O estátor está formado polas seguintes partes:

- **Carcasa, culata ou xugo:** é un anel de material ferromagnético. No seu interior e regularmente distribuídos hai un número par de polos indutores unidos mediante parafusos á carcasa.

- **Polos indutores:** son partes saíntes da carcasa cara a dentro sobre as que se enroscan as bobinas indutoras.
- **Bobinas indutoras:** fíos de cobre que se enroscan sobre os polos do indutores. Cando estas bobinas se alimentan con corrente continua, xérase un campo magnético constante.

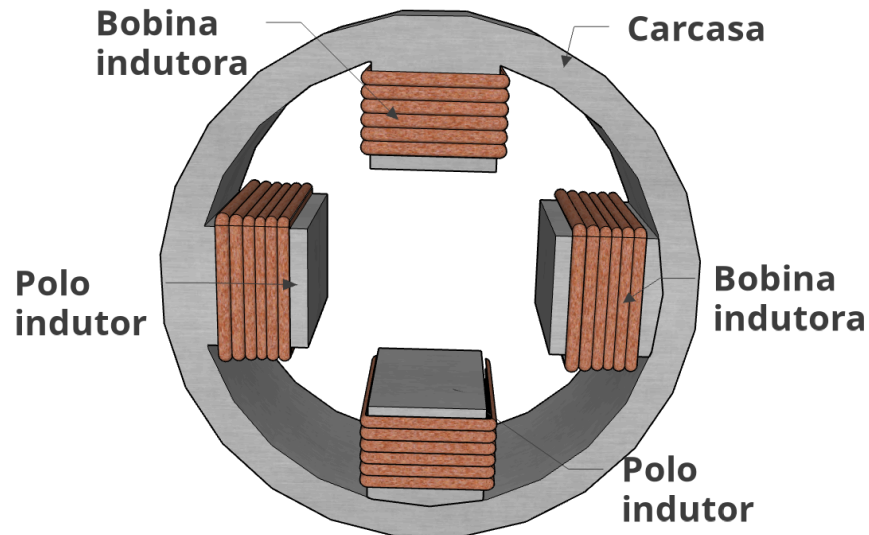


Figura 7: estátor.

Antes de continuar imos a ver tres términos que están moi relacionados co magnetismo: espira, bobina e solenoide:

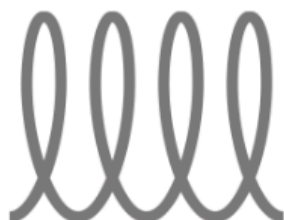


## VOCABULARIO

**Espira:** é o enrolamento material condutor pero unha soa vez, como un círculo de material condutor.

**Bobina:** son moitos enrolamentos de material condutor, é dicir, moitas espiras.

**Solenoide:** ás veces chámasele solenoide á bobina.



→ 4 espiras = 1 bobina = 1 solenoide



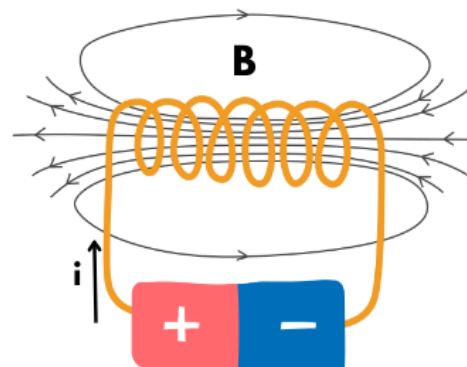
O efecto de ter un polo inductor coberto por unha bobina é o mesmo que ter un electroimán.



## LEMBRA

### ELECTROIMÁN:

É un tipo de imán artificial formado por un núcleo de ferro e unha bobina enroscada ao seu arredor. Pola bobina circula unha corrente eléctrica xerando un campo magnético.



## 3.2. Rotor

O rotor está formado polas seguintes partes:

- **Núcleo de ferro:** constitúe o núcleo magnético e presenta no seu exterior uns sucos nos que se enrosca o material condutor que forma as bobinas inducidas.
- **Bobinas inducidas:** fórmanse enrolando o material inductor sobre o núcleo magnético. O núcleo de ferro e as bobinas inducidas constitúen o **bobinado inducido**.
- **Delgas:** cada un dos extremos da bobina está unido a un sector metálico chamado delga, polo que **haberá dúas delgas por cada bobina**. As delgas están illadas entre si.
- **Colector de delgas:** as delgas colócanse por pares (de 2 en 2) e debe haber tantos pares como bobinas haxa no bobinado, é dicir, tantas como bobinas inducidas haxa no rotor. O **conxunto de todos as delgas** chámase colector de delgas. Colócase no eixe do rotor.
- **Eixe:** O núcleo de ferro ten un orificio central onde se sitúa o eixe ou árbore da máquina, que é o que **transmitirá a enerxía mecánica**.
- **Escobillas:** son os elementos fixos (non xiran co rotor) que están **apoiadas sobre o colector de delgas**. Mediante o rozamento entre as escobillas e o colector de delgas establécese o contacto eléctrico entre o rotor e o estátor. As escobillas desgástanse co tempo de uso do motor polo que é conveniente cambialas as escobillas cando estean gastadas. Ademáis contan con un **resorte** que asegura o contacto suave co colector de delgas. Ese resorte tamén se pode desgastar provocando que o contacto falle.

