



UNIVERSIDAD DE CANTABRIA
*DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
ELÉCTRICA Y ENERGÉTICA*



CONSTITUCIÓN DE LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS

Miguel Angel Rodríguez Pozueta

CONSTITUCIÓN DE LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS

Miguel Ángel Rodríguez Pozueta

CONSTITUCIÓN GENERAL DE UNA MÁQUINA ELÉCTRICA ROTATIVA

Estator y rotor. Entrehierro

- Una máquina eléctrica rotativa consta básicamente de dos partes: estator y rotor (Figs. 1, 2, 11, 17, 18 y 19).

El **estator** es la parte fija de la máquina y tiene forma de cilindro hueco. El **rotor** se coloca en el interior del estator y es la parte móvil. Entre el estator y el rotor existe una holgura denominada **entrehierro**, la cual impide que ambas partes rocen entre sí. En el entrehierro tienen lugar los fenómenos electromagnéticos que permiten la conversión de energía eléctrica en mecánica y viceversa.

- En el rotor de la máquina se encuentra un *núcleo magnético*, bien cilíndrico o bien de polos salientes, sobre el que se coloca el *devanado*, *bobinado* o *arrollamiento* del rotor. El núcleo magnético tiene un hueco central donde se sitúa el *eje* o *árbol* de la máquina, el cual se fija rígidamente al mismo mediante una chaveta.

Si es preciso se coloca un **colector** en el eje. Un colector es un elemento que permite conectar eléctricamente el devanado del rotor con un circuito exterior.

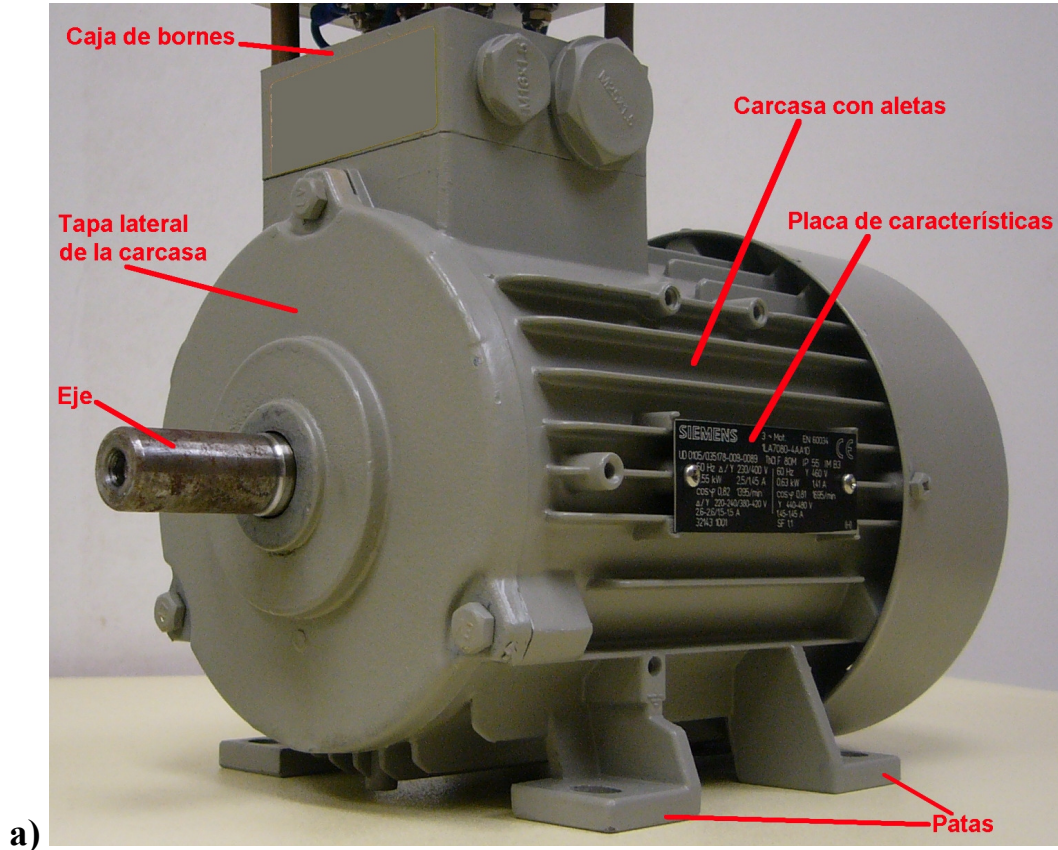
Además, en el rotor también se suelen colocar *dispositivos de refrigeración*, tales como: ventiladores, aletas, canales de ventilación, etc.

- El estator de una máquina tiene un núcleo magnético, bien cilíndrico o bien de polos salientes, sobre el que se bobina el devanado correspondiente. Su parte exterior está rodeada por una **culata** o **carcasa** que actúa como envoltorio de la máquina y la protege del medio exterior. La culata normalmente está fabricada con hierro fundido y tiene forma cilíndrica u octogonal. En ocasiones tiene aletas de refrigeración longitudinales o, más raramente, radiales que facilitan la evacuación de calor.

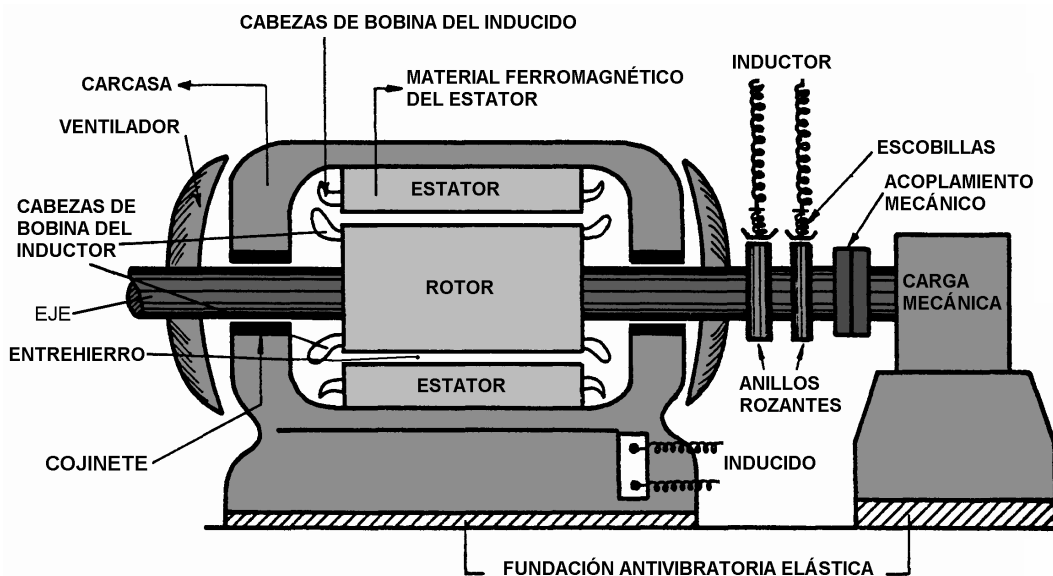
En la carcasa se coloca la *caja de bornes* donde se realizan las conexiones eléctricas de la máquina con el exterior. También se coloca sobre la carcasa la denominada *placa de características*, que es una placa impresa donde se indican los datos más importantes de la máquina.

CONSTITUCIÓN DE LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS

La culata dispone de los dispositivos de fijación de la máquina: patas, bridas, etc. A sus lados se colocan las *tapas* que cierran el motor y que poseen un hueco en su centro donde se alojan los *cojinetes* o *rodamientos* sobre los que descansa el eje del rotor y que minimizan el rozamiento entre éste y las tapas de la carcasa.



