

TEMA III: MÁQUINA DE CORRIENTE CONTINUA

Tema III: MÁQUINA CORRIENTE CONTINUA

PRINCIPIOS GENERALES

Introducción

El desarrollo de la máquina de c.c. se centra en la búsqueda de procedimientos que transforman la c.a. inducida en una espira, al girar dentro de un campo magnético, en corriente continua.

La ventaja fundamental de los motores de c.c. frente a los motores de c.a. ha sido su mayor grado de flexibilidad para el control de la velocidad y el par. Sin embargo, debido al desarrollo de la electrónica de potencia, su aplicación se ha reducido en pro de los motores de c.a., cuyo coste de fabricación y mantenimiento es más reducido.



[Ver vídeo de MAXON MOTOR](#)

<http://www.youtube.com/watch?v=VwrfCAI8fG4>

<http://www.maxonmotor.com/maxon/view/content/DCX-Detailsite>



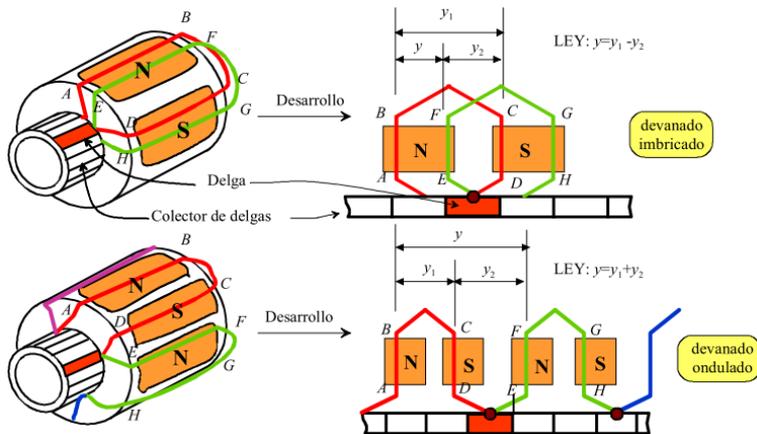
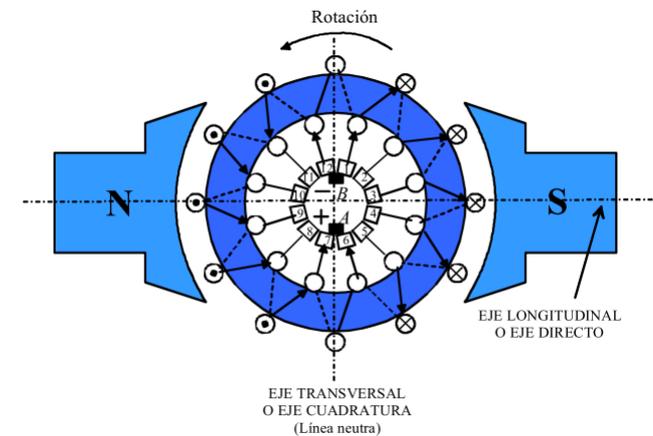
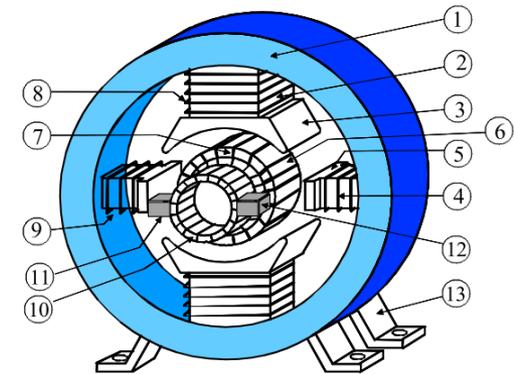
[How it works? Video de DC motor: https://www.youtube.com/watch?v=LAtPHANefQo](https://www.youtube.com/watch?v=LAtPHANefQo)

Aspectos constructivos

El estator es la parte fija al que se fijan los polos. Para mejorar la conmutación existen los polos auxiliares o de conmutación, el devanado de estos polos se conectan en serie con el inducido.

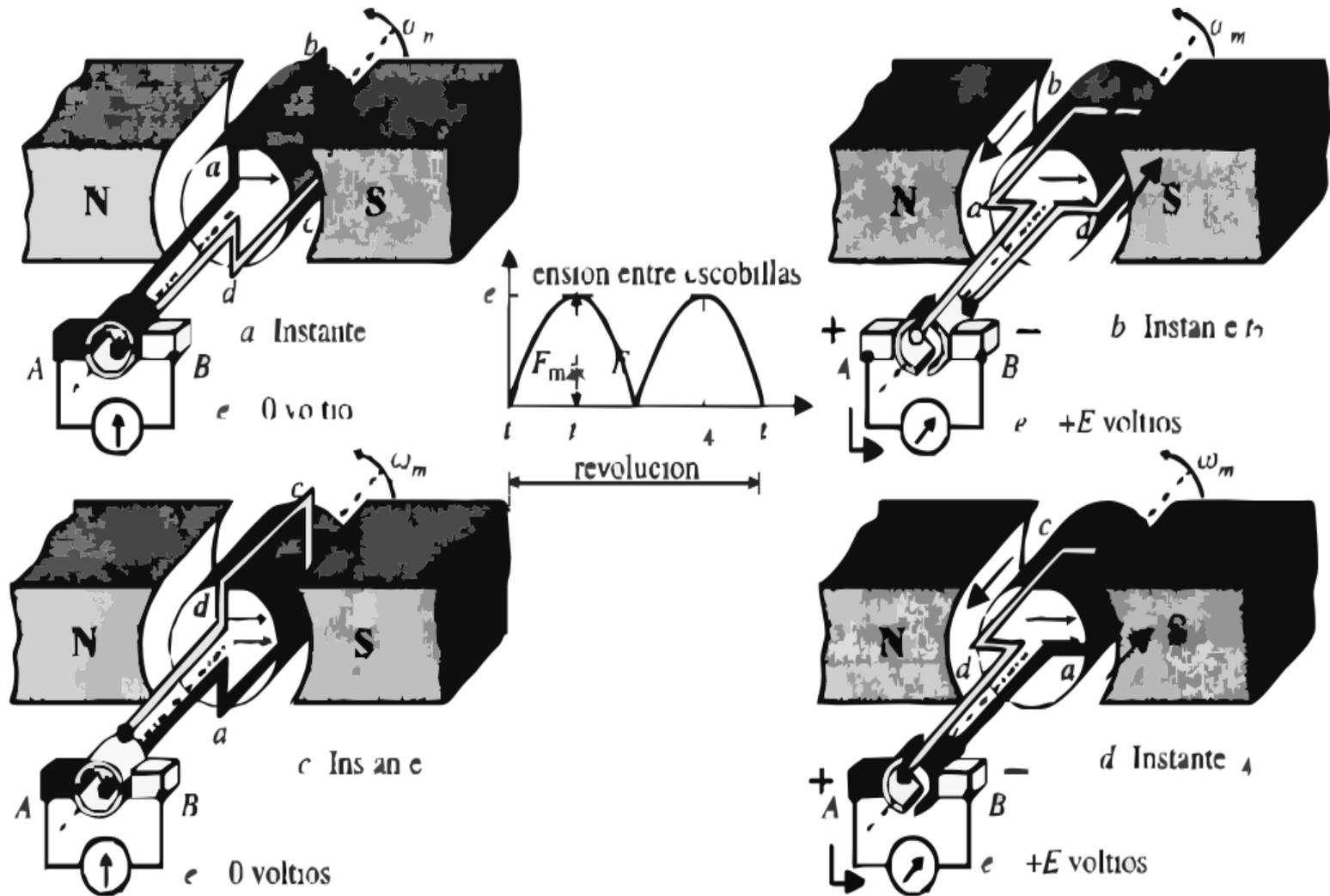
El rotor está formado por el inducido y el colector de delgas (conmutador). El conjunto de cilindro formado por delgas es a lo que se llama colector. Las delgas están aisladas entre sí y del cubo del colector.

Para extraer o suministrar corriente al colector se utilizan escobillas de grafito.



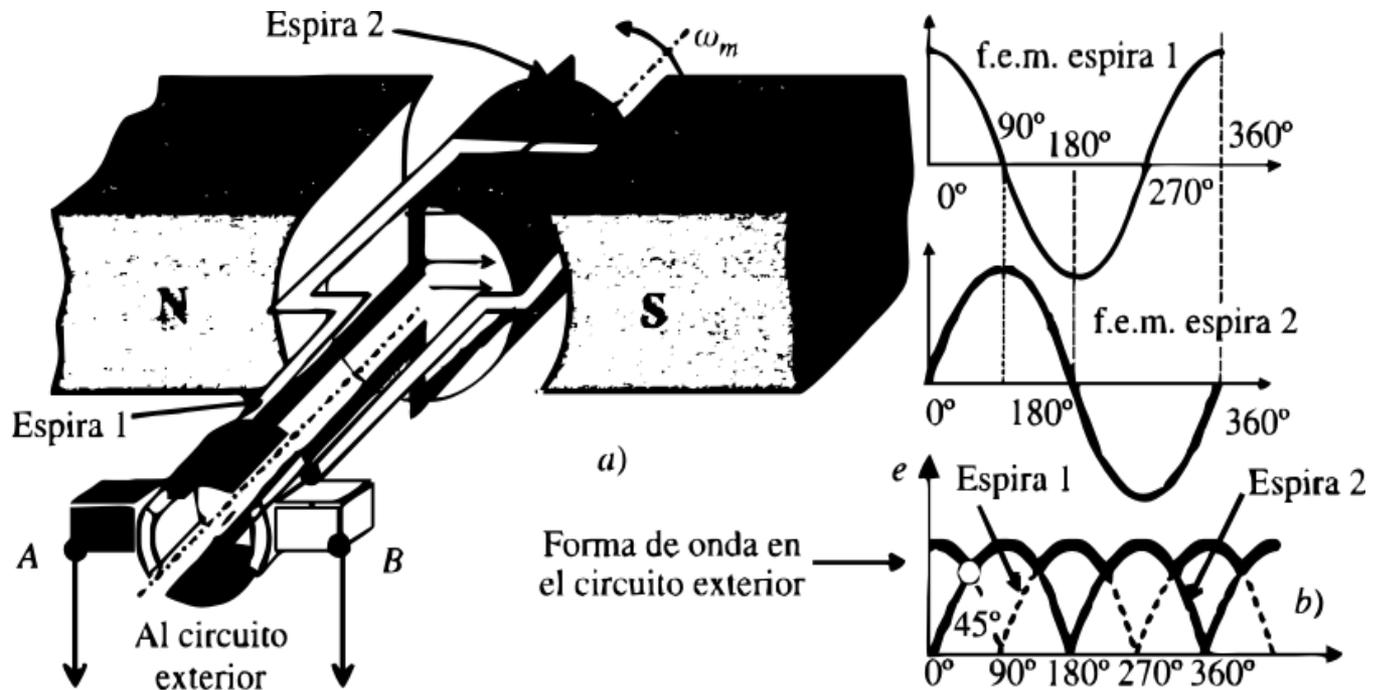
Los devanados son cerrados (sin principio ni fin). Los devanados pueden ser imbricados o ondulado. La diferencia se ve en la figura

Funcionamiento del colector



Funcionamiento del colector

Con el colector una señal de c.a. en el inducido se transforma en unidimensional c.c. en el circuito exterior.



En las máquinas reales, con el fin de que las ondulaciones de la f.e.m. se reduzcan aún más y de que la diferencia de potencial entre las delgas no llegue a ser tan alta que produzca chispas en el colector, se procura que el número de delgas sea relativamente grande.

Tema III: MÁQUINA CORRIENTE CONTINUA

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Funcionamiento como generador

El nombre de máquinas de c.c. se debe a que el valor de la frecuencia de la carga es $f_L=0$, lo cual se consigue por la acción rectificadora del colector.

El inductor (devanado de excitación) que está en los polos del estator es alimentado con c.c.

