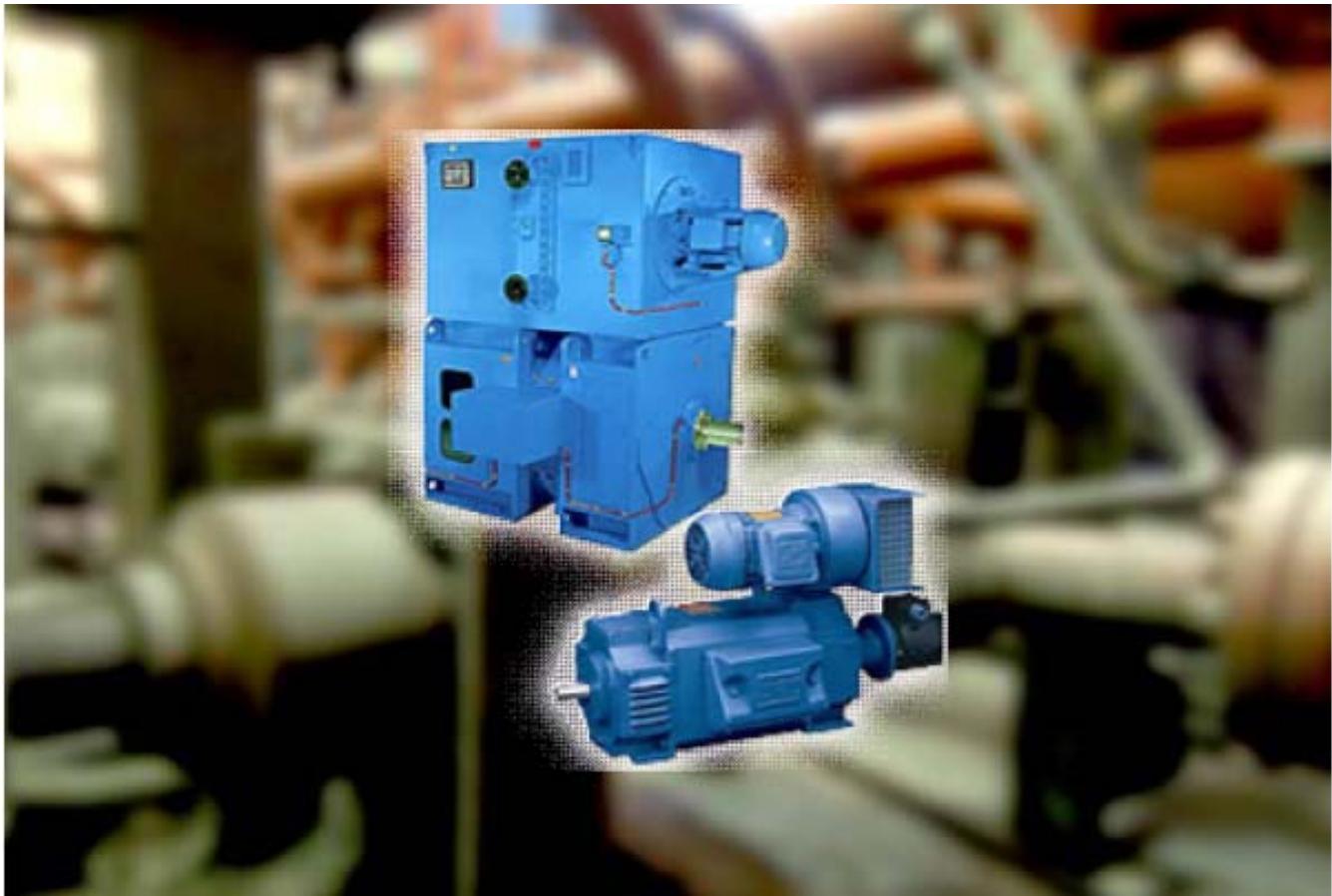


Manual de Contenido del Participante

Motores DC



TX-TGP-0006

ESPAÑOL

Propósito y Objetivos de este Manual

Este manual tiene como propósito fijar conceptos y criterios sobre las máquinas eléctricas y ayudar a Tenaris a la detección temprana del funcionamiento inadecuado de las mismas.

Al finalizar la capacitación Ud. estará en condiciones de:



Entender los principios y ecuaciones de funcionamiento de generadores y motores y conocer sus partes componentes.



Interpretar las ecuaciones de funcionamiento y diferenciar las distintas propiedades de cada tipo de dínamo.



Conocer los factores que influyen en el funcionamiento de la máquina.



Interpretar los ensayos de máquinas.



Incorporar conceptos de usos y características de Alternadores y Motores Síncronos.

Es importante comprender las consecuencias que el desconocimiento de los conceptos y principios explicados en este manual puede ocasionar en el ambiente, seguridad y salud ocupacional y en la calidad del producto final.

Cómo Utilizar este Manual

Este manual muestra los conceptos de funcionamiento de las máquinas eléctricas y los criterios principales para la detección temprana de eventos no deseados en la líneas de producción.

En el manual usted puede encontrar explicación de conceptos, reflexiones y actividades, que son de gran utilidad para aprender, trabajar con sus compañeros y adquirir una nueva mirada que le permita implementar mejoras o cambios en su lugar de trabajo.

Estas mejoras tienen como objetivo detectar, evitar y/o minimizar fallas y problemas, a través de la utilización de criterios mínimos en las inspecciones rutinarias



CAPÍTULO 1 5
Conceptos Básicos



CAPÍTULO 2 15
El Generador de Corriente Continua



CAPÍTULO 3 71
Motores de Corriente Continua



CAPÍTULO 4 128
Los Ensayos con Máquinas Eléctricas



CAPÍTULO 5 181
Los Alternadores



CAPÍTULO 6 202
Los Motores Síncronos



CAPÍTULO 7 234
Simbología de los Motores y Generadores Eléctricos

El manual contiene pequeñas figuras que se repiten en todos los capítulos y que son una forma de organización de la información para hacer más fácil y dinámica la lectura. Estas figuras se denominan íconos.

A continuación hay una descripción de la utilización de cada ícono, es decir en qué oportunidad aparecen:



GLOSARIO

Explica términos y siglas.



RECUERDE

Refuerza un concepto ya mencionado en el texto del manual.



ANEXO

Profundiza conceptos.



MANTENIMIENTO

Resalta procedimientos necesarios de mantenimiento.



PREGUNTAS

Presenta preguntas disparadoras.



ATENCIÓN

Destaca conceptos importantes.



EJEMPLO

Ilustra con situaciones reales los temas tratados.



ACTIVIDAD

Señala el comienzo de un ejercicio que le permitirá reforzar lo aprendido.



EXAMEN FINAL

Señala el comienzo de la evaluación final.



FIN DE CAPÍTULO

Señala la finalización del capítulo.



FIN DE MANUAL

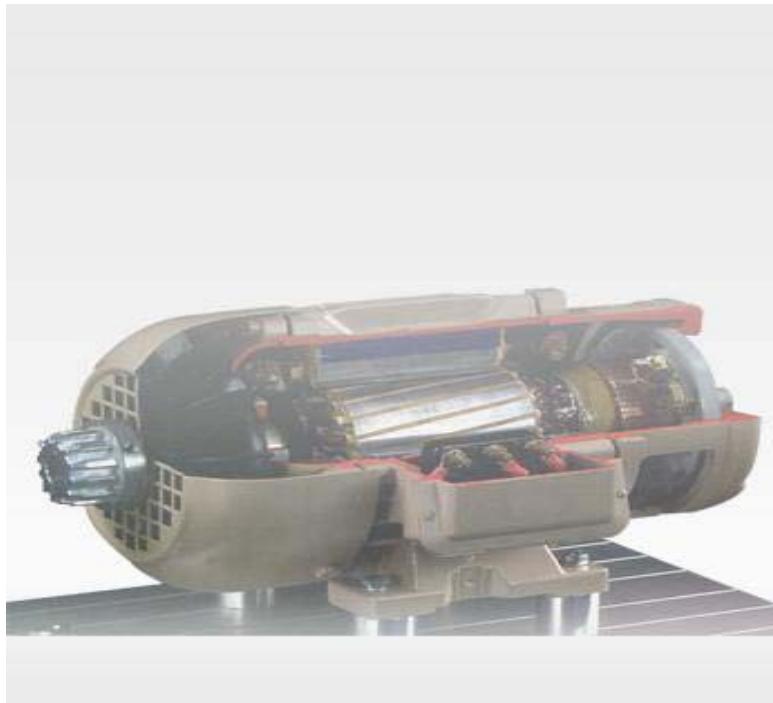
Señala la finalización del manual.

Conceptos Básicos

TEMAS DEL CAPÍTULO 1

1.1 Conceptos básicos	6
1.2 El convertidor electromecánico elemental	10
1.3 Características comunes entre las máquinas eléctricas rotativas	11

Este capítulo tiene la finalidad de introducir y aproximar conceptos fundamentales sobre generadores y motores como la energía, el trabajo eléctrico, la interacción de un conductor y el campo, a los participantes.



1.1 Conceptos Basicos

Los conceptos de energía que a continuación enumeramos son los más importante para este curso:

- 1 La energía se presenta en la naturaleza de diferentes formas.
- 2 La energía es la capacidad para realizar trabajo.
- 3 La energía es uno de los conceptos más importantes en el estudio de las máquinas eléctricas.

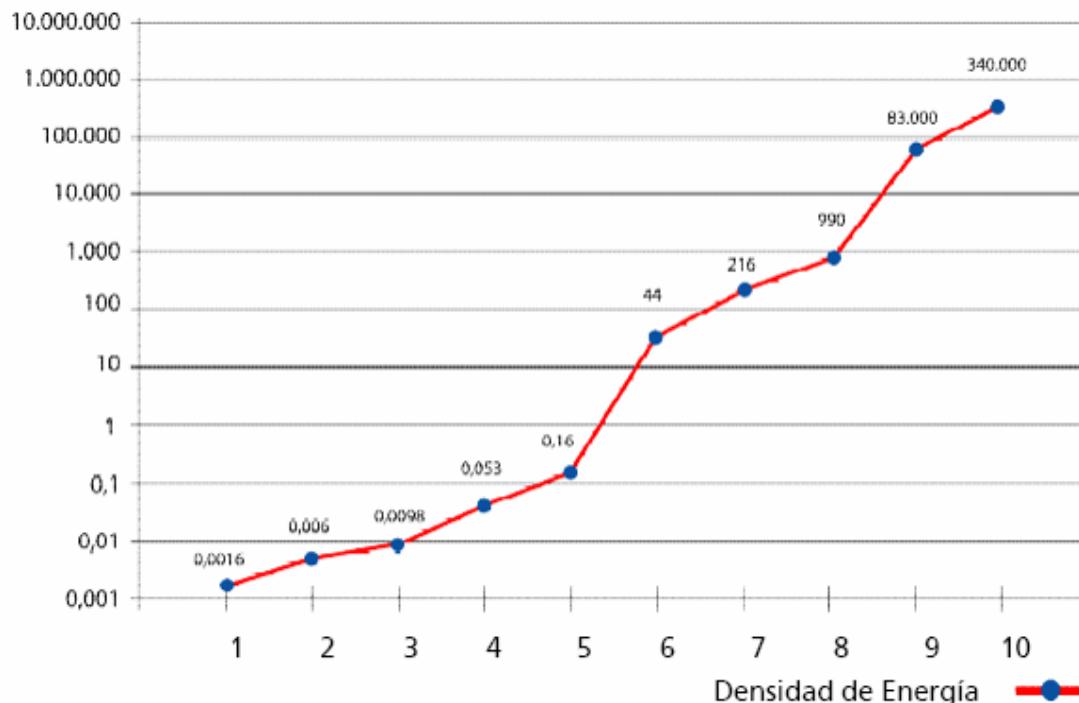


¿Qué relación existe entre la energía y las máquinas eléctricas?

La función de las máquinas eléctricas es convertir la energía de una forma en otra. Por ejemplo: Electricidad en movimiento giratorio o viceversa.

Densidades de energía que pueden ser almacenadas en los siguientes procesos físicos.

1- Campo Magnético (2 Wb/m ²)	0.0016 MJ/litro
2- Campo Eléctrico (6.5 MV/m)	0.006 MJ/litro
3- Gravitación (100 m)	0.0098 MJ/kg
4- Energía Cinética (5000 rpm)	0.053 MJ/kg
5- Batería de plomo ácido Pb--PbO ₂	0.16 MJ/kg
6- Calor de reacción del combustible fósil	44.0 MJ/kg
7- Calor de recombinación H + H ⁻ - H ₂	216.0 MJ/kg
8- Energía de Ionización	990.0 MJ/kmol
9- Fisión U235	83000 MJ/kg
10- Fusión Deuterio+Tritio->He+17.6 MeV	340000 MJ/kg



Hay tres conceptos físicos de conversión de la energía a tener en cuenta:

1

CONVERSIÓN DE LA ENERGÍA

Observamos en la tabla anterior que los sistemas eléctricos no son buenos acumuladores de energía. Las máximas densidades que se obtienen en la actualidad, son relativamente pequeñas comparadas con la energía por unidad de peso que puede almacenarse en acumulador o una fuente de combustible fósil.

Por esta razón es necesario realizar la conversión electromecánica de la energía para obtener energía eléctrica en grandes cantidades.

La conversión electromecánica de la energía puede transmitir, consumir, modificar o transformar la energía electromecánica de una forma en otra, pero no es posible almacenarla en cantidades importantes.

2

FUERZA

El segundo concepto físico importante en los fenómenos de conversión de energía es la **fuerza**. La fuerza en un sistema físico se manifiesta mediante la presencia de interacciones entre la materia. Aún cuando parece que las fuerzas pueden ser de muy diferentes formas y tipos, se conocen en la actualidad sólo cuatro fuerzas:

1. Interacciones gravitacionales entre masas (gravitones)
2. Interacciones eléctricas entre cargas (electrón-protón-fotón)
3. Interacciones nucleares débiles (bosones intermedios)
4. Interacciones nucleares fuertes (protón-neutrón-pión)

3

CAMPO

En el tercer concepto básico es el **campo**. La palabra campo posee la interpretación geométrica de extensión, superficie o espacio. Sin embargo, en física el concepto de campo consiste en la descripción del espacio donde se produce algún tipo de fuerzas. El campo gravitatorio es la zona del espacio donde una masa ejerce su influencia atrayendo a otras masas

GLOSARIO



CAMPO GRAVITATORIO

Es la zona del espacio donde una masa ejerce su influencia atrayendo a otras masas.

CAMPO ELÉCTRICO

Se define exactamente igual al campo gravitatorio, pero considerando las interacciones entre las cargas eléctricas.

CAMPO MAGNÉTICO

Se define a través de las fuerzas entre dipolos magnéticos.

EJEMPLO

La medición de un campo se realiza colocando en un punto del espacio, una partícula de prueba (masa, carga o dipolo magnético) y se mide la fuerza ejercida sobre ella, realizando el cociente entre la fuerza y la masa de dicho punto. Por ejemplo, si en un punto en la superficie de la tierra se mide la fuerza de atracción gravitatoria sobre la masa de prueba m , el dinamómetro indicará $F=m.g$, donde g es la aceleración de gravedad en el punto donde se realiza la medida y su dirección apunta hacia el centro de la tierra. El campo gravitatorio es el cociente entre la fuerza y la masa. En otras palabras la aceleración de la gravedad en cada punto determina el valor de la intensidad de campo gravitatorio.

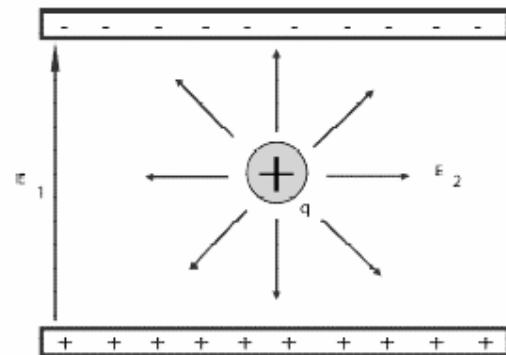
De igual forma el campo eléctrico es el cociente entre la fuerza eléctrica sobre la partícula cargada, y el valor de la carga de esa partícula $E=F/q$.

Para el fenómeno eléctrico se plantea una ecuación de equilibrio de fuerzas en función del campo eléctrico E y el campo magnético B de un sistema dado. Esta ecuación de equilibrio se conoce como relación de Lorentz.

DONDE:

$$\mathbf{F} = q (\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

- F** vector fuerza resultante sobre la partícula cargada
- q** carga eléctrica de la partícula
- E** es la intensidad de campo eléctrico
- v** velocidad de la partícula
- B** es la densidad del campo magnético



1.2

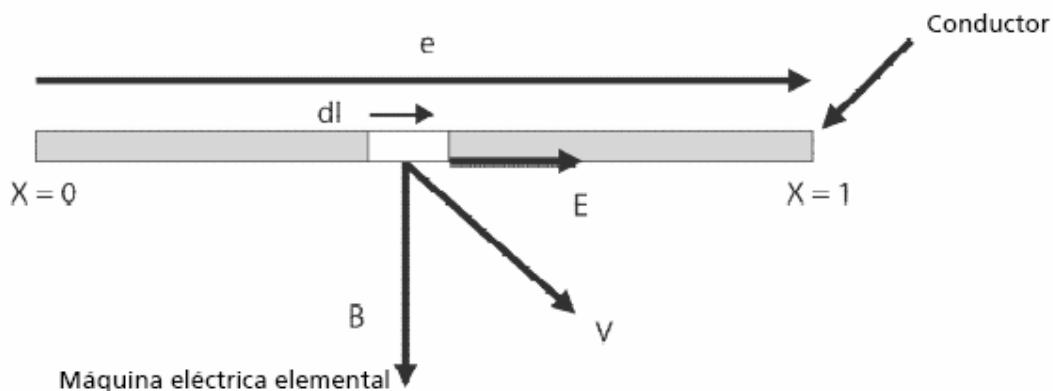
El Convertidor Electromecánico Elemental

¿En qué consiste la conversión electromecánica elemental?

En general las máquinas eléctricas tienen por finalidad transformar la energía mecánica en energía eléctrica y viceversa.

Cuando la conversión es de energía mecánica en energía eléctrica se dice que la máquina está funcionando como generador y en el caso contrario opera como motor.

A continuación se muestra la máquina eléctrica más simple:



El conductor longitudinal se mueve en el interior de un campo magnético B

Las variables del sistema son:

E el campo eléctrico

B la densidad de flujo magnético

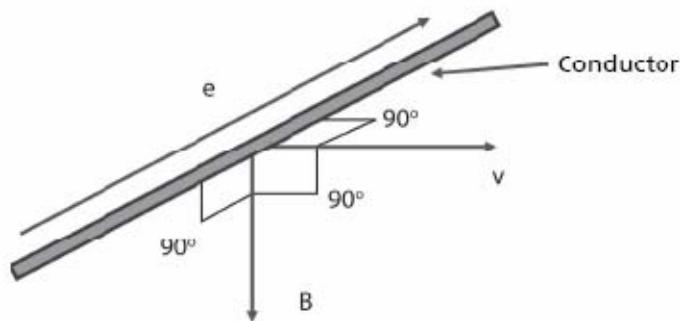
e la fuerza electromotriz

v la velocidad del conductor lineal

1.3

Características comunes entre las Máquinas Eléctricas Rotativas

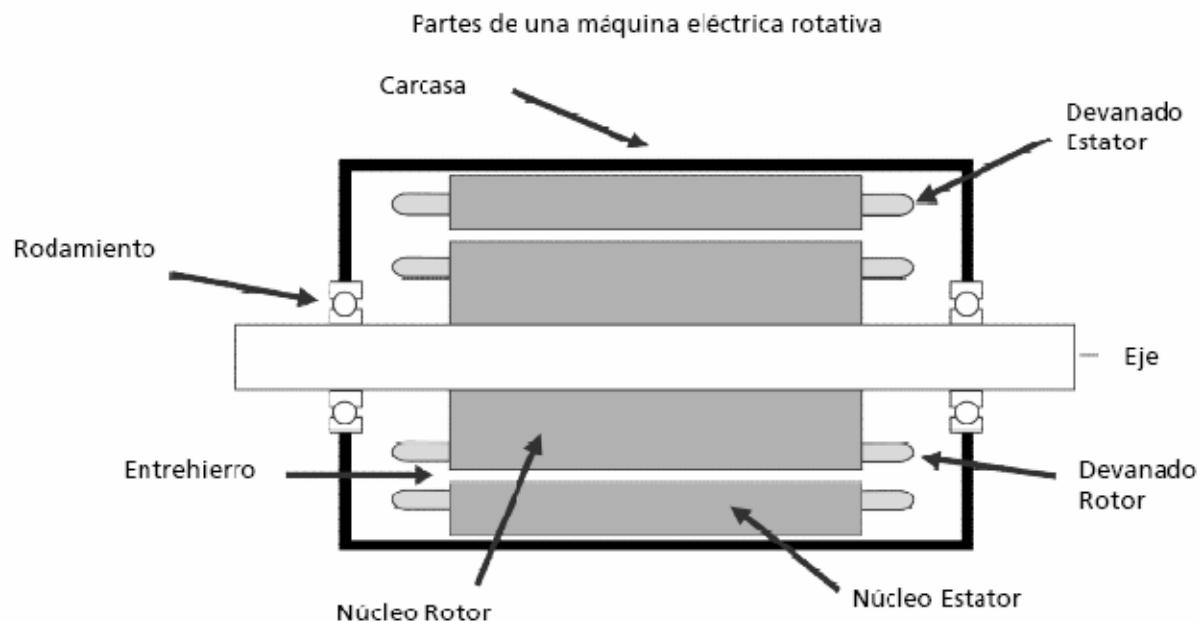
Conductor en condiciones óptimas de operación:



Corte de una Máquina Eléctrica

Las características más habituales en las máquinas eléctricas rotativas convencionales son las siguientes:

- Poseen eje mecánico a través del cual se realiza el intercambio de energía.
- Tienen una pieza inmóvil denominada estator.
- Disponen de una pieza móvil denominada rotor.
- El flujo en el entrehierro de la máquina es periódico.



Corte de una Máquina Eléctrica

En algunas ocasiones el elemento interior de la máquina es fijo y el exterior móvil, incluso pueden ser móviles los dos elementos, pero lo más característico de las máquinas eléctricas rotativas es la existencia de dos superficies cilíndricas con movimiento relativo entre una y otra.

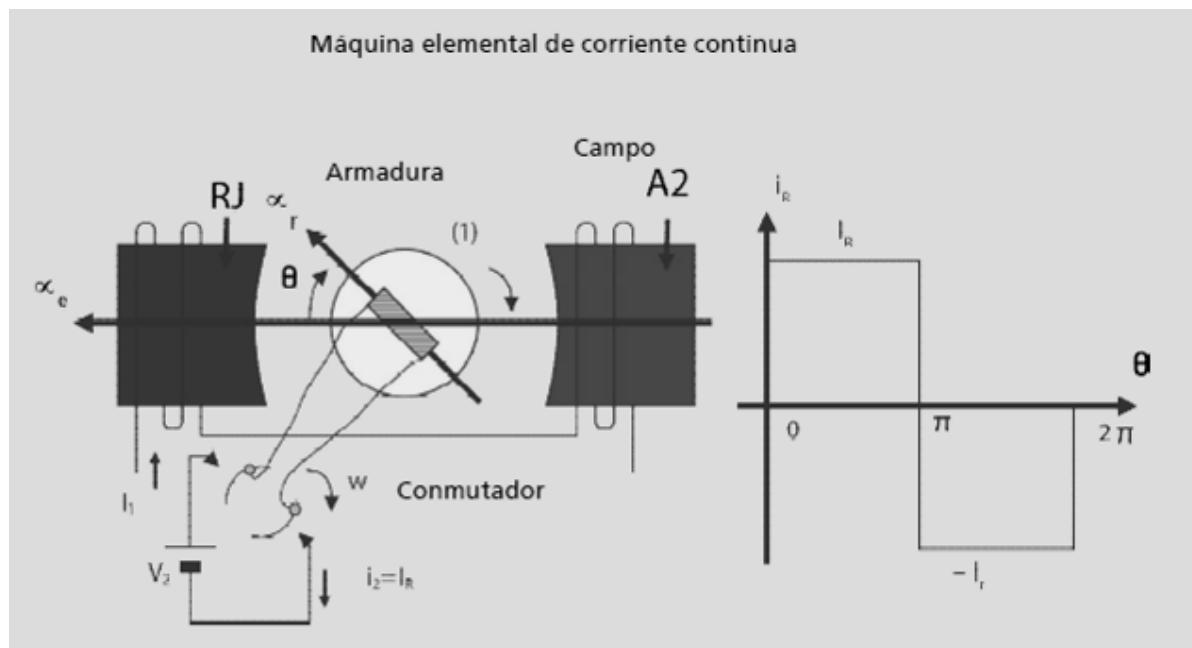
A las máquinas sincrónicas se les inyecta corriente continua por las bobinas rotórica; tal es el caso de los motores sincrónicos y los alternadores.

Estas sólo pueden producir torque promedio diferente de cero cuando la velocidad mecánica coincide con la velocidad angular de las corrientes inyectadas en el estator. En otras palabras la máquina debe girar en sincronismo con las corrientes estatóricas.

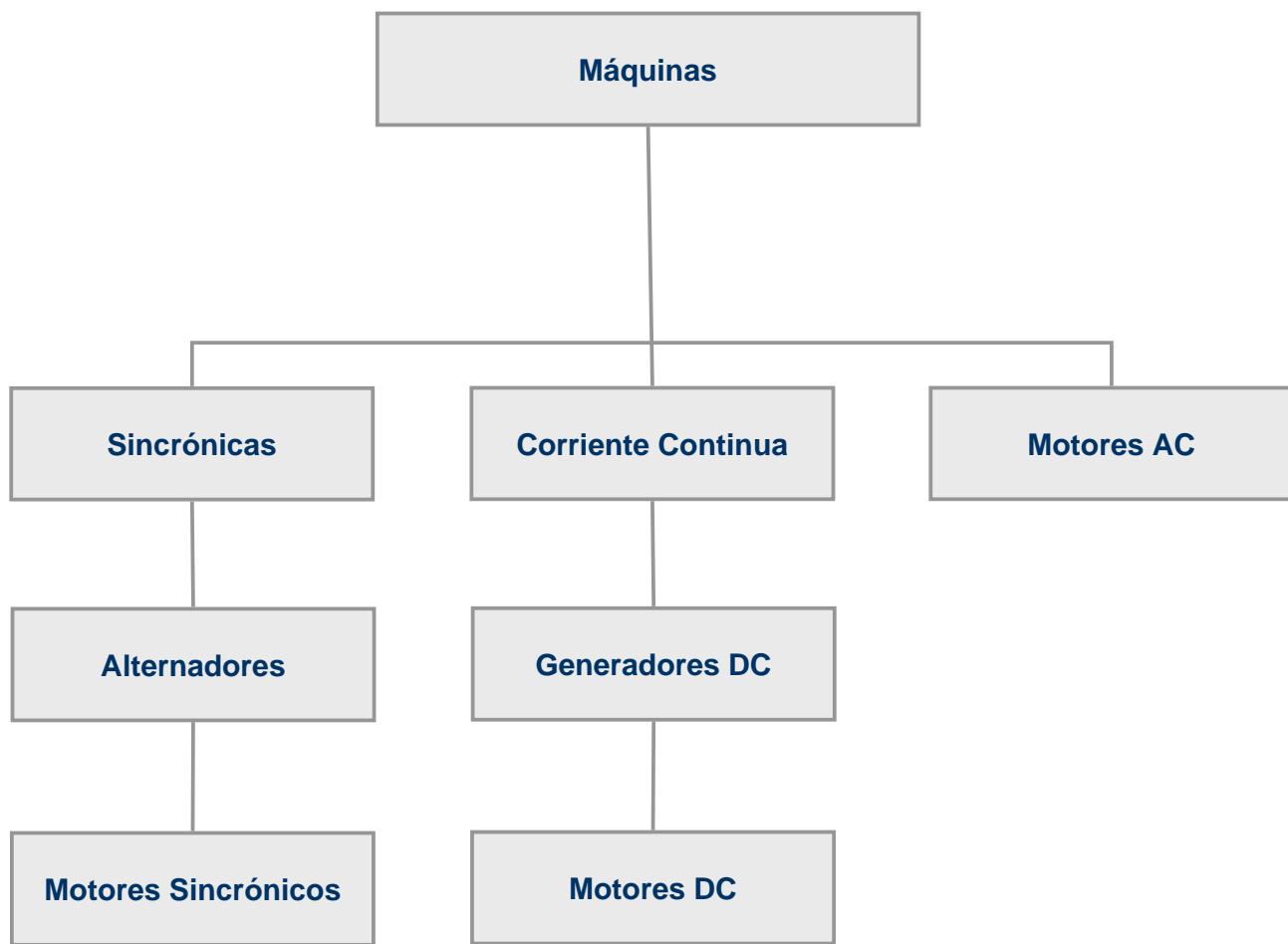
EJEMPLO



Las máquinas de corriente continua son un caso particular de máquina sincrónica, donde la igualdad de frecuencia entre las corrientes rotóricas en este caso y la velocidad mecánica se obtiene mediante un inversor mecánico constituido por un colector y un juego de carbones que conmuta las corrientes en las bobinas del rotor con una frecuencia igual a la velocidad mecánica de giro.



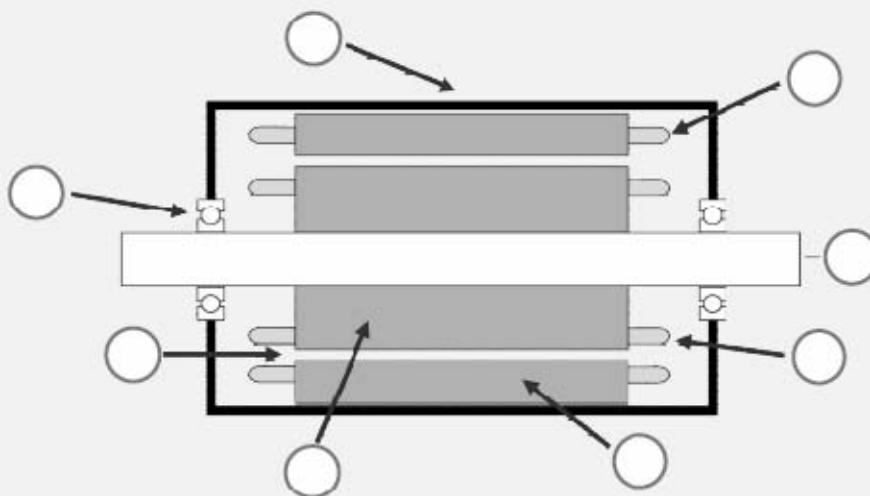
Se muestra en la figura una máquina de corriente continua simplificada que posee un devanado estatórico denominado en este ejemplo campo, por el cual se inyecta corriente continua y un colector que permite la inversión de las corrientes de armadura. Vemos que aparece una tensión V_2 en el colector.



ACTIVIDAD 1.

Para profundizar los conceptos de las máquinas rotativas y las máquinas eléctricas giratorias se proponen las siguiente actividad.

Enumere las partes del gráfico según correspondan. Si usted considera que falta alguna denominación inclúyala.



- 1 Carcasa
- 2 Rodamiento
- 3 Entrehierro
- 4 Devanado de estator
- 5 Núcleo del rotor
- 6 Núcleo del estator
- 7 Eje
- 8 Devanado rotor
- 9 Delga

Indicar la respuesta correcta.

1 ¿ La máquina de corriente continua es un caso similar a una máquina llamada ?

Monofásica

Trifásica

Sincrónica

2 El eje de las máquinas rotativas, cumple la función de:

Intercambiador de energía

Pieza solidadira del estator

¡Felicitaciones!

Usted ha finalizado el capítulo 1. A continuación se desarrollará el capítulo El Generador de Corriente Continua.

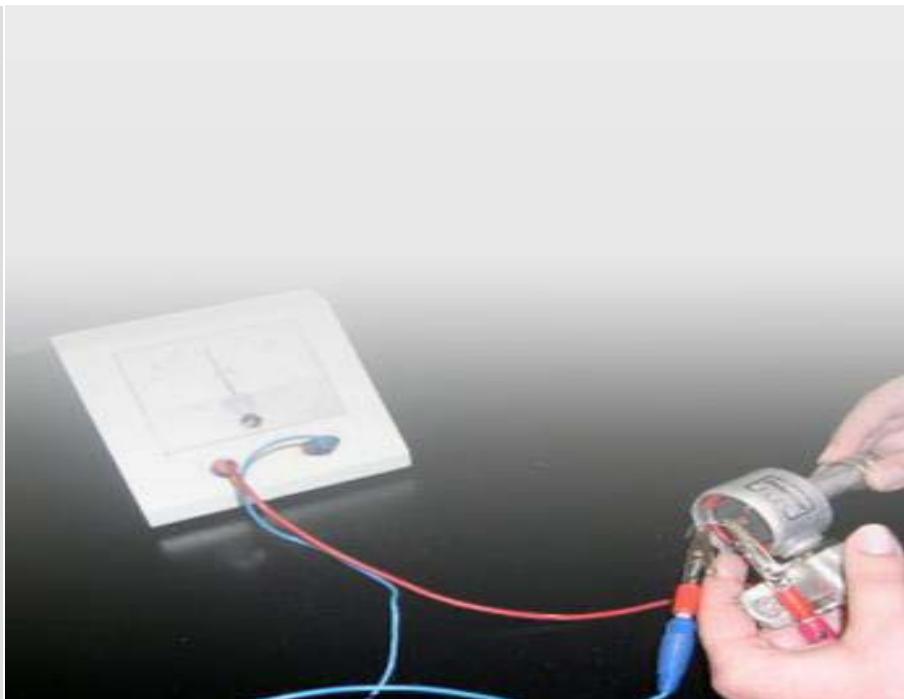


El Generador de Corriente Continua

TEMAS DEL CAPÍTULO 2

2.1 Principios del generador de corriente continua	16
2.2 El colector	27
2.3 Mejorando la salida de CC	31
2.4 Construcción de una dinamo de CC	33
2.5 Tipos de dinamo	41

En este capítulo descubrimos el principio de funcionamiento de las máquinas eléctricas de corriente continua.