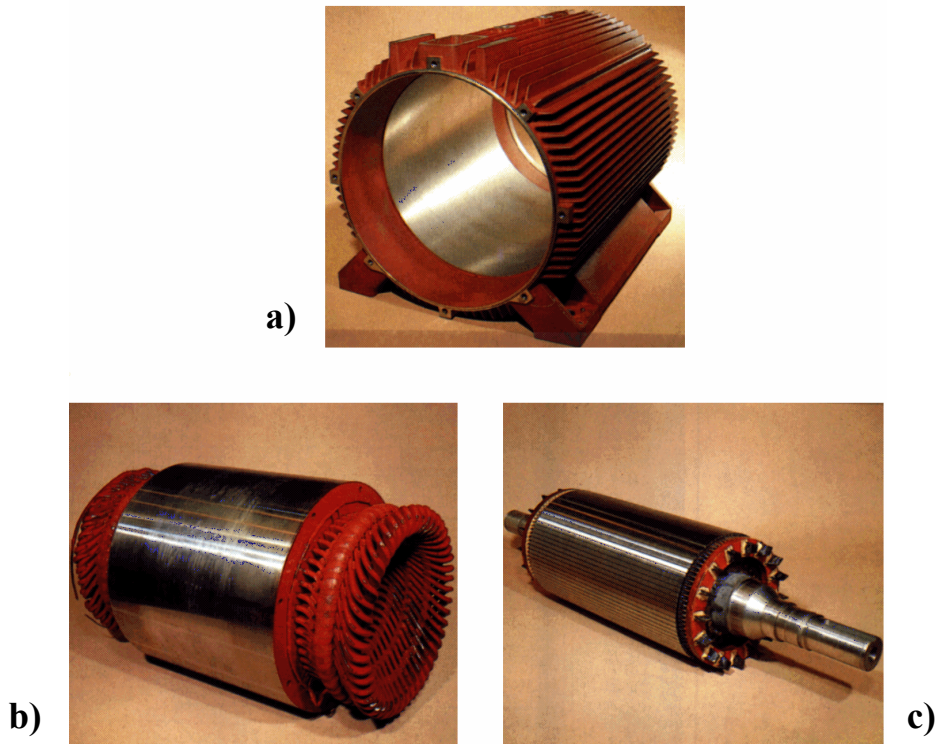
a)



b)

*Fig. 1: Constitución de máquinas eléctricas rotativas:
a) Constitución de una máquina de inducción de jaula de ardilla.
b) Constitución de una máquina sincrónica (Fuente: "El fenómeno electromagnético" de José Antonio de Gurrutxaga Ruiz).*

CONSTITUCIÓN DE LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS



*Fig. 2: Carcasa, estator y rotor de un motor asíncrono.
(Fuente: Revista ABB, n° 5, 1990).*

Circuitos magnético y eléctrico

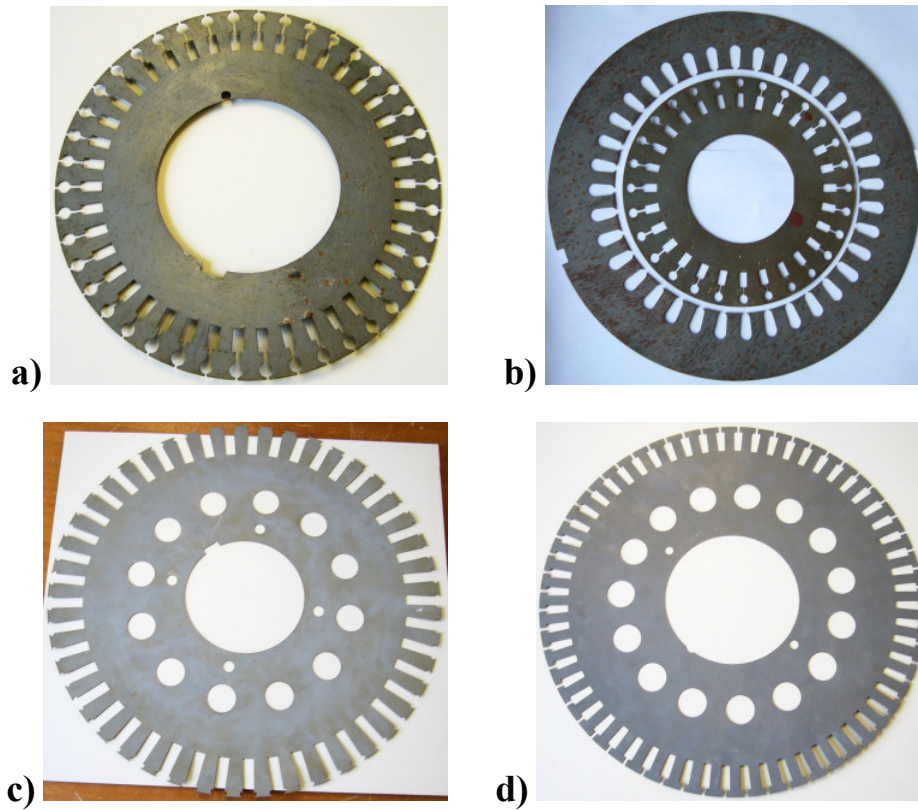


Fig. 3: Chapas magnéticas.

CONSTITUCIÓN DE LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS

- Los núcleos magnéticos del estator y del rotor se construyen de material ferromagnético. En el caso de que estén sometidos a la acción de un flujo magnético variable con el tiempo, los núcleos magnéticos se realizan apilando *chapas* de acero al silicio de 0,5 mm de espesor (Fig. 3), reduciendo así las pérdidas en el hierro por histéresis y por corrientes de Foucault.

Estas chapas tienen forma de corona circular y están aisladas entre sí mediante un barniz o un tratamiento químico. Pueden poseer un conjunto de orificios que permitan la circulación de aire u otro fluido refrigerante a través del núcleo magnético.

Las chapas del rotor tienen un agujero central con un chavetero donde se coloca el eje de la máquina.

Cuando el núcleo magnético no es de polos salientes, la superficie enfrentada al entrehierro es cilíndrica y posee una serie de **ranuras** donde se alojan los devanados (Fig. 4).

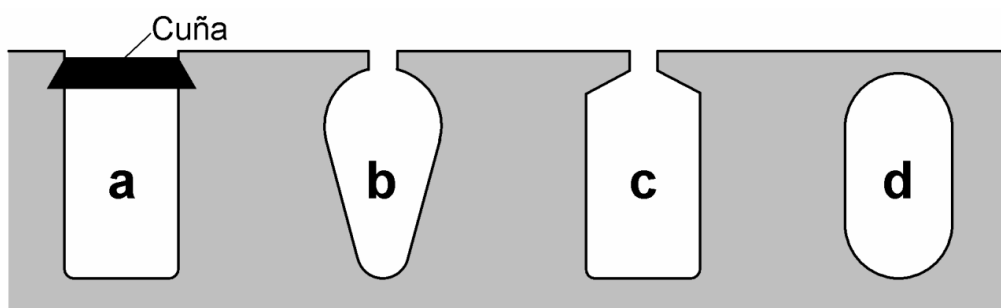


Fig. 4: Ranuras abierta (a), semicerradas (b, y c) y cerrada (d).

- Salvo en las máquinas con imanes permanentes, las cuáles carecen de devanado inductor, todas las máquinas eléctricas disponen de, al menos, dos devanados: el inductor y el inducido.