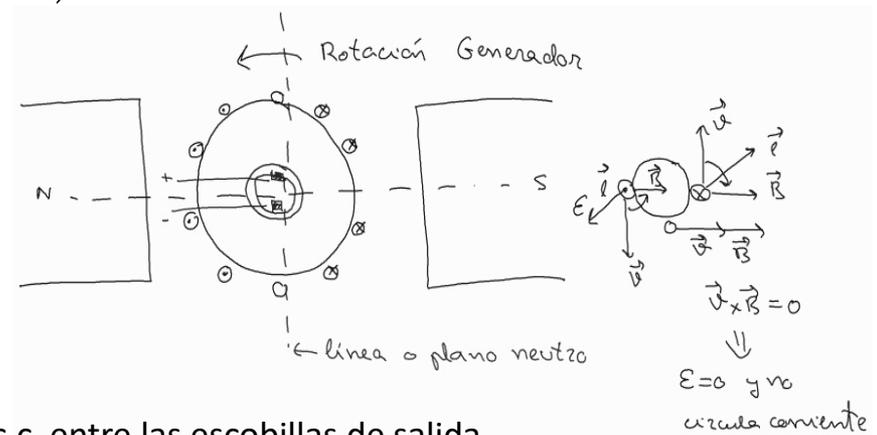
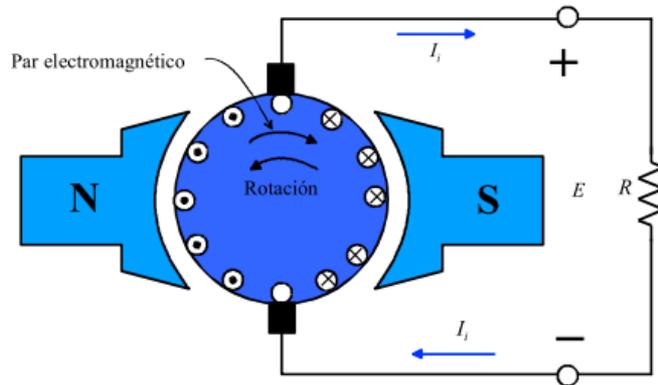
a) **En régimen generador (dinamo):**

- Se suministra energía de rotación al eje y
- Se aplica c.c. a la excitación (inductor).

Cuando el rotor gira en los conductores se induce una f.e.m. alterna de frecuencia $f_2 = \frac{np}{60}$

Según la ley de Faraday para conductores en movimiento en un campo magnético uniforme la f.e.m. inducida es

$$\varepsilon = \vec{l} \bullet (\vec{v} \times \vec{B})$$



Debido a la acción rectificadora del colector se obtiene una c.c. entre las escobillas de salida.

Las escobillas están en la línea neutra porque en esa posición los conductores tienen $\varepsilon=0$ y por lo tanto en la conmutación de una delga a la siguiente no aparecen chispas (arcos eléctricos).

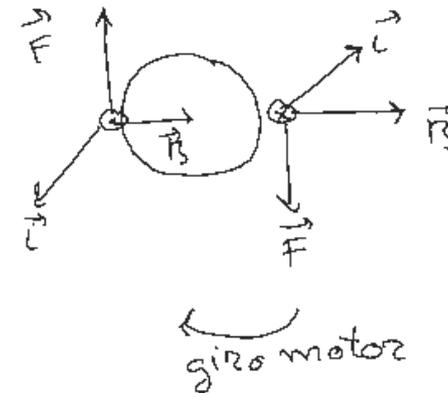
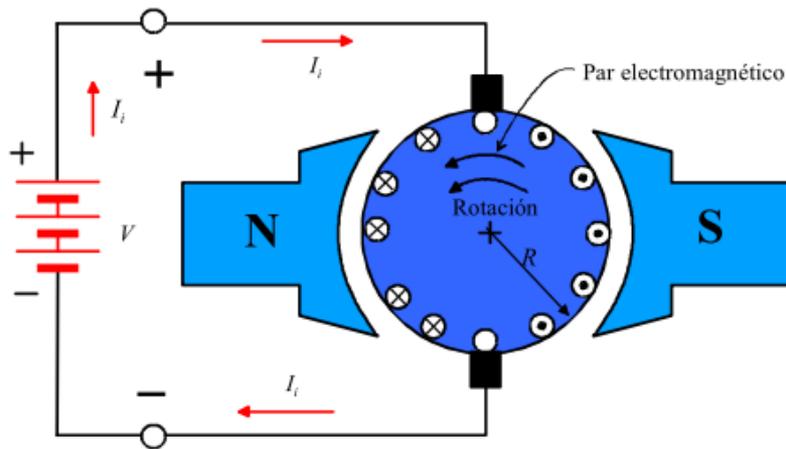
Funcionamiento como motor

b) En régimen motor:

Se suministra c.c. al inducir y a las escobillas del inducido.

Si se circular corriente por los conductores y como están en el seno de un campo magnético, sobre ellos se ejercerá una fuerza que dará lugar a un par de giro.

$$\vec{F} = l \bullet \vec{i} \times \vec{B}$$



Tema III: MÁQUINA CORRIENTE CONTINUA

REACCIÓN DEL INDUCIDO

Reacción del inducido

Cuando una máquina de c.c. funciona en vacío (como generador) no existe corriente en el Inducido y el flujo en el entrehierro está producido por la f.m.m. del inductor.

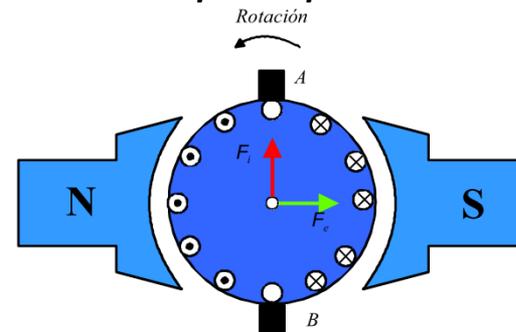
Cuando se cierra el circuito del inducido aparece una corriente por los conductores del rotor y produce una f.m.m. del inducido, que se combina con la del estator para producir el flujo resultante.

Se llama reacción del inducido al efecto que ejerce la f.m.m. del rotor sobre la f.m.m. del inductor, y que hace variar la forma y magnitud del flujo en el entrehierro.

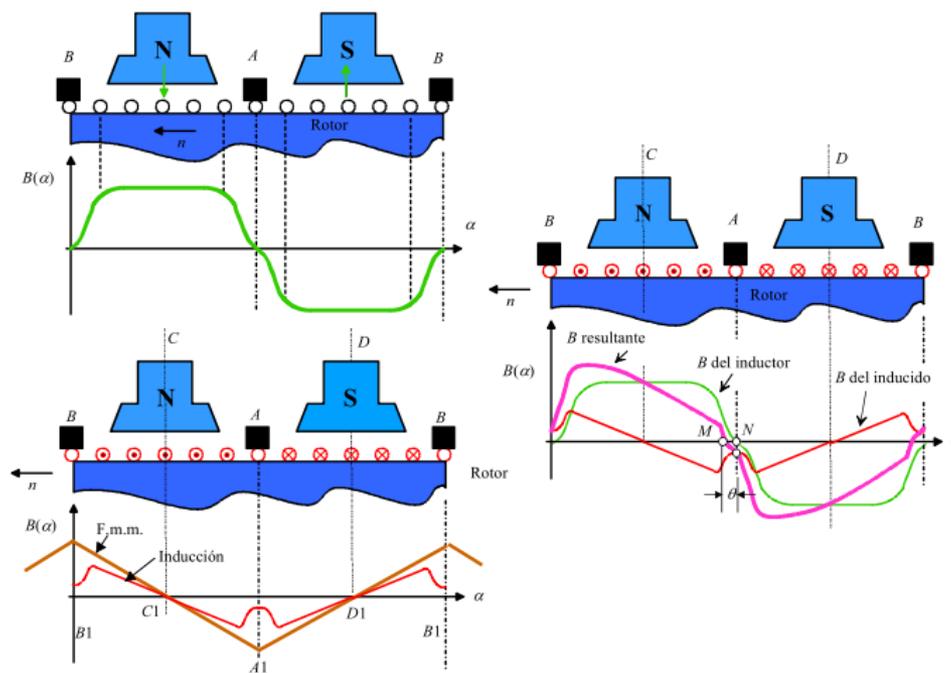
Una consecuencia es el desplazamiento que sufre la línea neutra:

- Cuando la máquina trabaja en vacío, la línea neutra magnética coincide con la línea neutra geométrica (o media entre polos)
- Cuando circula corriente por el inducido y estando funcionando la máquina como generador, la línea neutra magnética se adelanta respecto del sentido de giro del rotor. En el motor se retrasa.

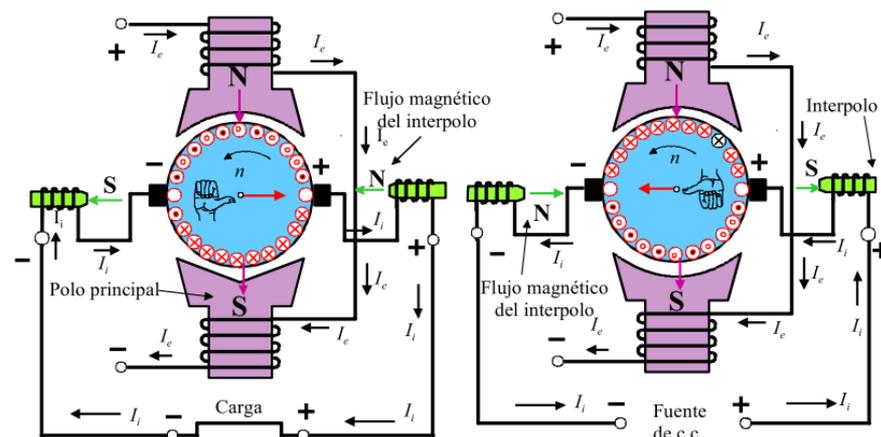
Este desplazamiento de la línea neutra magnética lleva consigo un fuerte chisporroteo en el colector, ya que durante la conmutación la escobilla correspondiente pondrá en cortocircuito una sección del devanado en el cual se induce una cierta f.e.m. por existir flujo en esa zona. Por tanto, ***para evitarlo habrá que desplazar las escobillas hasta encontrar la línea neutra real.***



Reacción del inducido



En la mayoría de las máquinas de c.c. para eliminar el desplazamiento de la línea neutra con las variaciones de carga y asegurar una mejor conmutación, se emplean los llamados polos auxiliares o polos de conmutación, que son pequeños núcleos magnéticos que se colocan en la línea neutra teórica, que van provistos de un devanado que se conecta en serie con el inducido, y que producen un campo magnético opuesto al de la reacción transversal (del rotor).



Tema III: MÁQUINA CORRIENTE CONTINUA

CONMUTACIÓN

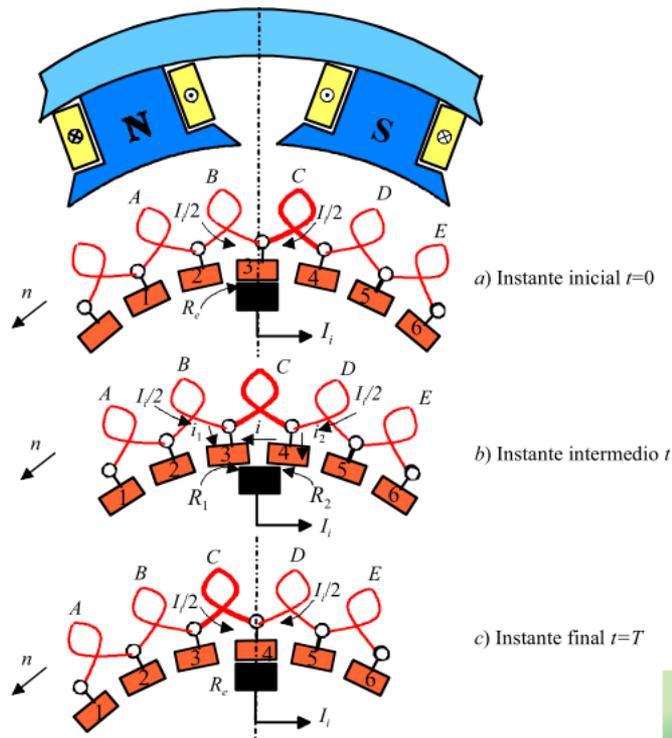
Conmutación

Se entiende por conmutación el conjunto de fenómenos vinculados con la variación de corriente en las espiras del inducido al pasar éstas por la zona donde se las cierra en cortocircuito por las escobillas colocadas en el colector. Una buena conmutación debe realizarse sin la formación de chispas en el colector, mientras que una mala conmutación, concurrente con la formación de chispas, produce, para un trabajo prolongado de la máquina un deterioro notable de la superficie del colector que perturba el buen funcionamiento de la máquina.