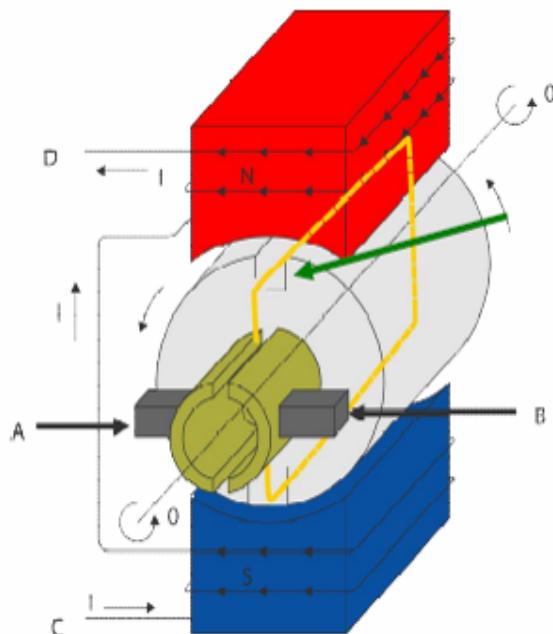


2.1

Principios del Generador de Corriente Continua

La máquina eléctrica de corriente continua, llamada comúnmente dinamo, es un mecanismo que convierte energía mecánica proveniente de un movimiento rotatorio, en energía eléctrica de corriente unidireccional.

En la figura siguiente se esquematiza el generador elemental de corriente continua, según los conceptos del capítulo anterior:



En el esquema se ve un conductor, alojado en una ranura.



Cuando una máquina externa produzca un movimiento sobre el eje 0-0-, en los extremos denominados A y B, se puede extraer la tensión inducida.

GLOSARIO



Se denomina fuerza electromotriz (FEM) a la energía proveniente de cualquier fuente, medio o dispositivo que suministre corriente eléctrica.

GLOSARIO



Es común abreviar la palabra corriente continua con las siglas C.C.

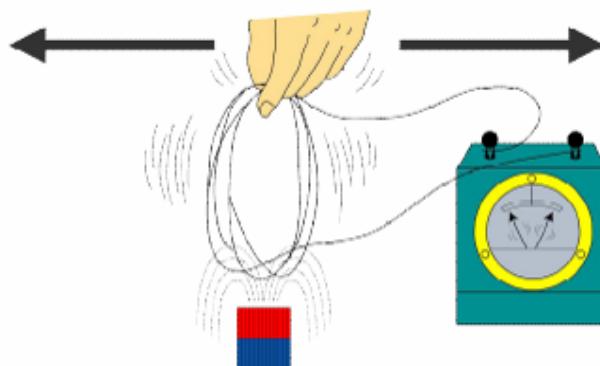
La tensión inducida producida en los extremos A y B del conductor que atraviesa el campo magnético, expuestos en la imagen anterior, depende de varios factores. A continuación los enumeramos y esquematizamos una bobina o conjunto de espiras de conductor eléctrico aislado.

El instrumento que detecta el paso de corriente puede ser un galvanómetro, un amperímetro o un voltímetro.

Factores que determinan la FEM inducida

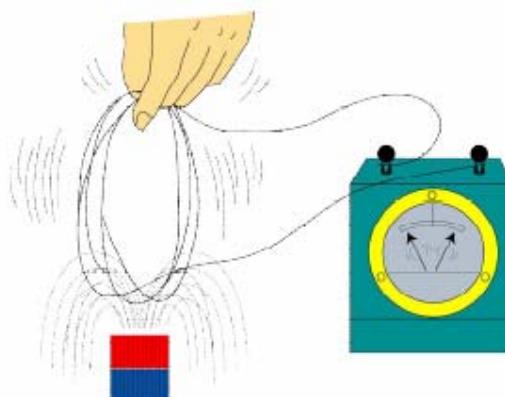
1

Si la velocidad del movimiento transversal entre el conductor y el campo magnético aumenta, la fuerza electromotriz aumenta también.



2

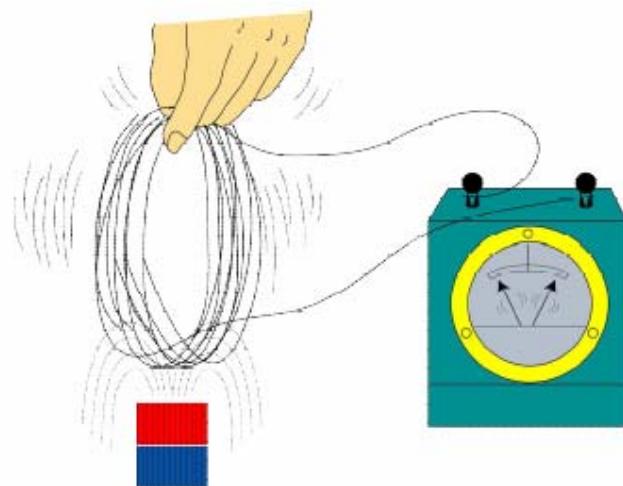
Si la fuerza del campo magnético aumenta, la FEM aumenta.



3

Si se aumenta el número de las espiras de conductor que atraviesan el campo magnético, la FEM producida, también es mayor.

La polaridad de esta FEM inducida tendrá el sentido tal que el flujo de corriente resultante irá formando un campo magnético que reacciona con el campo del imán y se opone al movimiento de la bobina.



Este fenómeno ilustra un principio que se conoce con el nombre de “Ley de Lenz”, que afirma que en todos los casos de inducción electromagnética, el sentido de la FEM inducida es tal que el campo magnético que produce tiende a detener el movimiento que da origen a la FEM.

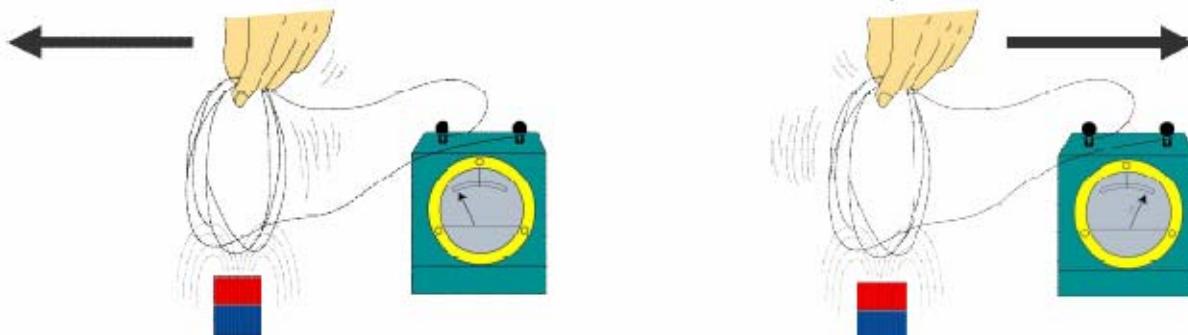
Aprovechemos para recordar y fijar algunos conceptos:

- El sentido del flujo de corriente generado está determinado por el sentido del movimiento relativo entre el campo magnético y el conductor que lo atraviesa.

- Si el movimiento relativo es de acercamiento, la corriente fluye en un sentido; si el movimiento es de alejamiento, la corriente fluye en sentido contrario.

Las siguientes figuras indican el cambio en el movimiento y el cambio en la indicación de la aguja del instrumento.

El sentido del movimiento relativo determina el sentido del flujo de corriente



En el segundo dibujo el instrumento indica al cambiar el sentido del movimiento el cambio en lo indicado por la aguja.

Podemos resumir indicando 3 conceptos fundamentales:

1 Moviendo el conductor a través de un campo magnético se produce una FEM que origina un flujo de corriente.

2 Cuando mayor sea la velocidad con que el conductor atraviesa el campo y el número de sus espiras, y cuanto más fuerte sea el campo magnético, mayor será la fuerza electromotriz inducida y más grande el flujo de corriente.

3 Si se aumenta el número de las espiras de conductor que atraviesan el campo magnético, la FEM producida, también es mayor. Además, la inversión del sentido del movimiento del conductor invierte la polaridad de la FEM inducida.

Construcción del generador elemental

Características del generador elemental

• Consiste en una espira de alambre colocada de manera que pueda girar dentro de un campo magnético fijo, produciendo una tensión inducida en la espira.

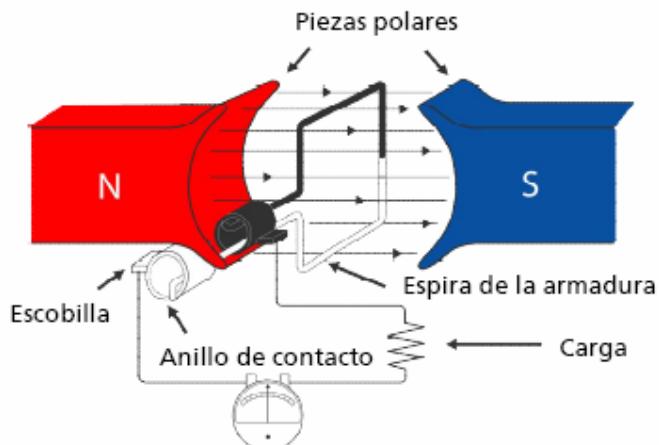
• Para conectar la espira con un circuito externo y aprovechar la FEM inducida se utilizan contactos deslizantes.

• Las piezas polares son los polos norte y sur del imán que suministra el campo magnético.

• La espira de alambre que gira a través del campo magnético se denomina armadura o inducido.

• Los extremos del inducido están conectados a unos anillos que se denominan "Anillos Rozantes" o de contacto, los cuales giran junto con el inducido.

• Las escobillas van rozando los anillos de contacto para recoger la electricidad producida en la armadura y transportarla al circuito externo.



RECUERDE

Por lo tanto la FEM inducida que se produce en la espira y la corriente que circula, dependen de la posición de la espira a medida que gira a través del campo.



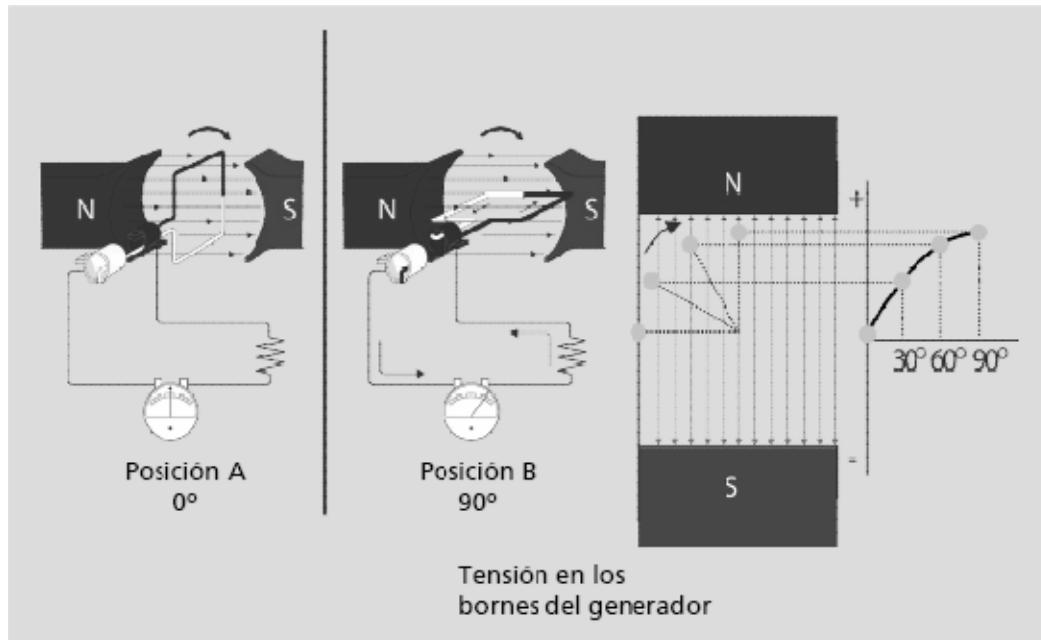
En la descripción de la acción del generador a continuación, se verá la manera en que la espira va girando a través del campo magnético. Cuando los costados de la espira atraviesan el campo magnético generan una FEM inducida que produce circulación de corriente en la espira, en los anillos de contacto, en las escobillas, en el instrumento de medición con cero central y en la resistencia de carga, todos conectados en serie.

Funcionamiento del Generador Elemental

EJEMPLO



A continuación, se exemplificara mediante gráficos el funcionamiento del generador elemental. Presumiendo que la espira que forma el inducido está girando en el mismo sentido que las agujas del reloj y que su posición inicial es A (0°). En posición A la espira es perpendicular al campo magnético y los conductores negro y blanco de la espira se desplazan paralelamente al campo. Si el conductor se mueve paralelamente al campo magnético no corta ninguna de sus líneas de fuerza y no se genera en él ninguna FEM. Esto rige para los conductores de la espira en el instante en que pasan por la posición A: no se genera en ellos FEM y, por lo tanto no hay flujo de corriente en el circuito. El instrumento indica cero (o su valor mínimo).



A medida que la espira va girando de la posición A a la posición B, los conductores atraviesan más y más líneas de fuerza hasta que, cuando están a 90° (posición B), cortan una cantidad máxima de líneas de fuerza. En otras palabras, entre cero y 90° la FEM inducida en los conductores va aumentando de cero a un valor máximo.

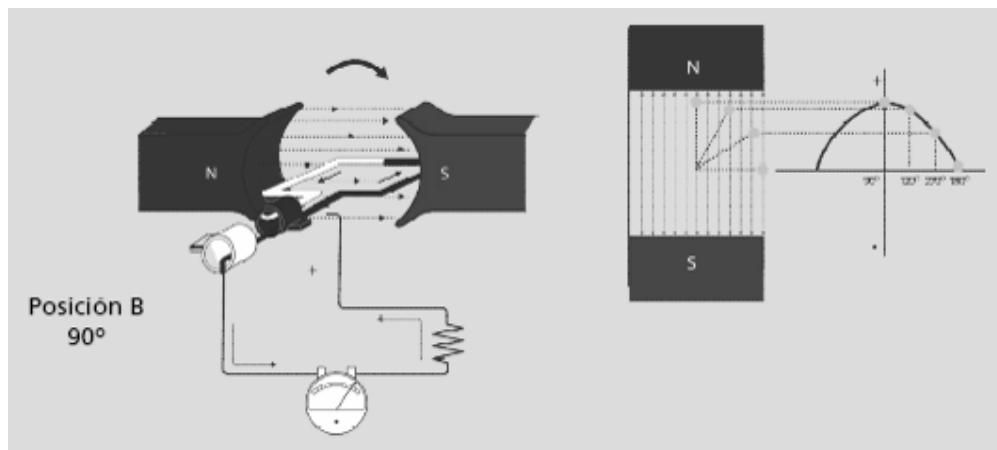
Observe que de cero a 90° el conductor negro corta el campo hacia abajo, mientras que al mismo tiempo el conductor blanco corta el campo hacia arriba. Las FEM inducidas en ambos conductores están, por lo tanto en serie y se suman, por lo cual el voltaje resultante en las escobillas (tensión en los bornes) es la suma de las dos FEM inducidas, o sea el doble que la de un solo conductor, puesto que los voltajes inducidos son iguales entre sí. La intensidad del circuito irá variando en la misma manera que la variación de la FEM inducida, siendo nula a cero grados y llegando a un máximo a 90° .

La aguja del instrumento se va desviando cada vez más a la derecha entre las posiciones A y B, indicando que la corriente de la carga está circulando en esa dirección.

EJEMPLO

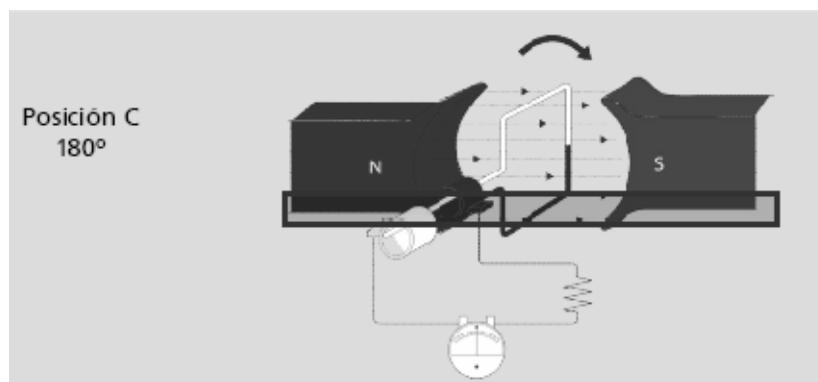


El sentido del flujo de corriente y la polaridad de la FEM inducida dependen del sentido del campo magnético y del sentido de rotación del inducido. El gráfico demuestra cómo la tensión en los bornes del generador elemental va variando desde la posición A hasta la posición B. En el diseño del generador elemental de la derecha, la espira aparece en distinta posición para ilustrar la relación entre la posición de la espira y la onda de corriente que se produce.



A medida que la espira sigue girando desde la posición B (90 grados) hasta la posición C (180 grados), los conductores que están atravesando una cantidad máxima de líneas de fuerza en la posición B, van encontrando menos líneas hasta que, cuando llegan a la posición C, se desplazan paralelamente al campo magnético y ya no cortan ninguna línea de fuerza. Por lo tanto la FEM inducida irá disminuyendo de 90° a 180° de la misma manera que aumentaba de 0° a 90°.

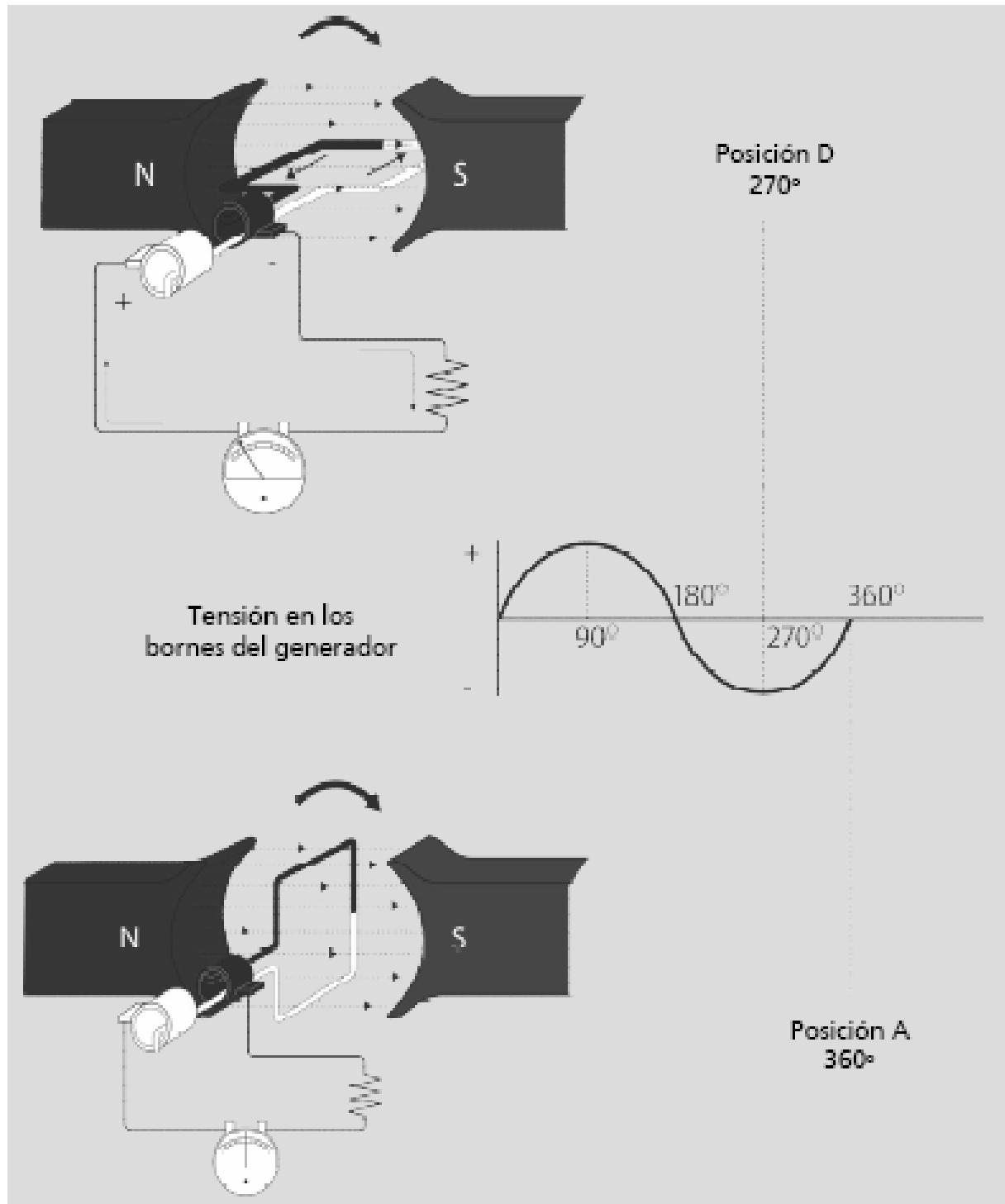
El flujo de corriente seguirá de la misma manera las variaciones de tensión.



De 0° a 180° los conductores han venido desplazándose en el mismo sentido a través del campo magnético y, por lo tanto, la polaridad de la FEM inducida no ha variado. Pero cuando la espira comienza a girar más allá de 180° para volver a la posición A, el sentido del movimiento transversal de los conductores se invierte.

EJEMPLO

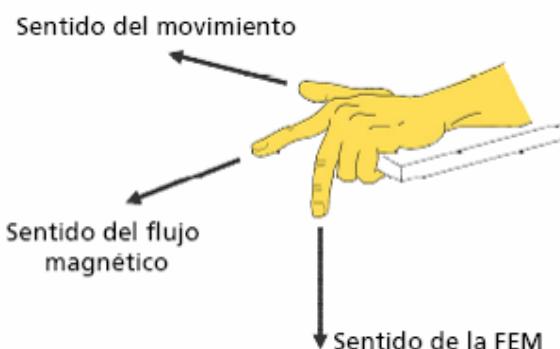
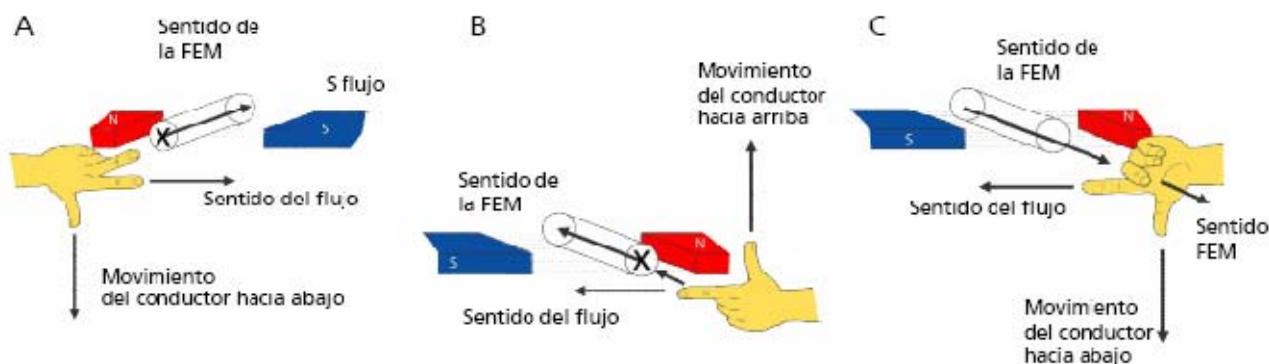
Ahora el conductor negro asciende dentro del campo y el conductor blanco desciende. En consecuencia, la polaridad de la FEM inducida y el flujo de la corriente se invierten. Desde las posiciones C y D hasta la posición A, el flujo de corriente tendrá un sentido opuesto que entre las posiciones A y C. La tensión en los bornes del generador será la misma que dé A a C, excepto que su polaridad será inversa. La onda de tensión de salida para la revolución completa es la siguiente.



Ha visto usted cómo se produce una FEM en la bobina del generador elemental. Para recordar el sentido de la FEM inducida en un conductor que se desplaza a través del campo magnético, existe un método muy sencillo, para el cual solo se necesita la mano izquierda y unos minutos.

Regla de la mano izquierda para generadores

- Esta regla dice que si usted coloca el pulgar y los dedos índice y medio de la mano izquierda en ángulos rectos entre sí, apuntando con el índice el sentido del flujo magnético y con el pulgar el sentido en que se desplaza el conductor, el dedo medio indicará el sentido de la FEM inducida.
- Se puede expresar de otro modo la última parte de la regla de la mano Izquierda diciendo que la punta y la base del dedo medio corresponden a los terminales negativo y positivo, respectivamente, de la FEM inducida.



GLOSARIO



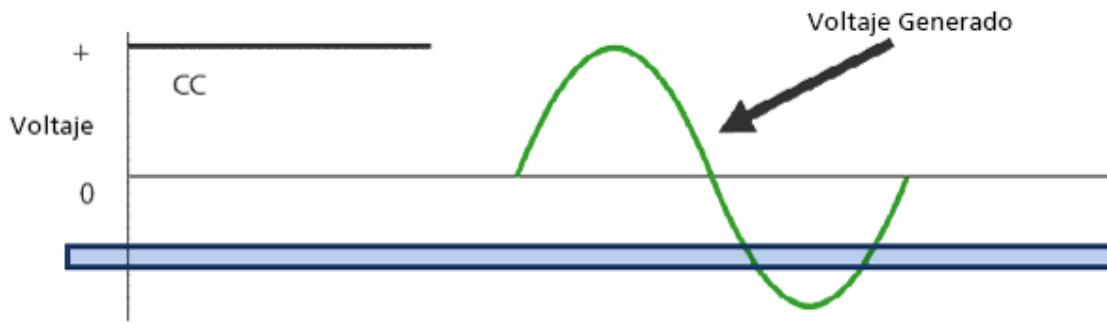
"Sentido de FEM Inducida" significa el sentido en que la corriente circulará a raíz de esta FEM inducida.

Examinemos con mayor detenimiento la onda de salida del generador elemental para estudiarla un instante:

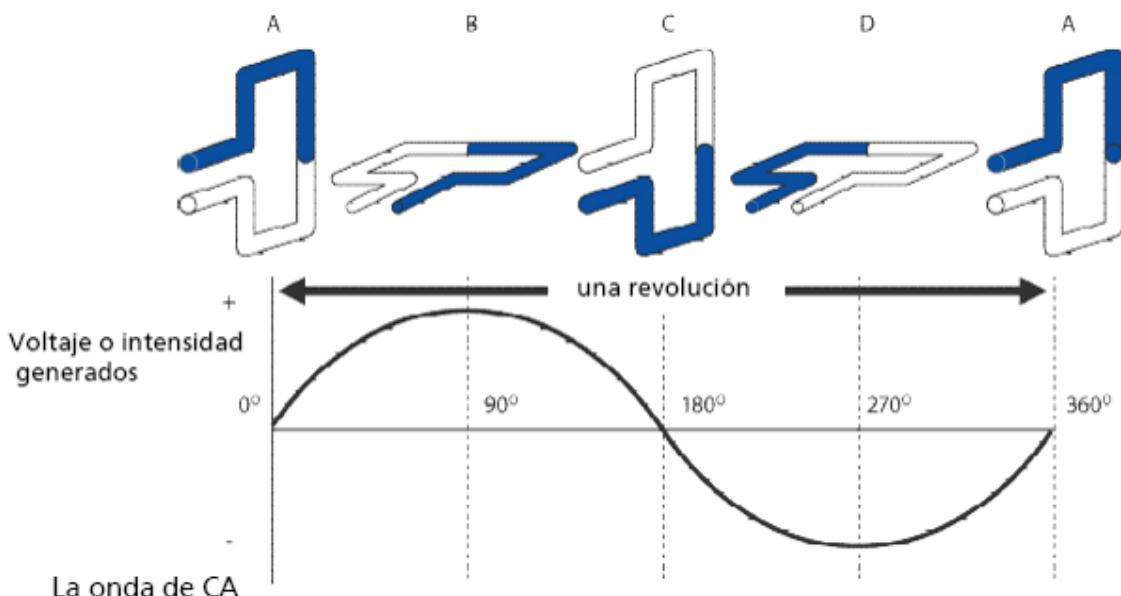
- La tensión de corriente continua puede representarse como una línea recta cuya distancia por encima de la línea de referencia cero depende de su valor.

- En el diagrama aparece la tensión de CC junto con la onda de tensión que produce el generador elemental de corriente alterna.

Usted observa que la onda producida no conserva valores y sentido constantes, como sucede con la curva de CC. Lo cierto es que la curva generada varía continuamente de valor y tanto es negativa como positiva.



El voltaje generado se denomina "voltaje alterno" porque alterna periódicamente de más a menos. Comúnmente se dice que es un voltaje CA, o sea el mismo tipo de voltaje que se obtiene del tomacorriente común de su vivienda. El flujo de corriente, puesto que varía al mismo tiempo que el voltaje, también tiene que ser alterno. A este flujo, o corriente, se lo denomina corriente alterna. La corriente alterna siempre está asociada con la tensión alterna, puesto que la tensión alterna siempre produce un flujo de corriente alterna.



¡ATENCIÓN!



El voltaje generado, por lo tanto, no es tensión continua, puesto que la tensión continua se define diciendo que es un voltaje que mantiene la misma polaridad de salida en todo momento.

Conversión de CA en CC mediante el interruptor de inversión

Se ha visto la manera en que el generador elemental ha producido la corriente alterna, con unas modificaciones se utilizará para generar corriente continua.

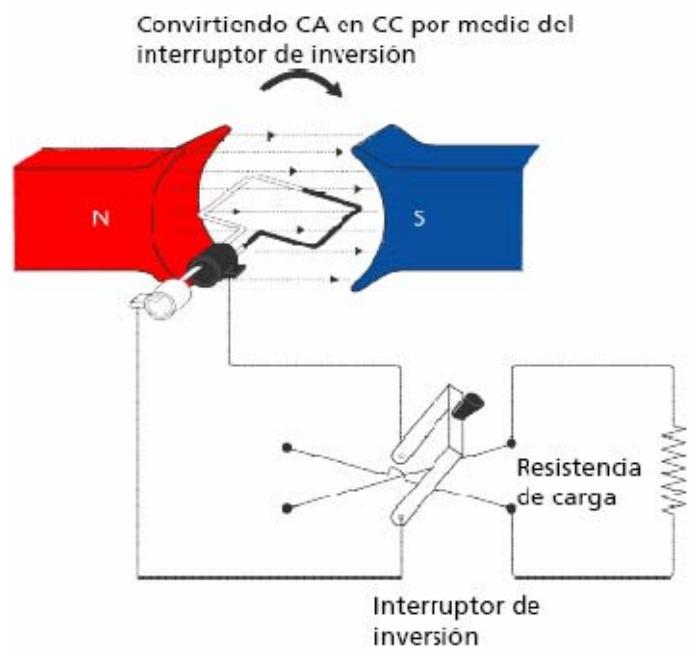
En el generador elemental la tensión alterna inducida en la espira invierte su polaridad cada vez que la espira pasa de cero grados a 180 grados. En esos puntos los conductores de la espira invierten el sentido de su desplazamiento a través del campo magnético. Sabemos que la polaridad de la FEM inducida depende del sentido en que un conductor se mueve a través de un campo magnético.

Si el sentido se invierte la polaridad de la FEM también se invierte. Dado que la espira sigue girando dentro del campo, sus conductores siempre tendrán una FEM inducida alterna en ellos.

Convertir la CA producida en CC

- Una manera de hacerlo es mediante un interruptor conectado con la salida del generador. Este interruptor puede estar instalado de manera que invierta la polaridad de la tensión de salida en todo momento en que la polaridad de la FEM inducida se modifique dentro del generador.
- En el siguiente diagrama aparece la ilustración del interruptor. El interruptor tendría que ser accionado a mano cada vez que la polaridad del voltaje se invierte.

- Si se hiciera esto, el voltaje aplicado a la carga siempre tendría la misma polaridad y el flujo de corriente en la resistencia no cambiaría de sentido, aunque aumentaría y disminuiría de valor a medida que girase la espira.



2.2 El Colector

Como vimos en el punto anterior para convertir el voltaje alterno del generador en un voltaje continuo variable, es necesario mover el interruptor 2 veces por ciclo.

Si el generador está produciendo CA de 50 ciclos por segundo, sería necesario mover el interruptor 100 veces por segundo para convertir la CA en CC.

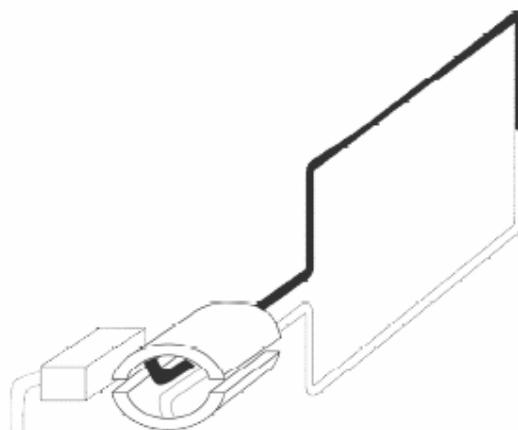
Pero sería imposible accionarlo manualmente a tanta velocidad. Diseñar un dispositivo mecánico que mueva el interruptor también sería poco práctico.