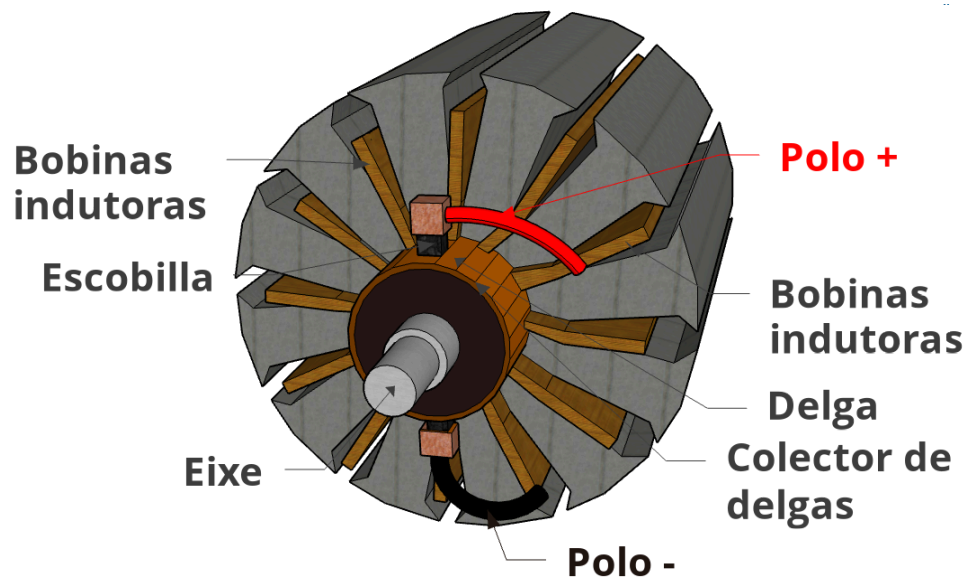
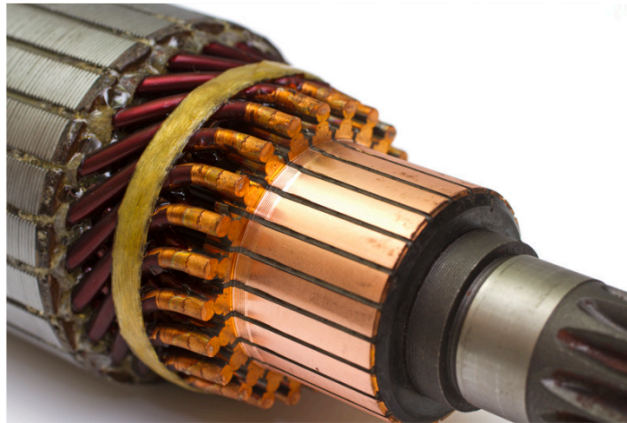
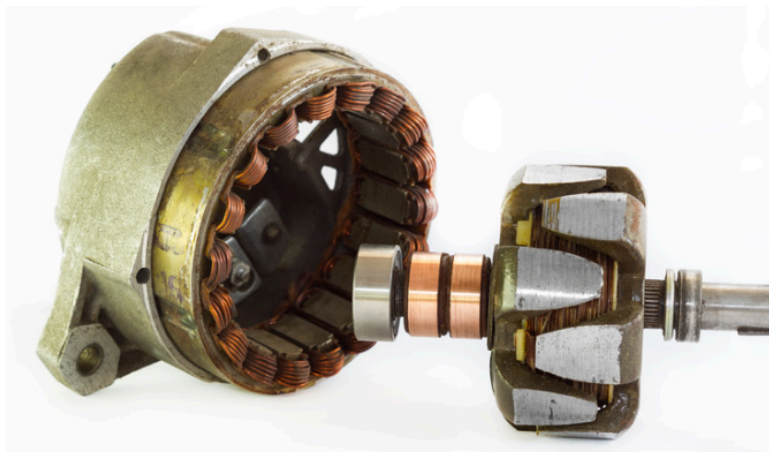


Figura 8: rotor.



É habitual atopar textos nos que ao **rotor se lle chama inducido e ao estátor inductor.**

Agora que coñecemos os principios físicos electromagnéticos e as partes da máquina imos a ver o seu funcionamento como motor e como xerador, xa que como dixemos, son máquinas reversibles.



## 4. Funcionamento como motor das máquinas eléctricas

### 4.1. Explicación do funcionamento

Para explicar o funcionamento como motor simplificaremos o modelo anterior do seguinte xeito:

- **Estátor:** estará formado directamente por dous polos, o norte e sur dun imán. Estes polos equivalen a dous polos indutores coas súas bobinas indutoras.



Figura 9: estátor simplificado.

- **Rotor:** estará formado por unha única espira que será o equivalente unha bobina inducida.

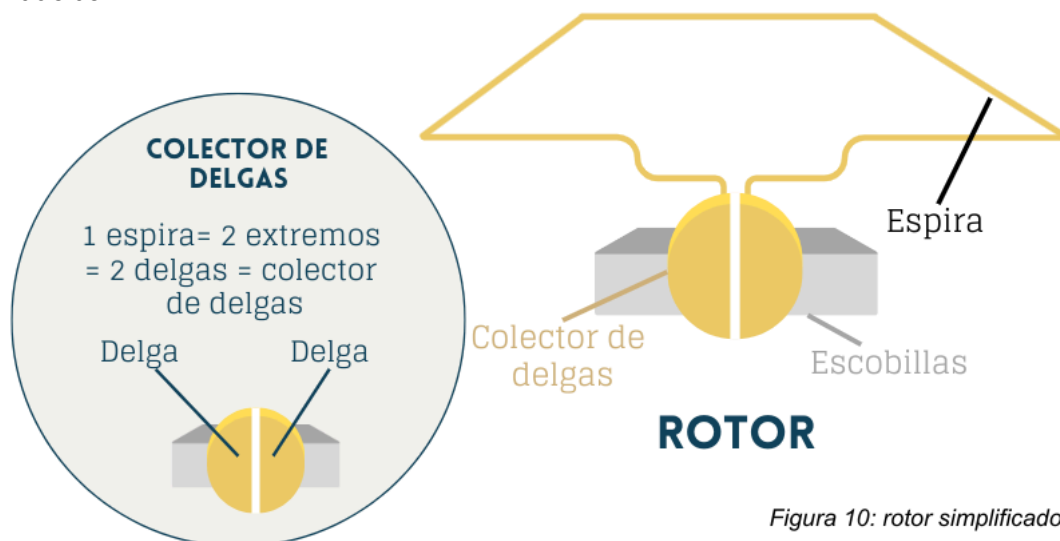


Figura 10: rotor simplificado

Na seguinte imaxe podes ver como quedaría esta simplificación:

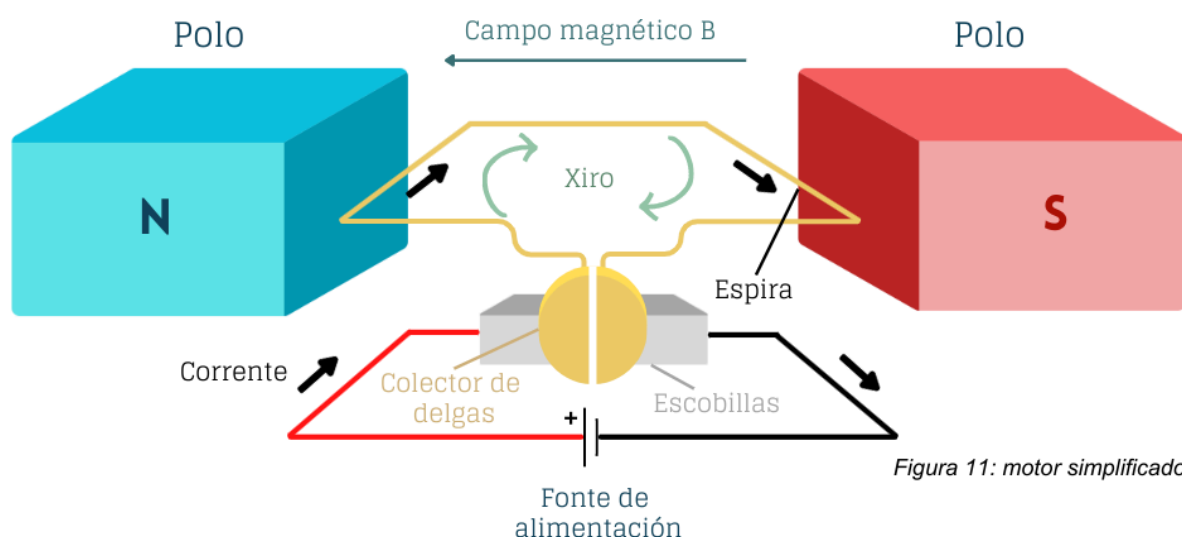


Figura 11: motor simplificado

A continuación explicaremos como se produce o movemento do rotor:

- Ao ter unha espira é coma se tivéssemos dous condutores, un á esquerda da espira e outro á dereita da espira. Ten en conta que só nos importan os condutores da espira que sexan perpendiculares ao campo magnético  $B$ .