El chisporroteo entre las escobillas y el colector obedece a causas mecánicas y eléctricas:

1- Entre las primeras figuran: defectuoso ajuste de las escobillas con el colector, resalte de algunas delgas, insuficiente equilibrado del rotor, etc.

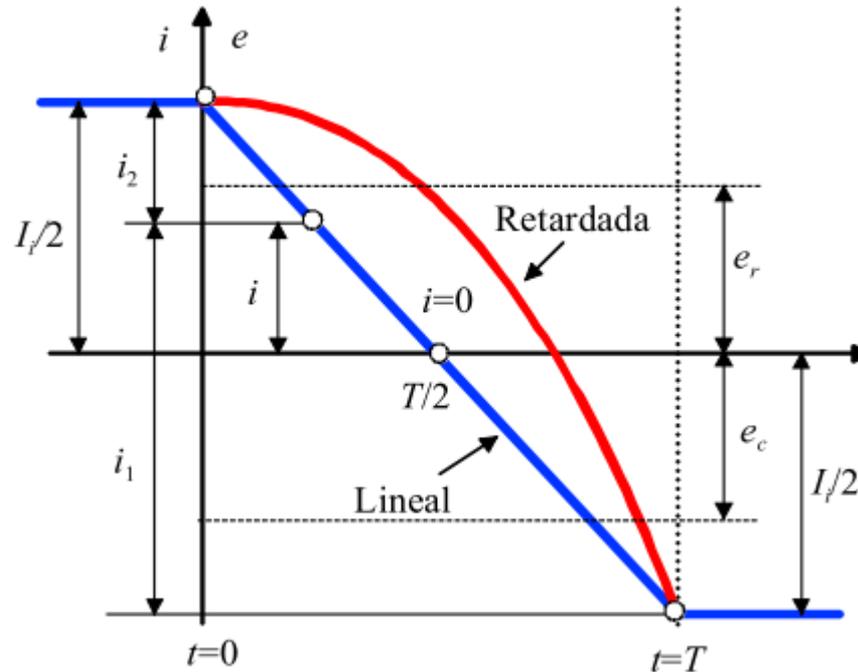
2- la causa eléctrica fundamental del chisporroteo la constituye la elevación de la tensión entre delgas adyacentes del colector, que en especial, puede ser provocada por los fenómenos de autoinducción de las secciones del arrollamiento del inducido.



El paso de la posición b) a la c) produce unos arcos eléctricos.

Vemos en la figura, que en el instante inicial, representado por la posición a), la corriente I_i de salida de la escobilla se toma de la delga 3, la corriente en la sección C considerada es $I_i/2$ y tiene sentido de derecha a izquierda. En un instante intermedio, posición b), la sección C está pasando por la línea neutra y debe invertir su sentido, apareciendo el reparto de corrientes que se indica en la figura. El momento en que la corriente de la bobina es nula coincide precisamente con media duración de la conmutación. El final de la misma se obtiene cuando la escobilla deja de hacer contacto con la delga 3 (posición c), en cuyo instante la corriente en la sección C se ha invertido y vuelve a tomar el valor de partida $I_i/2$.

Conmutación

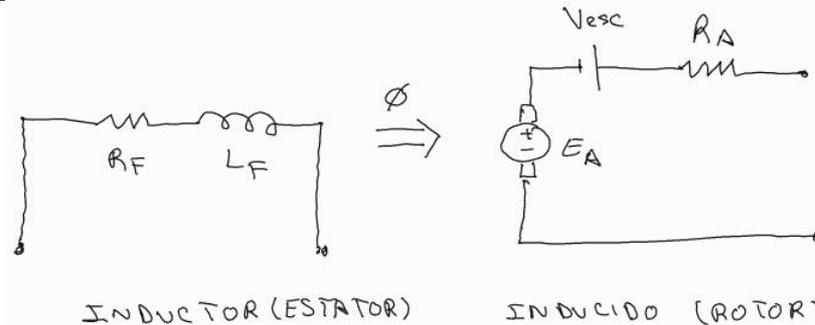


La f.e.m. reactiva e_r , en la sección conmutada por la variación de la corriente existente en la propia sección y en la adyacente (o adyacentes cuando las escobillas tienen contacto con dos o más delgas), se opone, según la ley de Lenz, a la causa que la produce y retardará el proceso de conmutación, lo que lleva consigo el que la corriente i pasará por cero en un tiempo superior al teórico $T/2$

Tema III: MÁQUINA CORRIENTE CONTINUA

CIRCUITO EQUIVALENTE

Circuito equivalente del estator (circuito de campo)



Circuito equivalente del estator (circuito de campo)

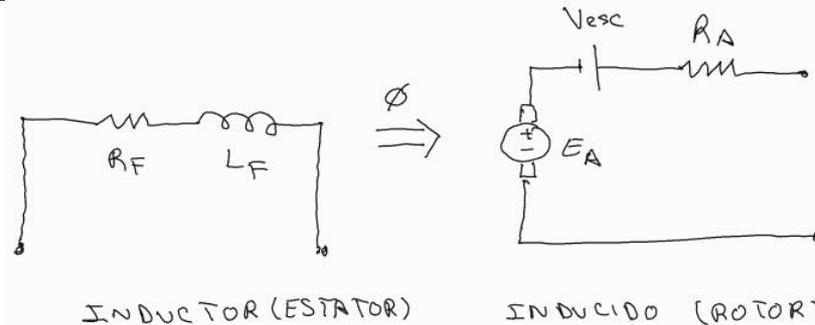
En el caso de que el estator sea de imanes permanentes, no tiene sentido hablar de circuito equivalente. Esos imanes permanentes crearán un flujo por polo Φ , que será el que aparecerá en el circuito equivalente del rotor y será un valor fijo marcado por los imanes permanentes utilizados.

En el caso más general de un estator consistente en un devanado arrollado sobre unos polos salientes, el circuito equivalente será, simplemente, el de una bobina (inductancia). Como toda inductancia real, su circuito equivalente será el de una inductancia L_e en serie con una resistencia parásita, que será la resistencia del hilo conductor con el que se ha bobinado para hacer el devanado.

El valor de la inductancia L_F es el que relaciona el flujo que se crea en una máquina para una corriente I_e del estator determinada.

$$\phi = L_F I_e$$

Circuito equivalente del estator (circuito de campo)



Circuito equivalente del estator (circuito de campo)

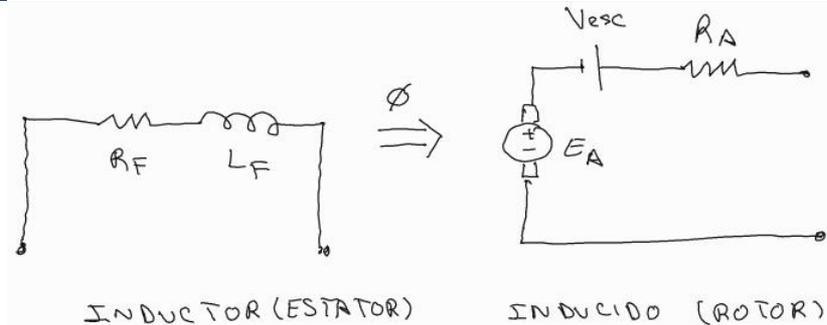
El valor de L_F es una constante en la zona de comportamiento lineal del material ferromagnético. A medida que nos acercamos a la zona de saturación, el campo B llega a una saturación con el incremento de la corriente I_e , lo que equivale a decir que L_F disminuye. Cuando se conecta una tensión de continua V_f al estator, empieza a aumentar la corriente hasta que se alcanza el régimen permanente en que

$$I_e = \frac{V_f}{R_F}$$

Mientras no se varíe la tensión o se añada alguna resistencia en serie con el estator, la corriente permanecerá constante y, por tanto, también el flujo y la energía magnética.

Las pérdidas en la resistencia R_F serán pérdidas por efecto Joule, y una vez llegado al régimen permanente, el gasto de energía de la fuente que alimenta al estator se va precisamente en esas pérdidas por efecto Joule.

Circuito equivalente del rotor (armadura)



Circuito equivalente del rotor (armadura).

El circuito equivalente del rotor tiene bobina real, una tensión que se induce en las espiras del inducido al estar girando dentro de un campo magnético, y una caída de tensión en las escobillas.

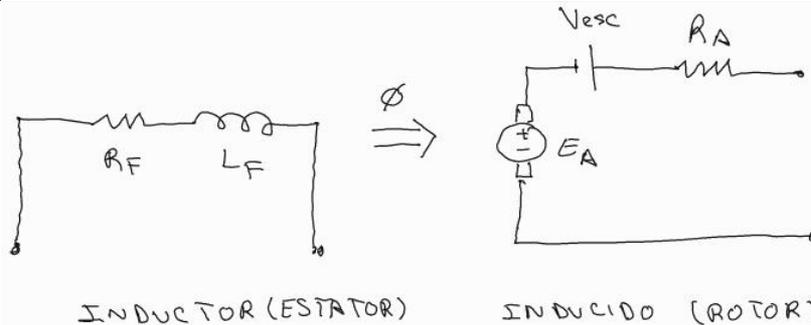
Como una espira está formada por dos barras, tenemos que la tensión inducida por la ley de Faraday es

$$E = 2Blv$$

En el conjunto de todas las espiras del devanado del inducido se inducirá una tensión que será proporcional a la que se induce en cada espira, y que depende de la velocidad de giro de la máquina, sus dimensiones y el valor del campo magnético. En general se puede poner la expresión

$$E_A = K_E n \phi$$

Circuito equivalente del rotor (armadura)



Circuito equivalente del rotor (armadura).

$$E_A = K_E n \phi$$

donde k_E es una constante que depende, entre otras cosas, del número de espiras, n son las revoluciones a las que gira la máquina, y Φ es el flujo por polo que atraviesa las espiras y depende del campo magnético y las dimensiones de la máquina.

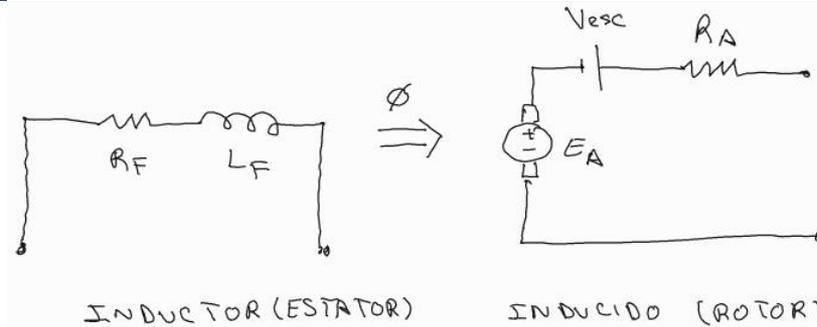
En el caso de un generador la E_A se denomina fuerza electromotriz y en el caso de un motor una fuerza contraelectromotriz.

Si una corriente de armadura fluye a través del sistema de escobillas y conmutador, esta corriente pasa a través de los conductores del rotor y se genera un par. Por la Ley de Ampere de la fuerza, este par generado es proporcional al flujo y a la corriente de armadura.

$$T_{gen} = K_T \phi I_a$$

Siendo K_T es una constante que depende del tamaño del rotor, del número de vueltas del rotor, y de los detalles de interconexión de estas vueltas.