Si bien teóricamente el interruptor serviría para hacer la tarea, será necesario remplazarlo por algo que produzca la misma acción a gran velocidad, y en forma sincronizada con el movimiento de la espira.

Anillos de contacto

Los anillos de contacto del generador elemental se pueden modificar de manera que den el mismo resultado práctico que el interruptor mecánico poco práctico que hemos mencionado.

- Para hacerlo se elimina un anillo de contacto y al otro se lo divide a lo largo de su eje.
- Los extremos de la bobina están conectados con cada uno de los segmentos del anillo de contacto.
- Los segmentos del anillo de contacto están aislados entre sí para que no haya contacto eléctrico entre los segmentos, el árbol o cualquier otra parte de la armadura.



GLOSARIO

Al anillo dividido completo se lo conoce con el nombre de “colector” y su acción de convertir CA en CC se conoce con el nombre de “comutación”. A los segmentos del colector, se los llama “delgas”.



MANTENIMIENTO

Si usted trabaja con máquinas eléctricas, con colectores, estos merecen atención para su mantenimiento preventivo. Por ejemplo limpieza del colector, cambio por mantenimiento predictivo según vida útil.



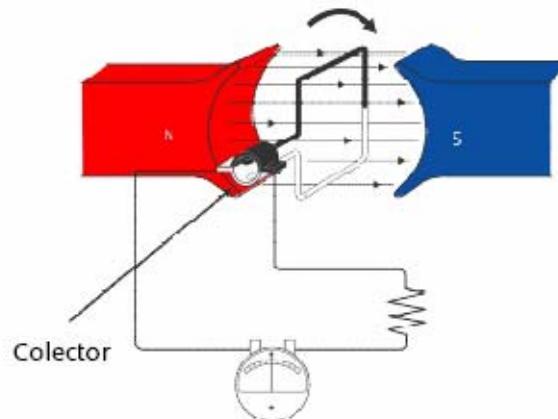
Convertir CA en CC por medio del colector

• Se observa, en el siguiente dibujo, que las escobillas están colocadas ahora frente a frente y que las delgas del colector están montadas de manera que producen cortocircuito con las escobillas cuando la espira pasa por los puntos de voltaje cero.

- Observe también que a medida que la espira gira, cada uno de los conductores estará conectado por medio del colector, primero con la escobilla positiva y después con la escobilla negativa.

- Analicemos la acción del colector al convertir la CA generada en CC. En posición A, la espira es perpendicular al campo magnético y no se producirá FEM inducida en los conductores del mismo. Como consecuencia, no habrá flujo de corriente.

- Observo que las escobillas están en contacto con ambas delgas del colector, haciendo verdaderamente un cortocircuito en la espira.



RECUERDE

Cuando la espira de la armadura gira, el colector cambia automáticamente el contacto de cada extremo de la espira de una escobilla a otra, cada vez que la espira completa media revolución. Esta acción es exactamente igual que la del interruptor de inversión.

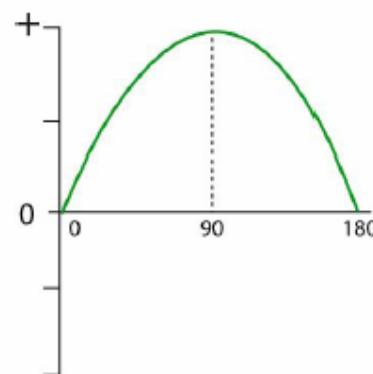
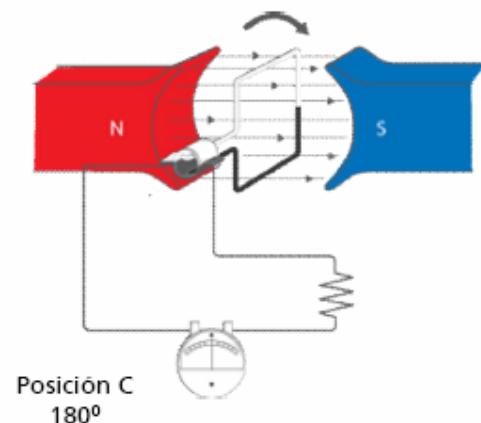
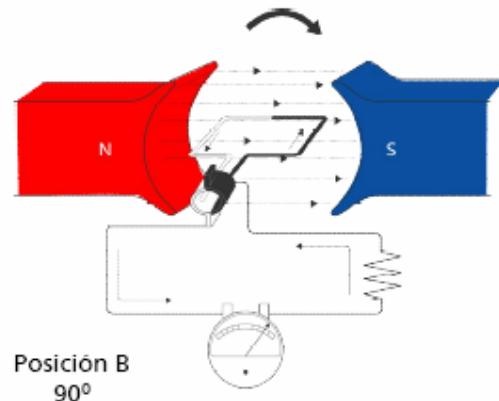
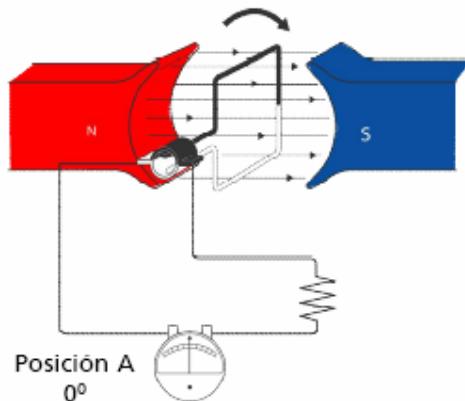
Esto último no es un error, este cortocircuito no crea ningún problema porque no hay flujo de corriente. En el momento en que la espira se desplaza levemente más allá de la posición A (cero grados), el cortocircuito deja de existir. La escobilla negra está en contacto con la delga negra mientras que la escobilla blanca está en contacto con la delga blanca.

Cuando la espira gira en el sentido de las agujas del reloj desde la posición A a la posición B (90 grados), la FEM inducida va aumentando desde cero, hasta que en la posición B (90 grados) se encuentra en su punto máximo.

Como la intensidad de la corriente varía con la FEM inducida, el flujo de corriente también será máximo en los 90 grados.

Cuando la espira sigue girando en el sentido de las agujas del reloj desde la posición B hasta C, la FEM inducida disminuye hasta que en la posición C (180 grados) vuelve a cero.

- El grafico demuestra la forma en que el voltaje en los bornes del generador varía de cero a 180 grados.



- En la posición C la escobilla negra está saliendo de la delga negra y entrando en la delga blanca, mientras que al mismo tiempo la escobilla blanca está saliendo de la delga blanca y entrando en la delga negra.
- De esta manera la escobilla negra siempre está en contacto con el conductor de la espira que se desplaza hacia abajo, y la escobilla blanca siempre está en contacto con el conductor que se desplaza hacia arriba.
- Como el conductor que se mueve hacia arriba tiene un flujo de corriente que avanza hacia la escobilla, la escobilla blanca es el Terminal negativo y la escobilla negra el Terminal positivo.

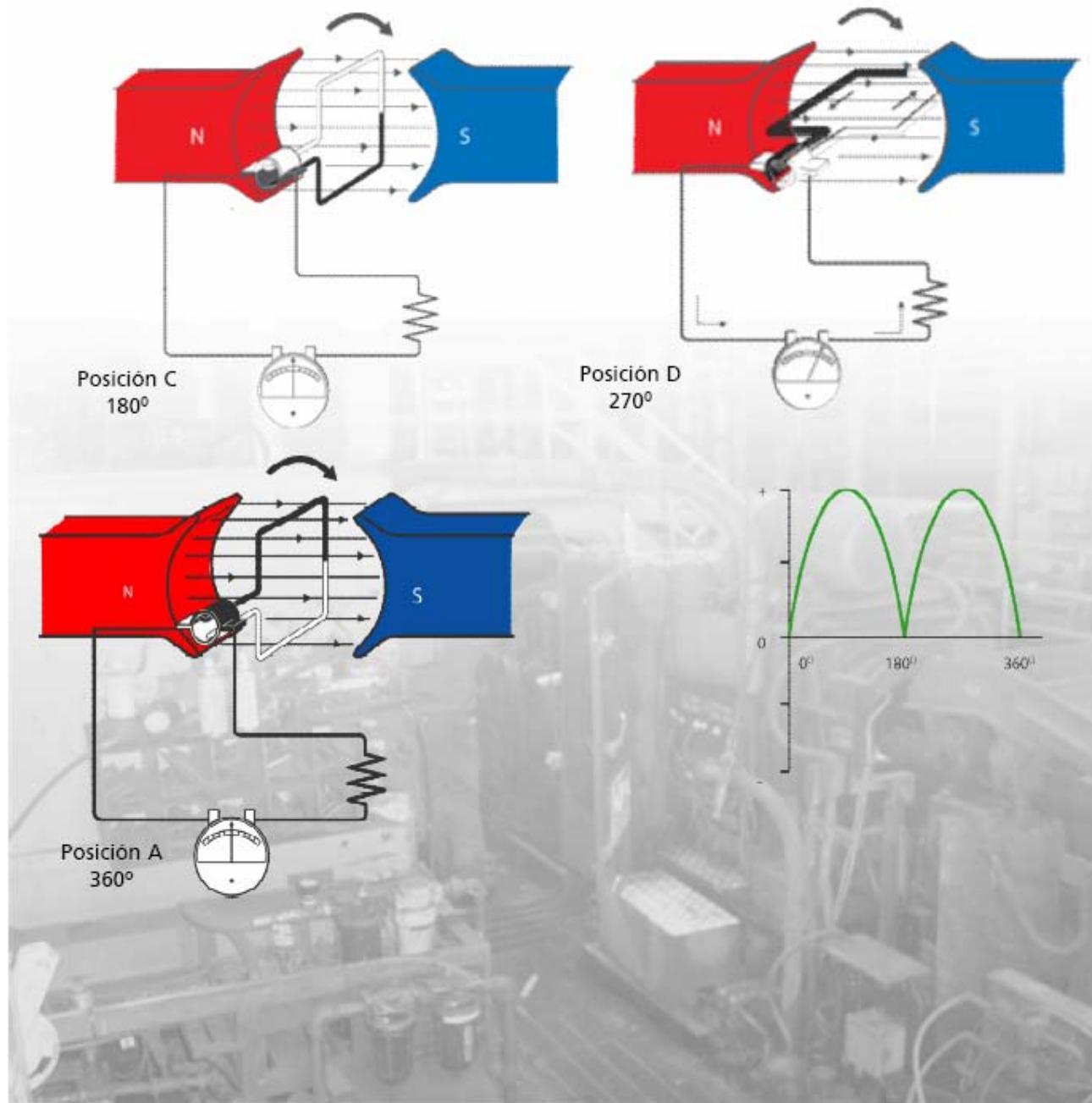
•Mientras la espira sigue girando desde la posición C (180°) hacia la posición D (270°) para volver a la posición A (360° o 0°), la escobilla negra está conectada con el conductor blanco que se desplaza hacia abajo, y la escobilla blanca está conectada con el conductor negro que se mueve hacia arriba.

•Como resultado, desde 180° hasta 360° las escobillas reciben un voltaje de la misma polaridad que el que se producía entre 0 y 180° .

ATENCION

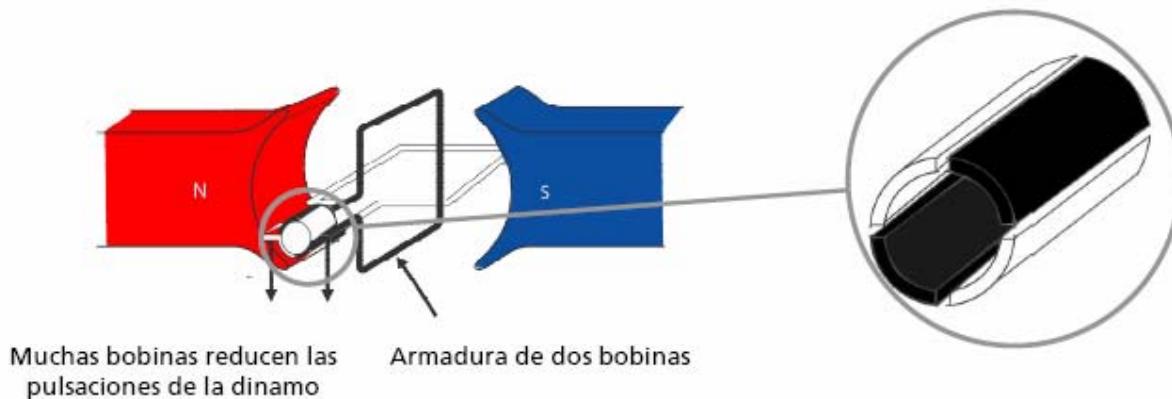


El voltaje de salida tiene la misma polaridad en todo momento, pero su valor varía, aumentando desde cero al máximo y cayendo nuevamente a cero en cada revolución completa del inducido.

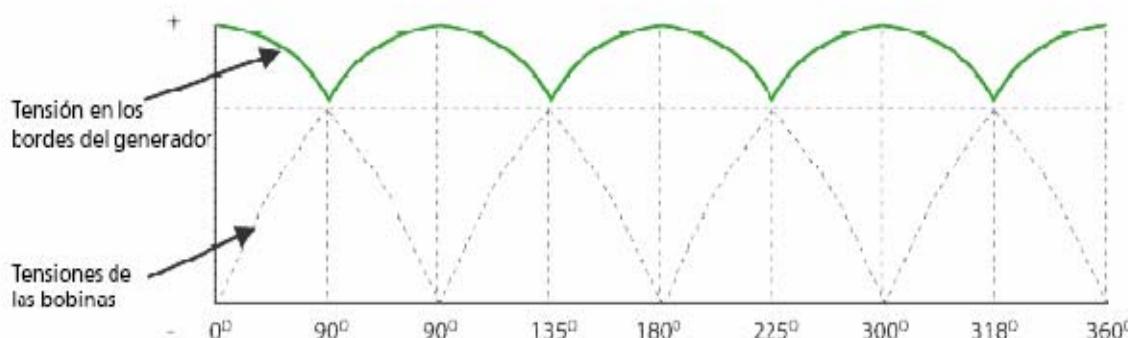


2.3 Mejorando la Salida de CC

Hemos visto en el apartado anterior como obtuvimos la forma de onda, con un voltaje en una sola dirección, pero las ondulaciones de sus valores pasan de valores mínimos a máximos.



A pesar de que la salida de la dinamo de dos bobinas se aproxima mucho más a la uniformidad del inducido de una bobina sola, siempre hay demasiada pulsación en la salida como para que esta tensión pueda ser útil en los equipos eléctricos.



IMPORTANTE

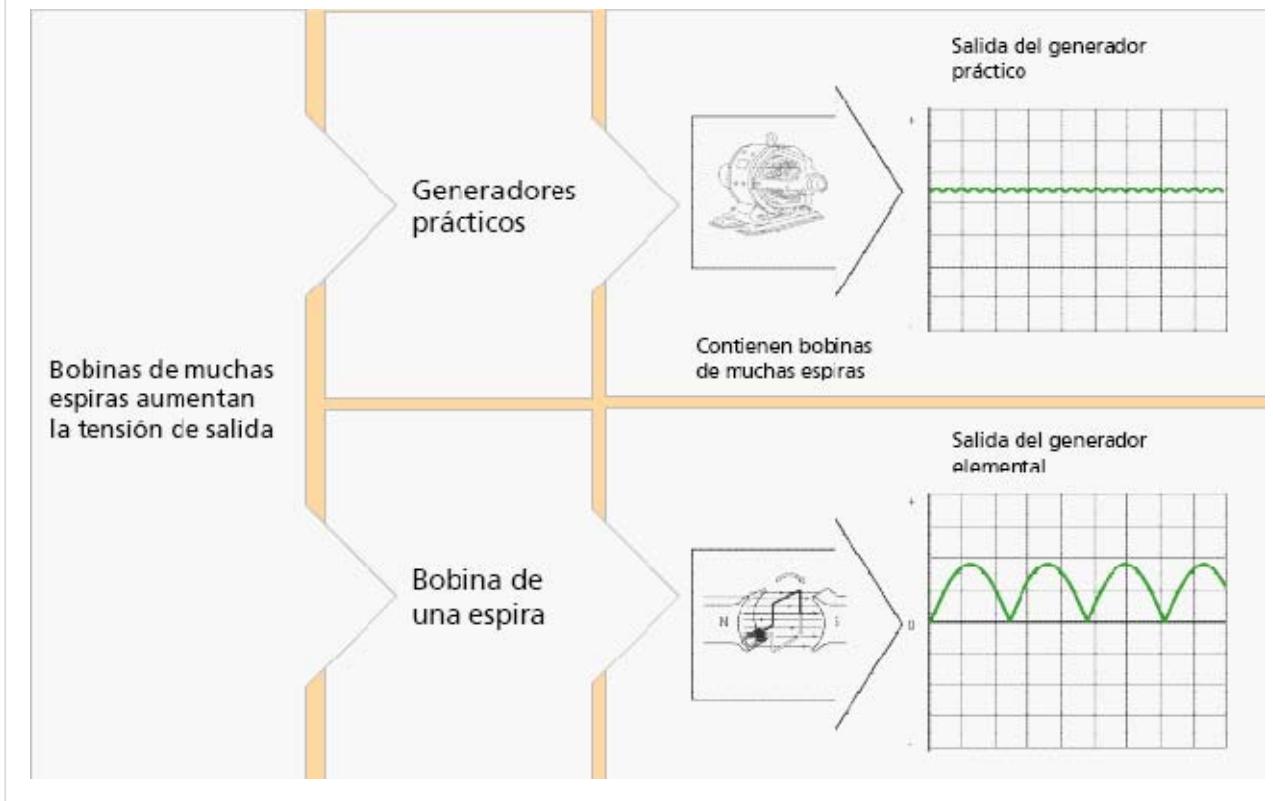
Para que la salida sea realmente uniforme, se hace el inducido con un gran número de bobinas y, del mismo modo, el colector se divide en una gran cantidad de delgas. Las bobinas están dispuestas en el inducido de tal manera que en todo instante hay algunas espiras que atraviesan el campo magnético en ángulo recto. En consecuencia, la salida contiene una pulsación muy escasa y se la considera constante, suministrando una CC "pura".





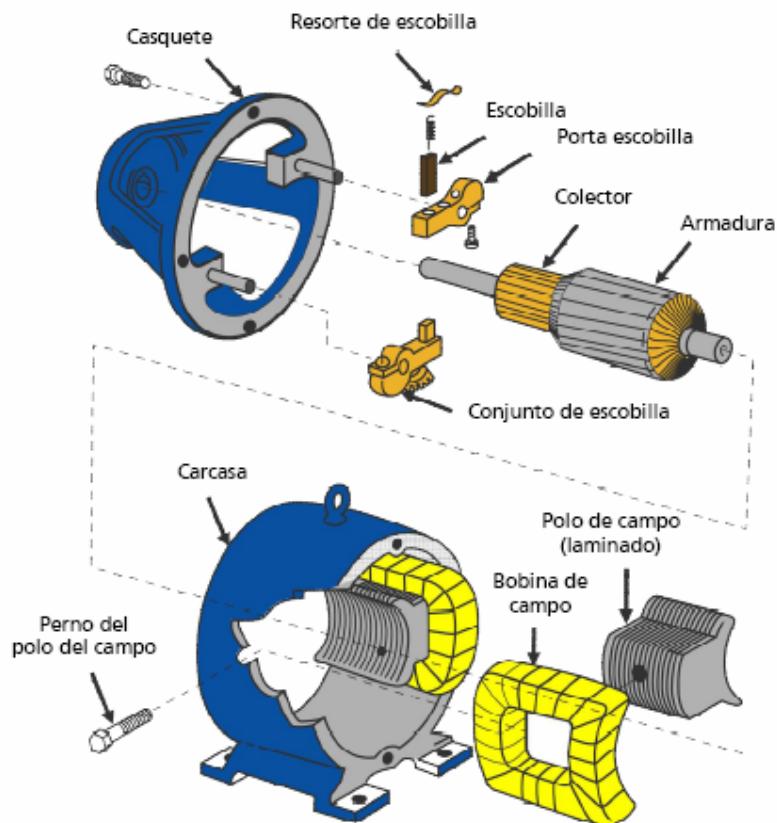
EJEMPLO

Podemos apreciar como se ve la forma de onda de tensión del generador en un osciloscopio o un graficados de ondas.



2.4 Construcción de una Dinamo de CC

En la ilustración aparece una dinamo de CC típica, con las piezas principales. Cada pieza y su función representan el equivalente de la dinamo elemental



Carcasa (armazón)

La carcasa o armazón ofrece el soporte mecánico de los elementos, está formada por un cilindro de acero o laminaciones con patas de acero soldadas. El interior y los extremos del cilindro se encuentran maquinados, en ellos se instalan los electroimanes o núcleos polares sirve para completar el circuito magnético).

Dependiendo de la naturaleza de aplicación de la máquina, su carcasa puede ser:

- A prueba de salpicaduras.
- A prueba de goteo.
- Con ventilación forzada.
- Totalmente cerradas no ventiladas.
- Totalmente cerradas con ventilador.
- Totalmente encerradas con doble ventilación.
- A prueba de explosión.

Ventilación

El sistema de ventilación de las máquinas de corriente directa depende del tipo de carcasa con que se cuenta. Teniendo en cuenta esto, la disipación de calor por medio de la ventilación se realiza de diversas formas:

- Los motores a prueba de salpicadura y a prueba de goteo cuentan con aspas montadas en la parte posterior de la flecha las cuales introducen el aire por la tapa frontal y lo hacen pasar a través de todo el interior de la máquina para expulsarlo por la tapa posterior.
- Por otra parte, las carcassas con ventilación forzada cuentan con un abanico independiente, el cual también introduce el aire por la tapa frontal para expulsarlo por la tapa posterior.
- Este tipo de ventilación tiene la ventaja de que proporciona un enfriamiento uniforme a la máquina, independientemente de la velocidad de la flecha.
- Las carcassas totalmente cerradas tienen un ventilador externo colocado en la parte frontal de la flecha el cual fuerza un flujo de aire hacia la máquina.
- Las carcassas totalmente cerradas con doble ventilación cuentan con un flujo de aire interno por el cual se hace la extracción del calor hacia y un ventilador externo que se encarga de enfriar la carcasa.
- En máquinas con conmutador o anillos rozantes la mayor pérdida de calor en las escobillas es disipada por convección y el aire sirve como agente enfriador.

El flujo de aire debe ser proporcional a las pérdidas a disipar, para calcular dicho flujo, se puede considerar la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{W}{1.1 \cdot \Delta T}$$

Q

Flujo de Aire en m³/seg

W

Pérdidas a evacuar

ΔT

Diferencia en la temperatura del aire entre la entrada y la salida de la máquina

RECUERDE

Se considera un sistema de ventilación eficiente cuando la diferencia de temperatura entre la entrada y la salida es de 10 a 25 °C (20 a 45°F). Para un motor con ventilación forzada se considera 0.12 a 0.14 m³/min, por kW en operación continua. Para un motor auto-ventilado el flujo de aire distribuido por el ventilador es proporcional a la velocidad del rotor para motores pesados la relación usada es: $Q[m^3/s] = 0.10 N(v/s)$

MANTENIMIENTO

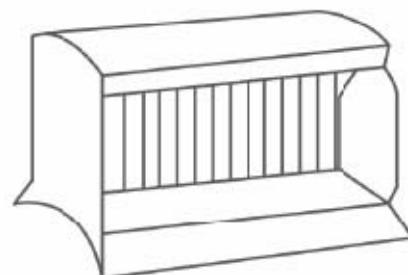
Una de las formas de saber si un motor o un generador funciona sobre su temperatura nominal es con el tacto, si la mano no puede permanecer tocando la carcasa por que nos quema es signo de llamar al equipo de mantenimiento.

Piezas Polares

Las piezas polares están formadas por muchas capas de hierro o acero llamadas laminaciones, unidas entre sí y atornilladas por dentro de la carcasa. Estas piezas polares sostienen las bobinas de campo y están diseñadas para producir un campo concentrado. Laminando los polos se reducen las corrientes parásitas, de las cuales hablamos en el Manual de Transformadores.

GLOSARIO

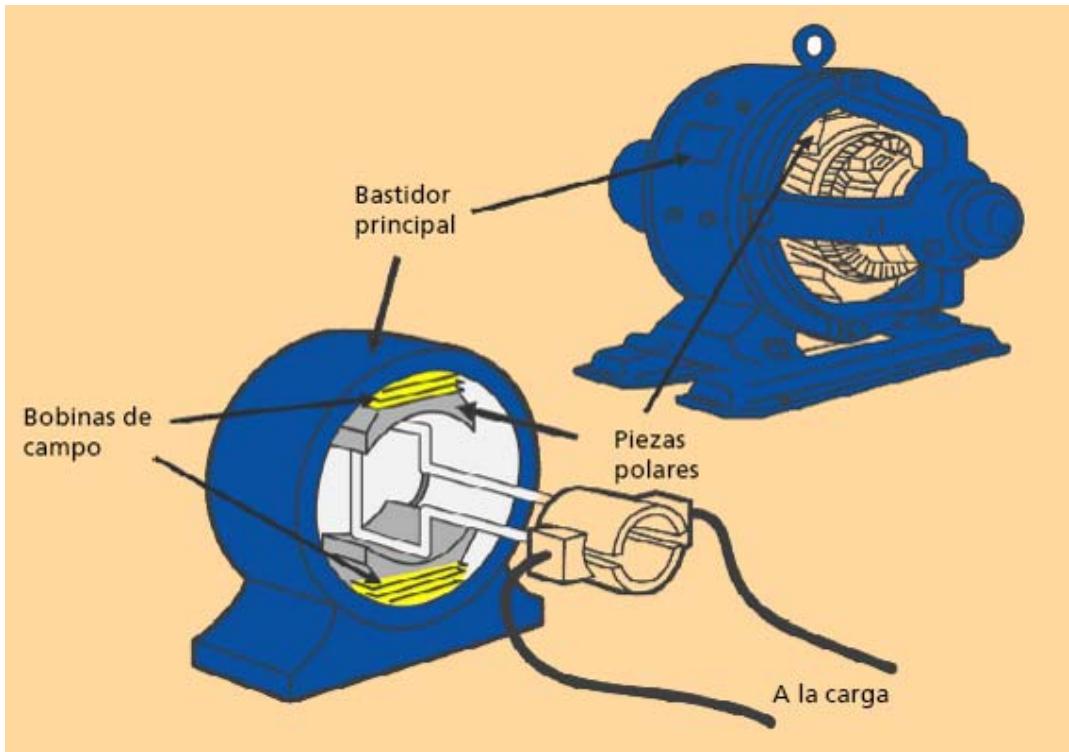
Al anillo dividido completo se lo conoce con el nombre de "colector" y su acción de convertir CA en CC se conoce con el nombre de "comutación". A los segmentos del colector, se los llama "delgas".

**Bobinados de campo**

- Los bobinados de campo, cuando están montados sobre las piezas polares, forman electroimanes que suministran el campo magnético necesario para el funcionamiento de la dinamo.
- Los bobinados son bobinas de alambre aislado que ha sido arrollado de manera que encajen en forma ajustada alrededor de las piezas polares. La corriente que circula por esas bobinas produce el campo magnético. La dinamo puede tener sólo dos polos o varios pares de polos. Cualquiera sea el número de polos, los alternos siempre tendrán polaridad contraria.
- Los bobinados de campo pueden estar conectados en serie o en paralelo (o "shunt", como se llama con frecuencia a la conexión en paralelo). Los bobinados de campo en paralelo constan de muchas espiras de conductor delgado, mientras que los bobinados en serie están compuestos por menos espiras de un conductor de calibre bastante grueso.

EJEMPLO

En esta ilustración vemos las piezas polares y los bobinados de campo.



El devanado de campo también es conocido como devanado de excitación exclusivamente en motores de corriente directa también se le da el nombre de devanado del estator). Se encuentra alrededor de la masa polar y está formado por varias bobinas. La función del devanado de campo es producir el flujo magnético de la máquina.

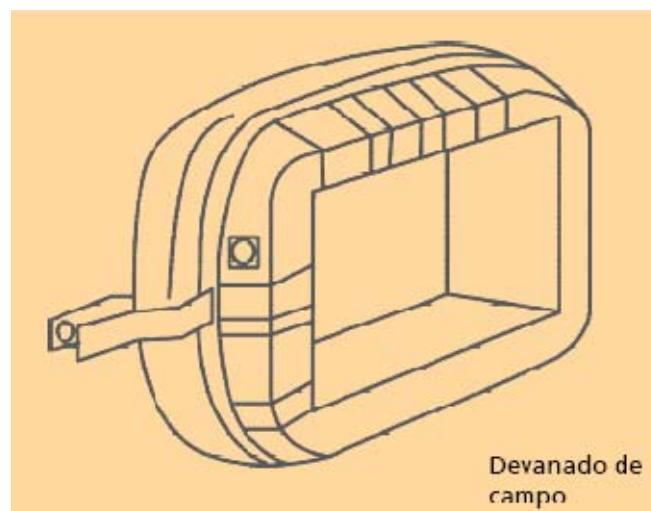
Este flujo magnético es uno de los factores que define la velocidad de la máquina y su par (fuerza).

El devanado de campo puede clasificarse en tres tipos.

Shunt: Alambre de calibre delgado y muchas vueltas. Alimentación independiente de la armadura.

Serie: Pocas espiras y alambre grueso igual al de la armadura y se conecta en serie con ella.

Compound: Posee tanto devanado en serie como shunt.



Devanado de campo

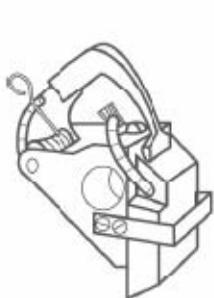
Casquetes (tapas)

Los casquitos están montados en los extremos del bastidor principal y contienen los cojinetes de la armadura. El casquito posterior suele sostener el cojinete solo mientras el anterior sostiene también al juego de escobillas.

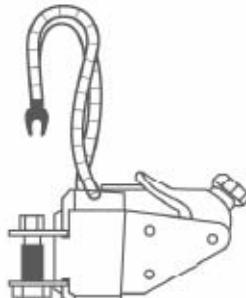
Porta escobillas

Este componente consiste en una pieza de material aislante que sostiene las escobillas y sus conductores respectivos. Los porta-escobillas vienen asegurados con grapas al casqueto delantero. En algunas dinamos los porta-escobillas pueden hacerse girar alrededor del árbol para su ajuste.

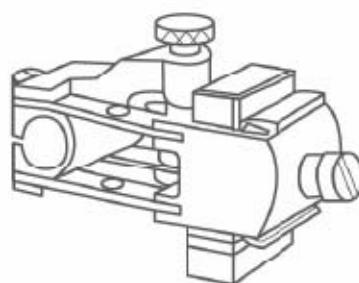
Tipos de porta escobilla



Tipo de reacción



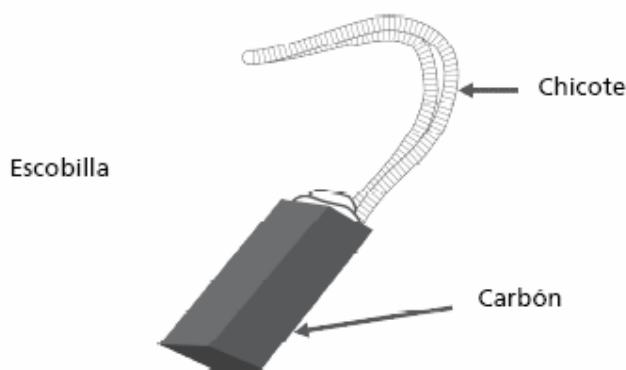
Tipo de caja



Tipo de grapa

Escobillas

Las escobillas rozan sobre el colector y transportan el voltaje generado a la carga. Las escobillas suelen estar hechas de grafito duro y se mantienen en sus sitios por los porta-escobillas. Las escobillas pueden subir y bajar dentro de sus porta-escobillas para seguir las irregularidades de la superficie del colector. Un conductor aislado flexible llamado chicote conecta cada una de las escobillas con el circuito externo

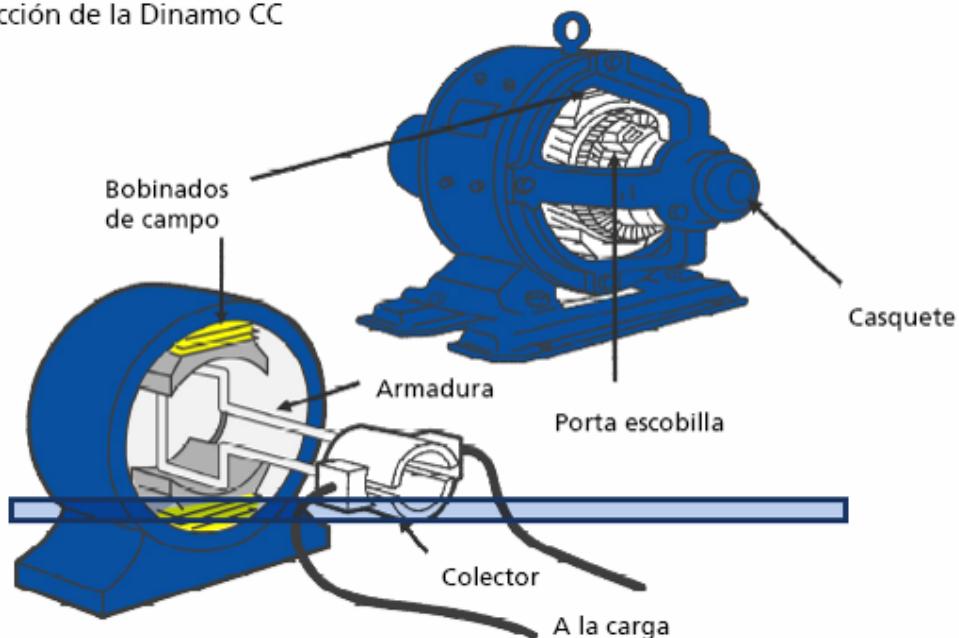


El porta escobillas debe tener un plan de mantenimiento programado, por ejemplo tiene un resorte que ejerce presión sobre el carbón, este resorte debe ser verificado mediante el dinamómetro y cambiado si no cumple con la condición

ATENCION

Las escobillas se conectan por contacto de fricción a las delgas, esta superficie de contacto es delgada y hay en juego gran densidad de corriente, este produce chisporroteo, que cuando es excesivo, es momento de llamar al departamento de mantenimiento.