El devanado **inductor**, también denominado **excitación** o **campo**, tiene por objeto el crear el campo magnético en el entrehierro. El devanado **inducido**, también denominado de **armadura**, recibe el campo magnético creado por el inductor, lo que origina que en sus fases se induzcan unas f.e.m.s.

En los transformadores y en las máquinas asíncronas se suele denominar **primario** al devanado inductor y **secundario** al inducido.

El funcionamiento de una máquina, en teoría, no está influido porque el inductor se coloque en el estator y el inducido en el rotor o viceversa. Sin embargo, en la práctica la mayor facilidad de construcción, las condiciones de refrigeración, etc. aconsejan adoptar preferentemente una de las dos posibilidades. Así en las máquinas de corriente continua el inductor se coloca en el estator y el inducido en el rotor mientras que en las máquinas síncronas se suele adoptar la disposición contraria.

Además del inductor y del inducido, las máquinas eléctricas pueden tener más devanados: de conmutación, de compensación, amortiguador, etc.

Colectores

- Existen dos tipos de colectores: de anillos y de delgas.
 - * Los **colectores de anillos** (Figs. 1b y 5) se utilizan en máquinas de corriente alterna. Consisten en dos o tres anillos de bronce colocados sobre el eje del rotor y aislados de éste y entre sí. Estos anillos están conectados a las bobinas del rotor y sobre ellos rozan unas *escobillas* de grafito (Fig. 5b) situadas en el estator y conectadas al circuito exterior. Un resorte que presiona la escobilla contra el anillo garantiza un buen contacto entre ambos.

En este tipo de colector la corriente que circula por las bobinas del rotor es de la misma forma que la que viene desde el circuito exterior.

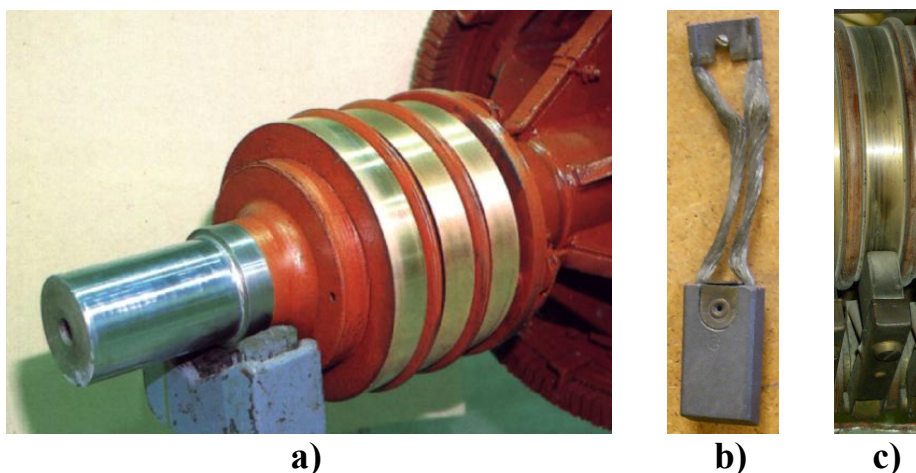


Fig. 5: a) Colector de 3 anillos; b) Escobilla; c) Anillo con escobilla.

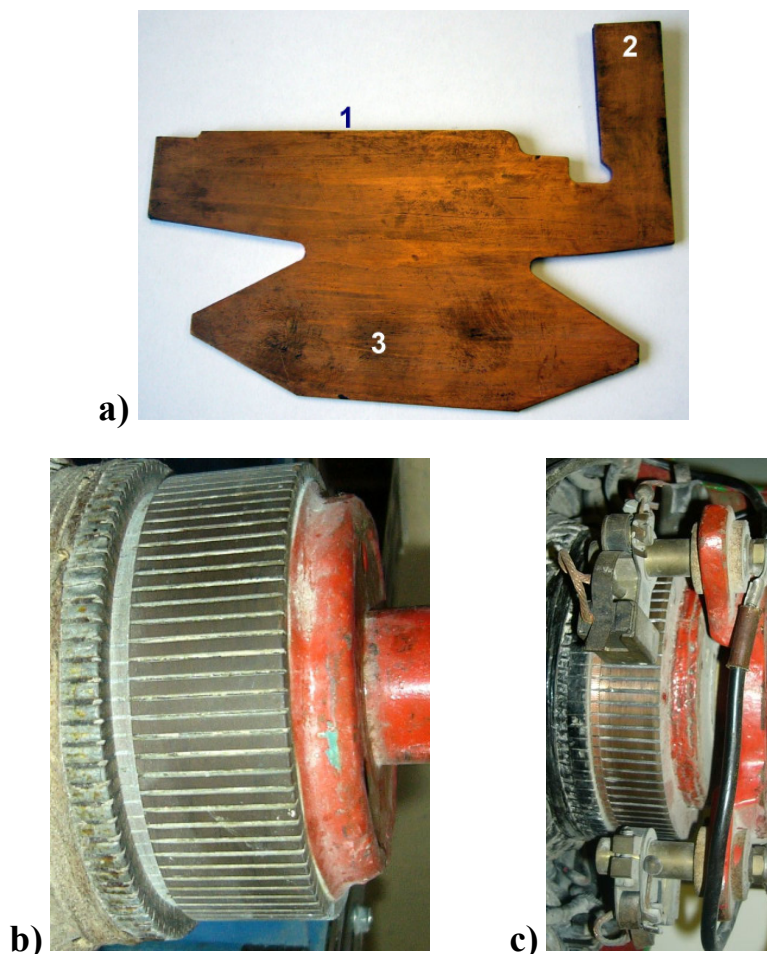
- * Los **conmutadores** o **colectores de delgas** (Figs. 6 y 19b) se utilizan en máquinas con devanados cerrados¹ (las máquinas de c.c. y algunas máquinas de c.a.). Consisten en varias láminas de cobre, denominadas *delgas* (Fig. 6a), dispuestas alrededor del eje del rotor de manera que forman un cuerpo cilíndrico. Las delgas están aisladas entre sí y del eje mediante piezas de mica. Cada delga tiene un talón donde se realiza la conexión a una de las bobinas del rotor mediante soldadura. Las delgas se sujetan al cubo del colector mediante uniones del tipo “cola de milano” para evitar que puedan salirse por la fuerza centrífuga. Sobre las delgas rozan las escobillas, que están fijas al estator y conectadas al circuito exterior.

Al girar el colector de delgas se produce una conmutación de las bobinas que están conectadas al circuito exterior a través de las escobillas. Por lo tanto, la forma de la corriente es distinta en las bobinas del rotor y en el circuito exterior, actuando el colector de delgas como un rectificador o como un inversor mecánico de la corriente.

En un colector existe un roce mecánico entre las escobillas y los anillos o las delgas que produce un desgaste de sus piezas. Es más fácil reemplazar las escobillas que cambiar el colector, por lo que interesa que las piezas sometidas a mayor desgaste sean aquellas y no éste. Es por esta razón que las escobillas se fabrican con un material más blando (grafito) que los anillos (bronce) o las delgas (cobre).

¹ Más adelante se describen los diferentes tipos de devanado.

CONSTITUCIÓN DE LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS



*Fig. 6: a) Delga; b) y c) Colectores de delgas.
(1: Superficie de contacto con las escobillas;
2: Talón para la conexión a las bobinas; 3: Cola de milano)*

Configuraciones básicas

- Las máquinas eléctricas rotativas adoptan tres formas básicas (Fig. 7):
 - * Estator y rotor cilíndricos (Fig. 7a), luego su entrehierro es uniforme². Es la habitualmente empleada en las máquinas asíncronas y síncronas rápidas.
 - * Estator cilíndrico y rotor de polos salientes (Fig. 7b), usualmente utilizada en las máquinas síncronas lentas.
 - * Estator de polos salientes y rotor cilíndrico (Fig. 7c), normalmente usada en las máquinas de corriente continua.