Circuito equivalente del rotor (armadura)



Del circuito equivalente se tiene

Por lo que

$$V = R_a I_a + 2V_{es} + E_A$$

$$\underbrace{VI_a}_{\text{Palim}} = \underbrace{R_a I_a^2}_{\text{Pérdidas en Cu de armadura}} + \underbrace{2V_{es} I_a}_{\text{Pérdidas en escobillas}} + \underbrace{E_A I_a}_{\text{Potencia Generada}}$$

$P_{gen} = E I_a$ es la potencia que sale del circuito eléctrico como potencia mecánica. Por consiguiente, la ley de conservación de la energía demanda que la potencia generada sea

$$P_{gen} = \omega_m T_{gen} = E_A I_a \quad (\text{de esta relación se ve que } K_T = K_E)$$

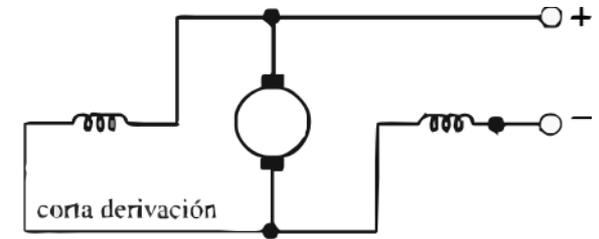
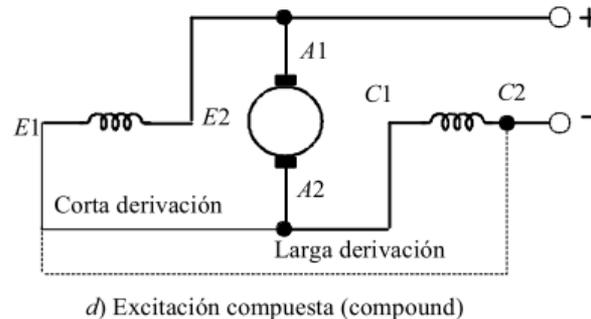
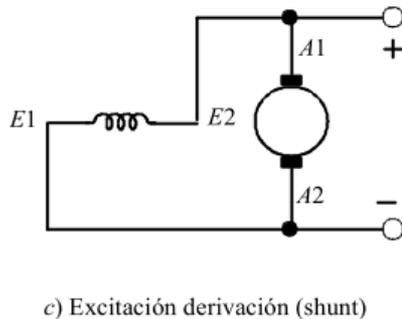
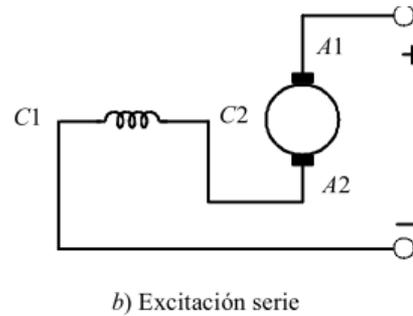
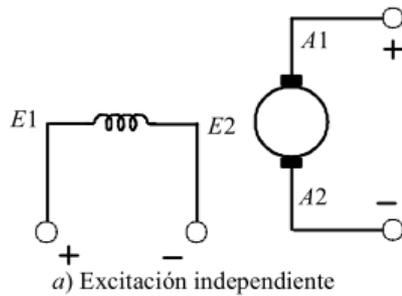
La potencia de salida P , será la potencia generada menos las pérdidas por rotación

$$P = P_{gen} - P_{rot}$$

Tema III: MÁQUINA CORRIENTE CONTINUA

EXCITACIÓN DE LAS MÁQUINAS CC

Tipos de excitación de las máquinas de C.C.



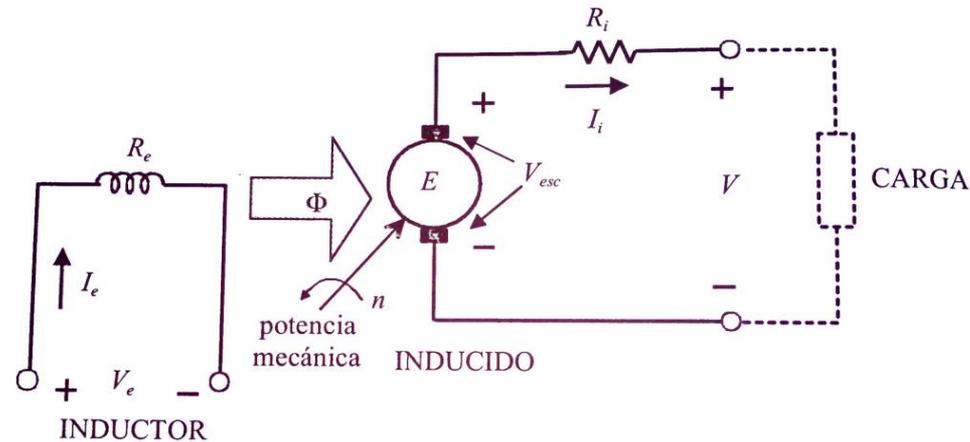
Máquinas autoexcitadas: se excita a si misma tomando la corriente inductora del propio inducido (caso de funcionamiento como generador) o de la misma red que alimenta el inducido (caso de trabajar como motor).

La autoexcitación se basa en el magnetismo remanente de los polos.

Tema III: MÁQUINA CORRIENTE CONTINUA

CARACTERÍSTICAS DEL GENERADOR

Características de un generador



Para determinar el proceso de **transformación de energía mecánica en eléctrica** se tienen las siguientes ecuaciones:

Inductor:

$$V_e = R_e I_e$$

Inducido:

$$E = V + R_i I_i + V_{esc}$$

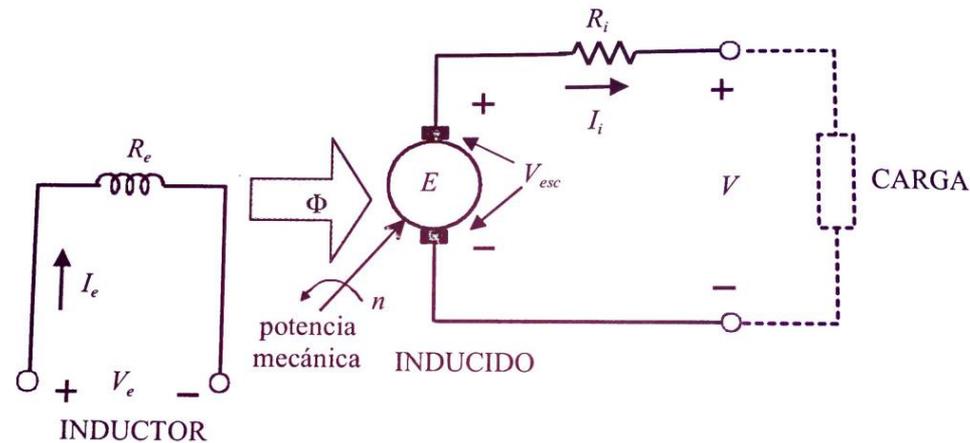
Siendo el balance de potencias en el inducido de una dinamo

$$E I_i = V I_i + R_i I_i^2 + V_{esc} I_i$$

$$P_a = P_2 + P_{Cui} + P_{esc}$$

Potencia electromagética desarrollada por la máquina = **Potencia eléctrica de salida suministrada por el generador** + Pérdidas en cobre del inducido + Pérdidas en los contactos de las escobillas

Características de un generador



Para determinar la **potencia mecánica de entrada** hay que sumar a la potencia electromagnética, P_a , las pérdidas siguientes:

$$P_1 = P_a + P_m + P_{Cue} + P_{Fe(rotor)}$$

Potencia mecánica de entrada

=

Potencia electromagnética desarrollada

+

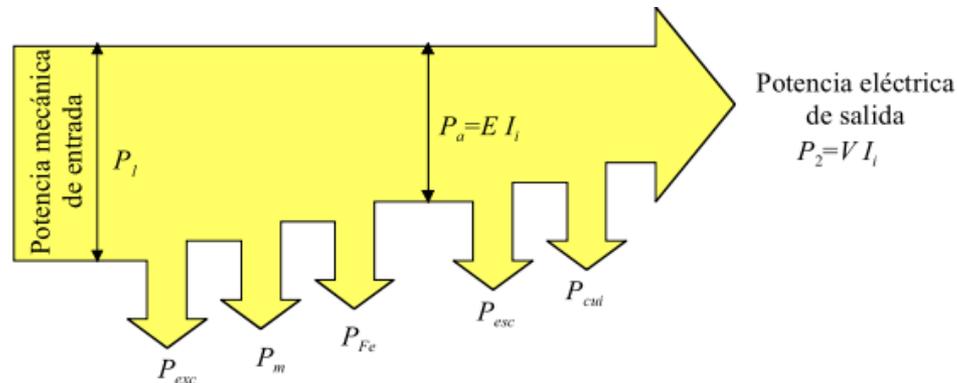
Pérdidas mecánicas

+

Pérdidas cobre del bobinado de excitación

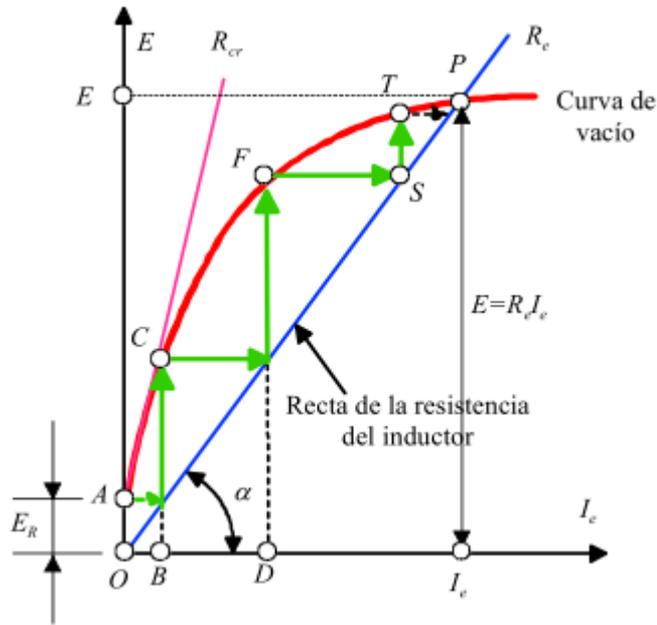
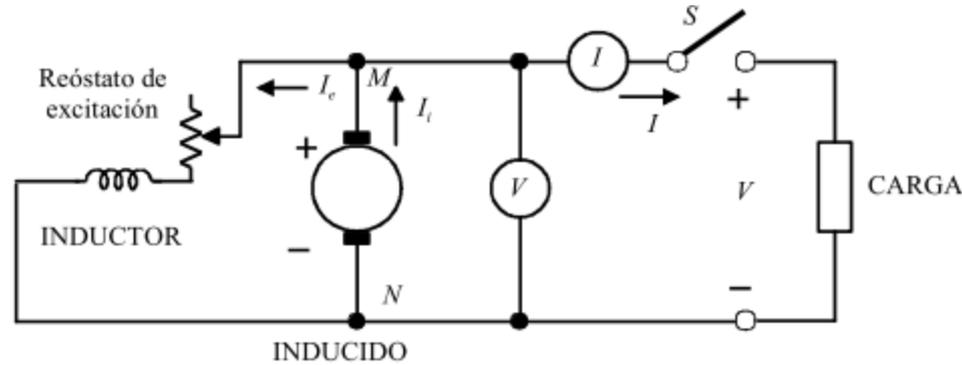
+

Pérdidas en el hierro del rotor

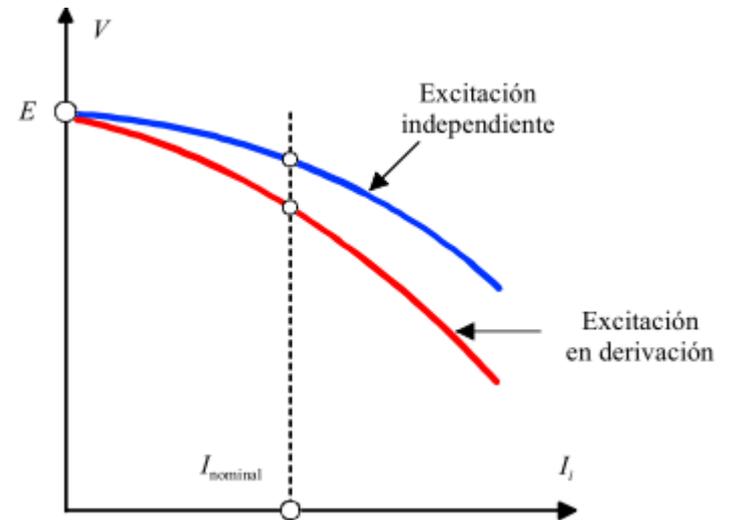


Las pérdidas del hierro es en el rotor pues es en el único que tiene magnetización cíclica por su movimiento