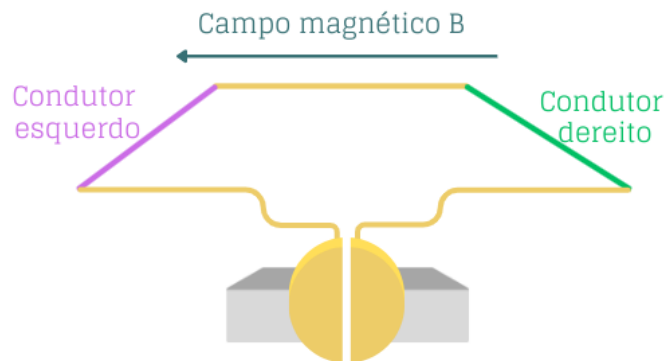


Figura 12

- Se aplicamos unha corrente eléctrica á espira, a corrente entrará polo condutor esquerdo da espira e sairá polo condutor dereito. É dicir, teremos dous condutores polos que circulan dúas correntes de sentidos opostos.

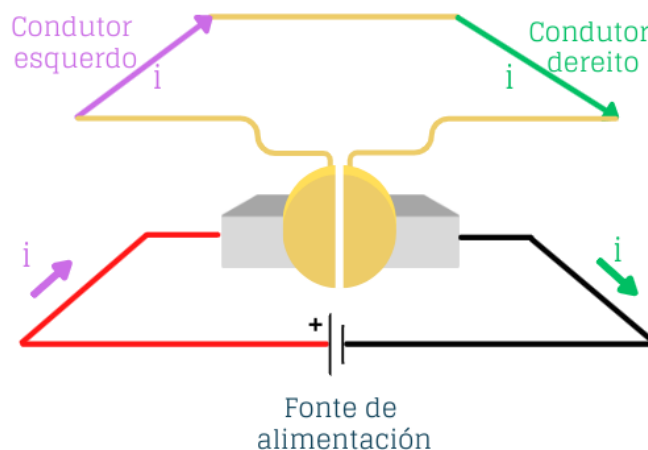


Figura 13

- Pola lei de Laplace ([ver apartado 2.3 deste tema](#)) o condutor esquerdo da espira sufrirá unha forza ascendente, o cal provocará que se eleve. E da outra parte, o condutor dereito da espira sufrirá unha forza descendente que provocará que se mova cara abaixo. Como consecuencia destas forzas, a espira comezará a xirar e así converterase a enerxía eléctrica da pila que proporcionaba a corrente eléctrica en enerxía mecánica do movemento da espira.

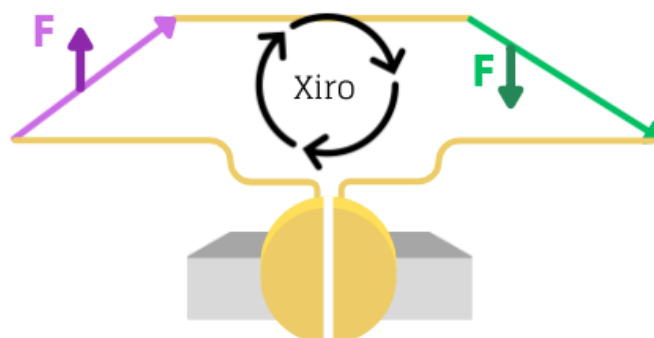


Figura 14

- Para que a corrente entre e saia sempre polo mesmo sitio (entrada polo condutor esquerdo da espira e saída polo dereito), utilízanse as escobillas e as delgas. As delgas están xirando coa espira. Por outro lado, as escobillas permanecen fixas, de xeito que a corrente entrará sempre polo lado esquerdo (condutor esquerdo) e sairá polo lado dereito (condutor dereito).



## LEMBRA

- As **delgas** están separadas eléctricamente entre sí.
- Un motor de corrente continua ten tantos pares de delgas como bobinas hai no rotor.
- No caso que nos ocupa agora, para un motor que só ten unha bobina (neste caso espira) temos dúas delgas que conforman o **colector de delgas**.



### • Nun motor real:

- Para aumentar a forza, a velocidade de xiro e a uniformidade de xiro **incrementaremos o bobinado inducido**.
- A fonte eléctrica está conectada:
  - Ao rotor para que a corrente eléctrica percorra as bobinas inducidas e pola lei de Laplace se produza o xiro.
  - Ao estátor para xerar a corrente que circula polas bobinas inductoras xerando o campo magnético B.



## LEMBRA

- O motor conéctase a unha **fonte de alimentación** e a corrente eléctrica circula polas **bobinas inductoras** creando un **campo magnético B**.
- Esta corrente tamén circula polas **bobinas inducidas** a través das **escobillas** e o **colector de delgas**.
- Unha vez xerado o campo magnético, as **forzas** que actúan sobre as bobinas inducidas (**Lei de Laplace**) fan que o rotor **xire**.



## 4.2. Par motor

Podemos describir o par motor como o momento de forza que un motor exerce sobre o seu eixe de transmisión.



**INFO**

- O **momento** dunha forza é unha magnitude vectorial que mide a capacidade que ten unha forza provocar un cambio na velocidade de xiro.  
Representátese coa letra **M**.  
Mídese en newtons por metro [**N.m**]
- A **velocidade de xiro** é a velocidade angular.  
Representátese coa letra omega minúscula,  $\omega$ .  
Mídese en radiáns por segundo [**rad/s**]

Pódese expresar como a relación entre a potencia útil e a velocidade angular coa seguinte expresión:

$$M = \frac{P_u}{\omega}$$

Onde:

- **M**: par motor medido en newtons por metro [N.m].
- **P<sub>u</sub>**: potencia útil do motor medida en vatios [W].
- $\omega$ : velocidade angular do motor medida en radianes por segundo [rad/s]

## 4.3. Forza contraelectromotriz

Para explicar o concepto de forza contraelectromotriz (f.c.e.m) imos a ir paso a paso.