En las dos últimas configuraciones, la parte con polos salientes es la que aloja al devanado inductor.

En las máquinas muy pequeñas también puede encontrarse una estructura en que tanto el estator como el rotor tienen polos salientes.

² Se desprecian las pequeñas variaciones de entrehierro debidas a la existencia de dientes y ranuras en el estator y en el rotor.

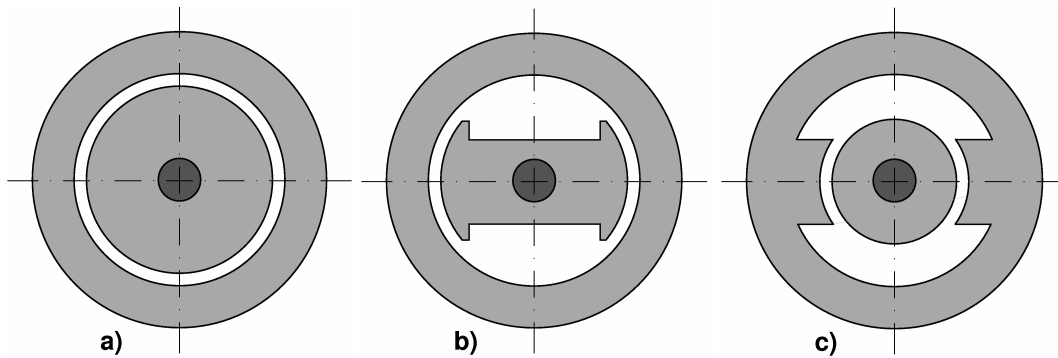


Fig. 7: Formas básicas de las máquinas eléctricas rotativas.

PASO POLAR. ÁNGULOS ELÉCTRICOS O MAGNÉTICOS

- La mayor parte de las máquinas eléctricas son de construcción simétrica. Esto significa que sus devanados y sus núcleos magnéticos son tales que generan polos magnéticos Norte y Sur que se suceden alternativamente de forma que la distribución del campo magnético a lo largo del entrehierro se repite para cada par de polos. Por consiguiente, la distribución del campo magnético en el entrehierro es una función periódica donde cada ciclo abarca dos polos magnéticos consecutivos (un par de polos). Además, los devanados inductor e inducido tienen igual número de polos.

Por lo tanto, el número de polos de una máquina es siempre par. Se designa por p al número de pares de polos y, por consiguiente, el número de polos es $2p$.

- Las funciones periódicas se tratan matemáticamente mediante las series de Fourier; es decir mediante funciones seno o coseno. Por lo tanto, se definen los **ángulos eléctricos** o **magnéticos** de forma tal que a un ciclo magnético (es decir, un par de polos) corresponda un ángulo de 360 grados eléctricos o 2π radianes eléctricos (lo que equivale a un ciclo en una función seno o coseno). Dado que el campo magnético en el entrehierro tiene una distribución que se repite cada par de polos, en una vuelta completa del rotor se recorren p ciclos magnéticos completos. Es decir, a 360 *grados geométricos* corresponden $p \cdot 360$ grados eléctricos. En general, la relación entre ángulos eléctricos o magnéticos (α)³ y ángulos geométricos (α_g) es:

$$\alpha = p \cdot \alpha_g \quad (1)$$

La simetría de las máquinas da lugar a que en cada par de polos se repitan los mismos fenómenos. Por lo tanto, va a bastar con estudiar un único par de polos; es decir, con analizar la máquina como si fuera bipolar. En este estudio es más cómodo utilizar los ángulos eléctricos, ya que así el análisis resulta independiente del número de polos de la máquina.

- En este texto las velocidades recibirán diferente denominación según las unidades en que estén medidas:

³ En este texto se supone que los ángulos son siempre eléctricos salvo cuando se representan con el subíndice g , en cuyo caso se trata de ángulos geométricos.

CONSTITUCIÓN DE LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS

- n: velocidad medida en revoluciones por minuto (r.p.m.)
- Ω : velocidad medida en radianes geométricos/segundo (en algunos textos esta magnitud se denomina ω_m)
- ω : velocidad medida en radianes eléctricos/segundo

Se cumplen, pues, las siguientes relaciones:

$$\Omega = \frac{2 \pi}{60} n \quad (2)$$

$$\omega = p \cdot \Omega \quad (3)$$

- La distancia entre dos polos consecutivos se denomina **paso polar** (Fig. 8).

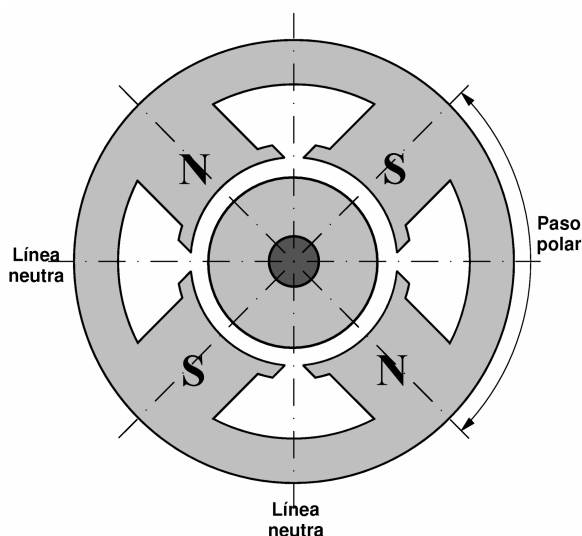


Fig. 8: Paso polar.

DEVANADOS

Definición y clasificación

- Los **devanados**, **bobinados** o **arrollamientos** de una máquina eléctrica son el conjunto de los conductores de la misma.

El material conductor suele ser cobre en forma de hilo esmaltado (el esmalte sirve de aislamiento entre conductores) o de pletina de sección rectangular y recubierta de un material aislante. Para las jaulas de ardilla (Fig. 2c) también se utiliza el aluminio.

- En algunas máquinas (básicamente las de corriente continua y síncronas de más de dos polos) el núcleo magnético del inductor está construido a base de polos salientes. En este caso el devanado inductor consiste simplemente en un arrollamiento de varias espiras en serie (Fig. 9) alrededor de los polos en el sentido adecuado para que éstos sean alternativamente Norte y Sur. El conjunto de espiras devanadas alrededor de un polo forma una bobina y las bobinas de todos los polos se suelen conectar en serie entre sí, aunque a veces se puedan conectar formando varias ramas en paralelo iguales.

Este tipo de devanado es *concentrado* y en él todas las espiras de un polo están atravesadas por el mismo flujo magnético principal.

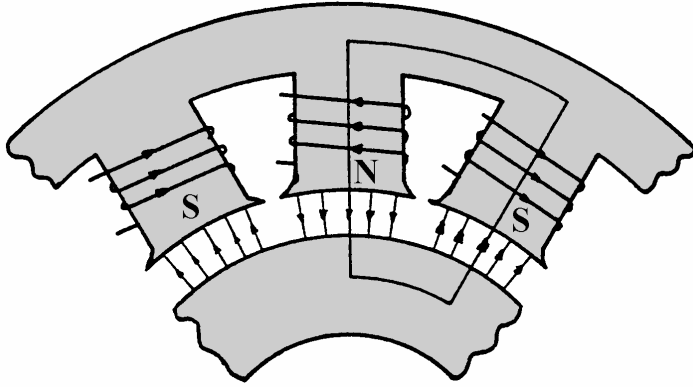
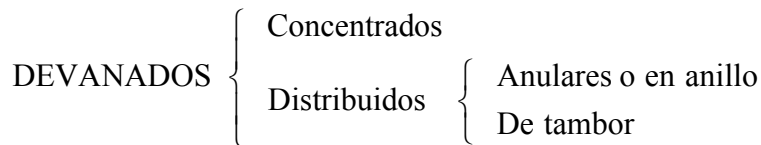


Fig. 9: Corte de una máquina cuyo inductor está en el estator y es de polos salientes.