Características de un generador con excitación derivación



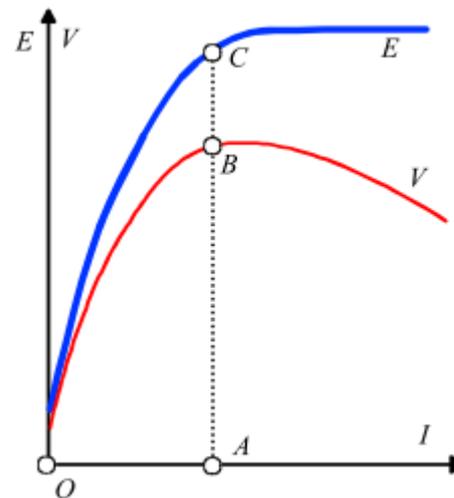
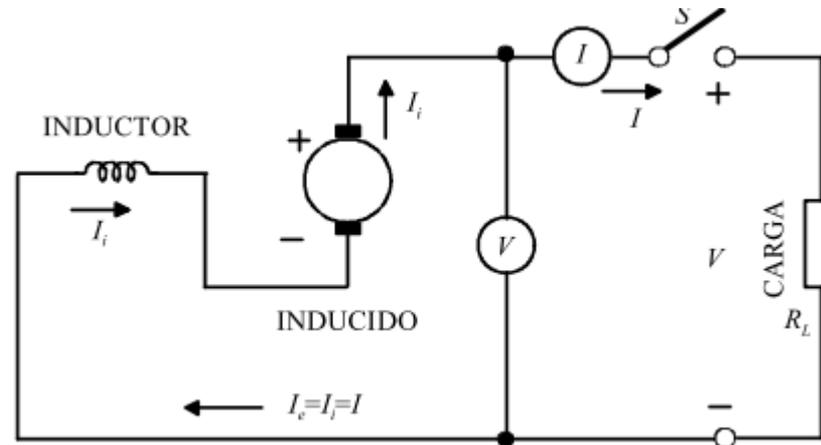
Característica de vacío



Característica externa

La diferencia se debe a la caída de tensión producida por las escobillas, resistencia del inducido y su reacción

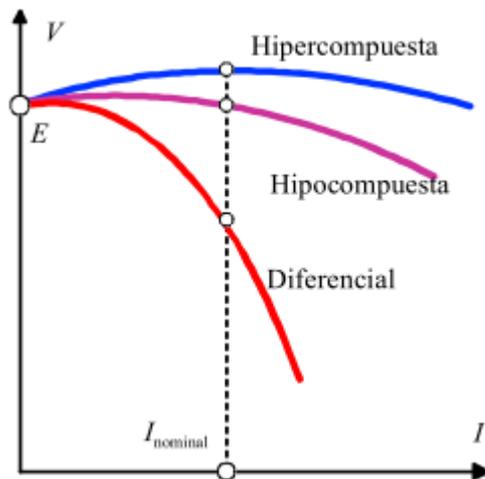
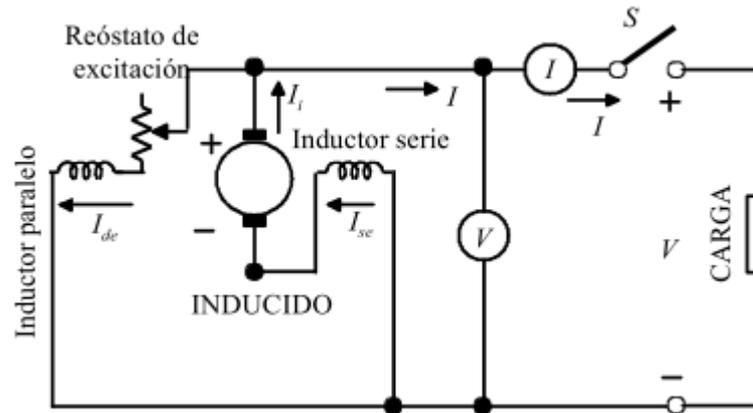
Características de un generador con excitación serie



Característica de vacío

Característica externa

Características de un generador con excitación compuesta



Característica externa

Generalmente las f.m.m.s. de los devanados serie y derivación suelen ser del mismo signo, es decir. Aditivas, pero puede realizarse una conexión sustractiva o diferencial.

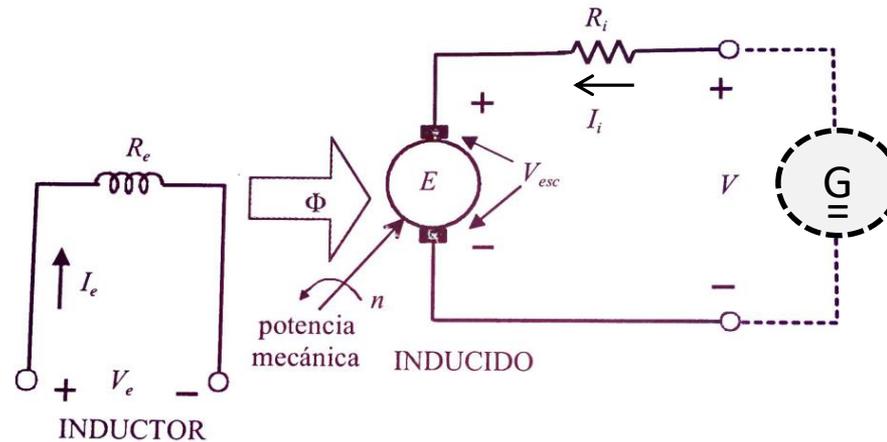
Si se incrementa el número de espiras en serie, la tensión terminal puede aumentar con la carga, lo que dar lugar a la característica hipercompuesta.

En caso contrario, la tensión puede reducirse con la carga como en el generador derivación, dando lugar a la característica hipocompuesta.

Tema III: MÁQUINA CORRIENTE CONTINUA

MOTOR CC

Características de un motor



Para determinar el proceso de **transformación de energía eléctrica en mecánica** se tienen las siguientes ecuaciones:

Inductor:

$$V_e = R_e I_e$$

Inducido:

$$V = E + R_i I_i + V_{esc}$$

Siendo el balance de potencias en el inducido de un dinamo

$$V I_i = E I_i + R_i I_i^2 + V_{esc} I_i$$

$$P_i = P_a + P_{Cui} + P_{esc}$$

Potencia eléctrica absorbida por el inducido

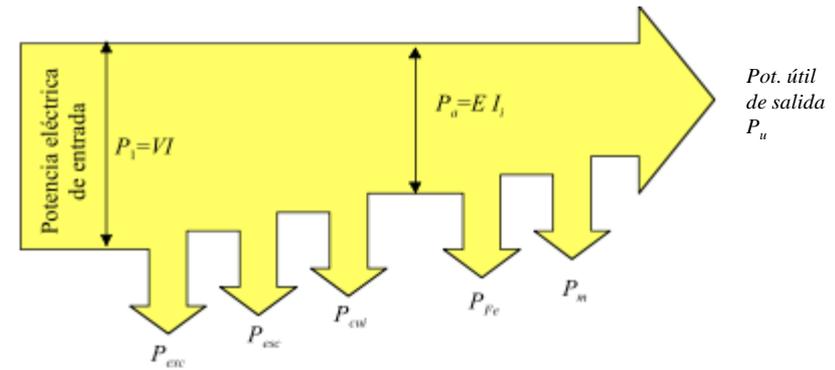
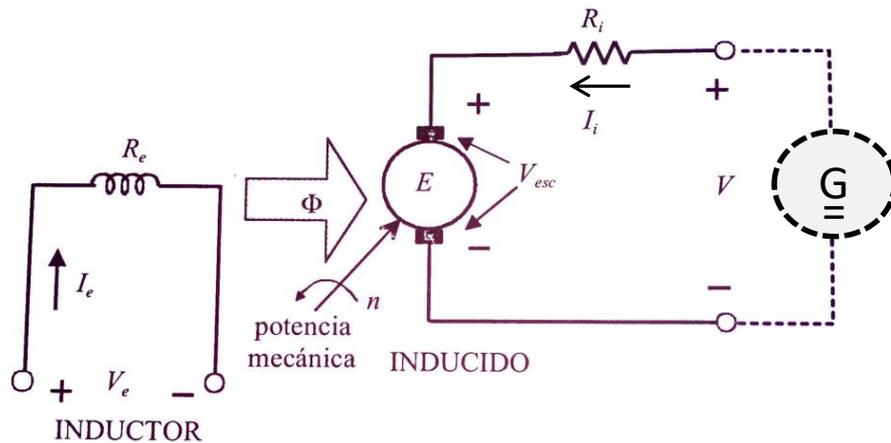
=

Potencia electromagnética desarrollada

+ Pérdidas en cobre del inducido

+ Pérdidas en los contactos de las escobillas

Características de un motor



Para calcular la potencia mecánica útil en el árbol del motor

$$P_u = P_a - P_{Fe} + P_m$$



Potencia mecánica útil

=

Potencia electromagnética desarrollada

- Pérdidas del hierro del rotor

- Pérdidas mecánicas del rotor

Par útil

$$T_u = \frac{P_u}{2\pi \frac{n}{60}}$$

; Par interno desarrollado

$$T = \frac{P_a}{2\pi \frac{n}{60}} = \frac{EI_i}{2\pi \frac{n}{60}} = \frac{K_E n \Phi I_i}{2\pi \frac{n}{60}} = K_T \Phi I_i$$

Características de un motor

La gran ventaja práctica de los motores de c.c. es la facilidad para regular su velocidad

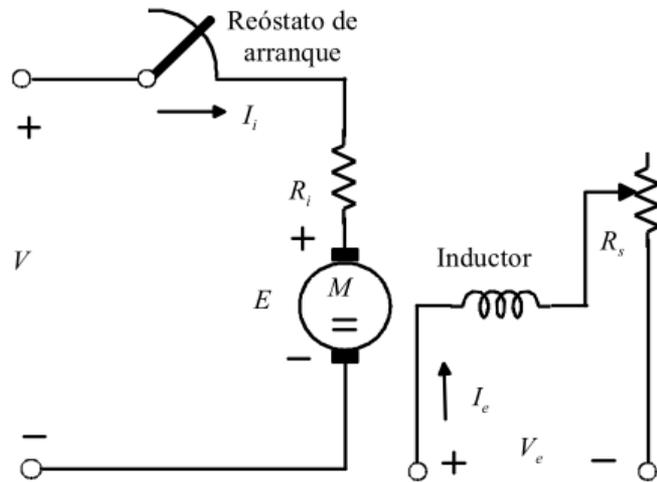
$$\begin{aligned} E &= K_E n \phi \\ T &= K_T \phi I_i \\ V &= E + R_i I_i + V_{esc} = K_E n \phi + R_i I_i + V_{esc} \Rightarrow n = \frac{V - R_i I_i - V_{esc}}{K_E \phi} \end{aligned}$$

Para regular la velocidad se puede hacer controlando:

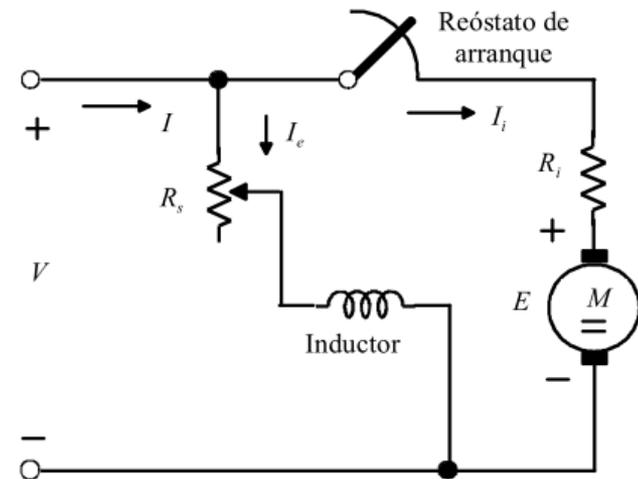
- El flujo por polo producido por la corriente de excitación. Al disminuir el flujo, aumenta la velocidad. PELIGRO, si poner en marcha el motor sin conectar la excitación, ya que dará a un embalamiento del motor, limitado sólo por el magnetismo remanente.
- La tensión de alimentación. Al aumentar/disminuir la velocidad aumenta /disminuye.
- La resistencia del circuito inducido, lo que se puede variar poniendo en serie con el inducido una resistencia o reostato variable.