Construcción de la Dinamo CC

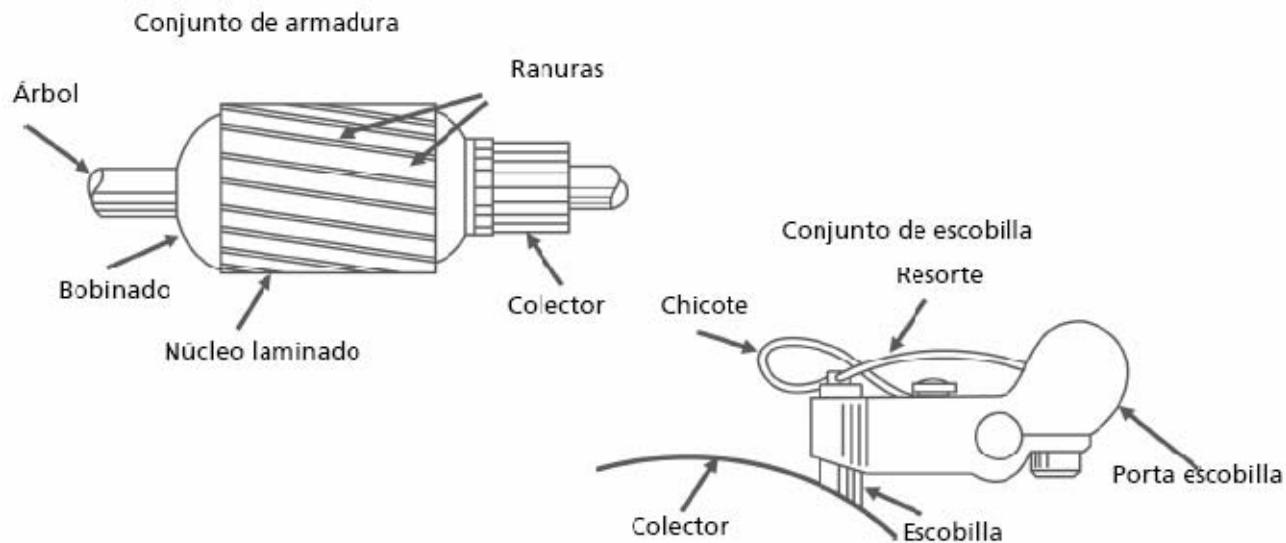


Inducido

Prácticamente en todas las dinamos de CC el inducido gira entre los polos del estator. El inducido está formado por el eje, núcleo, bobinas y colector.

- El núcleo del inducido está laminado y tiene unas ranuras en las cuales van colocadas las bobinas. Estas bobinas suelen devanarse en un molde, para darles la forma adecuada, y montarse después en las ranuras del núcleo.
- El colector está hecho con segmentos de cobre aislados entre sí y con respecto al eje por mica. Estos segmentos, llamados delgas, están asegurados con anillos de retención para impedir que patinen debido a la fuerza de rotación.
- En los extremos de las delgas hay pequeñas ranuras a las cuales se les sueldan las bobinas del inducido. El árbol o eje sostiene el conjunto del inducido y gira apoyado en los cojinetes de las tapas o casquetes.
- Entre el inducido y las piezas polares hay un pequeño espacio llamado “entrehierro”, para impedir el rozamiento entre esas partes durante la rotación.

El entrehierro siempre es mínimo para que la fuerza de campo sea máxima.



¡ATENCIÓN!

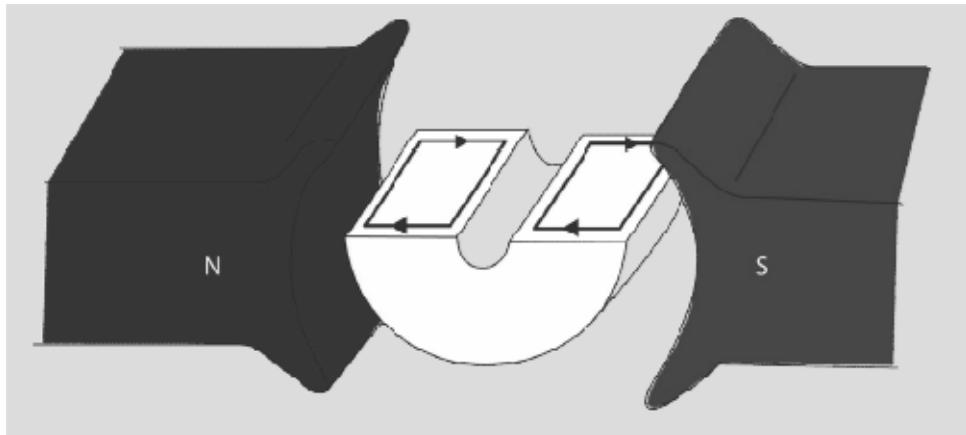
Se puede inducir flujo de corriente en un conductor haciendo que atraviese un campo magnético. Si el campo magnético es atravesado por un trozo de metal sólido (semejanza con el inducido), en vez de un solo conductor de alambre, también se producirá una corriente inducida dentro de ese pedazo de metal. Un trozo metálico grande y compacto tiene una gran sección transversal y ofrece poca resistencia al flujo de corriente.

A raíz de eso circula dentro de él una fuerte corriente denominada corriente parásita.

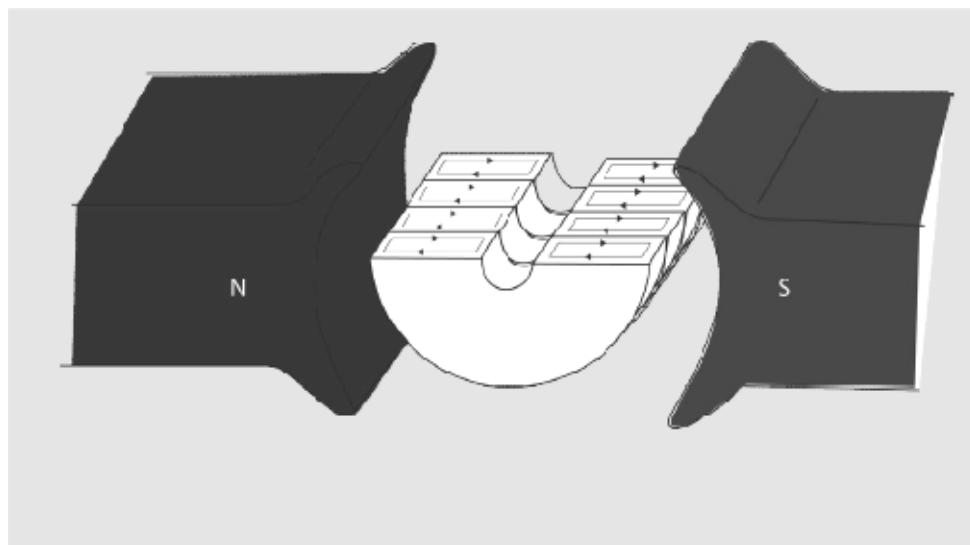
- Como los conductores que se utilizan en motores y dinamos siempre están arrollados en torno a núcleos de metal, en esos núcleos de metal se inducirán corrientes parásitas de la misma manera que se induce corriente útil en los conductores de la dinamo.
- Las corrientes parásitas que circulan en el material del núcleo de la máquina rotativa significan un desperdicio de corriente porque no sirven a ningún fin útil y sólo recalientan los núcleos. Debido a eso, el rendimiento de la máquina es bajo.
- Es importante, por lo tanto, que las corrientes parásitas del material del núcleo sean mantenidas en un mínimo. Esto se logra haciendo núcleos laminados, consistentes en planchas delgadas de metal, en vez de una pieza sólida.
- Las laminaciones están aisladas entre sí, limitando las corrientes parásitas a las que sólo pueden circular dentro de cada laminación aislada.

EJEMPLO

En el siguiente diagrama aparece el efecto de la laminación sobre la magnitud de las corrientes parásitas.



Vemos en la figura que mediante la laminación se disminuye la corriente parásita.



2.5 Tipos de Dinamo

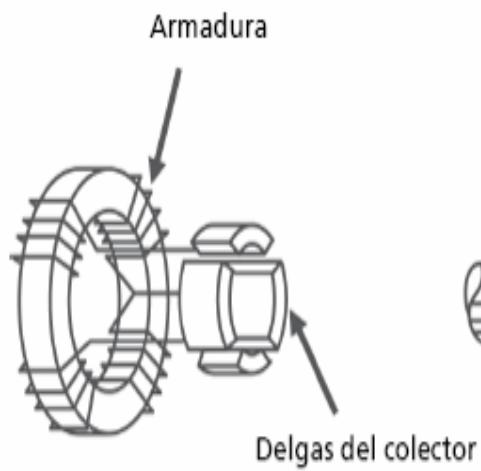
Los inducidos que se emplean en las dinamos de CC se dividen en dos tipos generales:



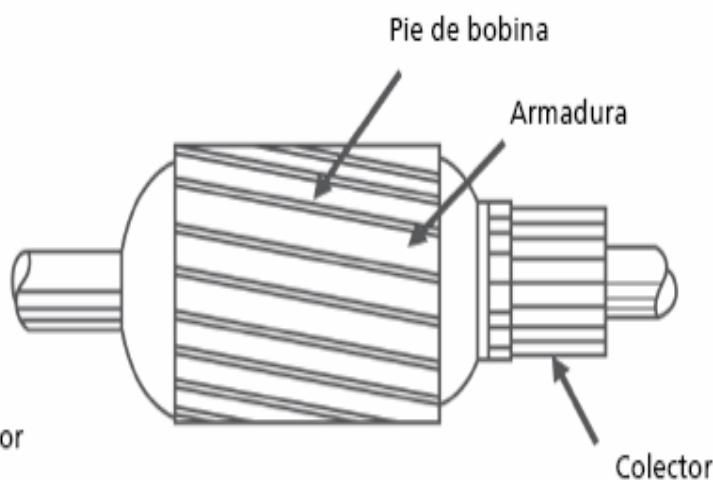
En anillo



En tambor



Tipo en anillo



Tipo en tambor

En anillo

En el inducido en anillo las bobinas aisladas están arrolladas alrededor de un delgado cilindro de hierro del cual salen tomas a intervalos regulares para formar conexiones con las delgas del colector. El inducido en anillo se utilizó en los primitivos tipos de maquinaria eléctrica rotativa.

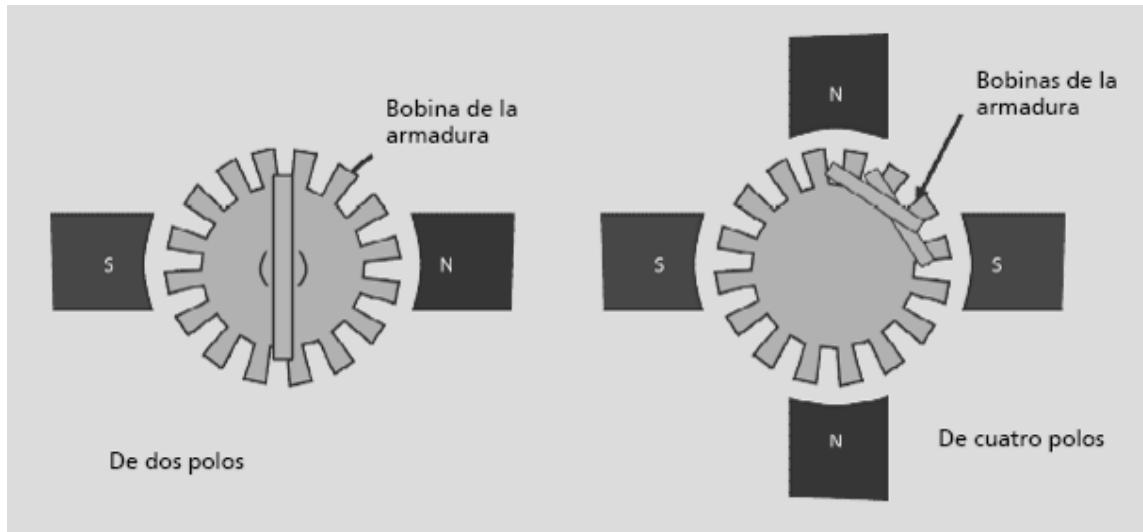
Hoy este inducido se usa raras veces.

En tambor

El inducido en tambor es el que se utiliza generalmente en la actualidad. Las bobinas aisladas están insertadas en ranuras que presenta el núcleo cilíndrico de la armadura. Los extremos de las bobinas se conectan entonces entre sí en los extremos anterior y posterior.

EJEMPLO

Visualizamos en este esquema como se pueden colocar las espiras que forman bobinas.



Las armaduras en tambor tienen dos tipos de bobinado:



Imbricado



Ondulado

La única diferencia entre bobinados imbricados y ondulados es la manera de conectarse los elementos del bobinado.

Imbricado

El bobinado imbricado se utiliza para grandes intensidades y tiene muchos recorridos en paralelo dentro de la armadura. Como resultado necesitará un gran número de polos de campo y un número igual de escobillas.

Ondulado

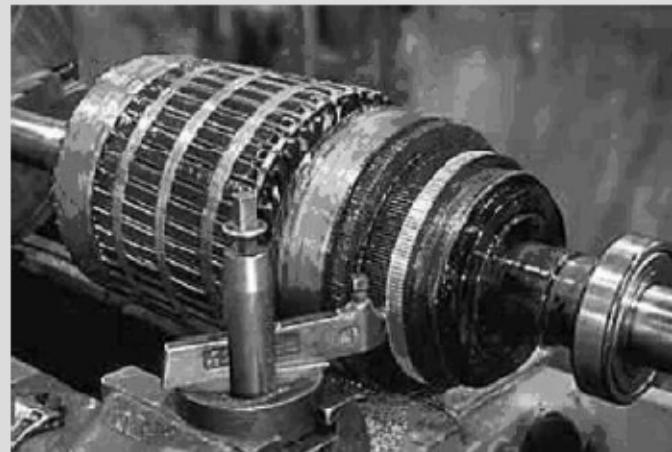
El bobinado ondulado se emplea para grandes voltajes. Sólo cuenta con dos recorridos en paralelo y sólo puede utilizar dos escobillas, cualquiera sea la cantidad de polos.

EJEMPLO

En los dos diseños de abajo se aprecia la diferencia esencial entre el bobinado imbricado y el ondulado.



Union de los conductores a delgas



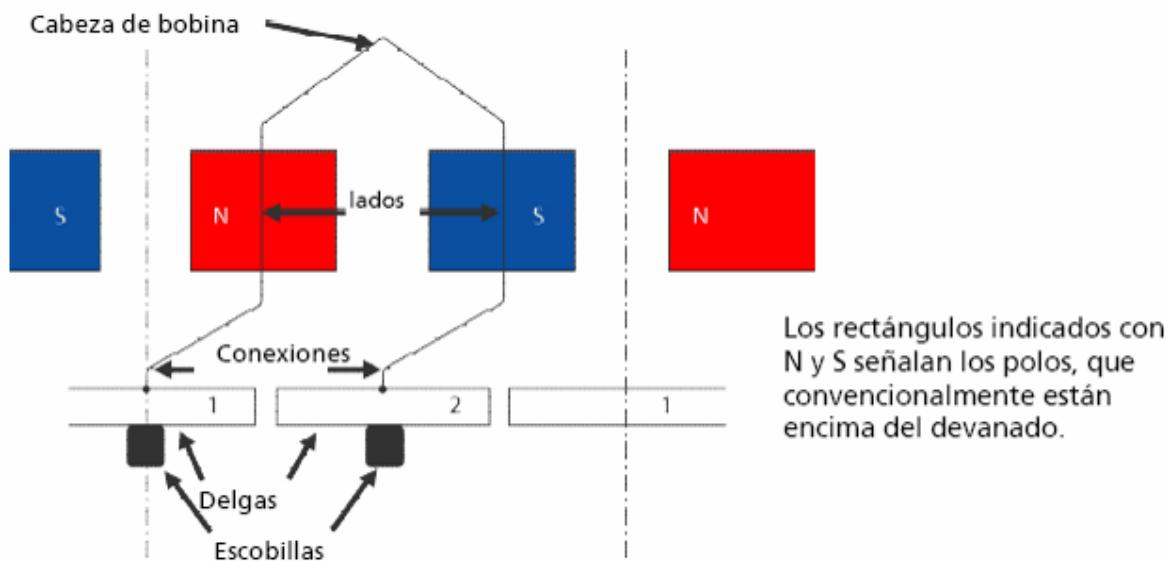
Armadura en etapa final de fabricación

En ambos bobinados AB esta en conexión con CD, que queda bajo el polo siguiente. En el devanado imbricado CD está conectado con EF, que queda bajo un polo que está a dos polos de distancia de AB.

Por lo tanto, la diferencia esencial es que en devanado ondulado las conexiones se hacen de manera superpuesta una con otra. En el devanado ondulado las conexiones se hacen hacia adelante, de manera que cada bobina pasa debajo de cada uno de los polos antes de regresar al polo de partida.

Las bobinas se alojan en ranuras y todo el conjunto está girando. Sobre los alambres de las bobinas se produce una fuerza centrífuga, que tratará de desarmar el inducido, vea en un rotor real como se contrarresta esto.

Los modernos bobinados son arrollamientos a tambor, fáciles de ejecutar y de reemplazar, el más elemental es el de una máquina bipolar, de una sola bobina y ésta de una sola espira, representándola:

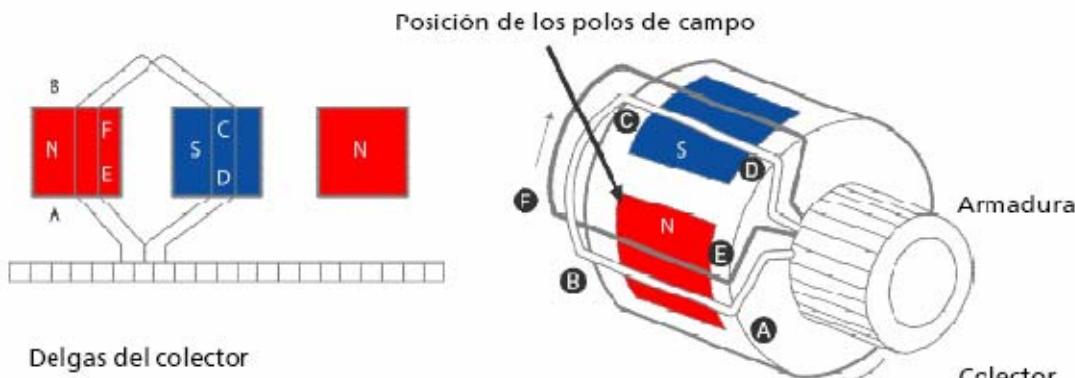


: En una forma más clara para su interpretación, y que es la que se usa en la técnica. Se supone desarrollada sobre el plano del dibujo, la superficie del inducido con todo el arrollamiento. Las líneas de trazo y punto limitan el dibujo, y señalan que a partir de ellas, el sistema se repite en orden cíclico.

A continuación profundizaremos en los dos tipos fundamentales de bobinados:

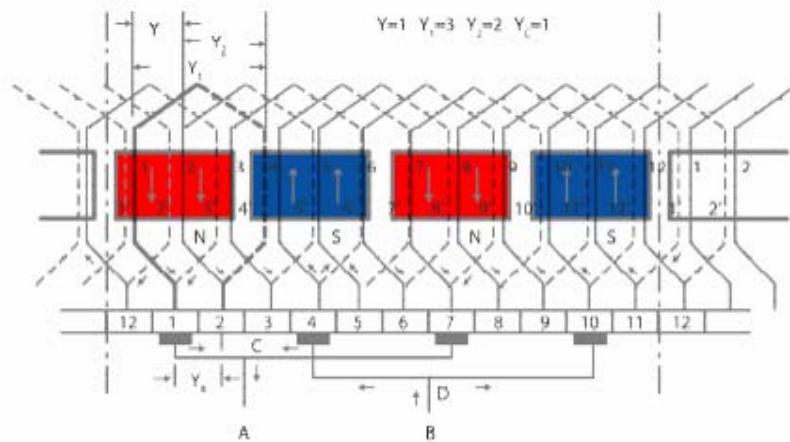
Bobinado Imbricado

Cada lado de bobina está debajo de un polo de nombre contrario, y la o las espiras envuelven el flujo de un polo.



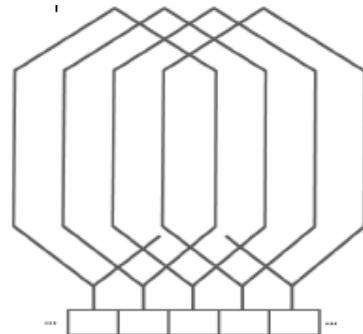
Cada lado de bobina está debajo de un polo de nombre contrario, y la o las espiras envuelven el flujo de un polo.

Las conexiones de cada bobina terminan entre delgas contiguas correspondiendo cada par de delgas a una bobina.



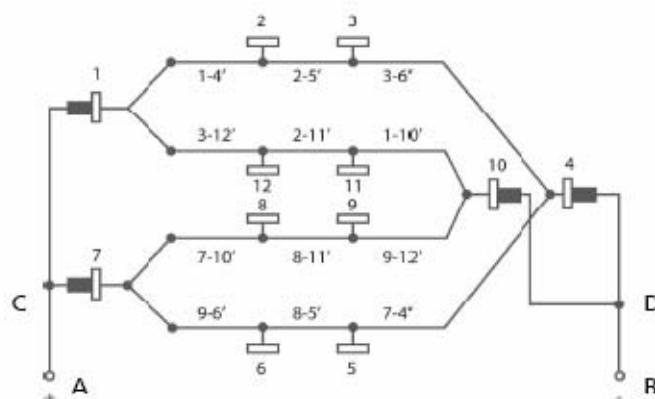
Como los devanados son cerrados, cada delga es principio de una bobina y fin de la otra.

En la figura vemos un arrollamiento imbricado tetrapolar, y una bobina, la primera se ha reforzado para apreciar su disposición.

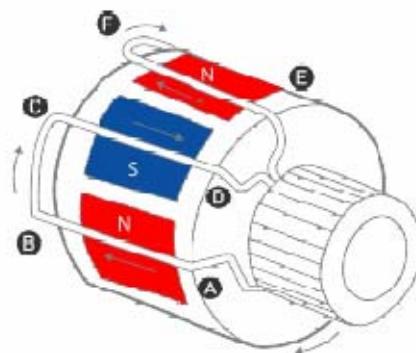
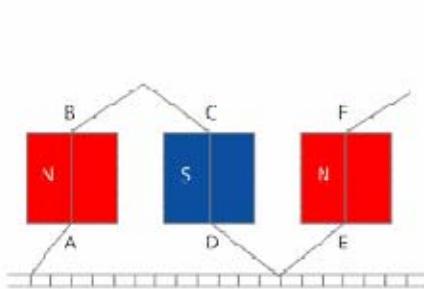


Devanado imbricado

El sistema es a doble capa ya que en cada canaleta del inducido hay dos lados de bobina. Con la delga 1 comenzaremos el bobinado hacia el lado de bobina 1 que está en la canaleta 1. Por la parte posterior y a través de la cabeza de bobina llegamos al lado 4', ubicado en la capa inferior de la canaleta 4, lado que completa la bobina y termina en delga 2, desde la cual arranca otro sistema similar, siguiendo así se retorna a delga 1 y el arrollamiento es cerrado



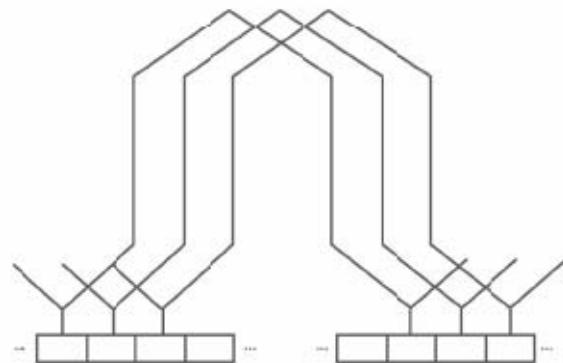
Bobinado Ondulado



- Existen sólo dos ramas del inducido, y el resto de las bobinas quedan en corto circuito. Como el devanado presentado es de pocas bobinas, el porcentaje de las que quedan anuladas es pequeño.

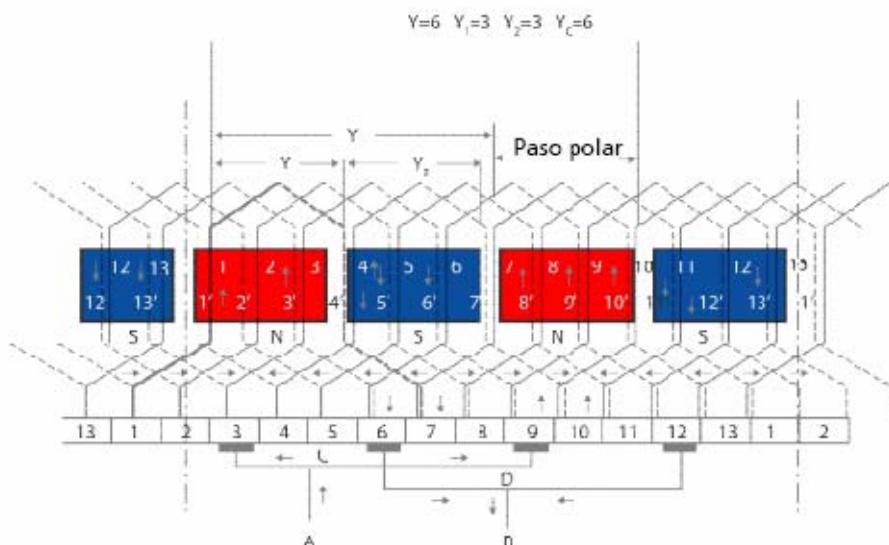
- Se observa que alcanzaría con colocar una escobilla sobre la delga 13 y otra sobre la 3, pero se colocan más para bajar la densidad de corriente.

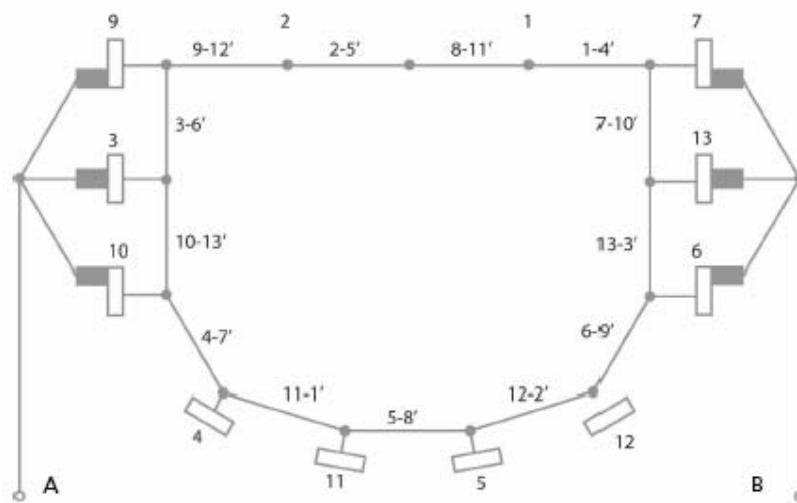
- Las delgas 9 y 10 son tocadas simultáneamente por una escobilla, lo mismo que las 7 y 6.



Devanado ondulado

Resulta entonces: $a=1$ (09-06) que es válido para todo devanado ondulado. Finalmente digamos, que a los devanados imbricados en general se los prefiere. Los tipos ondulados convienen en máquinas medianas de 6 ú 8 polos, o en máquinas de alta tensión. El arrollamiento imbricado se presta muy bien para generar altas corrientes y bajas tensiones.





Ecuación fundamental de los Generadores

La Tensión en el generador de corriente continua, es igual a la f.e.m. menos las caídas internas de tensión.

$$U = E - IR_i$$

La resistencia interior R_i la componen: R_{di} = del devanado de inducido. R_e = de contacto entre Escobillas y colector. R_a = de los polos auxiliares. R_c = del devanado compensador. R_s = del devanado en serie.

El valor R_{di} se obtiene por:

$$R_{di} = R = L_{di} r$$

$$R_{di} = R/2a = L_{di} * p / (2 * a)^2 / S_{di}$$

R_{di}

Resistencia devanado inducido en (ohm)

R

Resistencia total del inducido, si estuviesen todos los conductores en serie (ohm)

a

Número de pares de ramas en paralelo. L_{di} = largo de conductor utilizado (m)

P

Resistividad del cobre a 25° C = 0,0175 ($\Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$)

S_{di}

Sección recta del conductor en (mm^2)

Conexionado del campo

La mayoría de las dinamos prácticas de corriente continua tienen campos electromagnéticos. Los campos de imanes permanentes sólo se utilizan en dinamos muy pequeñas llamadas "magnetos".

Para producir un campo constante aprovechable en la dinamo, las bobinas de campo o de excitación deben estar conectadas con una fuente de tensión continua.

El flujo de CA en la bobina de campo no produce un campo constante y, por lo tanto, es imposible utilizar esta fuente de tensión.

La corriente continua en las bobinas de campo se denomina "corriente de excitación" y puede ser abastecida desde una fuente de tensión continua independiente, o bien aprovechando la salida de corriente continua de la misma dinamo.

Las dinamos de corriente continua se clasifican según la forma en que el campo es abastecido de corriente de excitación.



Si el campo se abastece de corriente externa, se dice que la dinamo es de excitación separada.



Si se aprovecha parte de la salida de la dinamo para abastecer la corriente de campo se dice que la dinamo es de autoexcitación.

Los circuitos de la armadura de la dinamo y de las bobinas de campo determinan uno u otro tipo y afectan su funcionamiento.

Las distintas dinamos emplean tres circuitos básicos de corriente continua:

1

En serie

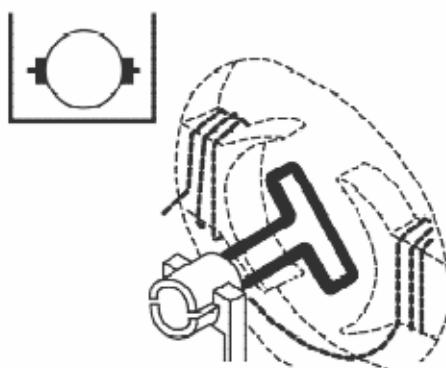
2

En derivación o "shunt"

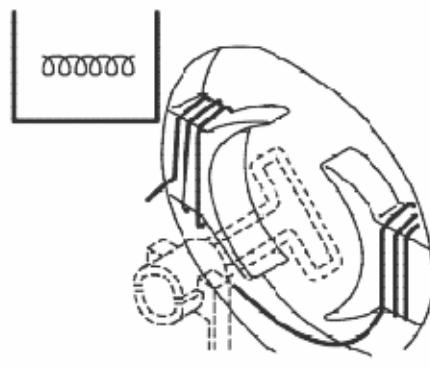
3

En serie-paralelo o "compound"

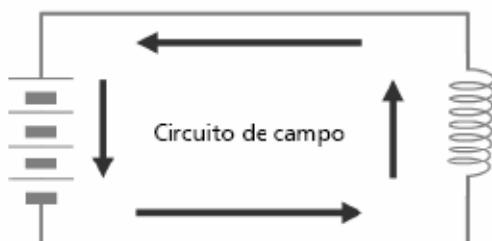
Los símbolos que se ilustran abajo se emplean para representar las bobinas del inducido y de campo en los distintos circuitos de dinamos.



Bobina de la armadura y escobillas



Bobina de campo



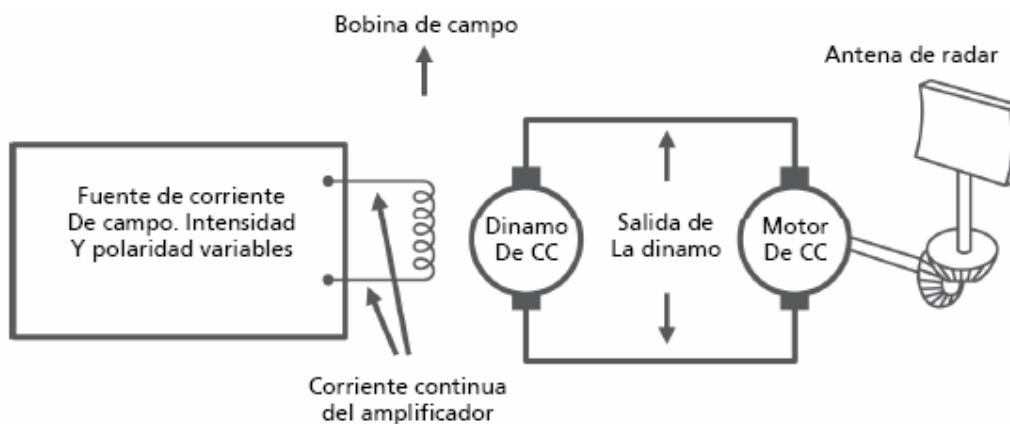
Dinamos de CC de excitación separada

Dinamos de Excitación separada

En la dinamo de excitación separada para CC, el campo es independiente de la armadura porque es abastecido con corriente que proviene de otra dinamo (excitadora), o bien de un amplificador o de una batería de acumuladores.