En los transformadores también se utilizan devanados de este tipo, aunque con algunas peculiaridades específicas.

- En los demás casos, el núcleo magnético sobre el que se coloca el bobinado es cilíndrico y se utilizan devanados *distribuidos*. Esto da lugar a que las espiras de una fase correspondientes a un mismo polo no estén sometidas a los mismos flujos magnéticos.

Estos devanados están alojados en ranuras del núcleo magnético practicadas al efecto en la superficie cilíndrica que está frente al entrehierro y pueden ser de dos tipos: anulares y de tambor.



En los **devanados anulares o en anillo** (Fig. 10) las espiras se arrollan sobre el anillo que constituye el núcleo magnético. En este tipo de devanado cada espira sólo tiene un lado activo, es decir, un lado que corta líneas de campo magnético cuando gira la máquina.

En los **devanados de tambor** (Fig. 11) cada espira tiene dos lados activos situados en sendas ranuras, obteniéndose un mejor aprovechamiento del cobre respecto a los bobinados de anillo.

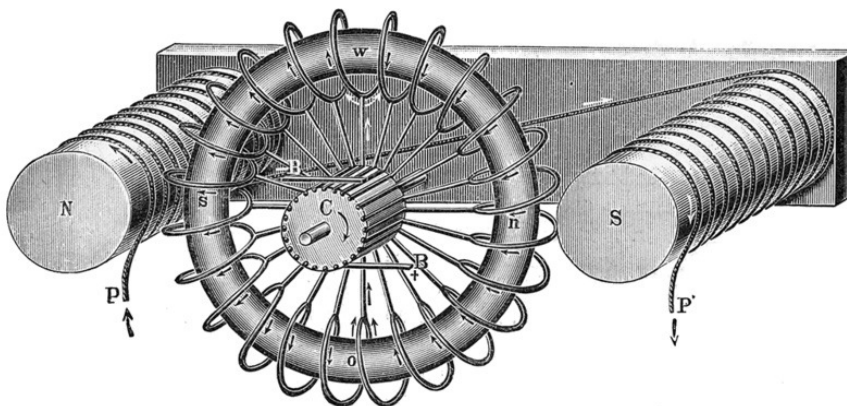


Fig. 10: Representación esquemática de una máquina de c.c. con devanado anular en el inducido (Fuente: Wikimedia Commons: "Bibliothek allgemeinen und praktischen Wissens für Militäranwärter Band III, 1905").



Fig. 11: Devanado de tambor alojado en las ranuras del estator de una máquina síncrona.

Los devanados anulares fueron los que se emplearon en un principio, pero hoy en día están totalmente en desuso y sólo se utilizan los de tambor.

Devanados de tambor. Definiciones

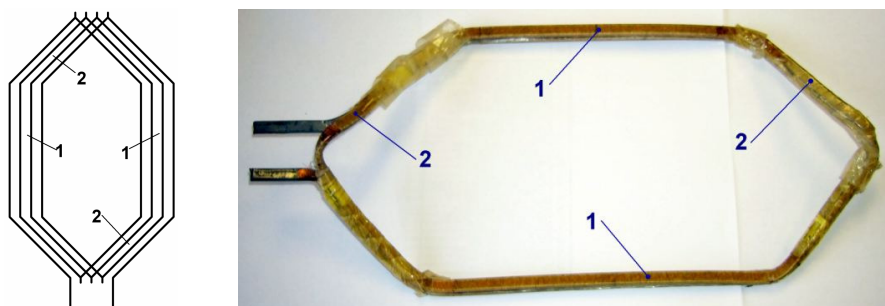


Fig. 12: Bobinas. 1: Lados o haces activos; 2: Cabezas de bobina.

- Un conjunto de una o varias espiras iguales, alojadas en las mismas ranuras, conectadas en serie y aisladas juntas formando una unidad constituyen una **bobina** (Fig. 12).

Las dos zonas de una bobina que están colocadas dentro de ranuras son sus *lados o haces activos*. Las uniones entre los dos lados de una bobina, las cuáles sobresalen del entrehierro por sus dos costados y no están ubicadas en ranuras, son las *cabezas de bobina*. Una bobina de varias espiras tiene, pues, dos lados activos y dos cabezas (Fig. 12).

- Se denomina **paso de bobina** a la distancia que hay entre los dos lados de una bobina. Una bobina es de *paso diametral* si su paso es igual al paso polar, de *paso acortado* si su paso es inferior al paso polar y de *paso alargado* si su paso es superior al paso polar.
- Los **devanados abiertos** (Figs. 13 y 14) están formados por una o varias *fases*, cada una de las cuales tiene un principio y un final. Estos devanados se utilizan en las máquinas de corriente alterna, excepto en el inducido de las máquinas con colector de delgas.

CONSTITUCIÓN DE LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS

Los **devanados cerrados** se emplean en las máquinas con colector de delgas (Fig. 19b), tanto de c.c. como de c.a., no tienen extremos libres y el conjunto de las bobinas forma uno o varios circuitos cerrados. La corriente se saca al exterior mediante tomas intermedias que se conectan a las delgas del colector. El bobinado en anillo de la Fig. 10 es un ejemplo de devanado cerrado.

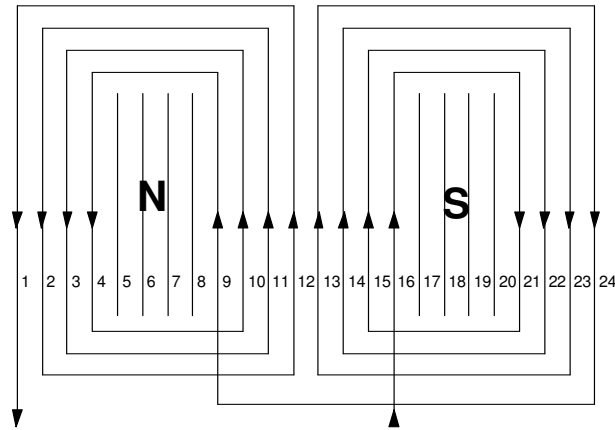


Fig. 13: Bobinado monofásico concéntrico de 2 polos.

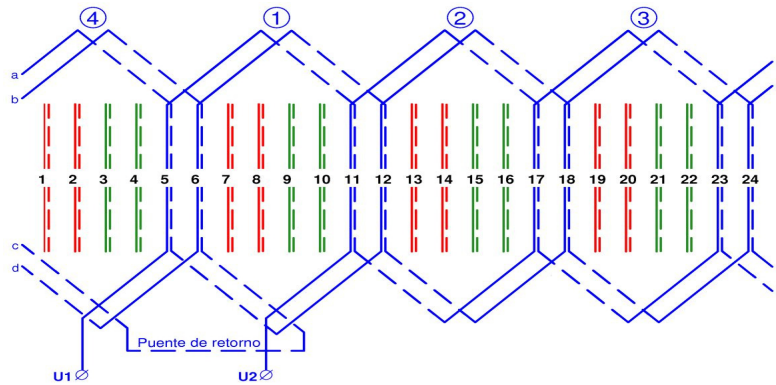


Fig. 14a: Devanado trifásico ondulado de 4 polos. Se ha dibujado sólo una de las fases.