Motor de c.c. con excitación independiente y derivación

Motor excitación independiente



Motor excitación derivación (shunt)



$$E = K_E n \phi$$

$$T = K_T \phi I_i$$

$$V = E + R_i I_i$$

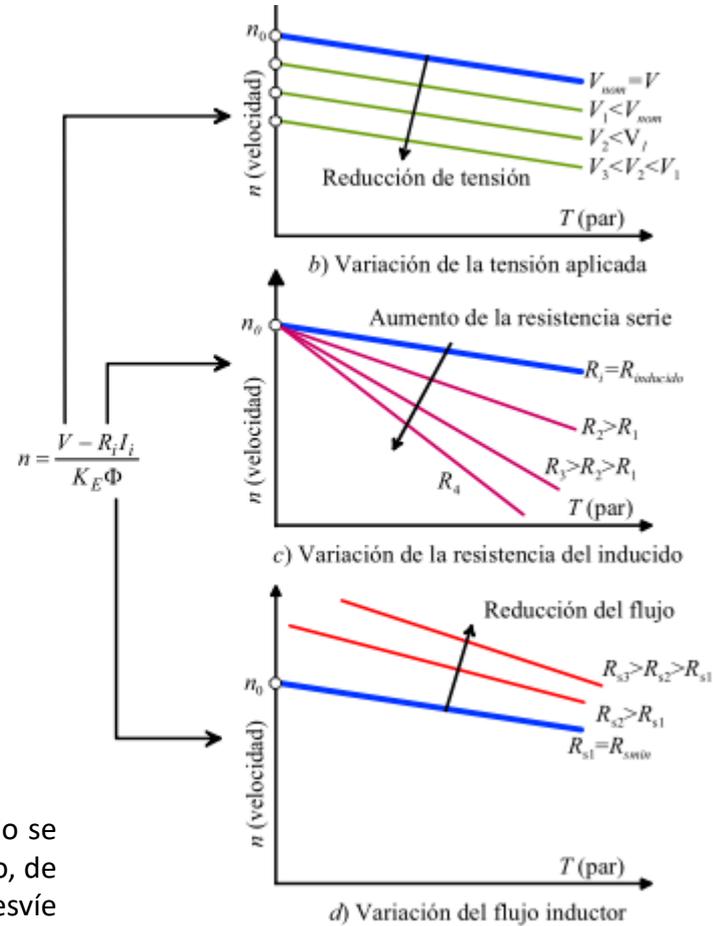
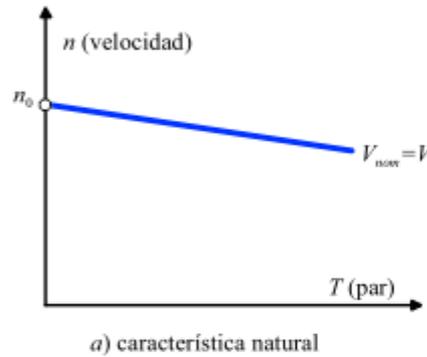
$$n = \frac{V - R_i I_i}{K_E \phi} = \frac{1}{K_E \phi} V - \frac{R_i}{K_E \phi} I_i = \frac{1}{K_E \phi} V - \frac{R_i}{K_E K_T \phi^2} T$$

Para regular la velocidad se puede hacer controlando:

- Ajustando la tensión del inducido.
- Variando la resistencia del circuito inducido.
- Variando la resistencia del circuito de excitación.

Motor de c.c. con excitación independiente y derivación

$$n = \frac{V - R_i I_i}{K_E \phi} = \frac{1}{K_E \phi} V - \frac{R_i}{K_E K_T \phi^2} T$$



Para altos pares de carga, aumenta la corriente del motor y por ello se reduce el flujo resultante a consecuencia de la reacción del inducido, de ahí que en realidad la característica $n=f(T)$ de estos motores se desvíe ligeramente de la recta

Motor de c.c. con excitación serie

En este tipo de motores el flujo depende de la corriente del inducido y por tanto de la carga.

$$\phi = K_I I_i$$

Teniendo en cuenta las ecuaciones básicas: $E = K_E n \phi$

$$T = K_T \phi I_i$$

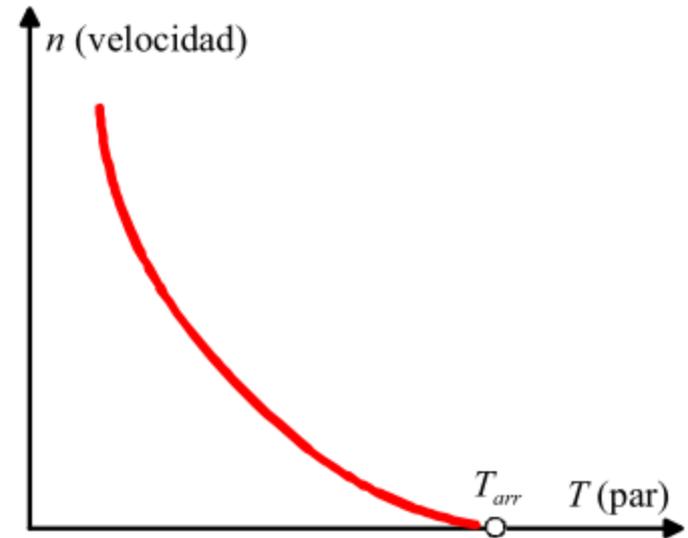
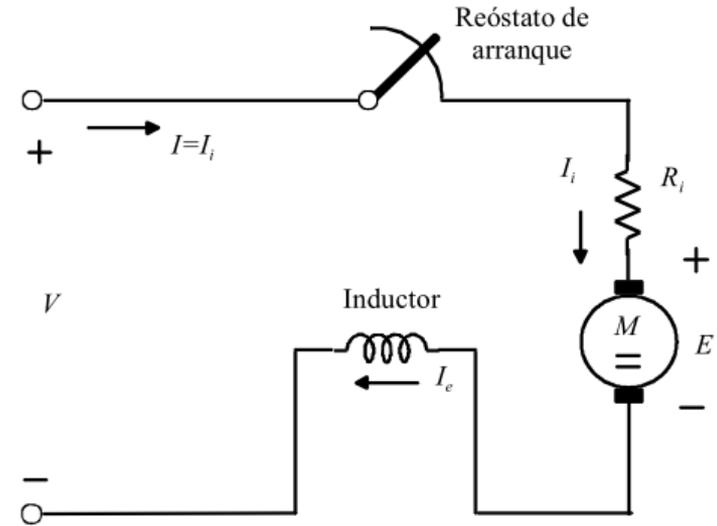
$$V = E + R_i I_i$$

$$T = K_T K_I I_i^2 \Rightarrow I_i = \sqrt{\frac{T}{K_T K_I}}$$

$$n = \frac{V - R_i I_i}{K_E \phi} = \frac{1}{K_E K_I I_i} V - \frac{R_i I_i}{K_E K_I I_i}$$

$$n = \frac{1}{K_E K_I I_i} V - \frac{R_i}{K_E K_I}$$

$$n = \frac{\sqrt{K_T}}{K_E \sqrt{K_I}} \frac{V}{\sqrt{T}} - \frac{R_i}{K_E K_I}$$



Motor de c.c. con excitación serie

$$T = K_T K_I I_i^2 \Rightarrow I_i = \sqrt{\frac{T}{K_T K_I}} \quad \longrightarrow$$

$$n = \frac{V - R_i I_i}{K_E \phi} = \frac{1}{K_E K_I I_i} V - \frac{R_i I_i}{K_E K_I I_i}$$

$$n = \frac{1}{K_E K_I I_i} V - \frac{R_i}{K_E K_I}$$

$$n = \frac{\sqrt{K_T}}{K_E \sqrt{K_I}} \frac{V}{\sqrt{T}} - \frac{R_i}{K_E K_I}$$



En estos motores sólo se regula la velocidad con la tensión

Al duplicar la carga 2T la corriente aumenta un factor de $\sqrt{2}$, que supone un 40%, y la velocidad cae hasta el $1/\sqrt{2}=70\%$ (se reduce un 30%).

En un motor derivación una sobrecarga de 2T no altera prácticamente la velocidad, pero la corriente consumida es el doble.

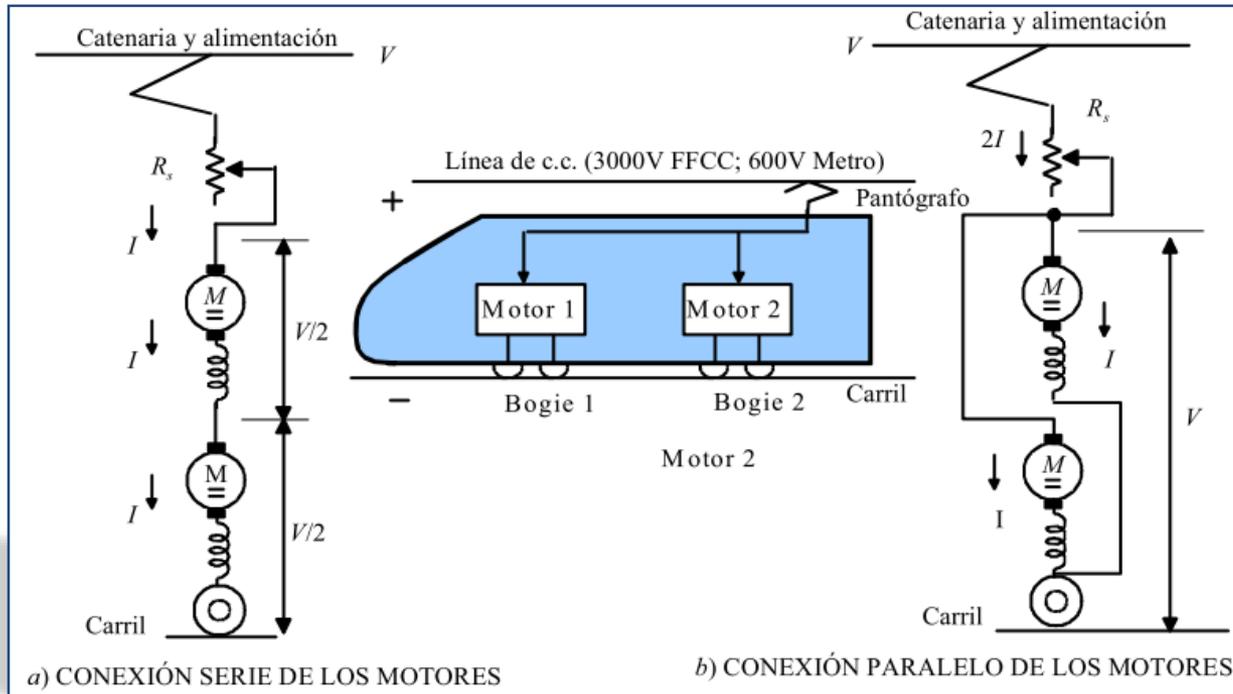
Por tanto, el motor serie puede soportar elevadas sobrecargas con un aumento moderado de corriente.

Para cargas pequeñas aumenta la velocidad, por lo que el motor no se debe arrancar en vacío o con cargas pequeñas.

Estas cualidades hace de este motor apropiado para tracción en trenes, tranvías y grúas en donde hay grandes pares y bajas velocidades.