El campo de excitación separada provee un control muy sensible en la salida de corriente de la dinamo porque la corriente de campo es independiente de la corriente de carga.

Con un leve cambio en la corriente de campo se producirá un gran cambio en la corriente de carga.



La dinamo de excitación separada se utiliza principalmente en los sistemas de control automático de motores. En estos sistemas la potencia del campo está controlada por un amplificador y la salida del generador suministra la corriente del inducido que hace funcionar al motor. El motor se utiliza para colocar en posición una torrecilla de cañones, un reflector o cualquier otro mecanismo pesado.

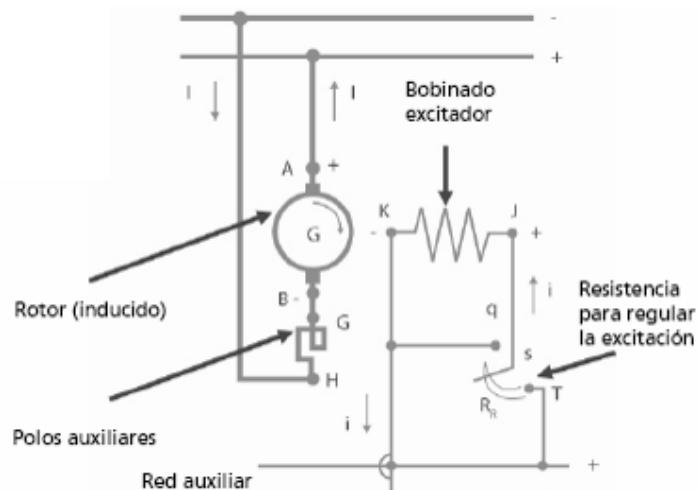
Excitación Independiente

- La corriente continua de excitación i puede provenir de una fuente ajena a la máquina, como ser otro generador o una batería de acumuladores, en cuyo caso tendremos una máquina con excitación extraña, independiente o separada.
- En figura realizamos la representación esquemática de este caso, utilizando las representaciones gráficas normalizadas, con las letras también normalizadas.

- El circuito es completo, ya que comprende una resistencia regulable que permite variar la corriente de excitación, y con ello el flujo inductor.

- El sistema de barras + —superior, es el que resulta alimentado por la máquina, y el inferior el del sistema que provee la excitación.

- Con A - B se señala el circuito completo del inducido que comprende: bobinado del rotor, escobillas, conexiones, resistencias de contacto, etc.



RECUERDE

La primera letra la correspondiente al positivo, por convención.



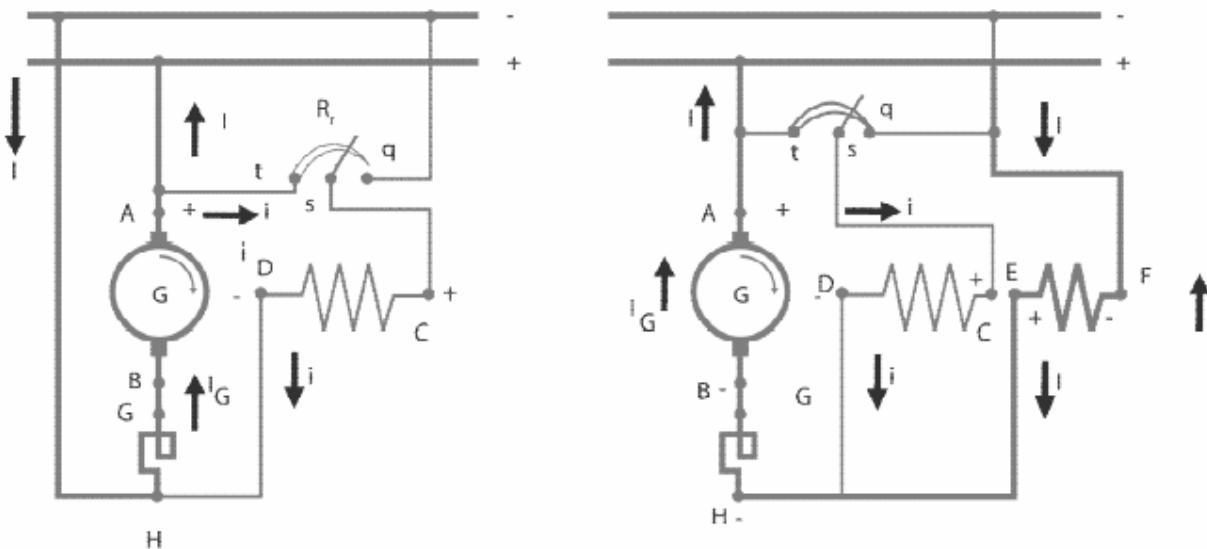
Dentro del circuito representativo del inducido vemos la G que indica generador, bajo la letra un trazo recto que indica corriente continua, y a la derecha una flecha curva que señala el sentido del giro. Este sentido se sobreentiende convencionalmente mirando la máquina desde el lado colector si tiene dos puntas de eje, y sino desde el lado del acople- Con G —H se señala todo el circuito de mejora de la conmutación, comprendiendo polos auxiliares y arrollamientos compensadores. Las letras K —J indican el bobinado de los polos principales, con todas sus bobinas.

La resistencia de regulación tiene un cursor que se indica con s, un punto fijo con t, y un punto muerto q, que permite poner en corto circuito el inductor cuando se desea.

Esta forma de excitación implica disponer de una fuente de energía, que en la mayoría de los casos no se justifica. Por ello y salvo que se requiera una característica de funcionamiento muy particular, se emplea la autoexcitación que veremos enseguida.

Dinamos de Autoexcitación

Es factible obtener la corriente de excitación de la misma máquina porque, en los polos principales, siempre es posible provocar un poco de magnetismo remanente, mediante una corriente continua dada en el momento de instalar la máquina, o a veces en la misma fábrica.



Y si no acontece algún accidente u error, dicho magnetismo remanente se puede utilizar posteriormente, o irlo reforzando continuamente en el servicio, sin que ello demande ninguna tarea adicional.

El mecanismo de la autoexcitación es el siguiente. Al girar el inducido, el pequeño flujo del magnetismo remanente existente en los polos genera f.e.m. en los conductores y aparece una pequeña tensión en bornes de inducido (del orden del 1 al 5 % de la nominal).

Esta pequeña tensión puede aplicarse a las bobinas de excitación de los polos (campos), y si la conexión es correcta en cuanto a los sentidos se refiere, incrementará al magnetismo remanente, repitiéndose el proceso hasta que la saturación del hierro y las resistencias de los circuitos establezcan un régimen de equilibrio que estudiaremos más detenidamente.

Hay tres formas típicas de auto excitación que son las siguientes:

1 En derivación

2 En serie

3 Compuesta (puede ser adicional o diferencial)

Las dinamos de autoexcitación utilizan parte de su propia salida para suministrar la corriente de excitación al campo. Estas dinamos se clasifican según el tipo de conexión de campo que se emplee.

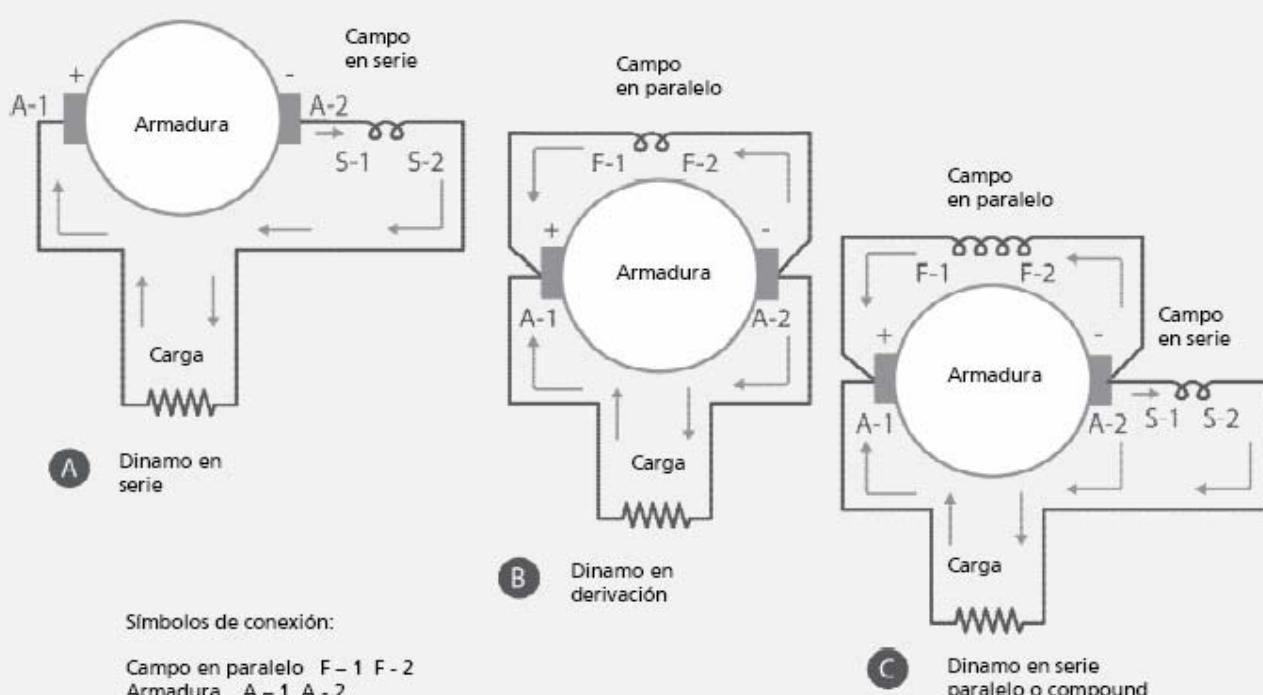
En la dinamo "en serie" las bobinas de campo están conectadas en serie con la armadura, de manera que toda la corriente de la armadura circula por el campo y por la carga.

Sí la dinamo no está conectada con una carga, el circuito está incompleto y no habrá flujo de corriente que excite el campo. El campo en serie contiene un número de espiras relativamente escaso.

Las bobinas de campo en paralelo se conectan con el circuito de la armadura, formando un circuito en paralelo o "shunt".

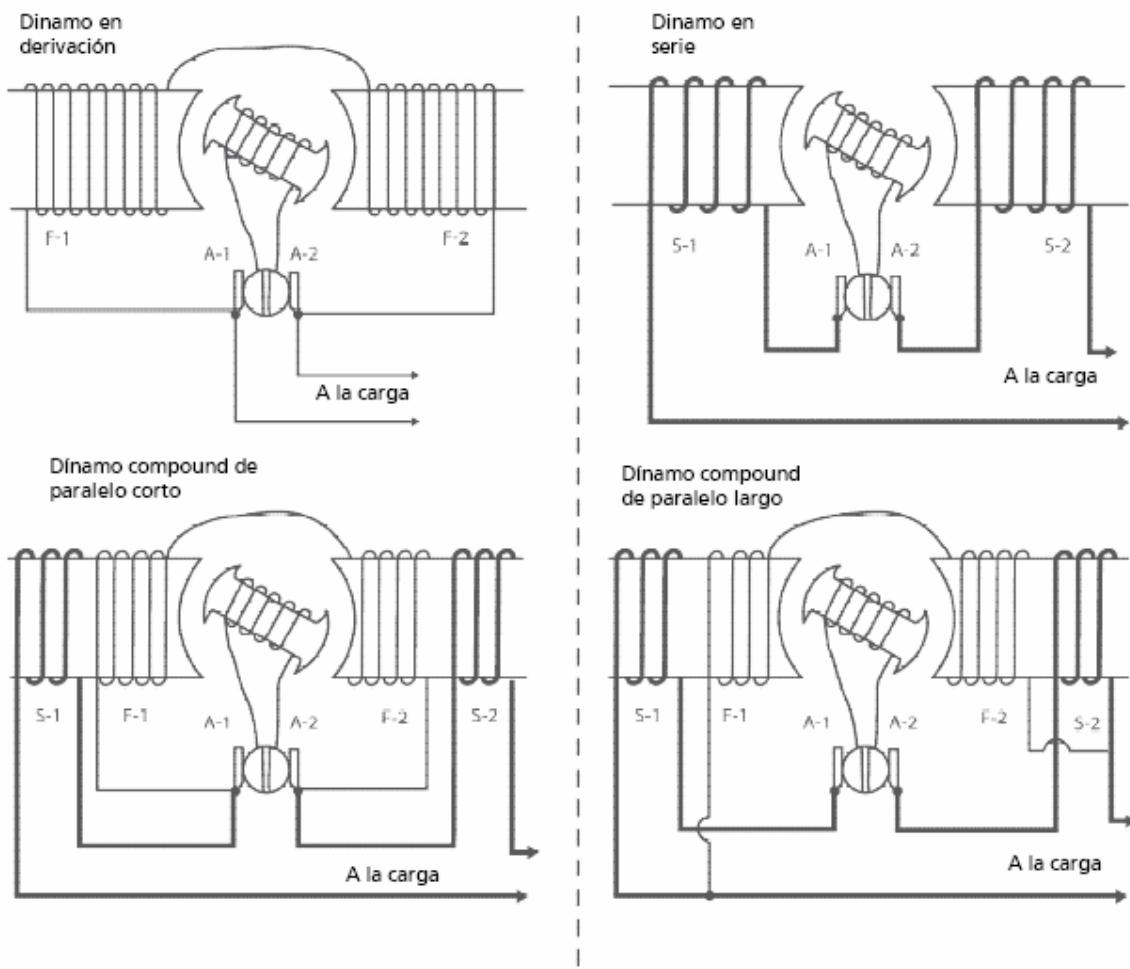
Sólo una pequeña parte del flujo de corriente de la armadura pasa por las bobinas de campo, mientras que el resto se dirige hacia la carga. Como el campo en paralelo y la armadura forman un circuito cerrado independiente con respecto a la carga, la dinamo es excitada aunque no haya carga, o sea que no hay carga conectada con la armadura. El campo en paralelo contiene muchas espiras de alambre delgado.

La dinamo en serie-paralelo tiene campo en serie y en paralelo a la vez, formando un circuito en serie-paralelo. Dos bobinas están montadas en cada pieza polar, una conectada en serie y la otra en paralelo. Las bobinas de campo en paralelo son excitadas sólo por una parte de la corriente del inducido, mientras que toda la corriente de carga circula por el campo en serie. Por lo tanto, a medida que aumenta la intensidad de la carga, aumenta la fuerza del campo en serie.



Las bobinas de campo en paralelo, conectadas directamente con la tensión de salida de la dinamo están hechas con muchas espiras de alambre fino para que la resistencia de la bobina sea lo suficientemente grande como para limitar el flujo de corriente y mantenerlo en un valor bajo. Como la corriente de campo en paralelo no se utiliza para abastecer a la carga, es necesario mantenerla en un valor lo más bajo posible.

Si se conecta el campo en paralelo de una dinamo en serie-paralelo, con el campo en serie y con la armadura a la vez, el campo se denomina campo en "derivación larga". Si el campo en paralelo se conecta directamente con la armadura, este campo se denomina campo en "derivación corta". Las características de ambos tipos de conexiones en paralelo son prácticamente las mismas.



Las bobinas de campo en serie están hechas con menos espiras de alambre más grueso y para obtener su fuerza de campo dependen del gran flujo de corriente que va a la resistencia de carga. Estas bobinas tienen que tener baja resistencia porque están en serie con la carga y hacen las veces de resistencia para hacer caer la tensión de salida de la dinamo. A continuación damos un esquema comparativo de las conexiones que se emplean en distintos circuitos de dinamos.

Casi todos los tipos de dinamos de CC que se utilizan para alumbrado y fuerza motriz, son del tipo auto excitado en el cual la corriente de la armadura se aprovecha para excitar el campo. Sin embargo, como la excitación original del campo depende de esta corriente de la armadura y como no se induce corriente en las bobinas de la armadura a menos que se muevan dentro de un campo magnético.

¿Cómo es posible que pueda iniciarse la tensión de salida de la dinamo?

En otras palabras, si no hay campo para empezar (puesto que no hay flujo de corriente en el campo), ¿cómo puede producir la dinamo una FEM?

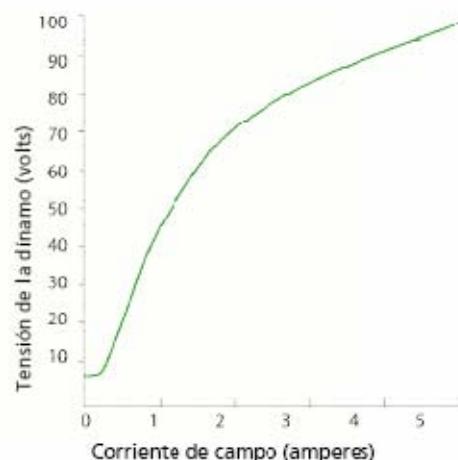
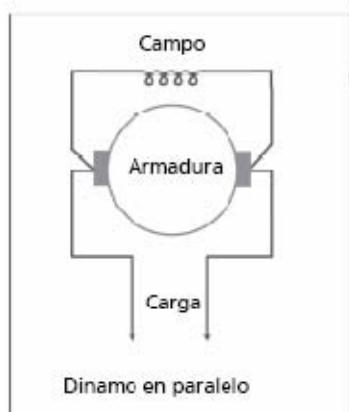
- En realidad los polos de campo retienen cierta cantidad de magnetismo que se llama "magnetismo remanente", a raíz de un funcionamiento previo de la dinamo, debido a las características magnéticas de su estructura de acero. Cuando la dinamo comienza a girar ya existe un campo original que, aunque muy débil, inducirá, sin embargo, una FEM en la armadura.
- Esta FEM inducida hace pasar corriente en las bobinas de campo, reforzando el campo magnético original y fortaleciendo el magnetismo original. Este mayor flujo, a su vez, origina una mayor FEM que aumenta todavía más la corriente en las bobinas de campo. Esta acción aumenta progresivamente hasta que la máquina adquiere la fuerza de campo normal.

Todas las dinamos de autoexcitación levantan su tensión de salida de esta manera. El tiempo de elevación normal es de 20 a 30 segundos.

RECUERDE

Recuerde que lo que produce la dinamo es energía eléctrica. La dinamo siempre tiene que ser accionada por algún medio mecánico, el propulsor primario.

En el gráfico de abajo aparece cómo crece la tensión de la dinamo y la intensidad de campo en la dinamo en derivación.



MANTENIMIENTO



A veces las dinamos no se excitan. Cuando esto sucede es porque falta alguno de varios factores. Puede que haya poco o ningún magnetismo remanente. En este caso para proveer el campo inicial necesario se debe excitar la dinamo con una fuente de CC externa. Cuando se excita el campo es importante que el campo producido desde afuera tenga la misma polaridad que el magnetismo remanente. Si las polaridades son contrarias, el campo inicial se debilitara todavía más y la dinamo tampoco levantará tensión. A menudo se conecta en serie con el campo en derivación un reóstato para controlar la intensidad de campo. Si este reóstato agrega demasiada resistencia al circuito, al principio la corriente de campo será demasiado pequeña para una correcta excitación. Por último, si el circuito de la bobina de campo está "abierto" y queda incompleto, la dinamo no se excita. En este caso se debe buscar la ruptura y repararla.

Las dinamos no se excitan debido a:

- Circuito de campo abierto
- Conexión de campo invertida
- Gran resistencia del campo en paralelo
- Magnetismo residual insuficiente



ATENCION



La dinamo no levanta tensión si las conexiones del campo en paralelo han sido invertidas. Colocándolas en posición correcta la dinamo se excitará perfectamente.

¿Cómo es posible que pueda iniciarse la tensión de salida de la dinamo?

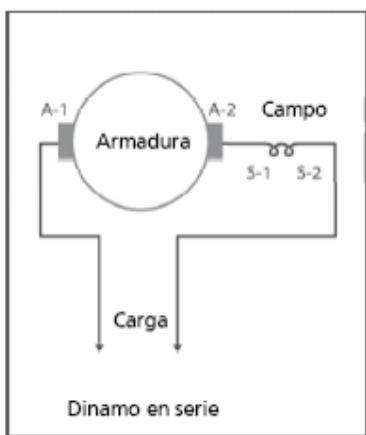
En la dinamo en serie la armadura, las bobinas de campo y el circuito externo están todos en serie. Esto significa que la misma corriente que fluye por la armadura y por el circuito externo también circula por las bobinas de campo.

Como la intensidad de corriente de campo, que también es la corriente de carga, tiene gran magnitud, la fuerza necesaria del flujo magnético se obtiene con un número de espiras relativamente pequeño en los bobinados de campo.

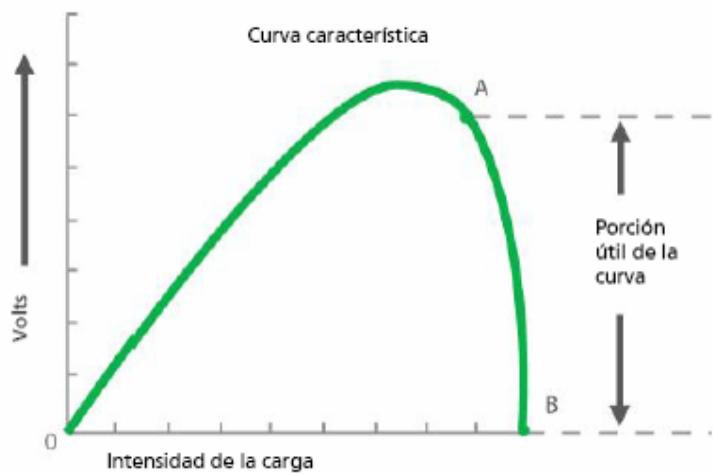
En la ilustración de la página siguiente aparece el esquema de una dinamo en serie típica para CC. No habiendo carga no hay paso de corriente y, por lo tanto, se inducirá poca FEM en la armadura, dependiendo su cantidad de la fuerza del magnetismo remanente. Si se conecta carga habrá flujo de corriente, la fuerza del campo aumentará y, en consecuencia, la tensión en los bornes también aumenta. A medida que la carga toma más corriente de la dinamo, esta corriente adicional aumenta la fuerza del campo, generando más tensión en las bobinas del inducido.

Pronto se llega así a un punto A en el cual todo aumento ulterior de la intensidad de carga no da por resultado una tensión mayor porque el campo magnético ha llegado a punto de saturación.

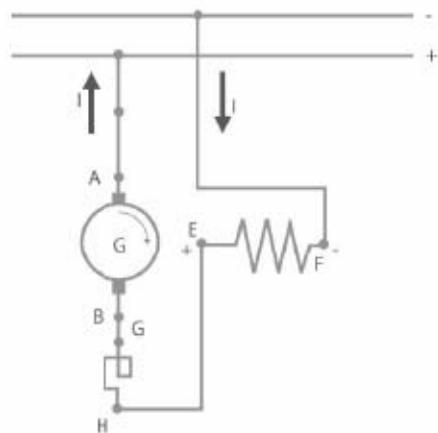
•Más allá del punto A el aumento de la intensidad de carga hace disminuir la salida de voltaje debido a la mayor caída de voltaje a través de la resistencia del campo y, de la armadura. La dinamo en serie siempre funciona más allá de este punto de rápida caída de tensión en los bornes (entre A y B), de manera que la intensidad de carga permanezca casi constante con los cambios en la resistencia de carga. Esto se ilustra en el gráfico de voltaje.



•Por este motivo las dinamos en serie se llaman "dinamos de intensidad constante". Antiguamente se utilizaban dinamos en serie de intensidad constante para accionar lámparas de arco voltaico. En la actualidad no se las emplea a bordo de los barcos de la Marina.



•El arrollamiento del campo E-F se conecta en serie con el inducido y si el circuito exterior está cerrado, el magnetismo remanente ocasiona una corriente que al pasar por el campo la refuerza, y así sucesivamente hasta el equilibrio electromagnético



La dinamo en derivación

La dinamo en derivación tiene el bobinado de campo conectado en paralelo con la armadura. Por lo tanto la intensidad de corriente de las bobinas de campo está determinada por la tensión en los bornes y por la resistencia del campo. Los bobinados del campo en paralelo tienen gran número de espiras y, por lo tanto, necesitan una intensidad relativamente pequeña para producir el flujo de campo necesario.

• Cuando se pone en marcha una dinamo en derivación, el tiempo de excitación hasta alcanzar el voltaje previsto en las escobillas es muy breve porque la corriente de campo circula lo mismo aunque el circuito externo esté abierto.

- Cuando la carga toma más corriente de la armadura, el voltaje en los bornes disminuye debido a que la mayor caída de tensión en la armadura se resta al voltaje generado. En la ilustración aparece el diagrama esquemático y la curva característica de la dinamo en derivación.

- Observe que por encima de la zona de funcionamiento normal, comprendida entre carga cero y carga completa (A-B), la caída de voltaje en los bornes a medida que aumenta la intensidad de carga es relativamente pequeña.

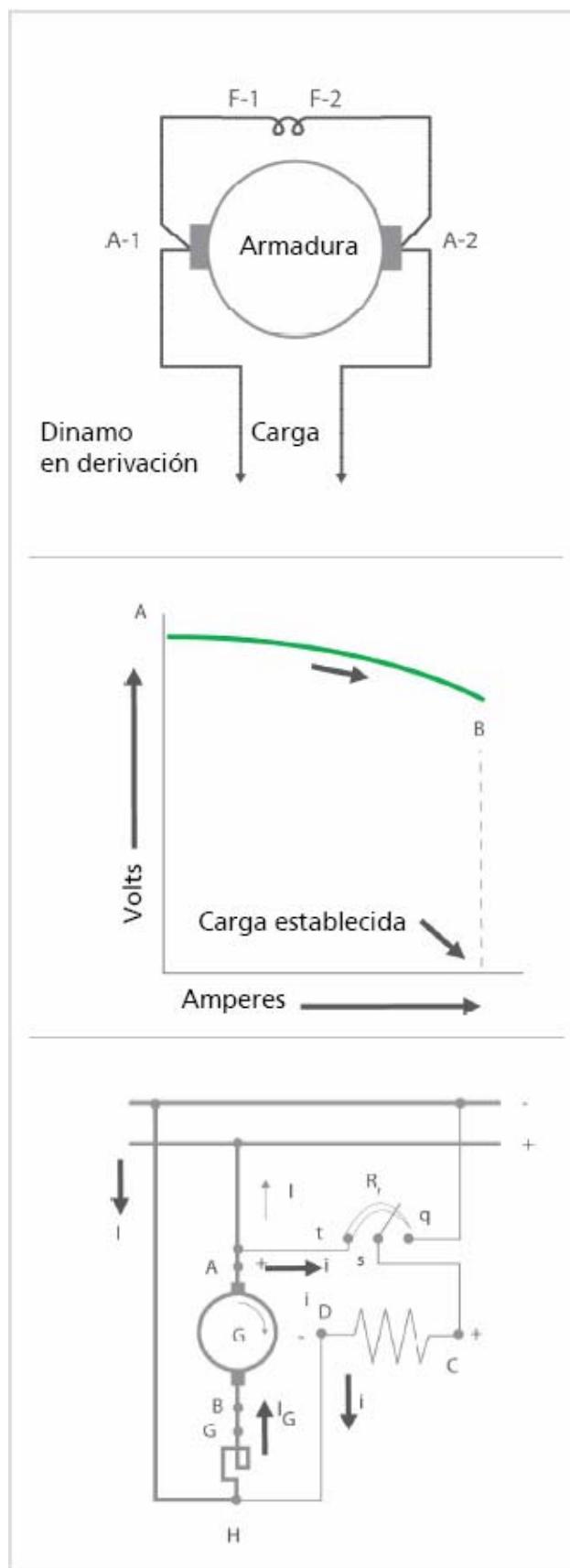
- Como resultado, la dinamo en derivación se emplea en los casos en que se desea un voltaje prácticamente constante con cualquier cambio de la carga. Si la intensidad de la carga tomada de la dinamo aumenta más allá del punto B, el voltaje en los bornes comienza a caer marcadamente.

- Jamás se hace funcionar la dinamo más allá del punto B. La tensión en los bornes de la dinamo en derivación puede regularse variando la resistencia de un reóstato colocado en serie con las bobinas de campo.

- El magnetismo remanente genera entre A-H la tensión con que se alimenta el devanado en derivación C-D con el reóstato R de regulación. El inducido genera una corriente I, una parte de la cual se entrega a la red consumidora y otra parte i se emplea en excitar sus propios polos.

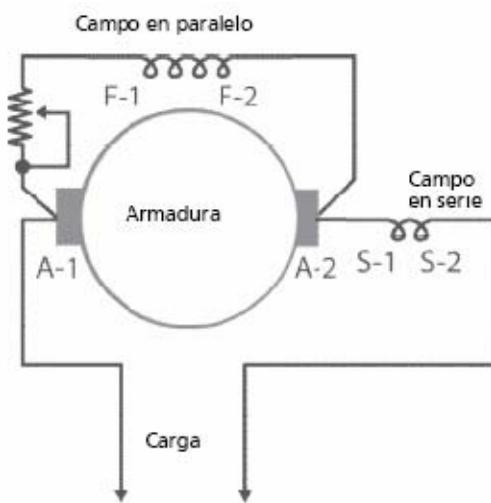
- Se cumple por lo tanto:

$$I_G = I + i$$

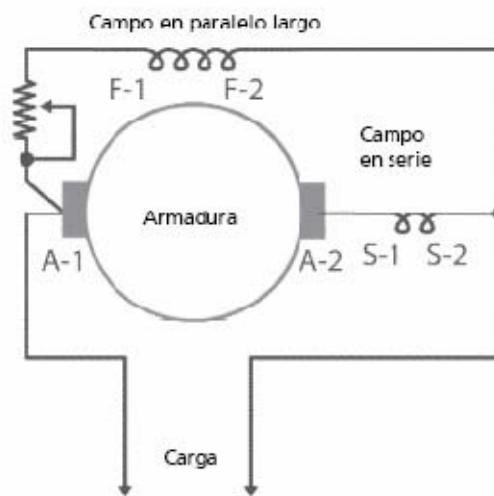


La dinamo compound

•La dinamo “compound” es una combinación de dinamo en serie y en derivación. Tiene dos juegos de bobinas de campo; uno en serie con el inducido y otro en paralelo con él. En cada pieza polar siempre hay montada una bobina en paralelo y otra en serie y a veces ambas están dispuestas bajo una cubierta común.



•Normalmente el campo serie se conecta de manera que refuerza el campo en derivación. Cuando el campo en serie se opone al campo en derivación, la dinamo se llama “compound diferencial”. Además, como hemos explicado antes, los campos pueden estar conectados en “derivación corta” o en “derivación larga”, dependiendo si el campo está en paralelo con los campos en serie y con el inducido a la vez, o solamente con el inducido. Las características de funcionamiento de ambos tipos de conexión en paralelo son prácticamente las mismas.



•Las dinamos compound han sido diseñadas para evitar la caída de tensión en los bornes que se produce en la dinamo en derivación cuando se aumenta la carga. Esta caída de tensión es perjudicial si se utilizan cargas de voltaje constante, como los sistemas de alumbrado. Con el agregado del campo en serie, que aumenta la fuerza del campo magnético total cuando se aumenta la corriente de carga, la caída de voltaje debida al mayor flujo de corriente a través de la resistencia del inducido se contrarresta y se logra un voltaje de salida prácticamente constante.

•Cada polo lleva dos bobinas, una de las cuales se conecta en derivación y la otra en serie. Ambos devanados se construyen sobre los núcleos de cada polo, según formas constructivas diversas, pero lo importante es que los flujos generados por los dos sistemas tienen un eje común.

En la figura se ve un polo del devanado compuesto o “compound”. Los bobinados correspondientes al sistema C-D se diseñan de alta resistencia y muchas espiras de alambre fino y se conectan en derivación. Con pocas espiras de conductor robusto se construye el devanado serie formando el sistema E-F, siendo válido esto también para los dinamos derivación y serie.- En la excitación compuesta, si bien el eje magnético, geométricamente hablando, de ambas bobinas es coincidente, puede tener sentido contrario al sentido del flujo generado. Si los flujos se suman, la excitación es compuesta adicional, y si se restan es, compuesta diferencial. Esto depende del sentido de ejecución del bobinado y del sentido de corrientes que se adopte.

• En el compuesto puede haber una derivación corta o derivación larga, según la forma de conexión del circuito derivación como vemos en la figura.

- Las características de la tensión de salida de la dinamo compound dependen de la relación entre las espiras del bobinado de campo en derivación y del bobinado de campo en serie.

- Si los arrollamientos en serie guardan una proporción tal que el voltaje en los bornes es prácticamente constante dentro de los límites normales de corriente de carga, se trata de una dinamo compound normal.

- Por lo general, en estas máquinas la tensión a plena carga es la misma que la tensión en vacío, mientras que la tensión en los puntos intermedios —o sea entre carga máxima y carga cero— es un poco mayor.

- Las dinamos compound normales se emplean para suministrar un voltaje constante a cargas situadas a poca distancia de ellas.

- La dinamo "hiper-compound" tiene sus espiras en serie elegidas de manera que el voltaje a plena carga es un poco mayor que en vacío. Estas dinamos se emplean en los casos en que la carga está a cierta distancia.