En primeiro lugar, recordemos a lei de Faraday, que se explica no [apartado 2.2 deste tema](#). Esta lei di que cando un condutor de lonxitude L se move a velocidade v dentro dun campo magnético constante B, perpendicular ao condutor, aparece no devandito condutor unha corrente inducida, e esa corrente xera unha tensión ou f.e.m. (forza electromagnética inducida) que se representa coa letra  $\mathcal{E}$ .

No noso caso temos as bobinas do inducido (rotor) que están formadas de material condutor, en movemento no campo magnético perpendicular, B que é xerado polos polos do inductor (estátor).

Polo tanto, se aplicamos a lei de Faraday, xurdirá unha fem inducida nas bobinas do inducido (rotor), pero neste caso, esta fem será de signo contrario á voltaxe de alimentación do motor (V) e por ese motivo recibe o nome de forza contraelectromotriz inducida (f.c.e.m).

No caso de que a máquina eléctrica estea funcionando como motor, esa f.c.e.m representátese coa letra  $\mathcal{E}'$ .

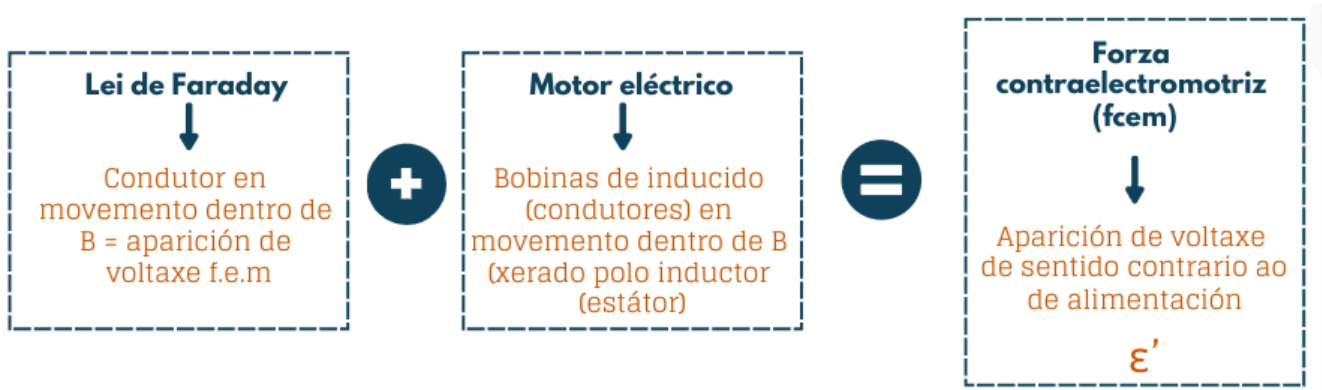


Figura 15: esquema fcm

#### 4.4. Tipos de motores segundo os sistemas de excitación

Unha das clasificacións dos motores de corrente continua faise **segundo a forma en que o inductor e as bobinas inducidas están conectadas entre si**.

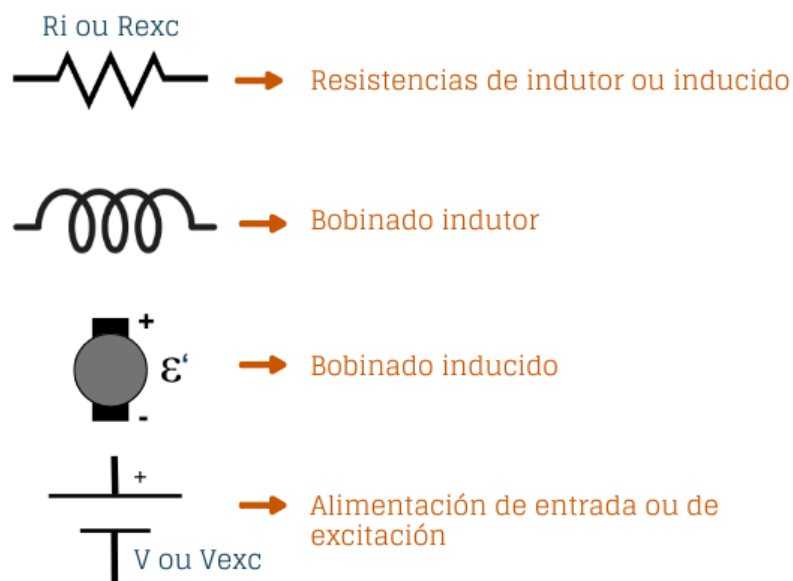
A continuación amósanse os 4 tipos de motores e en cada un deles unha imaxe coas conexións entre inductor e inducido e a relación entre as súas correntes.

Para entender estas imaxes temos que ter clara a nomenclatura de voltaxes e correntes e o significado dos elementos do circuito.

En canto a intensidades e correntes temos os seguinte::

- $I$ : intensidade da liña ou intensidade da rede absorbida medida en amperios [A].
- $I_i$ : intensidade de corrente no bobinado inducido medida en amperios [A]
- $I_{exc}$ : intensidade de corrente no bobinado do inductor medida en amperios [A]
- $V_{exc}$ : tensión de entrada do inductor medida en voltios [V].
- $V$ : tensión de entrada da rede medida en voltios [V].
- $\mathcal{E}'$ : forza contraelectromotriz medida en voltios [V].

En canto á simboloxía dos circuitos:





4.4.1. Motor de excitación independente

As bobinas do indutor e o inducido están alimentados por **dúas fontes diferentes**: o indutor está alimentado por  $V_{exc}$  e o inducido por  $V$ .

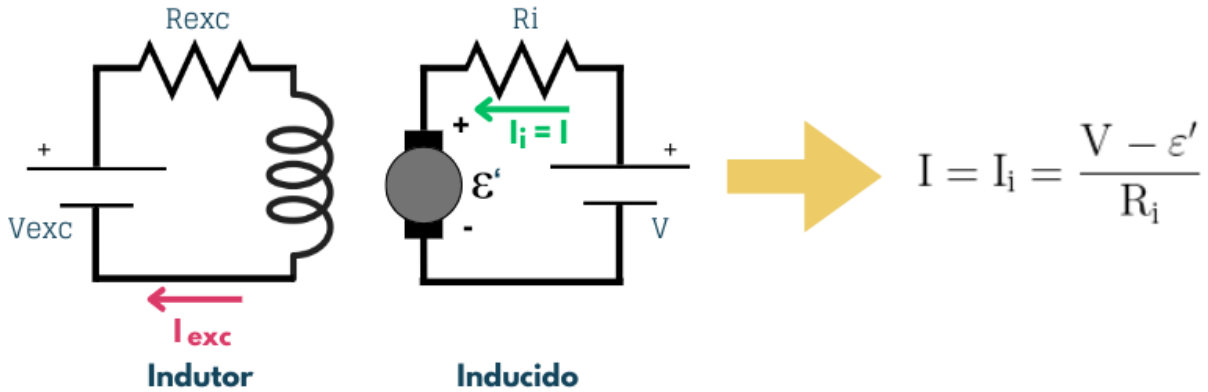


Figura 17: excitación independente

4.4.2. Motor en serie

As bobinas do indutor e do inducido atópanse **en serie** e polo tanto a intensidade de corrente do indutor ( $I_{exc}$ ), do inducido ( $I_i$ ) e da liña ( $I$ ) son iguais. Ademais indutor e inducido están alimentados pola mesma fonte.