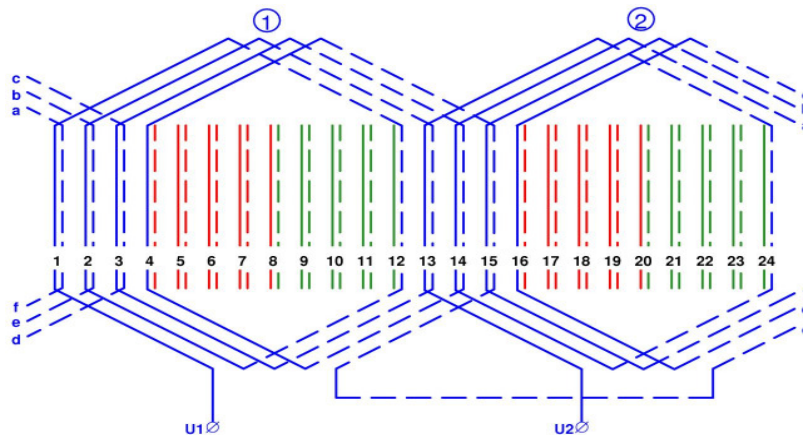


Fig. 14b: Devanado trifásico imbricado de 2 polos. Se ha dibujado sólo una de las fases.

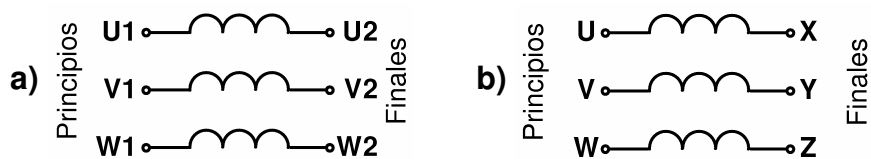


Fig. 15: Denominación de los extremos de las fases de un devanado trifásico: a) denominación actual (UNE EN 60034-8); b) denominación antigua.

PRINCIPIO DE REVERSIBILIDAD

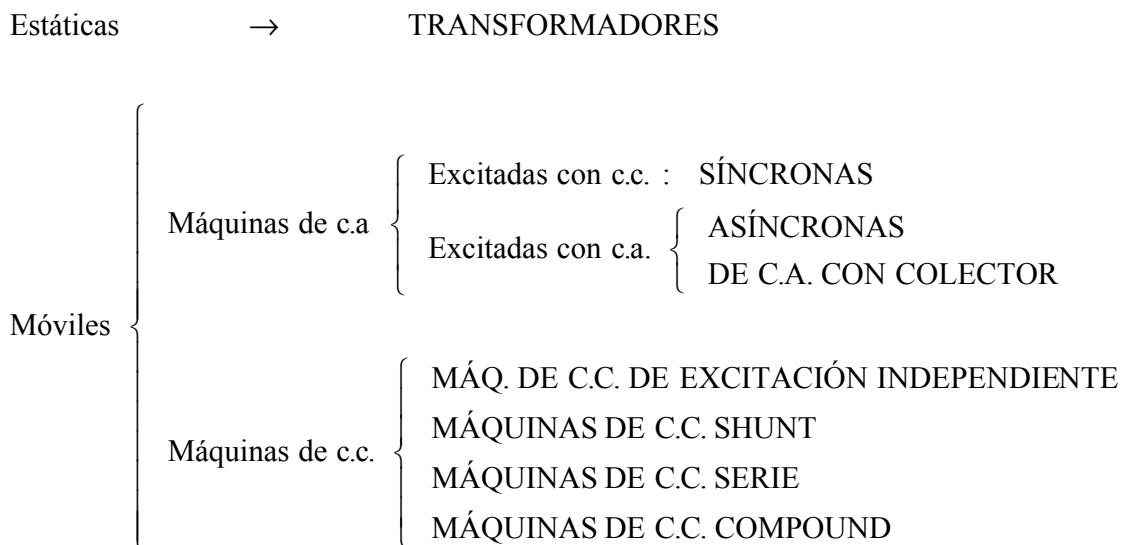
- Este principio señala que todas las máquinas eléctricas son reversibles, es decir, pueden actuar tanto como generador como motor. Esta es una de sus ventajas que permite, por ejemplo, que una máquina eléctrica que usualmente trabaja como motor pueda, en un momento dado, actuar como freno. Para ello basta con que pase a funcionar como generador transformando la energía cinética del sistema en energía eléctrica que, además, puede recuperarse devolviéndola a la red.
- Cuando una máquina trabaja como motor transforma energía eléctrica en mecánica. Por consiguiente, debe generar una fuerza contraelectromotriz, opuesta a la tensión de red, para así captar energía eléctrica y originar un par motor en su eje.

Cuando una máquina actúa como generador transforma energía mecánica en eléctrica. En este caso debe “robar” la energía mecánica que le proporciona un motor externo (un motor Diesel, una turbina de gas, de vapor, etc.) frenándolo. Es decir, en el eje de un generador aparecerá un par de frenado opuesto al par motor externo. Por otra parte, el generador producirá una f.e.m. del mismo sentido que la tensión de la red para suministrar energía eléctrica a dicha red.

LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS CLÁSICAS: CLASIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS BÁSICAS

Clasificación

- Las máquinas eléctricas se pueden clasificar en estáticas y móviles y de acuerdo con el tipo de corriente que circula por sus devanados:



Transformadores

- Los transformadores son máquinas estáticas de corriente alterna con dos devanados. El devanado inductor recibe el nombre de *primario* y el devanado inducido se llama *secundario*. Ambos devanados están arrollados sobre un núcleo magnético sin entrehierros construido a base de apilar chapas magnéticas.

Al conectar una tensión alterna V_1 al primario, circula una corriente por él que genera un flujo alterno en el núcleo magnético. Este flujo magnético, en virtud de la Ley de Faraday, induce una f.e.m. en el devanado secundario, lo que da lugar a que haya una tensión V_2 en bornes de este bobinado. De esta manera se consigue transformar una tensión alterna de valor eficaz V_1 en otra de valor eficaz V_2 y de la misma frecuencia.



Fig. 16: Transformador trifásico.

En la siguiente tabla se resumen las principales características de los devanados de los transformadores:

TRANSFORMADORES		
<i>Devanado</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Tipo</i>
Inductor (Primario)	50 ó 60 Hz	Concentrado
Inducido (Secundario)	50 ó 60 Hz	Concentrado

Máquinas síncronas

- En las máquinas síncronas (Figs. 1b, 10, 27 y 28) el inductor está colocado usualmente en el rotor y se alimenta con corriente continua a través de un colector de dos anillos. El inducido está en el estator y es un devanado de corriente alterna. El núcleo magnético del estator se construye a base de apilar chapas magnéticas. Las máquinas síncronas rápidas tienen la configuración mostrada en la Fig. 7a y las lentas la mostrada en la Fig. 7b.

CONSTITUCIÓN DE LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS

Cuando la máquina síncrona actúa como alternador, una máquina motriz externa hace girar su rotor y con él gira el campo magnético inductor. Este campo está generado por una corriente continua, luego visto desde el rotor es un campo estático. Sin embargo, al girar el rotor las bobinas del estator “ven” un campo magnético móvil. Esto da lugar a que estas bobinas estén sometidas a un flujo magnético variable en el tiempo y se induzcan en ellas unas f.e.m.s alternas.