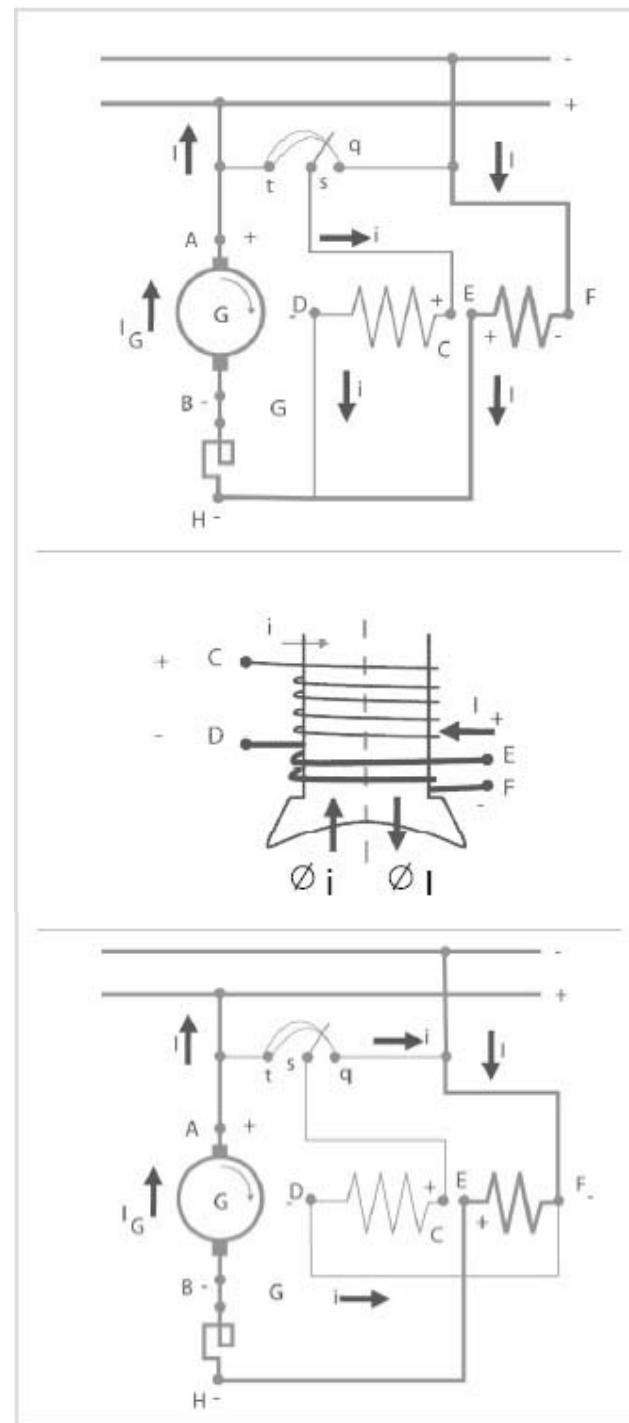
- El aumento de voltaje en los bornes compensa la caída a lo largo de extensas líneas de transmisión, manteniendo así un voltaje constante en el lugar de la carga.

- Cuando la tensión de trabajo es inferior a la tensión en vacío, se dice que la máquina es "hipo-compound". Estas dinamos se emplean raras veces.

- La mayor parte de las máquinas compound, son "híper-compound". El efecto compound se regula colocando un shunt de baja resistencia entre los terminales del campo en serie, según se ve en el esquema.

- El voltaje en los bornes puede regularse entonces modificando el reóstato de campo en serie con el campo en derivación.

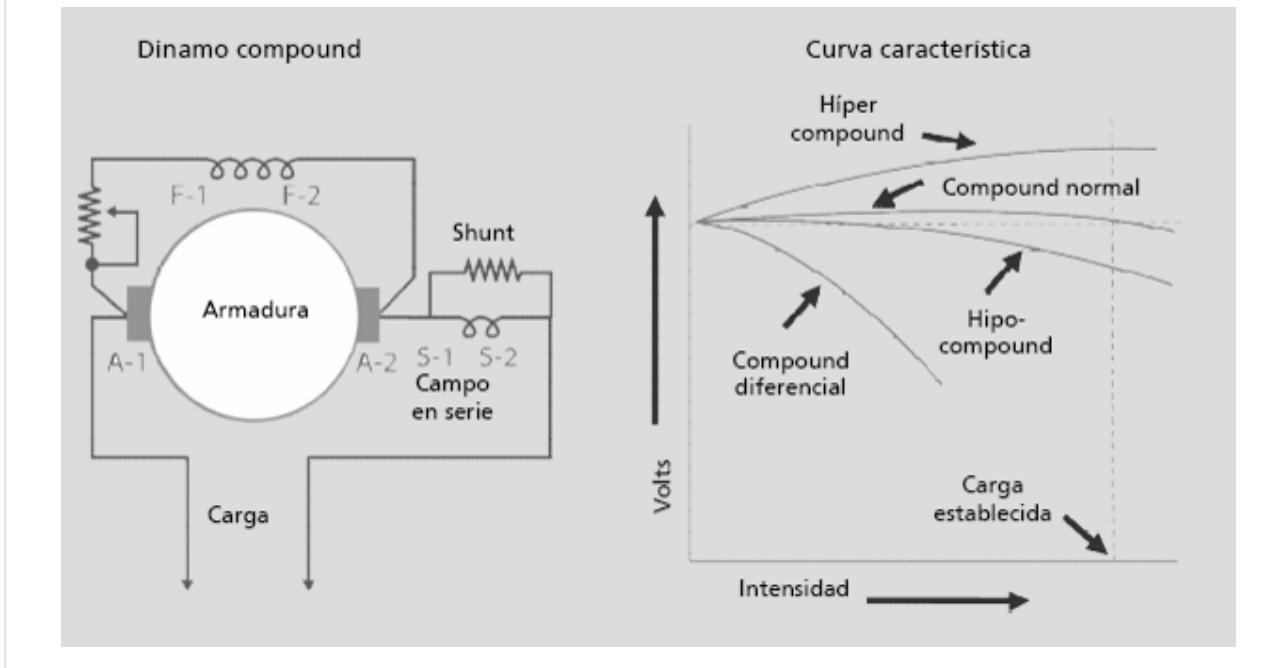
- En la dinamo compound diferencial, los campos en derivación y en serie estén en oposición. Por lo tanto, la diferencia, o campo resultante, se vuelve más débil y el voltaje cae rápidamente cuando se aumenta la intensidad de la corriente de carga.



EJEMPLO



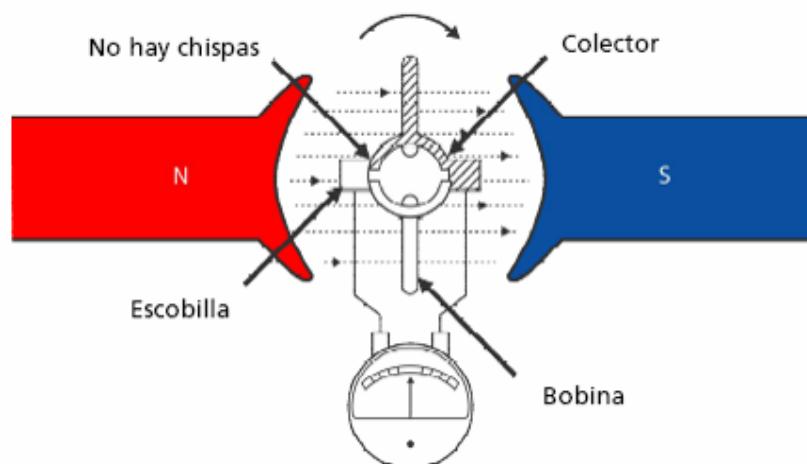
Ilustramos a continuación las curvas características de los cuatro tipos de dinamos compound.



Comutación

Las escobillas están colocadas de manera que hacen cortocircuito con la bobina del inducido cuando ésta no atraviesa el campo magnético. En ese instante no hay flujo de corriente y, por lo tanto, no salta ninguna chispa en las escobillas (que están pasando de una delga del colector a la siguiente)

Comutación correcta



Si se desplazan las escobillas unos pocos grados, hacen cortocircuito con la bobina cuando esta atraviesa el campo. Como resultado, se producirá una tensión inducida en la bobina en cortocircuito y habrá un flujo de corriente de cortocircuito que producirá una chispa en las escobillas.

MANTENIMIENTO



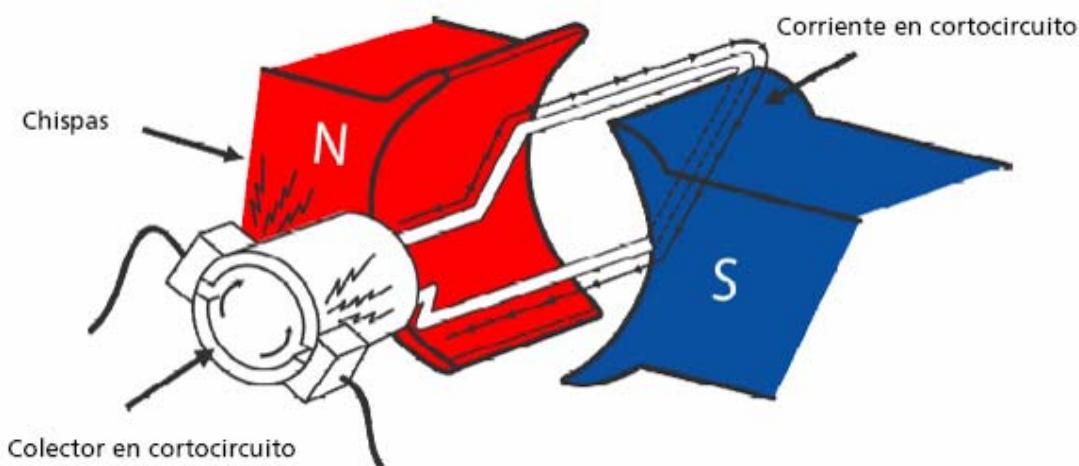
Esta situación no es conveniente porque la corriente de cortocircuito puede deteriorar seriamente las bobinas y quemar el colector.

Pero esto se puede remediar haciendo girar ambas escobillas de manera que la conmutación ocurra en el momento en que la bobina se mueve formando ángulo recto con el campo.

Las dinamos de CC funcionan con rendimiento máximo cuando el plano de la bobina está en ángulo recto con el campo en el instante en que las escobillas hacen cortocircuito. Esta posición en ángulo recto con el campo corresponde a la “línea neutra”. Las escobillas ponen en cortocircuito a la bobina cuando no pasa corriente por ella.

Comutación incorrecta – Chispas en el colector

Si las escobillas hacen cortocircuito con las delgas del colector cuyos conductores del inducido no se desplazan paralelamente a las líneas de fuerza del campo, la FEM generada hace cortocircuito, produciendo arcos en las escobillas. Cambiando de posición las escobillas se reduce este inconveniente.



Reacción del inducido

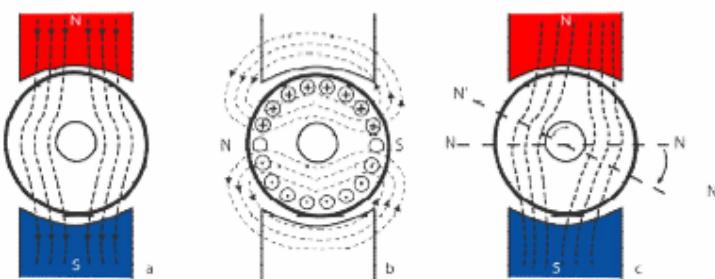
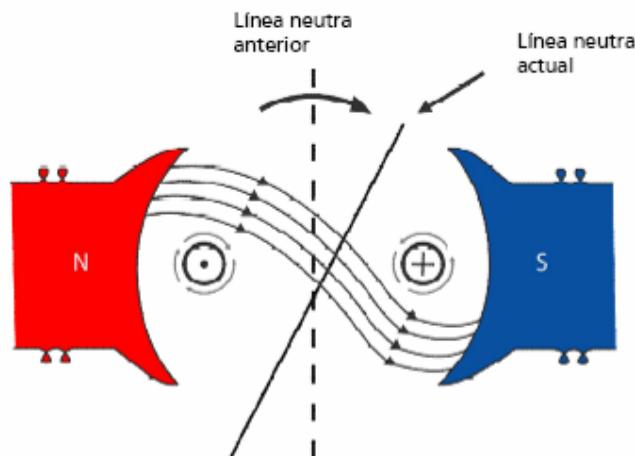
• Usted sabe que para que la commutación sea correcta, la bobina que ha sido puesta en cortocircuito por las escobillas tiene que encontrarse en la línea neutra.

• Consideremos el funcionamiento de una dinamo simple bipolar de CC. En el Esquema simplificado se ve el inducido, con el corte transversal de su bobina representado con dos pequeños círculos. Cuando el inducido gira en el sentido de las agujas del reloj, los lados de la bobina situados a la izquierda tendrán un flujo de corriente que sale del papel, mientras que los lados de la derecha tendrán un flujo que entra en el papel. También aparece en la figura el campo generado en torno a cada uno de los lados de la bobina.

• Ahora tiene usted dos campos en existencia: el campo principal y el campo que rodea a cada uno de los lados de la bobina. En el diagrama se observa cómo el campo del inducido desvía al campo principal y de qué manera la línea neutra se modifica en el mismo sentido de la rotación. Si las escobillas permanecen en la línea neutra anterior, las bobinas harán cortocircuito cuando se produce voltaje inducido en ellas.

- En consecuencia, se producirán arcos entre las escobillas y el colector.
- Para impedir esto se debe cambiar de posición las escobillas, ajustándolas a la nueva línea neutra.

La acción del inducido al desplazar la línea neutra se conoce con el nombre de "reacción de inducido".



Bobinados compensadores y polos auxiliares

El traslado de las escobillas a la posición de avance de la línea neutra no resuelve del todo los problemas de la reacción de inducido.

El efecto de la reacción de inducido varía según la intensidad de la corriente de carga. Por lo tanto, toda vez que hay un cambio en la intensidad de la corriente de carga, la línea neutra se desvía, lo cual significa que habrá que modificar la posición de las escobillas.

MANTENIMIENTO



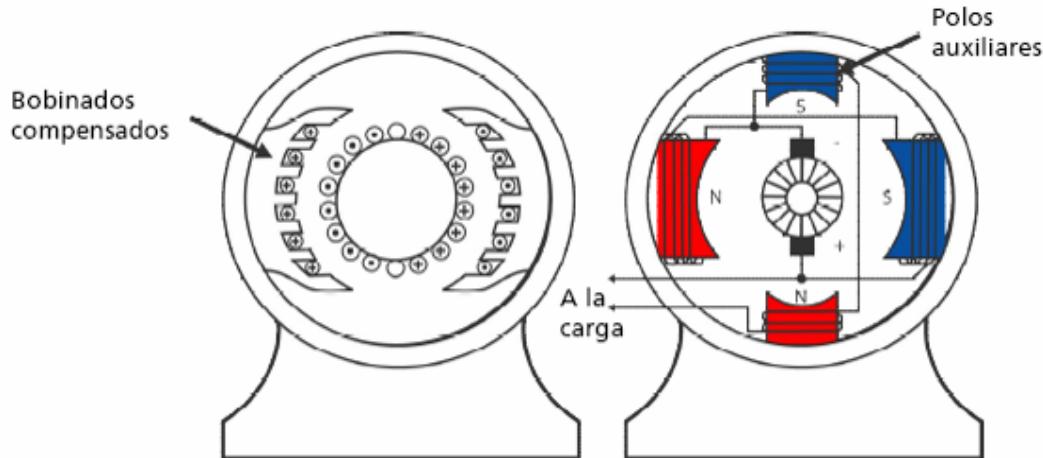
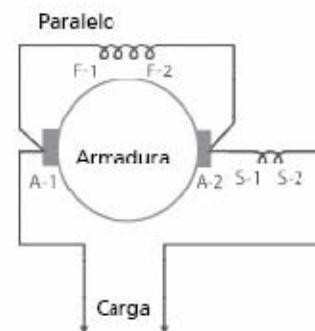
En las máquinas pequeñas los efectos de la reacción de inducido se reducen a un mínimo cambiando mecánicamente de posición las escobillas. Pero en las máquinas grandes se utilizan recursos más complicados

Para eliminar la reacción de inducido, se utilizan los bobinados compensadores y polos auxiliares.

Los bobinados compensadores consisten en una serie de bobinas introducidas en ranuras situadas en las caras polares.

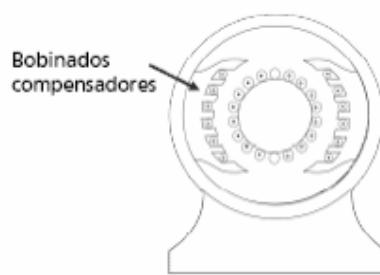
Las bobinas están conectadas en serie con el inducido, de manera que el campo generado por ellas anule los efectos de la reacción de inducido, cualquiera sea la intensidad de corriente en el inducido. A raíz de esto, la línea neutra permanece fija y una vez que las escobillas han sido ajustadas correctamente, ya no hará más falta moverlas de nuevo.

Otra manera de reducir a un mínimo los efectos de la reacción de inducido es colocar pequeños polos, llamados "polos auxiliares", entre los polos de campo principales. Los polos auxiliares tienen unas pocas espiras de alambre grueso conectado en serie con el inducido. El campo producido por los polos auxiliares anula la reacción de inducido para todos los valores de la corriente de carga y mejora la conmutación.



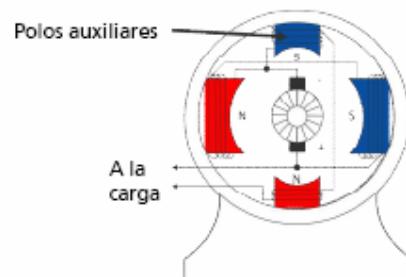
Bobinados compensadores

Son bobinados colocados en las caras polares del campo que conducen la misma corriente que las bobinas del inducido, pero en sentido contrario, contrarrestando el campo del inducido.



Polos auxiliares

Pequeños polos montados entre los bobinados de campo principales con el fin de producir un campo exactamente contrario al de las bobinas del inducido.



MANTENIMIENTO



PRECAUCIONES EN LA ATENCIÓN DE LAS DINAMOS.

Cuando se instala una dinamo, por lo general se la utiliza para una tarea en particular y la instalación suele ser permanente. Una vez que el propulsor primario ha sido acoplado al árbol de la dinamo, el único trabajo de mantenimiento necesario debería ser aceitar los cojinetes, etc.

Si se modifican los terminales; de la dinamo la polaridad podría invertirse o la dinamo podría no excitarse.

¡ATENCIÓN!



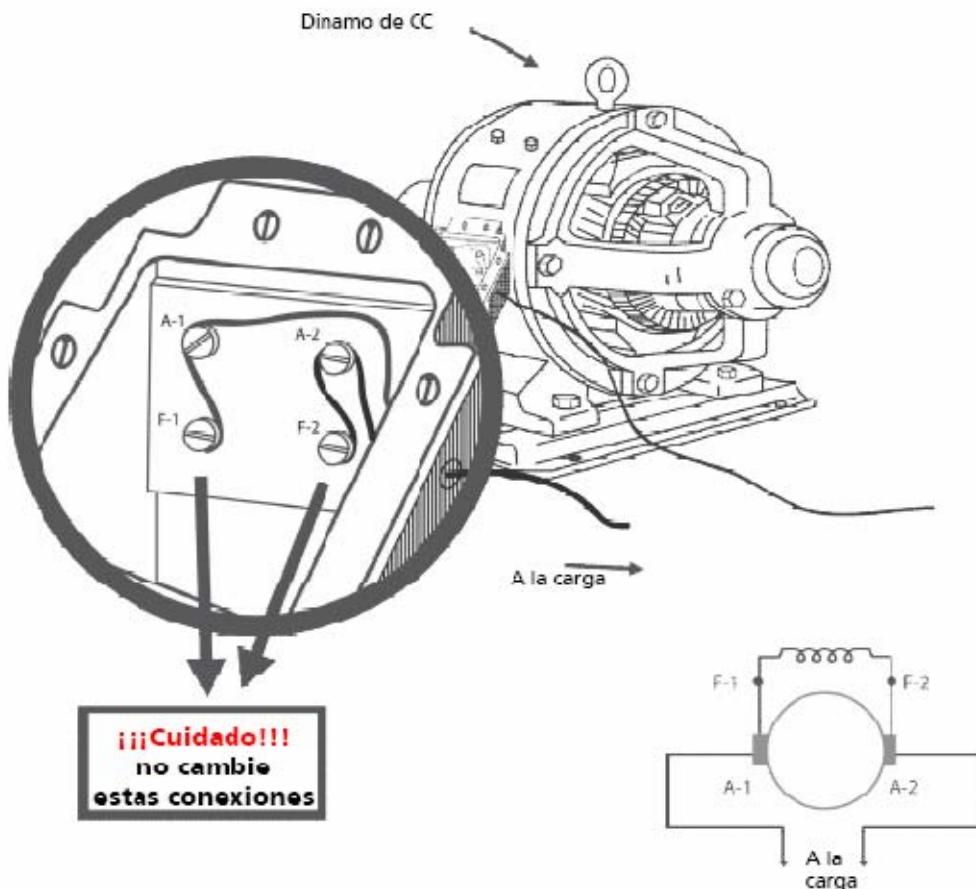
Jamás tendría que ser necesario invertir la polaridad de salida de la dinamo de CC. Sin embargo, si se desea polaridad invertida, se deben invertir los terminales de salida de la dinamo. Las conexiones de campo no deben invertirse jamás. Las bobinas de campo sólo están conectadas con el tablero de bornes para facilitar su reemplazo en caso de que se deterioren. Una vez que se han conectado debidamente los conductores de campo en la instalación inicial, no se los debe volver a modificar jamás.

EJEMPLO



Por ejemplo, invirtiendo el campo de la dinamo de autoencitación se suprime el magnetismo remanente del campo y la máquina ya no podrá excitarse ni aunque se corrija el error de conexión.

El magnetismo remanente puede restituirse, sin embargo, volviendo a formar el campo mediante una corriente auxiliar.



Determinación gráfica de la línea neutra

Hay varios métodos para determinar la línea neutra de una máquina:

- Esta es la línea donde la tensión entre las barras del colector es teóricamente igual a cero y donde deben ser colocadas las escobillas
- El método parece ser preferido por los usuarios, porque es preciso y relativamente simple, el del milivoltímetro; es aplicable a las máquinas unidireccionales, las cuales no tienen una sección de línea muerta

¡ATENCIÓN!

Máquina en reposo, la armadura debe estar desconectada y todas las escobillas levantadas. Determine el número de barras entre polos dividiendo el número total de barras del commutador por el número de polos de la máquina



Son posibles dos casos:

Caso 1

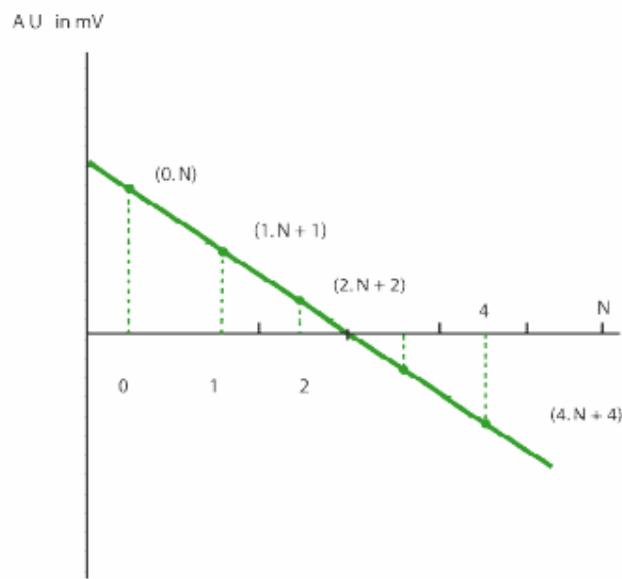
Cuando el número de barras entre polos es un número entero N

El número de barras del commutador desde un punto situado a la izquierda de la escobilla de un brazo (comenzando por cero), hasta un punto simétrico en la derecha de la escobilla del brazo siguiente



El campo principal se alimenta con CC regulada a bajo valor.

- Cuando enérgicamente se abre la corriente del polo principal, la medida con el mili-voltímetro a una adecuada sensibilidad aparezca el voltaje entre las barras numeradas 0 y N, 1 y N+1, 2 y N+2, etc.
- El voltaje así medido es dibujado en un gráfico contra el número de barras correspondiente y el punto neutro es la intersección de la curva con la abscisa.



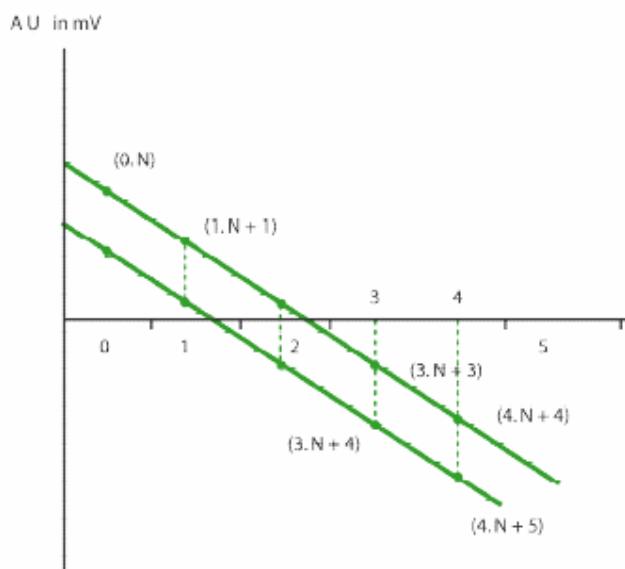
Caso 1

Cuando el número de barras entre polos es un número entero N

Las barras serán numeradas y el campo principal y alimentadas con CC como el caso anterior. Interrumpiendo la corriente del campo principal, el voltaje medido entre grupo de barras:

- 0 y N 0 y N+1
- 1 y N+1 1 y N+2
- 2 y N+2 2 y N+3, etc.

Entonces el gráfico $\Delta U = f(N)$ se dibuja:



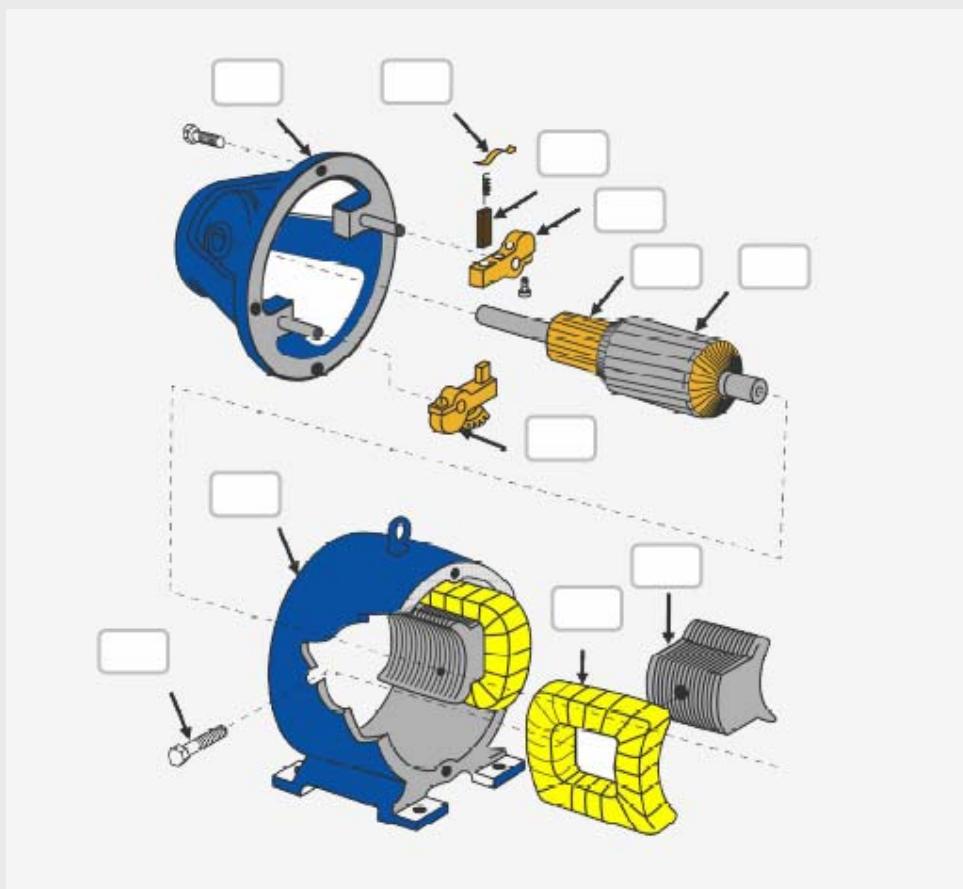
El punto neutro es determinado por interpolación entre las dos curvas de caída de voltaje y la abscisa.

ACTIVIDAD 2.

Las máquinas de corriente continua tienen partes que son importantes recordar, para ello se propone realizar la siguiente actividad.



Coloque en los espacios en blanco, la denominación que corresponda. En la tabla siguiente encontrara la denominación y un número. En los espacios en blanco coloque el número. Si considera que falta alguna denominación inclúyala.



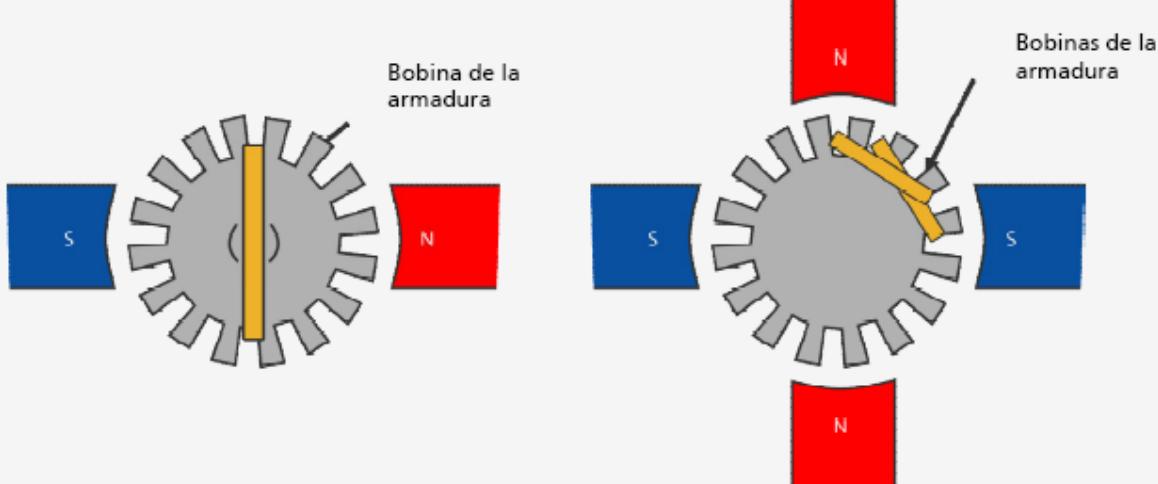
- | | | | |
|----------|---------------------------------|-----------|-----------------------------|
| 1 | Conjunto de escobilla | 6 | Armadura |
| 2 | Polo de campo laminado | 7 | Porta escobilla |
| 3 | Bobina de campo | 8 | Escobilla |
| 4 | Perno del polo del campo | 9 | Casquete |
| 5 | Colector | 10 | Resorte de escobilla |

ACTIVIDAD 2.

Al estudiar la máquina de corriente continua, uno de los conceptos importantes es como colocar el campo magnético en la máquina, lo invito a realizar esta actividad.



Si usted quisiera construir un generador, en la figura siguiente coloque el nombre de cada polo, en los espacios en blanco.



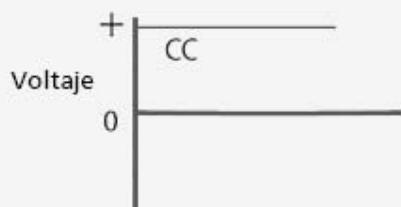
ACTIVIDAD 2.

En nuestra práctica cotidiana debemos usar instrumentos que nos permiten tomar decisiones, la visualización en un osciloscopio es un dato importante, realicemos esta actividad.

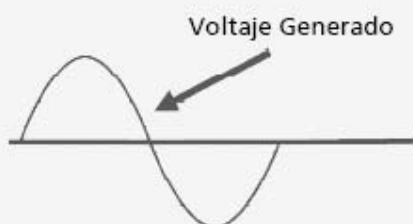


Visualización en osciloscopio. Si en un osciloscopio usted ve esta forma de onda de salida del generador de corriente continua, cuál de las dos figuras corresponde a un generador con anillos rozantes.

Por favor unir con una línea la respuesta correcta.



Si tuviera anillo rozante.

**¡Felicitaciones!**

Usted ha finalizado el capítulo 2. A continuación se desarrollará el capítulo Motores de Corriente Continua.



Motores de Corriente Continua

TEMAS DEL CAPÍTULO 3

3.1 Principios del motor de CC	72
3.2 Principio de funcionamiento	80
3.3 Reacción del inducido	82
3.4 Ecuaciones	87
3.5 Curvas características	96
3.6 Arranque y regulación de la velocidad	99
3.7 La velocidad depende de la carga	102
3.8 Conexionado de campo	104
3.9 Características comparativas de los motores de CC	107
3.10 Reóstato de arranque elemental	110
3.11 Colectores y escobillas	115
3.12 El megger ó megómetro	118
3.13 Probando las bobinas de campo	120
3.14 Repaso de dinamos y colectores eléctricos	121

Ahora veremos como la máquina generadora de corriente continua se puede utilizar en forma inversa, en una de las aplicaciones más usadas, el motor.



3.1 Principios del Motor de CC

Veremos a continuación otra aplicación de la máquina de corriente continua, el motor de CC.