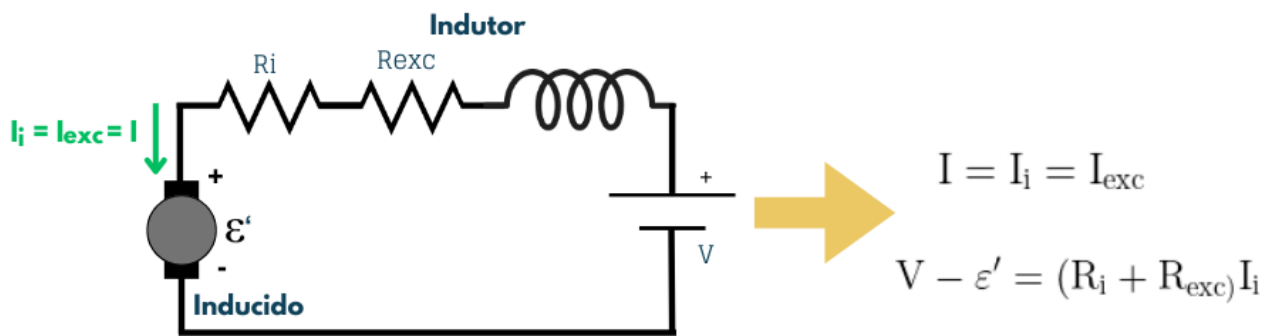


Figura 18: excitación serie

4.4.3. Motor en derivación, paralelo ou Shunt.

As bobinas do indutor e do inducido están **en paralelo** e a alimentación é a mesma para indutor e inducido.

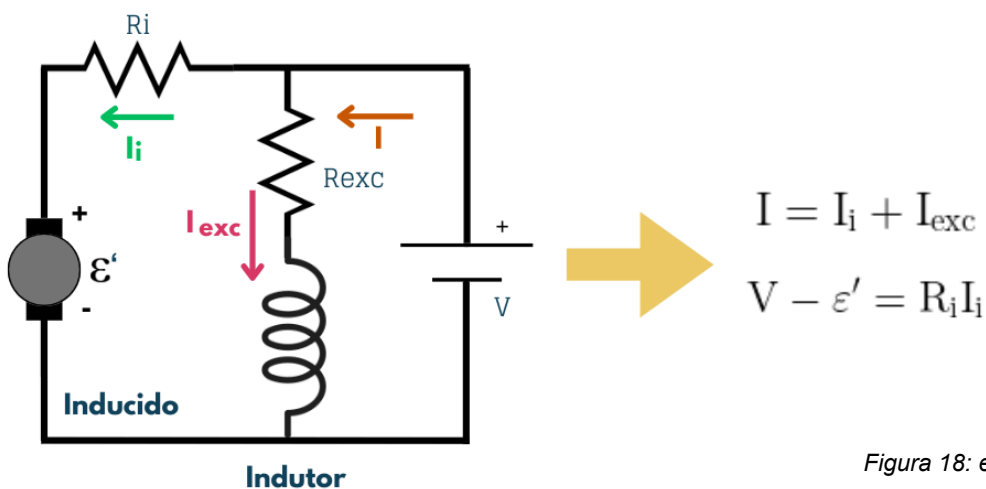


Figura 18: excitación serie



#### 4.4.4. Motor Compound

Podemos decir que o motor compound é unha **mezcla do motor serie e o motor Shunt**, xa que consta de dous devanados indutores: un está en serie co devanado inducido e o outro está en paralelo.

### 4.5. Funcionamento en carga e en baleiro

- **Funcionamento en carga.**

Un motor funciona en carga cando está arrastrando ou empuxando un obxecto, é dicir, cando está afectado por unha carga externa que o obriga a absorber enerxía mecánica.

*Por exemplo:*

- Unha batidora atopa resistencia ao bater a maionesa
- O motor dunha grúa soporta as cargas que levanta

- **Funcionamento en baleiro.**

Un motor funciona en baleiro, cando o motor non arrastra ningún obxecto, nin soporta ningunha resistencia externa. O eixe xira libremente e non está conectado a nada.

### 4.6. Balance de potencias. Rendemento

Se imaxinamos un motor como unha "caixa negra" que recibe unha potencia chamada **potencia absorbida** e entrega outra potencia, chamada **potencia útil**, poderíamos facer esta representación:

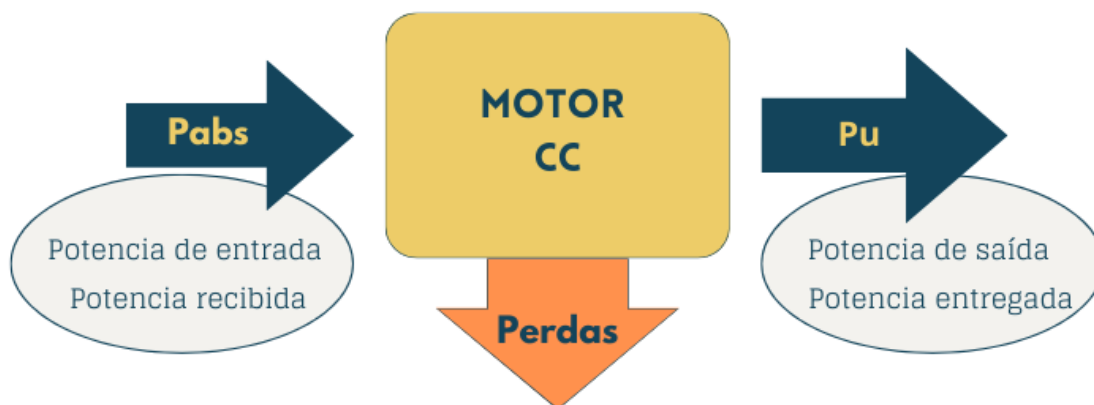


Figura 19: esquema potencias motor cc.

O balance de potencias dun motor **é a relación entre as potencias que recibe ou absorbe e as potencias que entrega ou disipa.**

**A potencia de entrada ou absorbida non é igual á potencia de saída ou útil** porque no interior do motor prodúcese **perdas**. **Definimos as perdas como potencias que se desperdician** debido a fenómenos físicos e mecánicos.