Cuando una máquina síncrona polifásica actúa como motor, su estator está recorrido por un sistema equilibrado de corrientes. Como se verá más adelante estas corrientes dan lugar a un campo magnético giratorio que, al interactuar con el campo magnético inductor, hace girar al rotor a su misma velocidad. La velocidad del campo giratorio se denomina *velocidad de sincronismo* y es la velocidad a la que gira la máquina. De ahí el nombre de síncronas de estas máquinas.

En la siguiente tabla se resumen las principales características de los devanados de las máquinas síncronas:

MÁQUINAS SÍNCRONAS			
<i>Devanado</i>	<i>Situación</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Tipo</i>
Inductor	Rotor	0 Hz (corriente continua)	a) Bobinas en ranuras (Rotor cilíndrico) b) Bobinas polares (Polos salientes)
Inducido	Estator	50 ó 60 Hz	Bobinas en ranuras

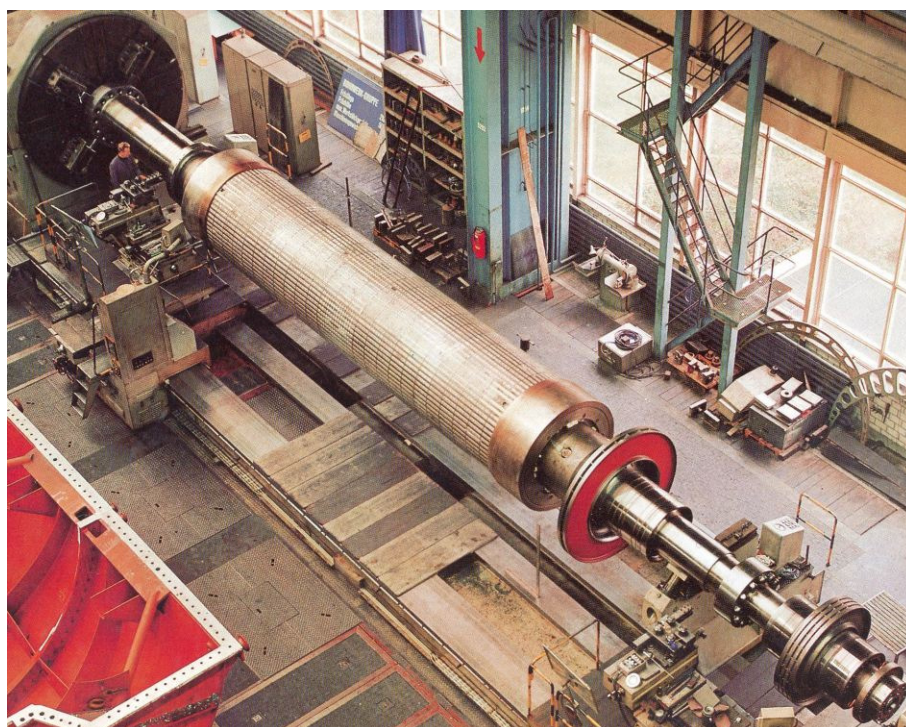


Fig. 17: Rotor cilíndrico de un turboalternador síncrono trifásico de 1500 KVA, 1800 r.p.m., 60 Hz (Fuente: Revista ABB. n° 1, 1992).



Fig. 18: Hidroalternador síncrono trifásico de la central de Itaipú de 824 MVA, 90 r.p.m., 60 Hz (Fuente: Revista ABB, n° 1, 1992).

Máquinas asíncronas o de inducción

- Las máquinas asíncronas o de inducción tienen la configuración mostrada en la Fig. 7a. En estas máquinas los devanados del estator y del rotor son de corriente alterna, estando este último conectado en cortocircuito (Figs. 1a y 2). Los núcleos magnéticos del estator y del rotor se construyen a base de apilar chapas magnéticas.

En esta máquina el bobinado del estator está recorrido por un sistema equilibrado de corrientes que da lugar a un campo magnético giratorio, al igual que en las máquinas síncronas. Si el rotor gira a una velocidad diferente de la del campo magnético del estator, sus bobinas están sometidas a la acción de un flujo magnético variable y se inducen f.e.m.s en ellas. El devanado del rotor está en cortocircuito, luego estas f.e.m.s producen la circulación de corrientes en el rotor que, al interactuar con el campo magnético del estator, originan un par en el eje de la máquina. Por la Ley de Lenz, las f.e.m.s inducidas en el rotor son tales que originan corrientes que dan lugar a un par que trata de reducir las variaciones de flujo magnético en el devanado del rotor. Por lo tanto, el par que actúa sobre el eje trata de que el rotor alcance la misma velocidad que el campo magnético giratorio; pero sin conseguirlo nunca, ya que entonces no habría corrientes en el rotor ni, por consiguiente, par en el eje de la máquina.

CONSTITUCIÓN DE LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS

La velocidad de estas máquinas es, pues, ligeramente distinta de la de sincronismo, de ahí su nombre de asíncronas. Por otra parte, las corrientes que circulan por el rotor aparecen por inducción electromagnética, de ahí su otro nombre de máquinas de inducción.

Cuando la máquina actúa como motor, su funcionamiento más habitual, la velocidad del rotor es inferior a la de sincronismo y se genera un par motor.

Para que esta máquina actúe como generador es preciso moverla con una máquina motriz externa de forma que su velocidad supere a la de sincronismo. En este caso aparece un par de frenado en su eje.

En la siguiente tabla se resumen las principales características de los devanados de las máquinas asíncronas:

MÁQUINAS ASÍNCRONAS O DE INDUCCIÓN			
<i>Devanado</i>	<i>Situación</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Tipo</i>
Inductor (Primario)	Estator	50 ó 60 Hz	Bobinas en ranuras
Inducido (Secundario)	Rotor	0,5-5 Hz	a) Jaula de ardilla b) Bobinas en ranuras

Máquinas de corriente continua

- Las máquinas de c.c. tienen la configuración mostrada en la Fig. 8. El inductor está en el estator, que es de polos salientes, y el inducido está en el rotor. Ambos devanados se conectan a tensiones continuas, pero el devanado inducido recibe su tensión a través de un colector de delgas, por lo que la corriente que circula por él es alterna. En estas máquinas el núcleo magnético rotórico se construye apilando chapas magnéticas.

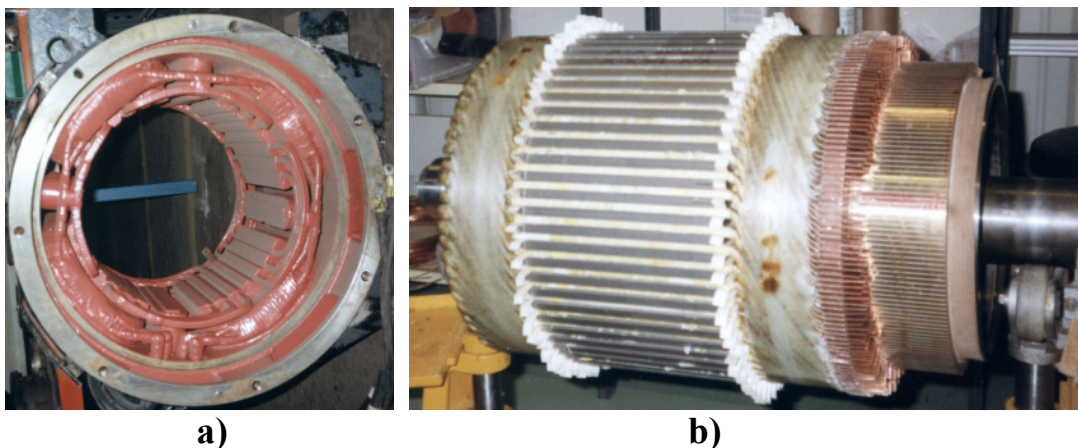


Fig. 19: a) Estator y b) rotor de una máquina de c.c. durante su proceso de fabricación.