Entender los principios y ecuaciones de funcionamiento de generadores y motores y conocer sus partes componentes.

¡ATENCIÓN!



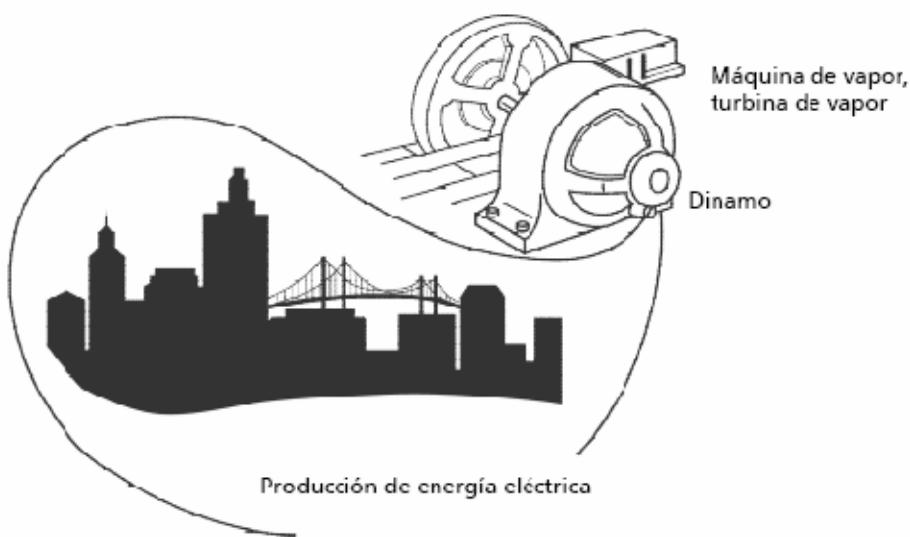
Sólo difieren en la forma en que se los emplea:

En la dinamo la energía mecánica hace girar el inducido y éste a su vez, produce al moverse energía eléctrica.

En el motor la energía eléctrica hace girar el inducido, y éste a su vez, acciona una carga mecánica a través de un sistema de transmisión mecánica consistente en correas o engranajes.

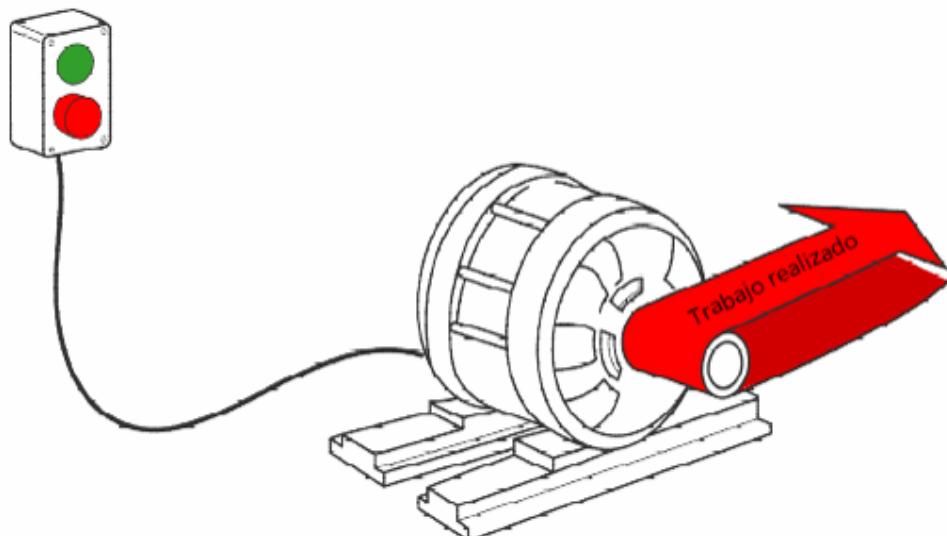
Dinamo de CC

La dinamo de CC convierte energía mecánica en energía eléctrica.



Motor de CC

El motor de CC convierte energía eléctrica en energía mecánica.



RECUERDE



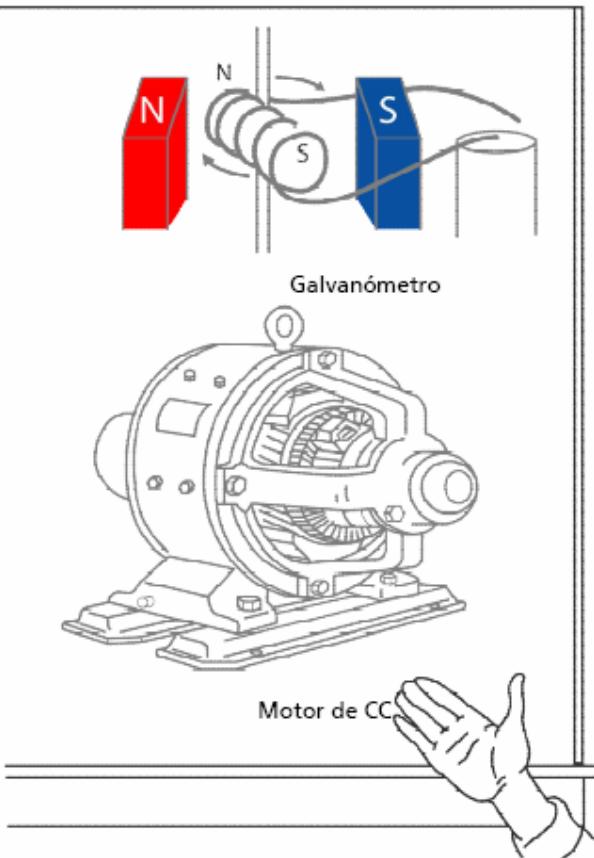
La forma en que funciona el motor de corriente continua no es del todo nueva para usted. Cuando estudiaba instrumentos de medición se enteró que el galvanómetro tiene una bobina suspendida entre los polos de un imán en herradura. Cuando pasa corriente por la bobina, la bobina misma hace las veces de imán y es desplazada en movimiento de rotación por la fuerza que se produce entre dos campos magnéticos.

¡ATENCIÓN!



Este es el principio de funcionamiento de todos los motores de corriente continua, desde el más chico hasta el más grande. Por lo tanto, para comprender los motores prácticos usted podría comenzar por el más elemental, o sea una bobina de una sola espira suspendida entre los polos de un imán.

El motor de CC funciona en base al mismo principio que el dispositivo del galvanómetro



RECUERDE



Fleming descubrió el método para determinar el sentido de rotación de un motor conociendo el sentido de la corriente. Sería imposible exagerar la importancia de este dato, como usted comprobará cuando aprenda más sobre los principios que rigen el funcionamiento de numerosos tipos de motores y dinamos que se utilizan en la actualidad.



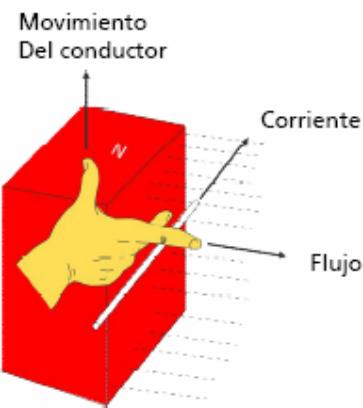
Fleming halló que existe una relación definida entre el sentido del campo magnético, el sentido de la corriente en el conductor y el sentido en que el conductor tiende a desplazarse. Esta relación se denomina Regla de la Mano Derecha de Fleming para Motores.

•Extendiendo el pulgar, el índice y el dedo medio de la mano derecha formando ángulos rectos entre ellos, y colocando la mano de manera que el índice apunte en el sentido de las líneas de flujo del campo magnético, entonces el pulgar apuntará hacia el movimiento del conductor y el dedo medio en el sentido de la corriente que pasa por el conductor.

•Es evidente que si el sentido del campo magnético se desconoce pero se sabe el movimiento del conductor y el sentido de la corriente en el conductor, el índice tiene que apuntar en dirección del campo magnético si se coloca la mano derecha en posición correcta

Regla de la mano derecha de Fleming para motores.

Si aplica esta regla, usted siempre podrá determinar el sentido de rotación de los motores conociendo el sentido de la corriente.



La ley de Lenz es la siguiente ley básica que le tocará aplicar.

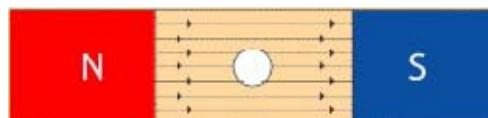
- La comprensión de esta ley tendrá, enorme importancia para ayudarle a entender todo lo relativo a motores y dinamos.
- El conductor que transporta corriente está rodeado por un campo magnético.
- Esto es cierto aunque la corriente sea el resultado de una FEM inducida.

EJEMPLO



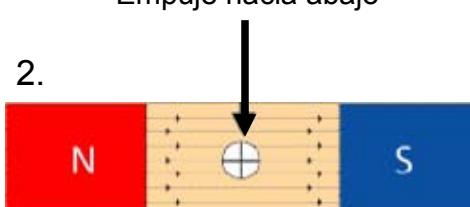
En la figura 1, que aparece abajo, hay un conductor en reposo dentro de un campo magnético. No se induce FEM y no hay flujo de corriente porque él conductor se mantiene estacionario.

1.



En la figura 2 se desplaza el conductor hacia abajo. El resultado es una FEM inducida que produce flujo de corriente en el conductor. Como todo conductor que transporta corriente se rodea de un campo magnético, este conductor tendrá un campo magnético propio debido a la FEM inducida y al flujo de corriente resultante.

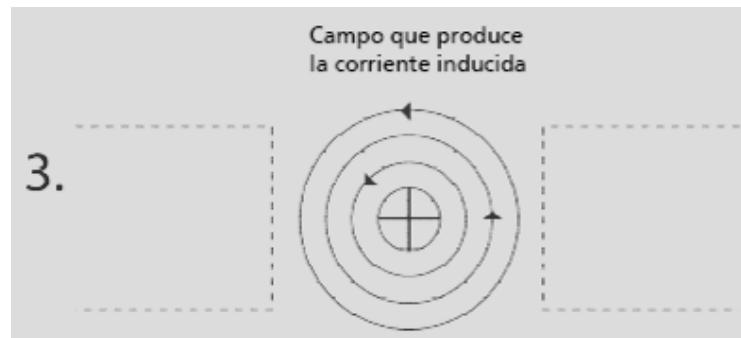
2.



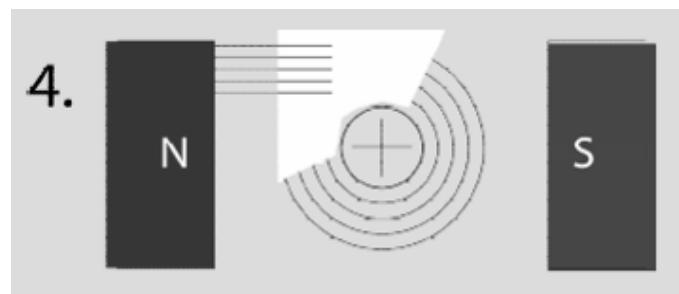
EJEMPLO

Este campo magnético se establecerá en el sentido indicado en la figura 3. Tenemos ahora dos campos magnéticos: uno de la corriente del conductor y otro del imán.

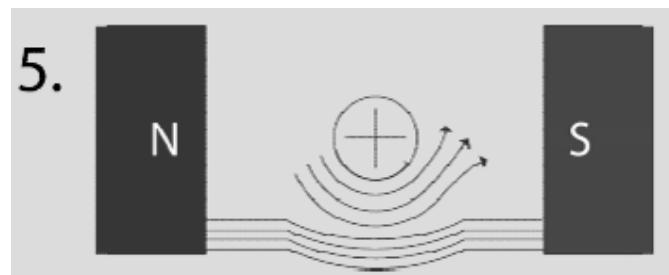
Como los campos magnéticos jamás se cruzan, las líneas de ambos campos aumentan su densidad o se anulan, produciendo campos resultantes más fuertes o más débiles, respectivamente.



En la figura 4 los dos campos magnéticos están en oposición y, por lo tanto, se anulan. Como resultado aparece un campo magnético débil por encima del conductor.



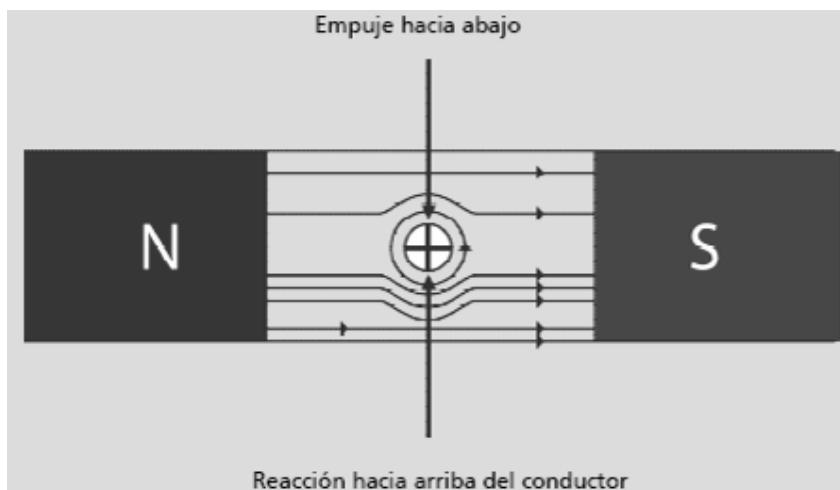
En la figura 5 se ve que los campos magnéticos por debajo del conductor tienen el mismo sentido y, por lo tanto, se suman. El campo del imán, por lo tanto, sufre una desviación por el efecto del campo que rodea al conductor que transporta corriente. Hay un campo débil resultante por encima del conductor y un campo fuerte resultante por debajo del mismo.





RECUERDE

Las líneas de flujo tienden a rechazarse entre sí. En el diagrama de abajo se ve que las líneas de flujo que están debajo del conductor, al rechazarse entre ellas, tienden a rechazar al conductor hacia arriba, mientras que las que están por encima del conductor tienden a rechazarlo hacia abajo.



Sin embargo, por debajo del conductor hay más líneas de flujo que por encima, el empuje hacia arriba es mayor y el conductor tiende a moverse hacia arriba.

Veamos algunos puntos en particular para tenerlos en cuenta, Antes de proseguir conviene hacer un sumario de los datos que anteceden:

- El campo magnético "recto" que existe entre los polos del imán es deformado por el campo magnético circular que rodea, al conductor que transporta corriente.
- Se aplica una fuerza hacia abajo empujando el conductor.
- El campo deformado produce una fuerza hacia arriba.

¡ATENCIÓN!



Estos hechos le indican que, si empuja un conductor desplazándolo a través de un campo magnético, se induce una FEM en el conductor.

- Esta FEM produce circulación de corriente en el conductor, estableciendo, a su vez, un nuevo campo magnético que trata de hacer retroceder al conductor a su lugar.
- Esto, en realidad, es una definición general de la ley de Lenz.
- Lenz descubrió que en todos los casos de inducción electromagnética el sentido de la FEM inducida es tal que el campo magnético formado por la corriente resultante tiende a detener el movimiento que está produciendo la FEM.
- La FEM que acabamos de describir se opone en realidad al voltaje aplicado.
- La FEM inducida que se forma en la armadura giratoria de un motor se llama fuerza contra-electromotriz.

- Esta fuerza contra-electromotriz reviste enorme importancia en el funcionamiento de los motores.
- Las resistencias de los inducidos de los motores suelen ser sumamente bajas, a veces menores de un ohm.
- Si se aplica la corriente común de 110 o 220 volts a un inducido, se produce un gran flujo de corriente y el bobinado se quema casi inmediatamente.
- Sin embargo, la fuerza contraelectromotriz se opone a la tensión de la línea, siempre constituye un factor limitador que reduce la intensidad de corriente en el Inducido a niveles seguros.

Principios del motor de CC

Tenga en cuenta que El motor elemental de CC está construido en forma similar a la dinamo de CC.



Consiste en una espira de alambre que gira entre los polos de un imán.



Los extremos de la espira están conectados con delgas del colector que, a su vez, hacen contacto con las escobillas.

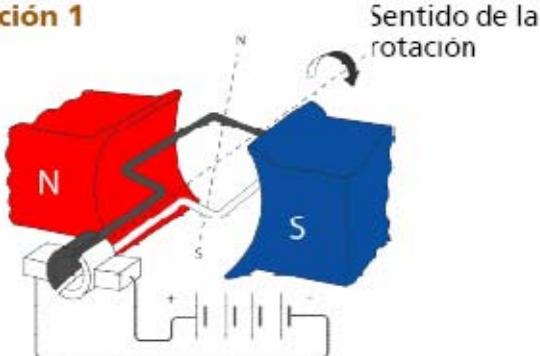


Las escobillas tienen conductores que van a una fuente de tensión de corriente continua.

RECUERDE

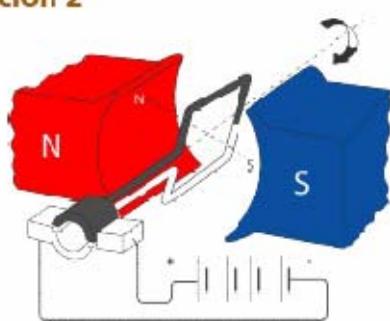
Tenga presente la acción del dispositivo móvil de los instrumentos y compárela con la del motor elemental de CC.



Posición 1

- Cuando la espira está en posición 1, la corriente que pasa por la espira hace que el lado superior de la espira se convierta en polo norte y la parte inferior en polo sur, según la regla de la mano izquierda.

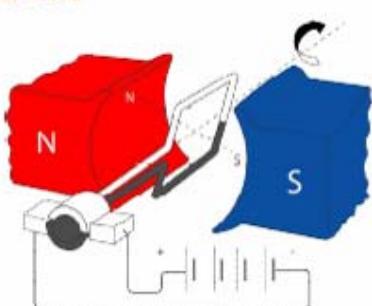
- Los polos magnéticos de la espira serán atraídos por los polos opuestos correspondientes del campo. Como resultado, la espira girará en el sentido de las agujas del reloj, colocando frente a frente a los polos contrarios.

Posición 2

- Cuando la espira ha girado 90 grados hasta la posición 2, se produce la conmutación y la corriente de la espira se invierte de sentido.

- A raíz de esto el campo magnético generado por la espira también se invierte.

- Ahora están frente a frente polos iguales, lo que significa que se rechazan, y la espira sigue girando para tratar de acercar los polos opuestos.

Posición 3

- Al girar 180 grados, más allá de la posición 2, la espira se encuentra en posición 3.

- Entonces la situación es la misma que cuando se hallaba en posición 2. Se produce de nuevo la conmutación y la espira sigue girando.

- Este es el trabajo fundamental del motor de corriente continua.

Es evidente que el colector desempeña una función trascendental en el funcionamiento del motor de CC. El colector hace que la corriente de la espira cambie de sentido en el instante en que polos contrarios se han colocado frente a frente.

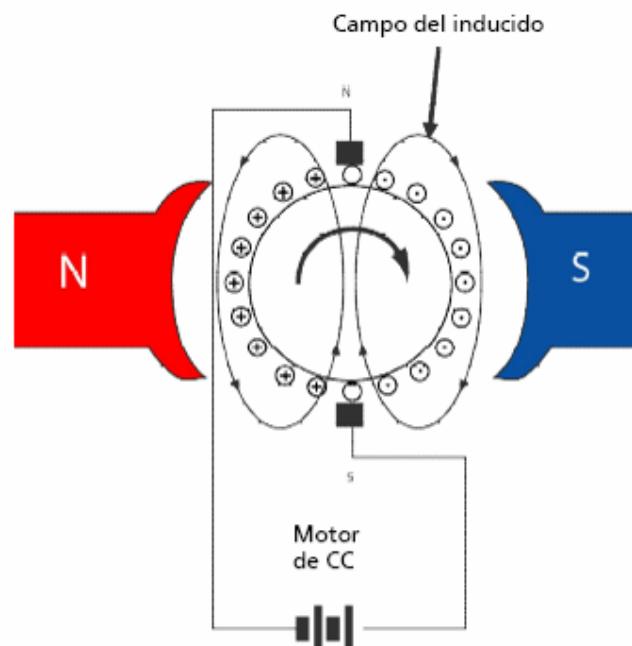
Esto produce la inversión de la polaridad del campo; aparece repulsión en vez de atracción, y la espira sigue girando.

En la armadura de bobinado múltiple, el arrollamiento hace las veces de una bobina cuyo eje es perpendicular al campo magnético principal y tiene la polaridad que aparece en el grabado.

- El polo norte del campo de la armadura inducida es atraído por el polo sur del campo principal. Esta atracción ejerce una fuerza de torsión en la armadura, que gira en el sentido de las agujas del reloj.

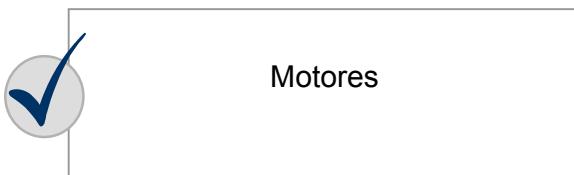
El campo del inducido queda fijo mientras el inducido se mueve.

Por lo tanto se mantiene una torsión constante y uniforme en la armadura debido al gran número de bobinas. Como las bobinas que están cerca entre sí son tantas se produce en el inducido un campo resultante que parece permanecer estacionario.

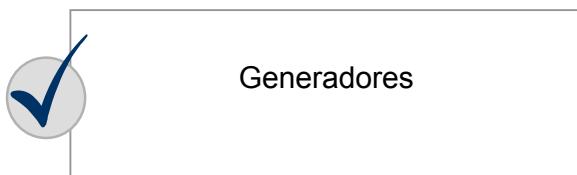


3.2 Principio de Funcionamiento

Igual que las máquinas sincrónicas, las de corriente continua son reversibles, pudiendo funcionar indistintamente como:



Motores



Generadores

Por esta causa omitimos en este capítulo desarrollar los temas que constituirán una repetición, como ser arrollamientos, reacción del inducido, conmutación, etc.

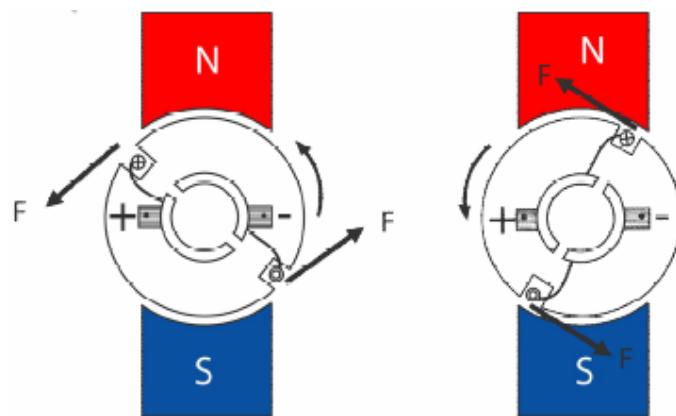
Por esta causa omitimos en este capítulo desarrollar los temas que constituirán una repetición, como ser arrollamientos, reacción del inducido, conmutación, etc.

Para comenzar vamos a justificar el funcionamiento y los hechos más salientes, a fin de dar una idea panorámica del tema.

• Supongamos que el inducido está detenido en esas dos mismas posiciones.

- Aplicamos ahora una tensión constante a las escobillas, la misma que tendrían si funcionase como generador, y veamos cuáles son los sentidos de corriente que se producirán en las figuras.

- Si aplicamos a cada lado de bobina la regla de mano izquierda, tendremos el sentido de la fuerza que actúa, por ser un conductor recorrido por corriente y colocado en un campo magnético.



Como el campo magnético penetra normalmente al inducido, las líneas de fuerza de los polos son normales a los lados de bobinas.

Las fuerzas que nacen son tangenciales

Dicha suposición es prácticamente realizable, haciendo los polos bien extensos y el entrehierro bastante pequeño.

La suma de estas fuerzas tangenciales forman la cupla motora.

Todos los conductores que están por encima de la zona neutra tienen igual sentido de corriente, si es un devanado más completo. Y todos contribuyen a formar la cupla, lo mismo que todos los que quedan bajo la línea neutra.

Ha observado a través de esta somera descripción que conservando constante la polaridad y el sentido de rotación, el sentido de corriente del inducido es contrario tratándose de un motor o un generador.

- Por esto se justifica plenamente lo dicho al estudiar el paralelo de generadores, ya que cuando la corriente cambiaba de sentido en una de las máquinas, pasaba a trabajar como motor.

- También al estudiar el sentido de corriente en el inducido, se definió la reacción de armadura

- Si la corriente cambia de sentido, cambia la reacción.

- El desplazamiento de las escobillas se efectúa, en sentido opuesto al de giro.

3.3 Reaccion del Inducido

• Supongamos que el inducido está detenido en esas dos mismas posiciones.

- Aplicamos ahora una tensión constante a las escobillas, la misma que tendrían si funcionase como generador, y veamos cuáles son los sentidos de corriente que se producirán en las figuras.

- Si aplicamos a cada lado de bobina la regla de mano izquierda, tendremos el sentido de la fuerza que actúa, por ser un conductor recorrido por corriente y colocado en un campo magnético.

RECUERDE

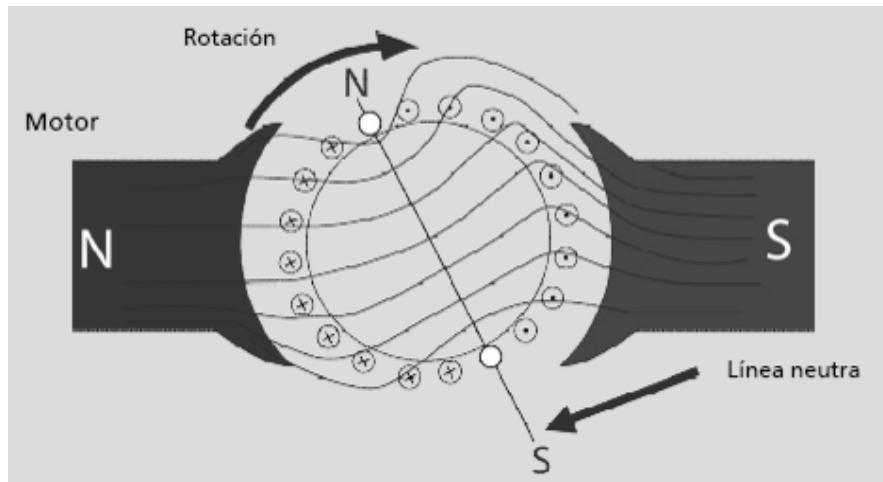
Recuerda lo que sucedía en generadores de CC, en los motores de CC se presenta la misma reacción pero en sentido contrario.

¡ATENCIÓN!

En el motor, la reacción de inducido desvía la línea neutra en sentido contrario al de rotación.

EJEMPLO

A continuación, un ejemplo de lo que sucede con las líneas neutra, debido a la reacción de inducido.



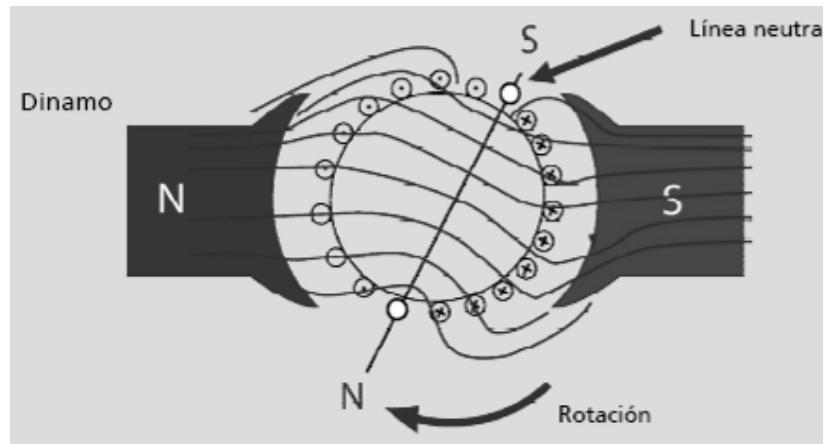
Para compensar la reacción de inducido del motor se pueden desplazar las escobillas hacia atrás hasta reducir las chispas a un mínimo. En este punto la bobina que hace cortocircuito con las escobillas se encuentra en la línea neutra y no se induce FEM en ellas.

Además la reacción de inducido puede corregirse con bobinados compensadores y polos auxiliares, exactamente como en la dinamo de manera que la línea neutra siempre esté exactamente entre los polos principales y no haga falta mover las escobillas una vez que han sido ajustadas debidamente.



EJEMPLO

El sentido de rotación del motor depende del sentido del campo y del sentido del flujo de corriente en el inducido.



La corriente que circula por el conductor formará un campo magnético en torno a él. El sentido de este campo magnético está determinado por el sentido del flujo de corriente. Si se coloca el conductor en un campo magnético, se ejercerá una fuerza sobre el conductor debido a la reacción de su campo magnético con el campo magnético principal. Esta fuerza hace que la armadura gire en cierto sentido entre los polos del campo.

Caso 1

En el motor la relación entre el sentido del campo magnético, el sentido de la corriente en el conductor y el sentido en que el conductor tiende a desplazarse se expresa con la regla de la mano derecha para los motores.

- Esta regla técnica indica que, si se coloca la mano derecha en posición tal que las líneas de fuerza del polo norte entren en la palma de la mano.
- Se extienden los dedos en el sentido de la circulación de corriente en el conductor, y el pulgar, colocado en ángulo recto con los dedos, señalará el sentido del movimiento del conductor.

¡ATENCIÓN!

Si se invierten el sentido del campo o el sentido del flujo de corriente en la armadura, la rotación del motor se invierte también.

Sin embargo, si se invierten los dos factores que anteceden al mismo tiempo, el motor seguirá girando en el mismo sentido.



Por lo común el motor se construye para realizar un trabajo determinado qué exige un sentido de rotación fijo. Sin embargo, a veces resulta necesario cambiar el sentido de rotación.



RECUERDE

Para invertir el sentido de la rotación:

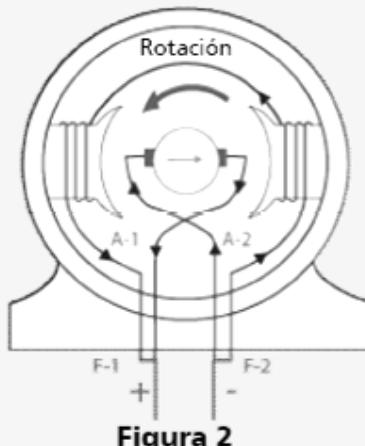


Figura 1

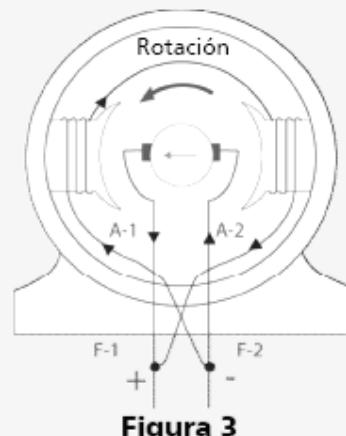
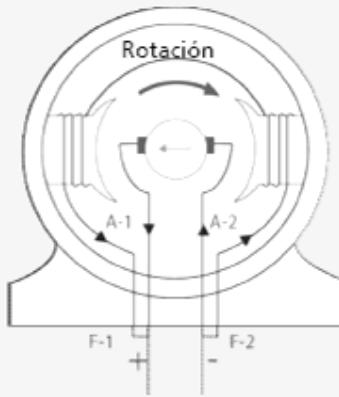


Figura 3

Se invierten las conexiones de la armadura.

Se invierten las conexiones del campo

Fuerza contra-electromotriz

Cuando la armadura del motor de corriente continua gira, las bobinas de la armadura cortan el campo magnético, induciendo un voltaje o fuerza electro-motriz en esas bobinas.

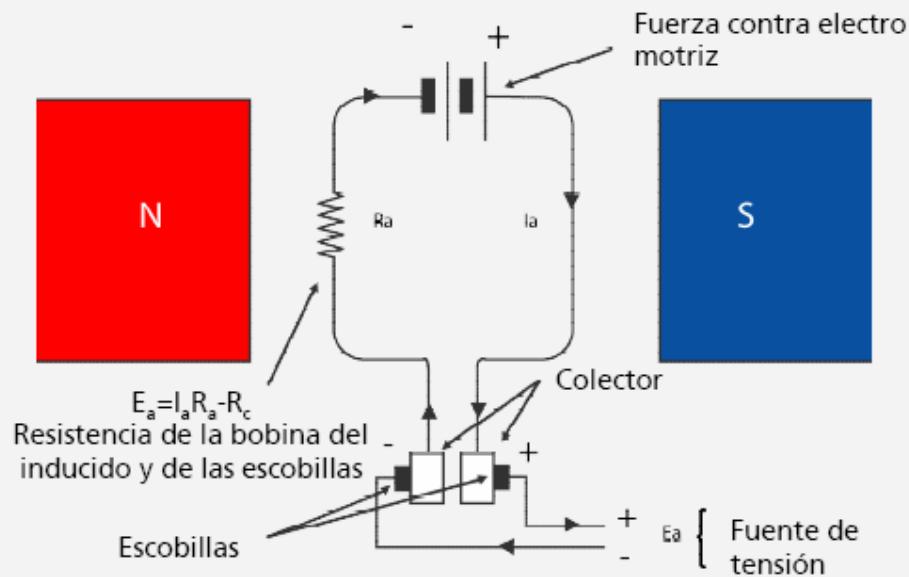
Dado que este voltaje inducido se opone a la tensión aplicada en los terminales, se lo denomina "fuerza contra-electromotriz".

Esta fuerza contra-electromotriz depende de los mismos factores que la FEM generada en la dinamo, o sea la velocidad y el sentido de rotación, y la fuerza del campo.