Polo tanto podemos establecer a seguinte relación matemática:

$$P_{abs} = P_u - \text{Perdas}$$

O balance de potencias soe ser representado como aparece na seguinte imaxe.

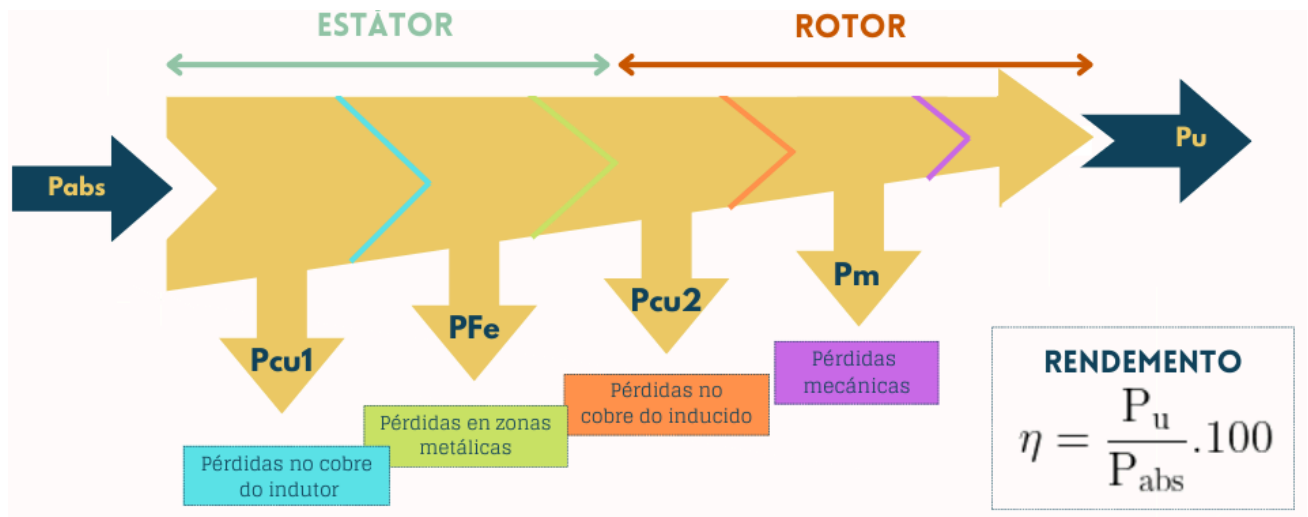


Figura 20: esquema balance de potencias motor cc.

A continuación explicamos que é cada potencia e perda e como se calculan.

- **Potencia absorbida:** é a potencia eléctrica que recibe o motor. Lembremos que o motor transforma a enerxía eléctrica en enerxía mecánica, polo que é lóxico que a potencia de entrada sexa eléctrica.

Imos representar esa potencia como  $P_{abs}$  e a fórmula para calculala é:

$$P_{abs} = V \cdot I$$

Onde:

- **$P_{abs}$ :** potencia absorbida, medida en vatios [W].
- **$V$ :** tensión de entrada da rede, medida en voltios [V].
- **$I$ :** intensidade de corrente da liña de entrada, medida en amperios [A].
- **Perdas:** como se mencionou anteriormente, a medida que a potencia “avanza” polo motor, prodúcese perdas por diferentes elementos e fenómenos físicos, a continuación veremos cales son, a medida que transitan polo motor, dende o estator ata o rotor:
  - **Perdas no estator:**
    - **$P_{cu1}$ :** perdas en forma de calor nos enrolamentos do circuíto inductor. As perdas prodúcese en forma de calor debido ao efecto Joule.

$$P_{cu1} = R_{exc} \cdot I_{exc}^2$$

Onde:

- **$P_{cu1}$ :** perdas no estator, medidas en vatios [W].
- **$R_{exc}$ :** resistencia do bobinado do inductor, medida en ohmios [ $\Omega$ ].
- **$I_{exc}$ :** intensidade de corrente no inductor, medida en amperios [A].
- **$P_{Fe}$ :** perdas que se producen en masas metálicas como consecuencia de estar sometidas a fluxos magnéticos variables. Destacan as perdas debidas ás correntes de Foucault (correntes inducidas en materiais metálicos en reacción ao campo que as induce). Mídense en vatios [W].
- **Perdas no rotor:**

- $P_{cu2}$ : perdas en forma de calor no bobinado do inducido. As perdas prodúcense en forma de calor debido ao efecto Joule.

$$P_{cu2} = R_i \cdot I_i^2$$

Onde:

- $P_{cu2}$ : perdas no rotor, medidas en vatios [W].
- $R_i$ : resistencia do bobinado inducido, medida en ohmios [ $\Omega$ ].
- $I_i$ : intensidade de corrente na armadura, medida en amperios [A].
- $P_m$ : perdas mecánicas que se producen por rozamento entre o eixe e os rodamentos, así como nos sistemas de ventilación. Mídense en vatios [W]
- **Potencia eléctrica interna:** obtense restando as perdas de calor no indutor e no inducido da potencia absorbida:

$$P_{ei} = P_{abs} - (P_{cu1} + P_{cu2})$$

No motor en serie, podemos empregar:

$$P_{ei} = \varepsilon' \cdot I$$

E no motor en derivación:

$$P_{ei} = \varepsilon' \cdot I_i$$

- **Potencia útil:** a que proporciona o eixe do motor na saída e que é mecánica.

$$P_u = P_{ei} - (P_{fe} + P_m)$$

Ou o que é o mesmo:

$$P_u = P_{abs} - P_{cu1} - P_{fe} - P_{cu2} - P_m$$

A potencia útil ás veces chámase **potencia nominal do motor**.