Ejemplo motores serie en tracción eléctrica de un tren

$$T = K_T K_I I_i^2 = c_2 I_i^2 \quad ; \quad n = \frac{V - R_i I_i}{K_E \phi} = \frac{1}{K_E K_I I_i} V - \frac{R_i I_i}{K_E K_I I_i} \approx \frac{1}{K_E K_I} \frac{V}{I_i} = c_1 \frac{V}{I_i}$$

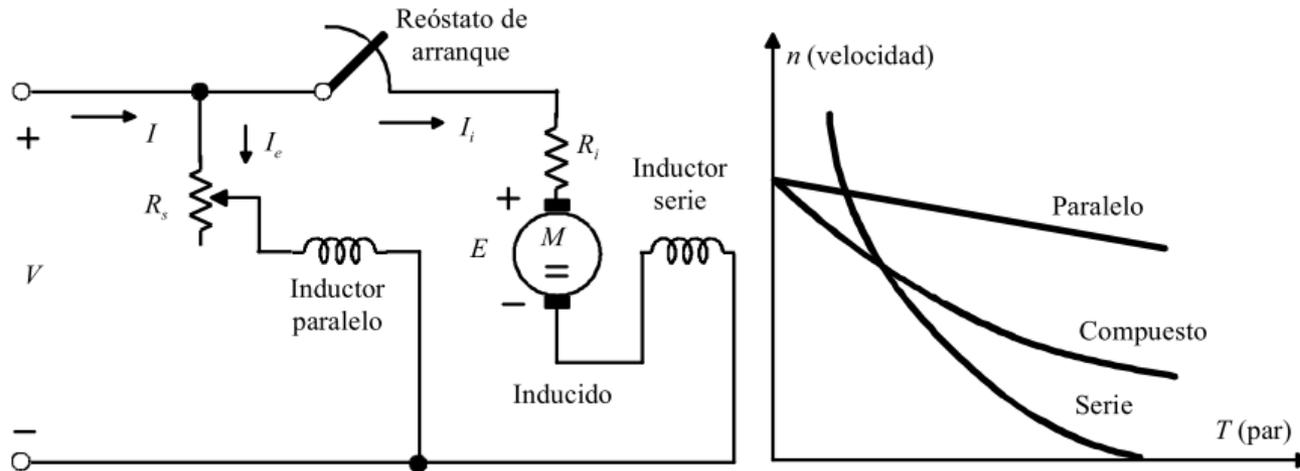


Al poner los dos motores serie en paralelo aumenta la velocidad al doble, el consumo total de corriente es el doble

$$\left. \begin{array}{l} V_i = \frac{V}{2} \\ I_i = I \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} n_s = c_1 \frac{V/2}{I} \\ T_s = c_2 I^2 \end{array} \right.$$

$$\left. \begin{array}{l} V_i = V \\ I_i = 2I \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} n_p = c_1 \frac{V}{2I} = 2n_s \\ T_p = c_2 (2I)^2 = 4T_s \end{array} \right.$$

Motor de c.c. con excitación compuesta

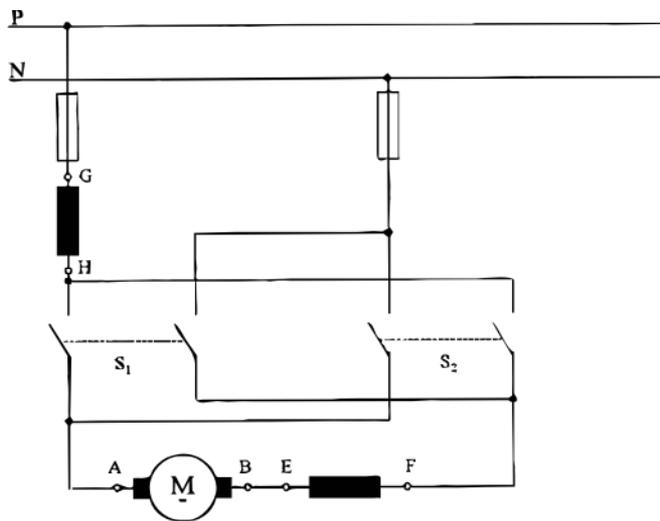


Inversión del sentido de giro de un motor C.C.

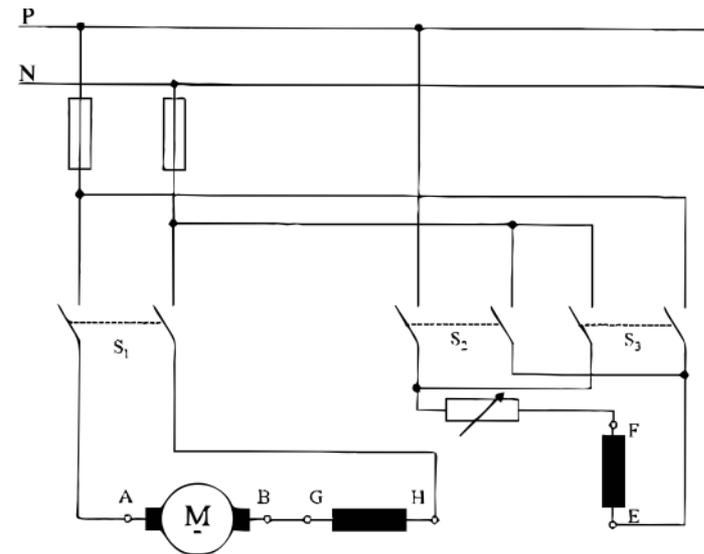
Para cambiar el sentido de giro de un motor de c.c. es necesario cambiar el sentido de la corriente en uno de los devanados, a saber:

- Manteniendo fija la polaridad del devanado de excitación, cambiamos la polaridad del inducido.
- Manteniendo fija la polaridad del inducido se cambia la polaridad del devanado de excitación.

En la práctica se suele optar por la primera solución puesto que la segunda acarrea ciertos problemas debido a la elevada inductancia del devanado de excitación y al magnetismo remanente de las piezas polares.



La inversión de giro de un motor serie



La inversión de giro de un motor en derivación

Regulación de la velocidad de giro del motor

La velocidad de giro de un motor es directamente proporcional a la tensión aplicada al inducido e inversamente proporcional al flujo magnético. Ello nos permite deducir que la variación de dicha velocidad puede conseguirse de cualquiera de las tres formas siguientes:

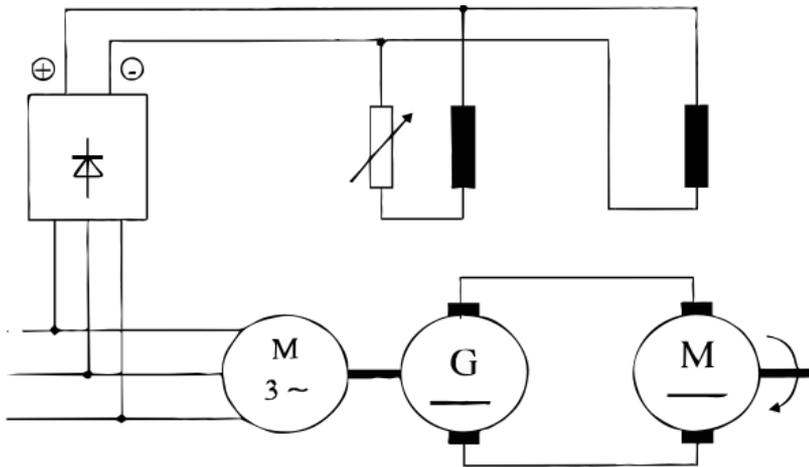
- Cambiando la resistencia del devanado de campo
- Cambiando el voltaje del inducido
- Cambiando la resistencia del inducido

De todos ellos, el más utilizado es el de control de voltaje en el inducido. A lo largo de los años se han ido desarrollando numerosos sistemas de control de motores de c.c. entre los cuales destacamos el conocido como sistema Ward-Leonard.

Este sistema está diseñado para trabajar con corriente alterna.

Este sistema aporta las siguientes ventajas:

- Variación de velocidad continua entre amplios márgenes y en cualquier sentido de rotación.
- Aceleración suave.
- Capacidad del sistema para regenerar o devolver la energía cinética de la máquina a las líneas de suministro. En efecto si arriamos un peso, bien mediante una grúa o bien con una maquinilla y un sistema de puntales, el motor del sistema actúa como generador, devolviendo potencia a la red.
- Un alto par o momento de rotación.



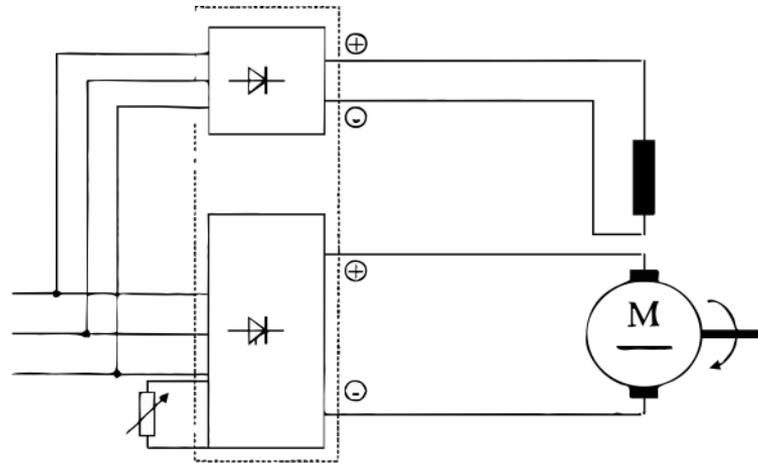
Regulación de la velocidad de giro del motor

El sistema de la figura anterior consta de los siguientes elementos:

- Un motor trifásico de inducción que gira a una velocidad constante.
- Un generador de c.c. o dinamo movido por el motor anterior.
- El motor del sistema alimentado directamente desde la dinamo
- Un rectificado trifásico que proporciona la c.c. necesaria a los devanados de excitación del generador y del motor.

El voltaje de la dinamo se controla actuando sobre la corriente de excitación mediante un reóstato, mientras que la velocidad del motor será controlada directamente por el voltaje de la dinamo.

Este sistema es costoso porque se requieren tres máquinas. Por eso el sistema Ward-Leonard ha sido desplazado por circuitos controladores basados en diodos controlados de silicio.



Tema III: MÁQUINA CORRIENTE CONTINUA

MOTOR UNIVERSAL

Motor Universal (motor de c.a. de colector)

Tanto el motor paralelo como el serie, si cambiamos la polaridad de la tensión de alimentación, la máquina sigue girando en el mismo sentido. Ello nos podría llevar a pensar que si alimentamos la máquina en alterna debería funcionar. En realidad esto es cierto para el motor serie pero no para el paralelo.

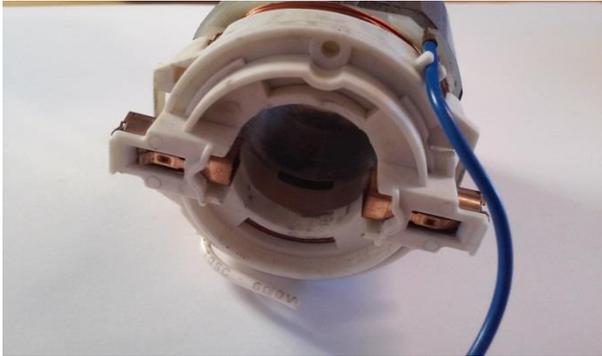
En el motor paralelo, la tensión en el estator y el rotor es la misma pero eso no significa que la corriente haya de tener siempre el mismo sentido en ambos devanados. Debido a la inductancia de los circuitos equivalentes, que hay que tener en cuenta si trabajamos en alterna es posible que cuando la corriente en el estator ya haya cambiado de sentido, en el rotor aún siga en el sentido que tenía antes (o viceversa). Es decir, el cambio de sentido de la corriente en estator y rotor no ha de producirse simultáneamente, dado que el retraso de la corriente respecto a la tensión no ha de ser el mismo en ambos devanados, pues las inductancias y resistencias no son iguales. Ello llevaría a que no podamos asegurar que siempre la máquina genere par en el mismo sentido.