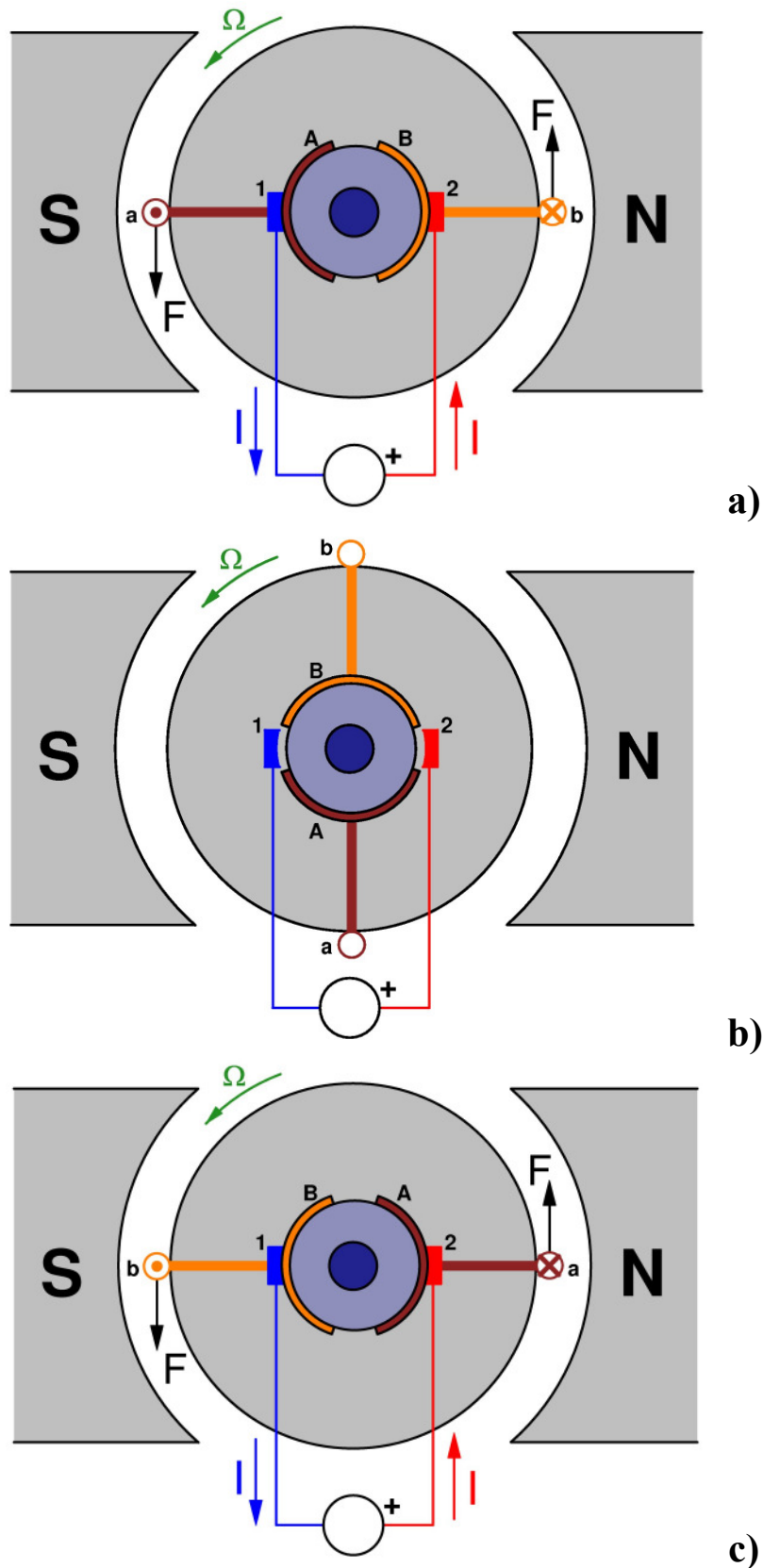


Fig. 20: Principio de funcionamiento de un motor de c.c. bipolar elemental con una sola bobina y dos delgas. (1, 2: Escobillas; A, B: Delgas; a, b: Lados de la bobina unidos respectivamente a las delgas A y B). En las figuras a), b) y c) se representan 3 instantes del giro del motor. Entre cada una de estas figuras la máquina ha girado 90°.

CONSTITUCIÓN DE LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS

Su principio de funcionamiento es similar al de las máquinas síncronas. Cuando actúa como generador, en el inducido se generan corrientes alternas que son rectificadas por el colector de delgas, por lo que se suministra tensión continua al exterior. Cuando actúa como motor la interacción del campo magnético inductor con las corrientes alternas que circulan por el devanado del rotor produce el giro de éste.

Existen distintas variantes de máquinas de corriente continua según cómo estén conectados los devanados inductor e inducido, lo que da lugar a máquinas de diferentes características. En las máquinas de *excitación independiente* estos devanados están conectados a sendas fuentes de tensión continua independientes. En las máquinas *serie* estos devanados se conectan en serie a una sola fuente de tensión y en las máquinas *shunt* ambos devanados están conectados en paralelo. Las máquinas *compound* tienen dos bobinados inductores; uno se conecta en serie y el otro en paralelo con el inducido.

En la siguiente tabla se resumen las principales características de los devanados de las máquinas de corriente continua:

MÁQUINAS DE CORRIENTE CONTINUA			
<i>Devanado</i>	<i>Situación</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Tipo</i>
Inductor	Estator	0 Hz (corriente continua)	Bobinas polares
Inducido	Rotor	$f = \frac{p n}{60}$ en bobinas $f = 0$ Hz en bornes	Bobinas en ranuras conectadas en sus extremos a un colector de delgas

Máquinas de corriente alterna de colector

- Las máquinas de c.a. de colector se basan en el mismo principio que las máquinas de corriente continua y constructivamente son muy similares a las máquinas de corriente continua con excitación serie; aunque, a veces, el estator es cilíndrico en lugar de tener polos salientes y ambas partes, estator y rotor, tienen sus circuitos magnéticos contruidos apilando chapas magnéticas (pues ambas están sometidas a flujos magnéticos variables en el tiempo).

En efecto, si en una máquina de corriente continua se invierte simultáneamente la polaridad de la corriente en los devanados inductor e inducido, cambian a la vez los signos del campo magnético inductor y de las corrientes del inducido. Por lo tanto, el par -que es proporcional al producto de estas dos magnitudes- no cambia de signo y la máquina sigue funcionando igualmente. Luego, se puede aplicar el principio de funcionamiento de las máquinas de corriente continua a estas máquinas alimentadas con corriente alterna.

CONSTITUCIÓN DE LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS

En la siguiente tabla se resumen las principales características de los devanados de las máquinas de corriente alterna de colector:

MÁQUINAS DE CORRIENTE ALTERNA DE COLECTOR			
<i>Devanado</i>	<i>Situación</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Tipo</i>
Inductor	Estator	50 ó 60 Hz	a) Bobinas polares b) Bobinas en ranuras
Inducido	Rotor	$f \neq 50$ ó 60 Hz en bobinas $f = 50$ ó 60 Hz en bornes	Bobinas en ranuras conectadas en sus extremos a un colector de delgas