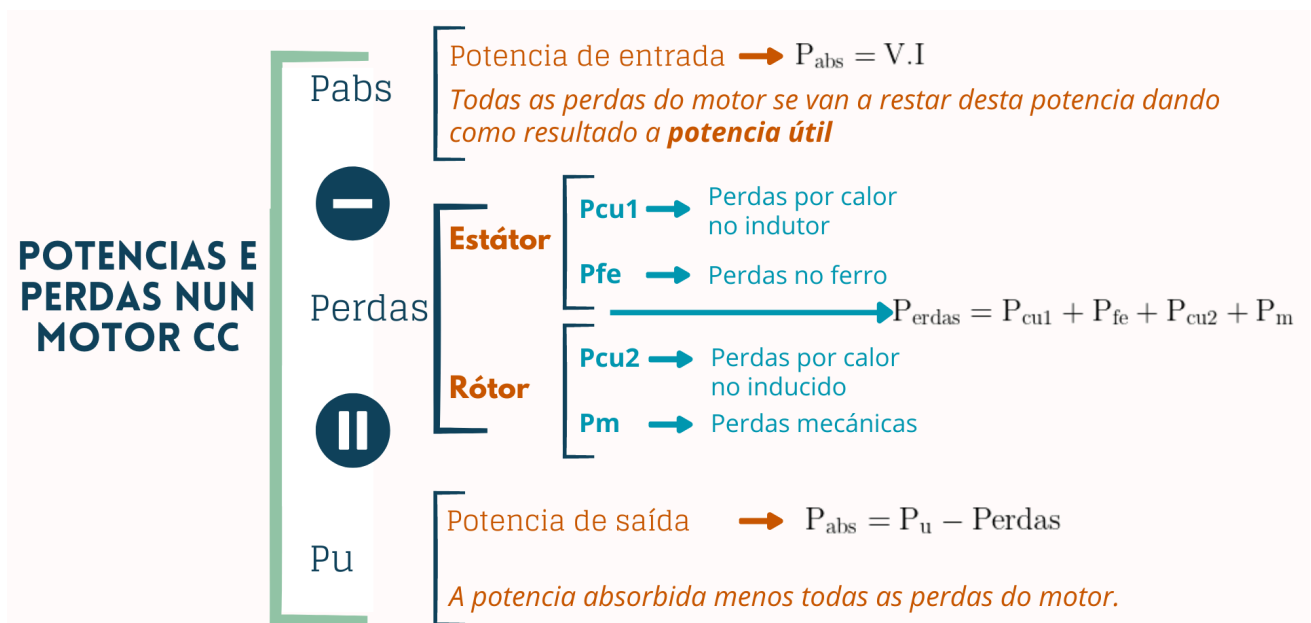


Figura 21: potencias e perdas motor cc.

- **Rendemento:** a relación entre a potencia útil e a potencia absorbida. Serve como parámetro para medir a eficiencia do motor.

$$\eta = \frac{P_u}{P_{abs}} \cdot 100$$

É unha magnitude **adimensional** (non ten unidades) e normalmente se expresa en %.

## 5. Característica par- velocidade

### 5.1. Tipos de pares dun motor de corrente continua

Nun motor rotativo de corrente continua con carga temos dous momentos ou pares diferentes:

- **Par motor:** é o que xera o movemento de rotación do motor. Representase como  $M_m$ .
- **Par resistente:** é o que xera a carga e que se opón ao par motor. Representase como  $M_r$ .

### 5.2. Definición da característica par- velocidade

Chamamos característica par - velocidade á **representación gráfica da velocidade do motor ( $n$ ) fronte ao par desenvolvido ( $M$ )**. Este par pode ser o par motor ou o par resistente.

**Nunha gráfica par- velocidade aparece a velocidade do motor no eixe de abscisas e o momento no eixe das ordenadas.**

Como nun motor en funcionamento temos unha carga, tamén temos dous pares, o motor e o resistente e, polo tanto, teremos dous tipos de gráficas par- velocidade:

- A que representa o par motor,  $M_m$ .
- A que representa o par resistente,  $M_r$ .

Na seguintes gráficas amósanse as características par- velocidade de 3 motores diferentes: á esquerda as características par motor- velocidade e á dereita as características par resistente- velocidade.

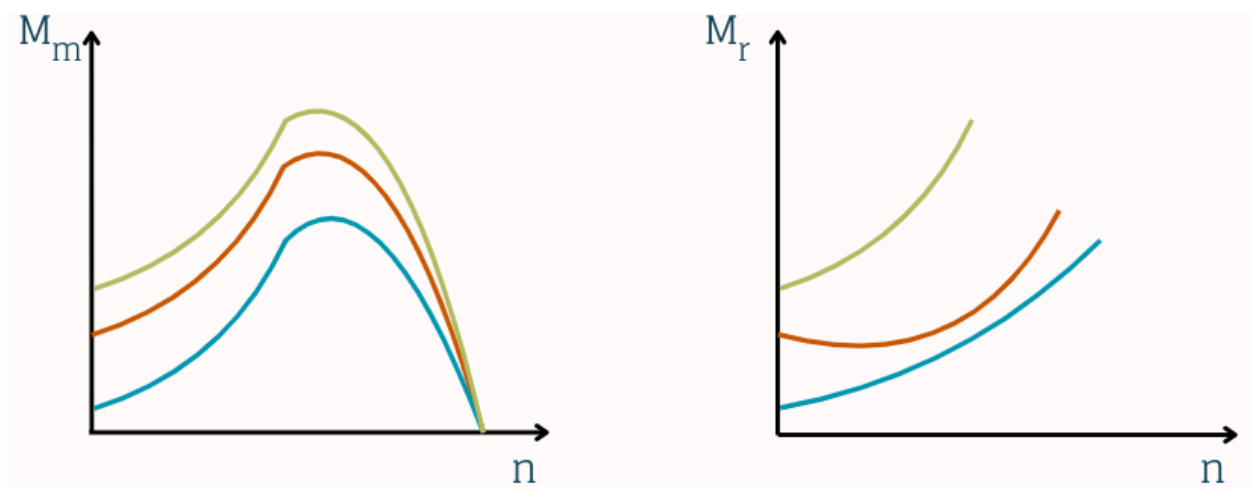


Figura 22: características par motor e par resistente- velocidade

Cada motor presenta unha característica par motor- velocidade e par resistente- velocidade diferente, por iso a representación das dúas características é importante porque **determina a utilización que se lle pode dar a cada motor.**

### 5.3. Fases de funcionamento

No funcionamento dun motor coa súa carga podemos distinguir tres fases:

- **Arranque:** É o momento de conexión do motor á fonte de alimentación. Para que o motor arranque debe superar a resistencia que lle ofrecen o rozamento e a inercia das rodas (entre outras). Ao par motor chámasele **par motor de arranque ( $M_{ma}$ )** e ao par resistente, **par resistente de arranque ( $M_{ra}$ )**.

Para que o motor sexa capaz de arrancar, o par motor de arranque debe ser maior que o par resistente de arranque. En caso contrario, o motor non arrancaría porque non sería capaz de vencer ás forzas resistentes.

$$M_{ma} > M_{ra}$$

- **Aceleración:** É o período que continúa despois do arranque do motor, no que a velocidade aumenta. A aceleración remata cando o motor alcanza a velocidade de réxime ou nominal. O motor debe proporcionar o par máximo que sexa capaz de dar, polo tanto o par motor continúa sendo maior que o par resistente.

$$M_m > M_r$$

- **Réxime nominal:** O motor alcanza unha velocidade constante chamada **velocidade de réxime ou velocidade nominal**, a velocidade baixo carga nominal permanece constante. Neste estado o par motor e o par resistente son iguais.

$$n = \text{constante}$$

$$M_{ma} = M_{ra}$$

Na seguinte gráfica represéntanse as características  $M_m$ -  $n$  e  $M_r$ -  $n$  durante as fases de funcionamento do motor.