En el motor serie, la corriente por el rotor y el estator siempre es la misma, con lo cual el cambio de sentido se produce al mismo tiempo en rotor y estator. Al alimentar en alterna, el par no será constante (no lo es la corriente) pero si será siempre en el mismo sentido. Al final, la máquina actuará de filtro mecánico, en cuanto que el efecto sobre ella será el equivalente al de recibir un par constante igual al par medio (la inercia de la máquina hace que no se entere de las variaciones de par que tiene lugar a 50 Hz). Por tanto, **el motor serie se puede alimentar tanto en continua como en alterna, razón por la que se llama motor universal.**

En resumen, la construcción de un motor universal es en esencia, igual a la de un motor serie de c.c. y sus características de funcionamiento también son análogas. La corriente que recorre el inducido y el inductor tiene una frecuencia de 50 Hz, por lo que simultáneamente el flujo del inductor y el par de rotación tienen el mismo sentido relativo. Por lo que un motor serie de corriente continua puede funcionar como motor de corriente alterna, pero en el caso de corriente alterna tanto en el rotor como en el estator es preciso que ambos sean contruidos de chapa magnética.

Se utilizan en: batidoras, máquinas de afeitar, taladros eléctricos de mano, secadores, etc.

Motor Universal



[How DC motors and universal motors work: https://www.youtube.com/watch?v=-qS85alvleQ](https://www.youtube.com/watch?v=-qS85alvleQ)

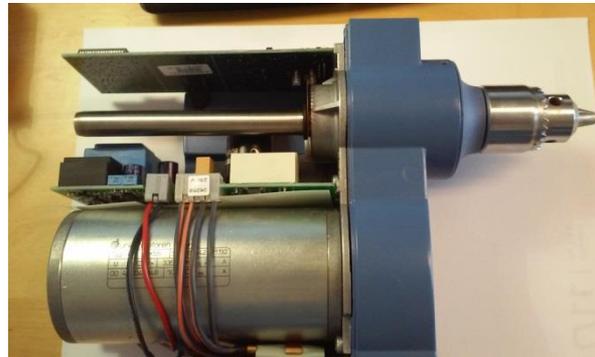
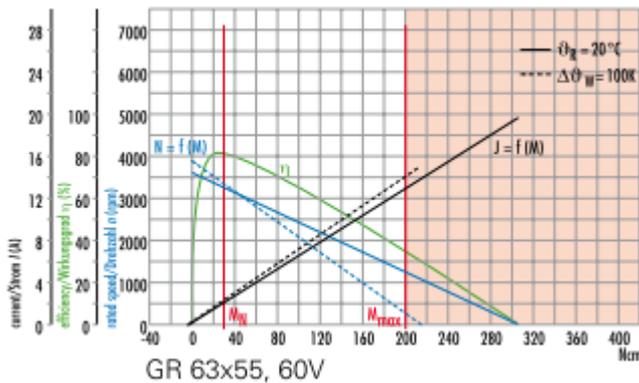
Motor de c.c. de imanes permanentes

dunkermotoren
advanced motion solutions



Data / Technische Daten		GR 63x55			
Rated voltage/ Nennspannung	VDC	12	24	40	60
Continuous rated speed/ Nenn Drehzahl	rpm*)	3000	3350	3450	3350
Continuous rated torque/ Nenn Drehmoment	Ncm*)	24	27	27	28.5
Continuous current/ Nennstrom	A*)	8.7	4.9	3	2
Starting torque/ Anlaufmoment	Ncm**)	202	211	210	200
Starting current/ Anlaufstrom	A**)	64	40	28.6	19.7
No load speed/ Leerlauf Drehzahl	rpm**)	3500	3650	3600	3600
No load current/ Leerlaufstrom	A**)	0.8	0.4	0.28	0.2
Demagnetization current/ Entmagnetisierstrom	A**)	66	33	20	13
Rotor inertia/ Trägheitsmoment	gcm ²	750	750	750	750
Weight of motor/ Motorgewicht	g	1700	1700	1700	1700

*) $\Delta\theta_w = 100\text{ K}$; **) $\theta_r = 20^\circ\text{C}$



Tema III: MÁQUINA CORRIENTE CONTINUA

MOTOR BRUSHLESS

Motor Brushless (motor de c.c. sin escobillas)

1. El motor tiene una disposición inversa a la clásica:

- El inductor está en el rotor y está formado por imanes permanentes con una estructura de polos lisos.
- El inducido está en el estator y no tiene colector de delgas, la conmutación se hace con interruptores electrónicos.

2. En un motor c.c. clásico el número de bobinas (por tanto, de delgas) es elevado, produciendo muchas conmutaciones en cada vuelta. En un motor brushless, si usa muchas conmutaciones necesita muchos interruptores electrónicos y el coste del sistema de control sería elevado. Por ello sólo tiene tres bobinas, por lo que se requiere sólo de tres interruptores electrónicos y una fuente de alimentación de c.c. (equivalen a un motor convencional con 3 delgas).

3. Tienen sensores para detectar la posición del rotor para que las conmutaciones electrónicas se realicen justo en el momento preciso (esto se hace de forma automática en motores clásicos con las delgas).

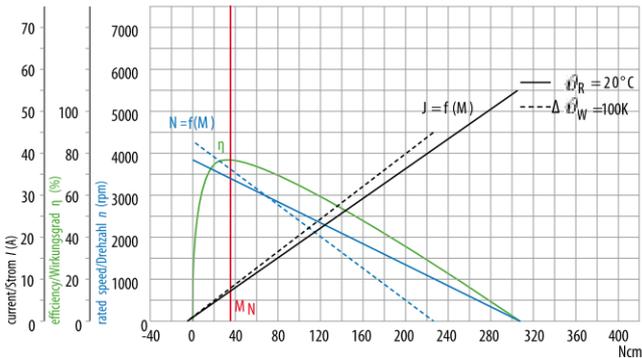
Los sensores pueden ser fotoeléctricos o magnéticos (efecto Hall)

Motor Brushless



BG 62 S, 60 - 130 Watt

- » 3-phase BLDC motor with high-quality and 4-pole rare earth-magnets
- » Available in 3 motor lengths
- » Low noise level | Low cogging forces
- » High voltage windings available
- » Version integrated hall sensors for rotor position detection
- » Can be combined with encoders, brakes and gearboxes within our modular system



BG 62 Sx60, 24V

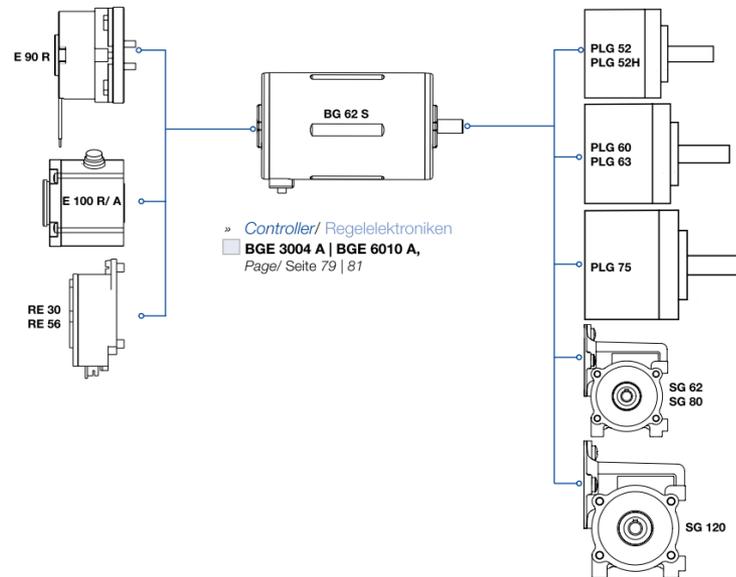
Data/ Technische Daten		BG 62 Sx30	BG 62 Sx45	BG 62 Sx60
Nominal voltage/ Nennspannung	VDC	24	24	24
Nominal current/ Nennstrom	A ^{*)}	3.7	5.1	6.8
Nominal torque/ Nennmoment	Ncm ^{*)}	20	27	36
Nominal speed/ Nenn Drehzahl	rpm ^{*)}	3000	3210	3350
Friction torque/ Reibungsmoment	Ncm ^{*)}	2.7	3.4	4.9
Peak stall torque/ Max. Anhaltmoment	Ncm ^{*)}	131	211	307
No load speed/ Leerlauf Drehzahl	rpm ^{*)}	3855	3855	3865
Maximum output power/ Maximale Abgabeleistung	W ^{*)}	110	182	274
Torque constant/ Drehmomentkonstante	Ncm A ⁻¹ **)	6.8	6.7	6.7
Terminal Resistance/ Anschlußwiderstand	Ω ^{**)}	0.9	0.52	0.34
Terminal inductance/ Anschlußinduktivität	mH ^{**)}	1.5	0.95	0.67
Peak current/ Zulässiger Spitzenstrom (2 sec.)	A ^{*)}	23.5	38.7	56
Rotor inertia/ Rotor Trägheitsmoment	gcm ²	185	262	353
Weight of motor/ Motorgewicht	kg	1.15	1.4	1.65

^{*)} D_J = 100 K; ^{**) J_n = 20°C ^{***)} only for half version/ nur für Half-Version}

Modular System/ Modulares Baukastensystem

- » Brakes & Encoder/
Bremsen & Anbauten
- RE 90 R**,
Page/ Seite 102
- E 100 R/ A**,
Page/ Seite 102

- RE 30**,
Page/ Seite 104
- RE 56**,
Page/ Seite 104



- » Planetary gearbox/
Planetengetriebe
- PLG 52**, (1.2 - 24 Nm),
Page/ Seite 90
- PLG 52 H**, (1.2 - 24 Nm),
Page/ Seite 91
- PLG 60**, (5 - 25 Nm),
Page/ Seite 92
- PLG 63**, (5 - 100 Nm),
Page/ Seite 93
- PLG 75**, (25 - 160 Nm),
Page/ Seite 94

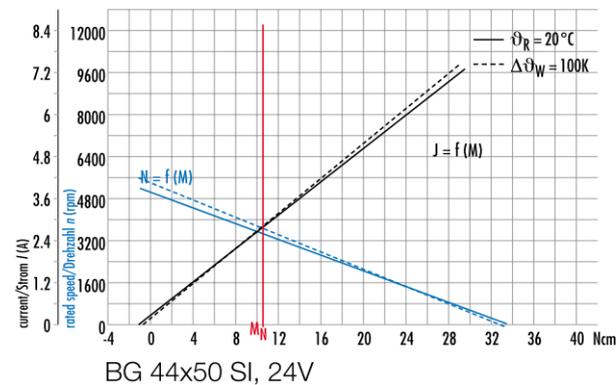
- » Worm gearbox/
Schneckengetriebe
- SG 62**, (1 - 1.5 Nm),
Page/ Seite 97
- SG 80**, (2 - 8 Nm),
Page/ Seite 98
- SG 120**, (8 - 30 Nm),
Page/ Seite 99

Motor Brushless



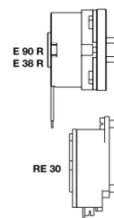
BG 44 SI, 20 - 40 Watt

- » Highly dynamic 3-phase EC motor with 4-pole neodymium magnet
- » With integral speed controller for 4-quadrant drive
- » Two fixed speeds, and acceleration and de-acceleration ramps can be stored in memory
- » The motor is supplied as standard with a 12-pin connector

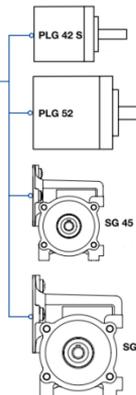


Modular System/ Modulares Baukastensystem

- » Brakes & Encoder/
Bremsen & Anbauten
 - E 38 R
Page/ Seite 102
 - E 90 R
Page/ Seite 102
 - RE 30,
Page/ Seite 104



- » Accessories/ Zubehör
 - Connector with cable, 12-pin | Angled positions adjustable (up to $\pm 45^\circ$ turnable)/ Winkelposition einstellbar (bis $\pm 45^\circ$ drehbar), Page/ Seite 107
 - Aluminium cover/ Aluminium Verschlussdeckel, Page/ Seite 107



- » Planetary gearbox/
Planetengetriebe
 - PLG 42 S, (3.5 - 14 Nm), Page/ Seite 89
 - PLG 52, (1.2 - 24 Nm), Page/ Seite 90
- » Worm gearbox/
Schneckengetriebe
 - SG 45, (0.25 - 0.75 Nm), Page/ Seite 96
 - SG 62, (1 - 1.5 Nm), Page/ Seite 97

■ Standard/ Standard ■ On request/ auf Anfrage