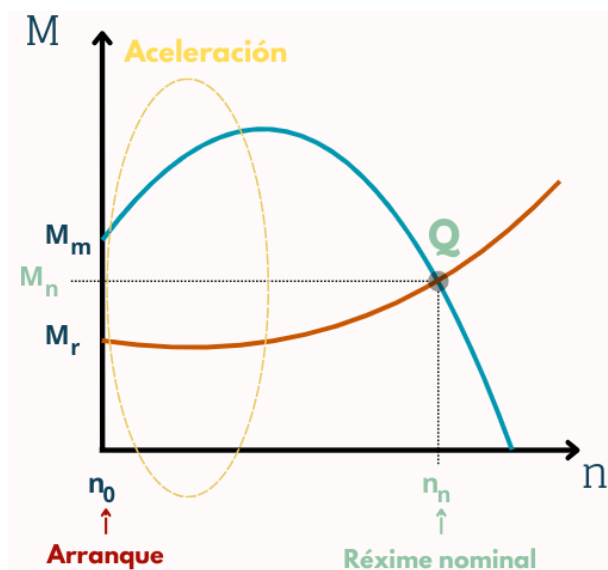


Figura 22: características motor dc

Na gráfica obsérvase como no instante inicial ( $n=0$ ) o par motor de arranque é moito maior que o par resistente de arranque. Isto provoca que a velocidade do motor aumente. A medida que a velocidade aumenta, o par motor diminúe mentres que o par resistente aumenta. No momento no que  $M_m=M_r$ , é dicir, no **punto Q** o motor acada unha situación estable na que a velocidade permanece constante.

## 5.4. Estabilidade de funcionamento

**O funcionamento dun motor pode ser estable ou inestable.**

- **Estable:** un motor ten un réxime estable cando ao variar a súa velocidade, o desequilibrio provocado desaparece porque o motor tende a volver ao seu valor inicial. Se a velocidade tende a aumentar, o par motor debe ser menor que o par resistente, de xeito que o motor se frene. Pero se a velocidade diminúe, o par motor debe ser maior que o par resistente para intentar acelerar e volver á  $n_n$ :

$$n \blacktriangle \Rightarrow M_m < M_r$$

$$n \blacktriangledown \Rightarrow M_m > M_r$$

- **Inestable:** se ante unha variación dos valores do seu réxime nominal, o motor responde cunha acción que reforza esta alteración, alonxándoa aínda máis do réxime nominal, o motor será inestable. Por exemplo se ao diminuír a velocidade o par motor sigue sendo menor que o par resistente, o motor seguirá frenándose. Por outro lado, se ao aumentar a velocidade, o par motor segue sendo maior que o par resistente, o motor seguirá acelerando. En ambos casos, o motor nunca voltará ao seu réxime nominal

## 6. Inversión do sentido de xiro

Para invertir o sentido de xiro dun motor de corrente continua o único que hai que facer é cambiar a polaridade da alimentación que se aplica ao rotor, V.

Deste xeito cambiará o sentido da corrente que percorre as bobinas do inducido e pola lei de Faraday o momento cambiará de sentido, co cal o rotor se moverá cara o outro lado.

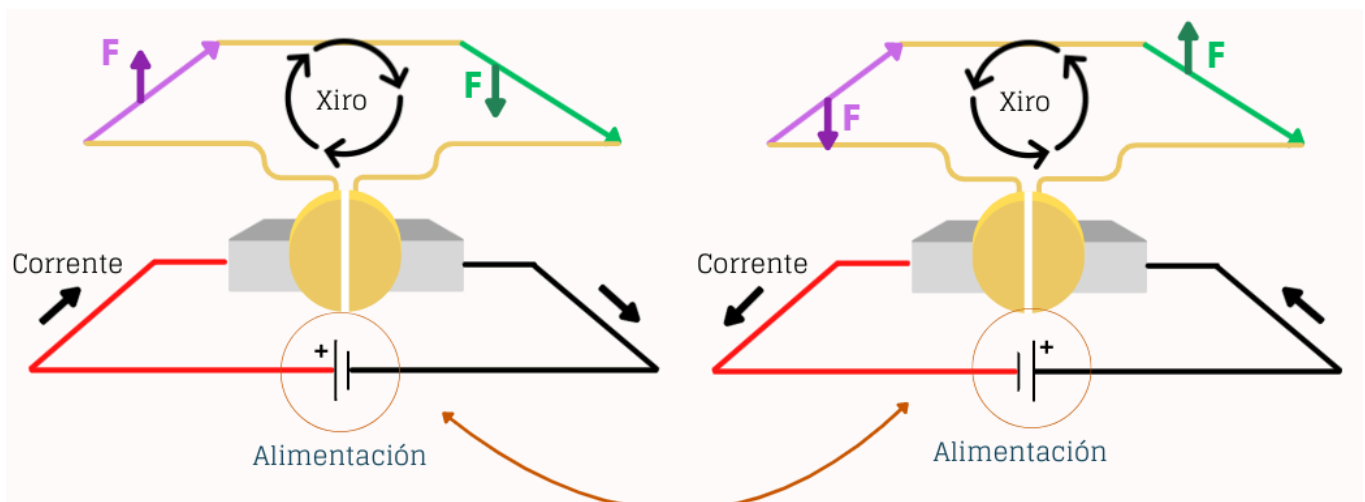


Figura 23: inversión de xiro

## 7. Principio de reversibilidade

Este principio indica que todas as máquinas eléctricas rotativas son reversibles, é dicir, poden funcionar como motor e como xerador.

Cando a máquina funciona como **motor**, transforma enerxía eléctrica en mecánica. É dicir, o devanado inducido (rótór) recibe alimentación eléctrica grazas á lei de **Laplace** xera movemento en forma de par motor,  $M_m$ .

Cando a máquina funciona como **xerador**, transforma enerxía mecánica en eléctrica. Polo tanto o devanado inducido (rótór) móvese grazas a un motor externo e debido á lei de **Faraday** aparece unha f.e.m. e por tanto unha corrente eléctrica,  $I$ .

## 8. Atribución da propiedade intelectual

- *Generalitat Valenciana*. [Tema 4: motores de corrente continua](#).
- *Carlos Velasco*. ¿Qué es una máquina eléctrica?. [Blog de Carlos Velasco](#).
- *Varios*. Tecnología Industrial II. Editorial Mc Graw Hill.
- *J. García Trasancos*. Electrotecnia. Editorial Paraninfo.
- IES Villalba-Hervás. [Motores de corriente continua](#).
- Figura 3: liñas de campo magnético. *William Moebis, Samuel J. Ling, Jeff Sanny*. [Física universitaria volumen 2. Sección 11.2 Campos y líneas magnéticas](#). Ed. Openstax. [CC BY 4.0 DEED](#)