Cuanto más fuerte sea el campo y mayor la velocidad de rotación, más grande será la fuerza contra-electromotriz.

Sin embargo, la fuerza contra-electromotriz siempre será inferior a la tensión aplicada, debido a la caída de voltaje interna ocasionada por la resistencia de las bobinas de la armadura.

En el esquema aparece la fuerza contra-electromotriz como una batería que se opone a la tensión aplicada, mostrándose la resistencia total de la armadura en forma simbólica como una resistencia simple.



Lo que en realidad hace circular la corriente en las bobinas de la armadura es la diferencia entre la tensión aplicada al motor (E_a) y la fuerza contra-electromotriz (E_c). Por lo tanto:

$$E_a - E_c$$

Es el voltaje real efectivo en la armadura

Siendo este voltaje efectivo el que determina el valor de la intensidad de corriente de armadura. Como en general, de acuerdo con la Ley de Ohm $I = E / R$ en el caso del motor de corriente continua $I = E_a - E_c / R_a$. Además de acuerdo con la segunda ley de Kirchhoff la suma de las caídas de voltaje en cualquier circuito cerrado tiene que ser igual a la suma de los voltajes aplicados, entonces : $E_a = E_c + I_a \cdot R_a$

$$E_a = E_c + I_a \cdot R_a$$

La resistencia interna de la armadura de un motor de CC es muy baja, por lo general inferior a un Ohm. Si esta resistencia fuera lo único que limitase la intensidad de corriente en la armadura, dicha intensidad sería demasiado grande.

EJEMPLO



Si la resistencia de la armadura es de 1 Ohm y la tensión de línea que se aplica es de 230 volts, la intensidad de corriente resultante en la armadura, según la Ley de Ohm, sería $I = E / R = 230 / 1 = 230$ amperes. Esta Intensidad excesiva quemaría completamente la armadura.

Sin embargo, la fuerza contra-electromotriz se opone al voltaje aplicado y limita el valor de "la corriente que puede circular en el inducido. Si la fuerza contra-electromotriz es de 220 volts, entonces el voltaje efectivo que actúa en la armadura es la diferencia entre el voltaje aplicado y la fuerza contra-electro motriz:

$$230 - 220 = 10 \text{ volts}$$

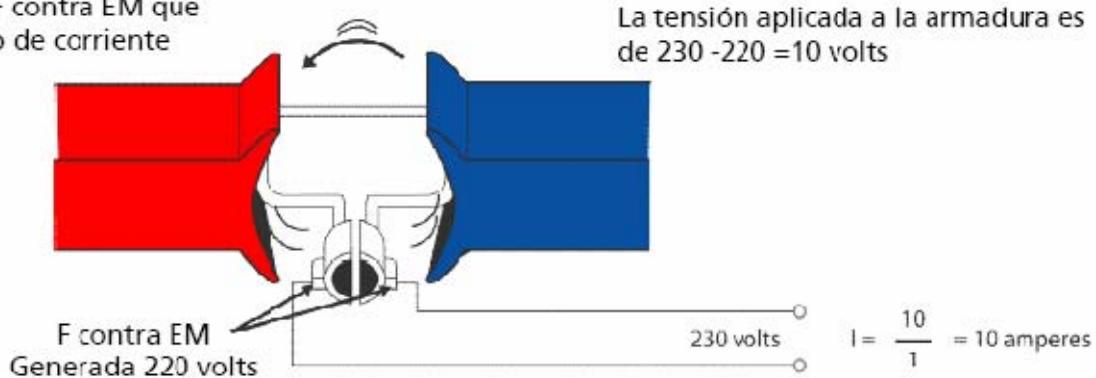
La intensidad en la armadura es entonces de sólo 10 amperes:

$$I_a = E_t - E_p / R_a = 10 / 1 = 10 \text{ Amper.}$$

Cuando el motor arranca, la fuerza contraelectromotriz es demasiado pequeña como para limitar eficazmente la intensidad de corriente en la armadura, y por ello se debe colocar momentáneamente una resistencia, llamada "resistencia de arranque", en serie con la armadura para mantener la corriente dentro de límites seguros. A medida que el motor acelera, la fuerza contra-electromotriz aumenta y se puede reducir gradualmente la resistencia, permitiendo un nuevo aumento de velocidad y de fuerza contraelectromotriz. A velocidad normal la resistencia de arranque queda completamente anulada en el circuito.

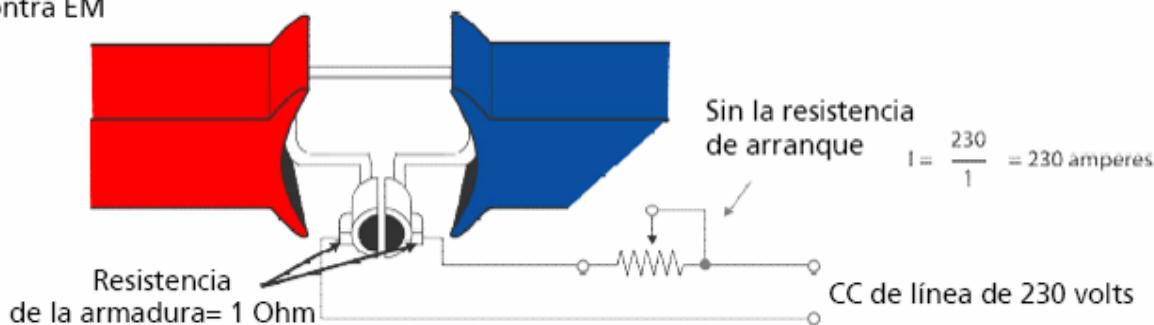
Armadura giratoria

La armadura giratoria genera una F contra EM que limita el flujo de corriente



Armadura inmóvil

En una armadura inmóvil no se genera F contra EM



3.4 Ecuaciones

Ecuaciones Eléctricas Fundamentales

Cuando un motor se encuentra en movimiento, sus conductores giran y hay variación de flujo en las espiras por ellos formados. Debe existir entonces una FEM inducida que se denomina fuerza contra electro-motriz (f.c.e.m.). Esta magnitud es la reacción eléctrica, y su valor tiene que estar dado por la ecuación.

En el caso del motor, la tensión que debemos aplicar debe equilibrar a dicha f.c.e.m.. y a la caída interna, y entonces por 2da Ley de Kirchhoff, observe las siguientes fórmulas:

$$U = E_c + I \cdot R_i$$

$$U = K \Omega N + I \cdot R_i$$

¡ATENCIÓN!

Esta expresión es también la de los generadores, pero con signo cambiado en la caída interna, a raíz de que la diferencia entre motor y generador está caracterizada por el diferente sentido (signo) de la corriente I .

Dicho esto, estamos en condiciones de escribir la ecuación general de las máquinas de continua:

$$U = E_c \pm I \cdot R_i$$

Usando el signo + para motores y signo - para generadores. Multiplicando la ecuación anterior por I tenemos:

$$UI = EI \pm I^2 \cdot R_i$$

$$P_b = P_i \pm I^2 \cdot R_i$$

P_b

Potencia bornes

P_i

Potencia interna

$I^2 R_i$

Potencia perdida por efecto Joule en el inducido

Otra fórmula se obtiene si se combinan Resolviendo se llega a:

$$C_i = 0,975 EI / N$$

$$C_i = 0,975 P_i / N$$

Ecuaciones Características del Motor de Corriente Directa

Veremos que el comportamiento de un motor o generador de corriente directa está basado en estas ecuaciones fundamentales:

1 Flujo por unidad (PU)

2 Ecuación de potencia

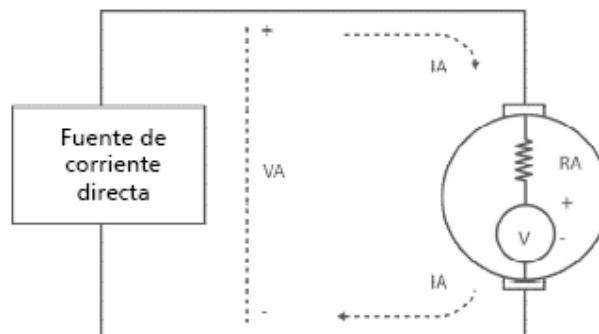
3 Ecuación de par

4 Ecuación del voltaje

5 Ecuación de par-velocidad

Ecuación del circuito

La ecuación del circuito fija la relación entre el voltaje aplicado en la máquina de corriente directa y sus condiciones de voltaje inducido y corriente de armadura, tal como se observa en la figura.



En la operación como motor, el flujo de corriente se establece de la fuente de suministro hacia el motor, así:

$$V_A = V + (I_A \cdot R_A)$$

V_A

Voltaje de armadura en terminales (volts)

V

Voltaje inducido f.c.e.m. (volts)

(I_A · R_A)

Caída en resistencia de armadura (volts)

Flujo por unidad (PU)

- En una máquina de corriente directa, el flujo magnético es producido por la corriente fluyendo a través de los devanados de campo.
- Debido al efecto de saturación magnética, la relación entre la corriente de campo y el flujo magnético no es lineal.
- Esta relación no lineal establece que un incremento en la corriente de campo no produce el mismo incremento en el flujo magnético para cualquier valor de corriente de campo.
- Así, a valores bajos, un incremento en la corriente de campo produce más flujo magnético que a valores altos de corriente de campo (debido a la saturación magnética).
- Debido a esto se prefiere operar el flujo magnético por unidad (PU) en las ecuaciones fundamentales de la máquina, considerando $\Phi = 1.0$ PU cuando se tiene corriente de campo máxima o corriente de campo pleno y se recurre a la **característica de saturación en vacío** de la máquina cuando se requiere conocer su valor equivalente en corriente de campo.

Corriente de campo pleno = (I Full Field)

Es la corriente máxima que se le aplica al devanado de campo, por lo tanto se considera la corriente nominal de campo y a ella se le define el valor de $\Phi = 1.0$ PU.

Corriente de campo débil = (I Weak Field)

Es el valor mínimo de corriente que se le debe aplicar al devanado de campo de la máquina de corriente directa, cuando está operando como motor.

Velocidad base

Es la velocidad que tendrá el motor cuando se le esté proporcionando el voltaje de armadura nominal, tenga carga o corriente de armadura nominal y se le esté aplicando la corriente de campo pleno.

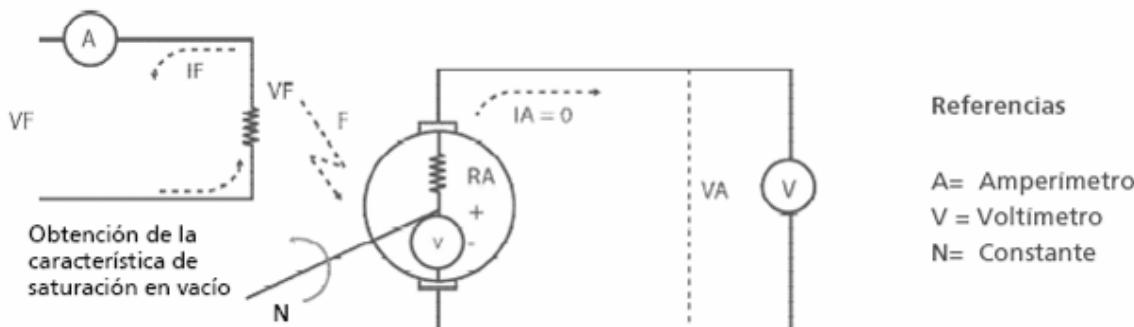
Velocidad tope

Es la velocidad que tendrá el motor cuando se le esté proporcionando el voltaje de armadura nominal, tenga corriente de armadura nominal y se le esté aplicando la corriente de campo débil.

Característica de saturación en vacío

La característica de saturación en vacío permite relacionar el flujo Φ por unidad (PU) y la corriente de campo que produce ese flujo magnético.

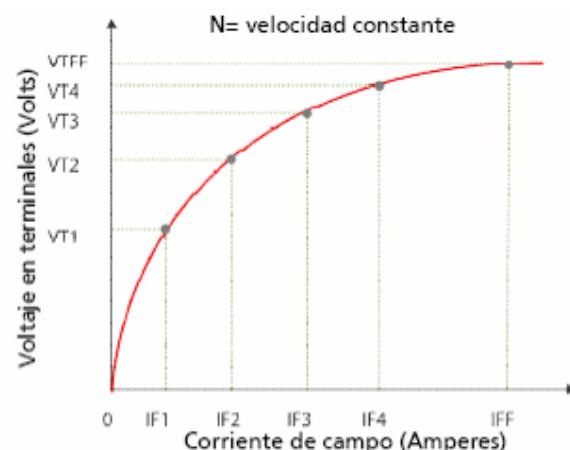
La característica de saturación en vacío se determina haciendo girar al motor para operarlo como generador, aplicando diferentes corrientes de campo desde cero hasta la corriente de campo pleno y para cada valor de corriente de campo, midiendo el voltaje en terminales. Las terminales de armadura no se conectarán a ninguna carga debido a ello se llama en vacío como se muestra en la figura.



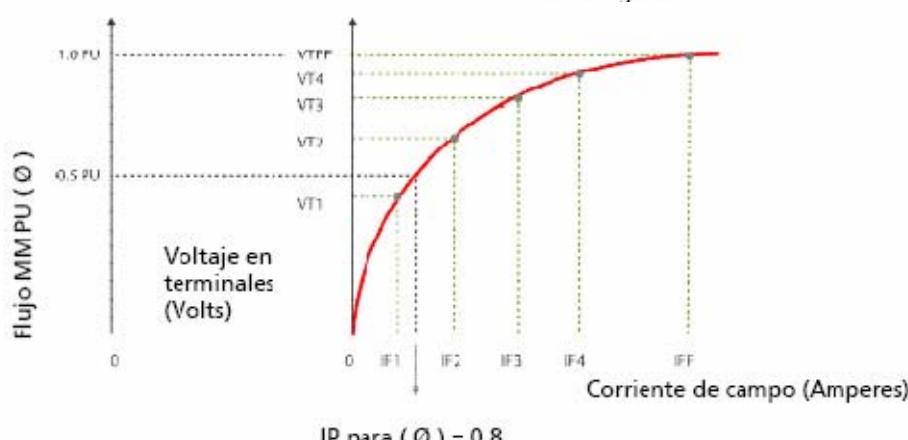
- Con los datos de voltaje en las terminales y la corriente de campo se genera la característica de saturación en vacío, la cual es una gráfica como la mostrada en la figura.

- Al aplicar el voltaje medido la corriente de campo pleno indica $\Phi = 1$ PU y se utiliza como base para el cálculo de cualquier valor de flujo en PU.

- En esta forma, recurriendo a la característica de saturación en vacío, se puede relacionar, para cualquier magnitud, los valores de Φ en PU y de corriente de campo en amperes como se muestra en la figura.



En esta forma, recurriendo a la característica de saturación en vacío, se puede relacionar, para cualquier magnitud, los valores de PU y de corriente de campo en amperes como se muestra en la figura.



Constantes KT y KV

El cálculo de las constantes de par KT y de voltaje KV es bastante simple, sólo hay que considerar en las ecuaciones fundamentales las condiciones nominales de la máquina, esto es:

- | | |
|---|--|
|  Voltaje de armadura nominal |  Potencia nominal |
|  Corriente de armadura nominal |  Velocidad base |
|  Par nominal |  Corriente de campo pleno |

En el caso de la constante de par KT, primeramente se calcula el par nominal partiendo de la ecuación de potencia como se observa a continuación:

$$HP = \frac{T \cdot N}{5250}$$

Así

$$T_N = \frac{5250 \cdot HP}{N_B}$$

T_N

Par nominal en libras-pie (lb-ft)

HP

Potencia de la máquina en caballos de fuerza (HP)

N_B

Velocidad base en revoluciones por minuto (RPM)

Aplicando el par nominal T_N en la ecuación de par y considerando las condiciones nominales de la máquina $I_A = I_{AN}$ corriente de armadura nominal y $\Phi = 1.0$ PU.

$$T = K_T \cdot \Phi \cdot I_A$$

Así

$$K_T = \frac{T_N}{I_{AN}}$$

K_T

Constante de par en lb-ft/A

T_N

Par nominal en libras-pie (lb-ft)

A_{AN}

Corriente de armadura nominal en amperes (A)

Para el cálculo de la constante de voltaje KV, primeramente se obtiene el valor del voltaje inducido V en condiciones nominales, de la siguiente manera:

$$V_N = V_{AN} - (I_{AN} \cdot R_A)$$

V_N

Voltaje Inducido nominal (volts)

V_{AN}

Voltaje de armadura nominal (volts)

$(I_{AN} \cdot R_A)$

Caída nominal en resistencia de armadura (volts)

Posteriormente se calcula la constante de voltaje KV a partir de la ecuación de voltaje. Una vez más, se consideran las condiciones nominales de la máquina, esto es, velocidad base NB y corriente de campo pleno = 1.0 PU.

$$K_v = \frac{V_N}{N_v}$$

K_v

Constante de voltaje en volts/RPM

V_N

Voltaje inducido nominal en volts.

N_b

Velocidad base en revoluciones por minuto (RPM)

Una vez visto como se puede relacionar el flujo magnético en PU con la corriente de campo y como se puede calcular las constantes de par y de voltaje, se encuentra en una buena posición para conocer la ecuación par-velocidad de la máquina de corriente directa, la cual permite determinar o describir la velocidad bajo cualquier condición de carga, voltaje aplicado en terminales y corriente de campo o flujo magnético.

Ecuación de potencia

La ecuación de potencia establece la relación entre la potencia de la máquina y su capacidad de par y velocidad como se observa a continuación:

$$HP = \frac{T \cdot N}{5250}$$

P

Potencia de la máquina en HP

T

Par en libras-pie (lb-ft)

N

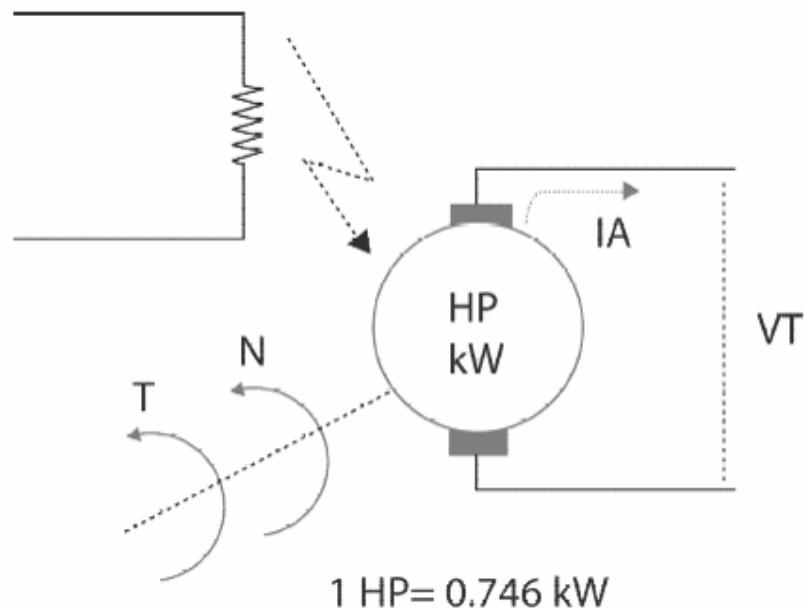
Velocidad en revoluciones por minuto (RPM)

Con esta ecuación podemos determinar el par nominal del motor, el cual será el par máximo disponible en operación continua del motor.

Se define HP como la potencia presente en la placa de la máquina, lo cual define la potencia que puede entregar el motor en su eje (flecha) o eje de rotación.

Si la especificación de potencia se encuentra proporcionada en kilowatts (kW), se puede utilizar la relación: 1 HP = 0.746 kW

Una representación de las variables involucradas en la ecuación de potencia se muestra en la figura



Ecuación de par

La ecuación de par establece la relación existente entre el flujo magnético y la corriente de armadura con respecto al par motor, así de esta manera se obtiene la siguiente ecuación:

$$T = K_T \cdot F \cdot I_A$$

T

Par motor en libras-pie (lb-ft)

K_T

Constante de par en lb-ft/A

Φ

Flujo magnético en por unidad (PU)

I_A

Corriente de armadura en amperes (A)

Se definió K_T como la constante de par de la máquina de CC.

Está relacionada con las características físicas y de construcción de la máquina (tales como el número de conductores en el devanado de armadura, largo, diámetro, etc.).

El símbolo Φ significa el flujo magnético dimensionado en por unidad, considerando el flujo máximo igual a 1 en por unidad (PU). La relación entre el flujo magnético y la corriente a través del devanado de campo que lo genera está definida por la **característica de saturación en vacío** de la máquina.

Ecuación de voltaje

La ecuación de voltaje establece la relación existente entre el flujo magnético y la velocidad con respecto al voltaje inducido, contra electromotriz, de esta manera se obtiene la siguiente ecuación:

$$V = K_V \cdot F \cdot N$$

V

Voltaje inducido ó f.c.e.m. en volts

K_V

Constante de voltaje en volts/RPM

Φ

Flujo magnético en por unidad (PU)

N

Velocidad en RPM

En el último caso, se definió KV como la constante de voltaje inducido de la máquina de corriente directa y está relacionada con la cantidad de voltaje f.c.e.m. con respecto a las RPM del motor.

Ecuación de par-velocidad

A partir de las ecuaciones vistas anteriormente se puede determinar la ecuación par-velocidad de la máquina en una forma sencilla ya que la ecuación de par es:

$$T = K_T \cdot \Phi \cdot I_A$$

Por lo tanto se despeja I_A de la ecuación de par y se tiene que:

$$I_A = \frac{T}{K_T \cdot \Phi}$$

De la ecuación del circuito se tiene que:

$$V_A = V + (I_A \cdot R_A)$$

Donde se sustituye I_A en la ecuación del circuito y se tiene:

$$V_A = V + \frac{T}{K_T \cdot \Phi} \cdot R_A$$

De la ecuación de voltaje se tiene que:

$$V = K_V \cdot \Phi \cdot N$$

Se sustituye la ecuación de voltaje en la ecuación del circuito ya modificada y se tiene que:

$$V_A = (K_V \cdot \Phi \cdot N) + \frac{T}{(K_T \cdot \Phi)} \cdot R_A$$

Por lo tanto se despeja $(K_V \cdot \Phi \cdot N)$ de la ecuación y se tiene que:

$$(K_V \cdot \Phi \cdot N) = V_A - \frac{T}{K_T \cdot \Phi} \cdot R_A$$

Por último se despeja N de la ecuación y se tiene la ecuación par-velocidad:

$$N = \frac{V_A}{K_V \cdot \Phi} - \frac{T \cdot R_A}{K_V \cdot K_T \cdot (\Phi)^2}$$

N**Velocidad en RPM****K_V****Constante de voltaje en volts/RPM****V_A****Voltaje de armadura en terminales (volts).****T****Par motor en libras-pie (lb-ft).****Φ****Flujo magnético en por unidad (PU)****R_A****Resistencia de armadura en Ohm.****K_T****Constante de par en lb-ft/A**

3.5 Curvas Características

Todo motor se utiliza para accionar otro mecanismo que cumple determinada función, y que tiene cierta característica.

$$C_R = f(N)$$

La mejor forma de exponer el comportamiento mecánico de un mecanismo que ha de ser movido por un motor, es mediante la curva:

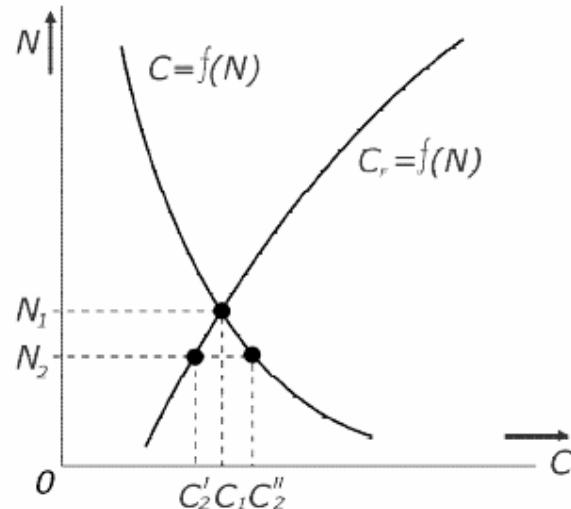
Está nos proporciona la cupla resistente necesaria, en función de la velocidad a desarrollar.

Para determinar la velocidad de régimen del conjunto motor-mecanismo, es necesario determinar la condición de funcionamiento estable:

$$C = C_R$$

Dónde como C_i es función de una serie de factores y características eléctricos y la velocidad de régimen se establecerá acorde con el par resistente C_R del mecanismo.

La velocidad de régimen se obtiene por medio de la intersección de las características cupla-velocidad para el motor y el mecanismo arrastrado.



Siendo C la cupla útil del motor y C_R la cupla resistente del mecanismo:

$$C_i = C_r + C_R$$

Por ello el motor no “tiene” una determinada velocidad, sino que ella es el resultado de diversos elementos.

La figura nos define un funcionamiento estable, que lo localiza en el punto de intersección con velocidad N_1 y la cupla C_1 , si por cualquier causa baja el valor a N_2 , la cupla, la cupla valdrá $O-C''_2$ y la del mecanismo $O-C'_2$. El excedente $C''_2-C'_2$, es la cupla aceleratriz que establece el equilibrio.

Motor derivación

El arrollamiento excitador está conectado a la línea a través de su reóstato, y por lo tanto el flujo principal Φ no se ve influenciado por la carga como:

- $U = \text{cte.}$
- $C_i = a \cdot I$

- $\Phi = \text{cte.}$
- ($a = \text{cte.}$)

$$N = \frac{U - R_i}{K \cdot \Phi} = \frac{U}{K \cdot \Phi} - \frac{I \cdot R_i}{K \cdot \Phi} = N_0 - b \cdot C_i$$

B es otra constante constructiva.

Vemos que las caídas por resistencia incrementan la caída de velocidad.

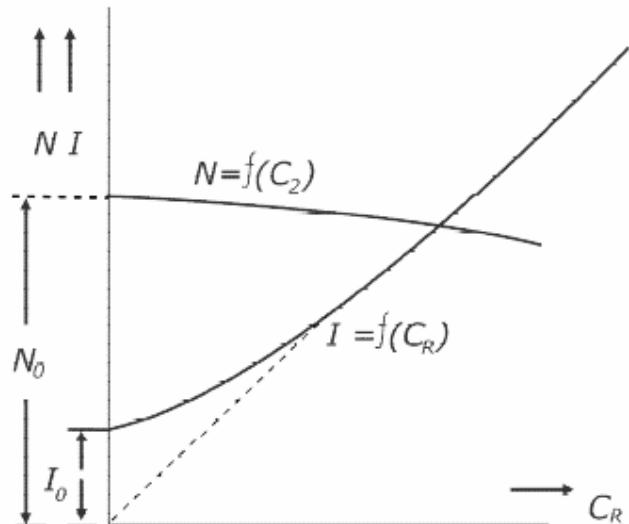
La reacción de armadura, con su acción desmagnetizante tiende a aumentar la velocidad.

Por tal razón decimos que la velocidad en un motor derivación es prácticamente constante con la carga

Motor serie

El flujo es función de la carga:

$$\Phi = K_1 \cdot I$$



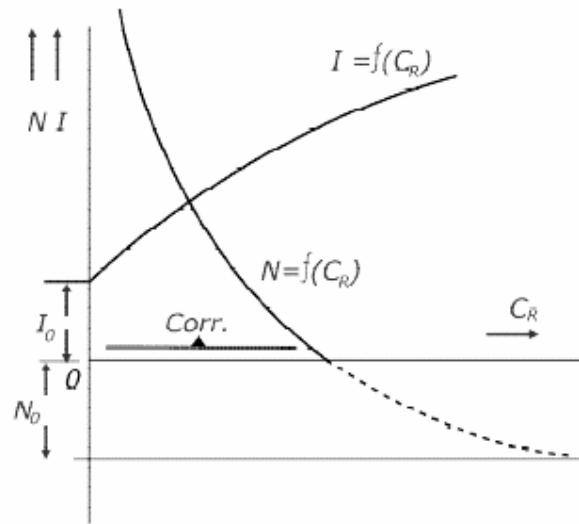
• Si la máquina trabaja en la parte recta de la curva...

$$C_i = K \cdot \Phi \cdot I = K_2 \cdot I^2$$

• Reemplazando...

$$N = \frac{U - I \cdot R_i}{K \cdot \Phi} = \frac{U}{K \cdot K_1 \cdot I} - \frac{I \cdot R_i}{K \cdot K_1 \cdot I} = \frac{d}{\sqrt{C_i}} \cdot N_0$$

• D es otra constante constructiva





RECUERDE

Surgen dos diferencias entre los motores serie y paralelo que son:

- El motor serie es de velocidad esencialmente variable con la carga
- Posee una elevada cupla de arranque (para $N=0$ posee el mayor valor)
- A reducidas velocidades el motor serie posee alta cupla y la potencia desarrollada es elevada;
- En el motor derivación, si se hace trabajar a baja velocidad debilitando el campo, disminuye mucho la cupla y en consecuencia la velocidad que desarrolla es baja

Motor compuesto

• Los casos derivación y serie son límites, con la excitación compuesta pueden lograrse las curvas intermedias que satisfagan distintas necesidades.

• La excitación siempre es adicional, porque de ser diferencial, al aumentar la carga se debilitaría el flujo, con el consiguiente aumento de velocidad, y el funcionamiento sería inestable.

3.6 Arranque y Regulación de la Velocidad

En cualquiera de los tres tipos de excitación se emplea un reóstato para la puesta en marcha, el que cumple la función de limitar la corriente en el momento de arranque.

- La corriente de arranque es muy elevada en razón de que el estado la f.c.e.m. es nulo, porque la velocidad es nula. Por lo tanto la expresión se reduce a:

$$I_{arr} = \frac{U}{R_i}$$

Como R_i es tanto más pequeña cuando mayor es la máquina la corriente de arranque I_{arr} es alta. Una vez que la máquina arrancó y va tomando velocidad de régimen, se incrementa la f.c.e.m.. Y la corriente disminuye

- Para limitar la corriente de puesta en marcha se utiliza un reóstato en serie con el inducido, cuya resistencia se suma a la del mismo y entonces su valor se reduce a:

$$I'_{arr} = \frac{U}{R_i + R_A}$$

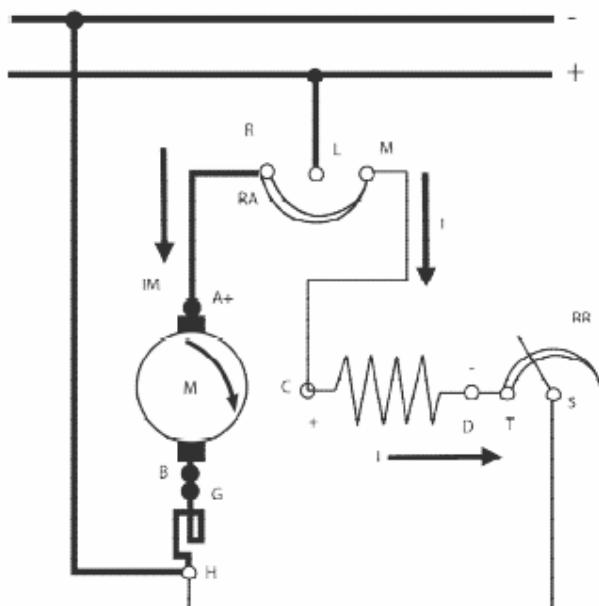
Una vez en marcha se puede ir intercalando el reóstato R que a tal efecto debe ser variable. Dicha resistencia debe excluirse inevitablemente del circuito, porque en muy raras oportunidades se diseña para servicio continuado.

- Ya en servicio el motor, la velocidad puede expresarse por:

$$N = \frac{U - I \cdot R_i}{K \cdot \Phi}$$

Puede inferirse que como la U es constante, la velocidad es en forma aproximada, inversamente proporcional al flujo principal

En la figura se ve la conexión completa de un motor derivación. La resistencia de arranque RA está en serie con el inducido en su tramo L-R (el cursor se coloca en M para el arranque)



- Y así cumplirse la expresión.

- La resistencia RA se va excluyendo a medida que la máquina se pone en marcha hasta que el cursor llega a R.

- Obsérvese que por la forma de conexión, en el momento de arranque, RA está desintercalada respecto al campo, y se va incluyendo a medida que se realiza el arranque, porque el tramo L M está en serie con el circuito excitador.

- Esto tiene muy poca importancia en lo que respecta a velocidad, porque RA es muy pequeña frente a RCD, pero es una ventaja porque en esa forma, al desconectar la máquina de la red, la energía del campo electro-magnético acumulada en la inducción del circuito excitador se descarga sobre el circuito de armadura y resistencia.

- El reóstato Rr regula el valor de la corriente de excitación i y por lo tanto el flujo Φ , con lo que se logra la regulación de velocidad. El reóstato de campo de los motores no trae el punto q como el de los generadores, que se colocan para absorber la corriente de autoinducción.

- La corriente de arranque puede ser de 10 a 50 veces la nominal, pero con el reóstato de puesta en marcha se limita a 1,5 o 2 veces. En el motor con excitación compuesta, las conexiones para arranque y regulación son las mismas que en el derivación, con el agregado claro está, del devanado en serie adicional, y por lo tanto no repetimos el esquema.

- Por lo general, los reóstatos de arranque son de baja resistencia, no así los de regulación de campo.

Notemos aquí que en el motor derivación, cuando la Rr es mínima, es máxima i y por lo tanto es mínima la velocidad. Incluyendo resistencia se baja la excitación, y se sube la velocidad. La velocidad tiene un valor mínimo por razones constructivas, que sólo puede incrementarse por intermedio del reóstato de campo.

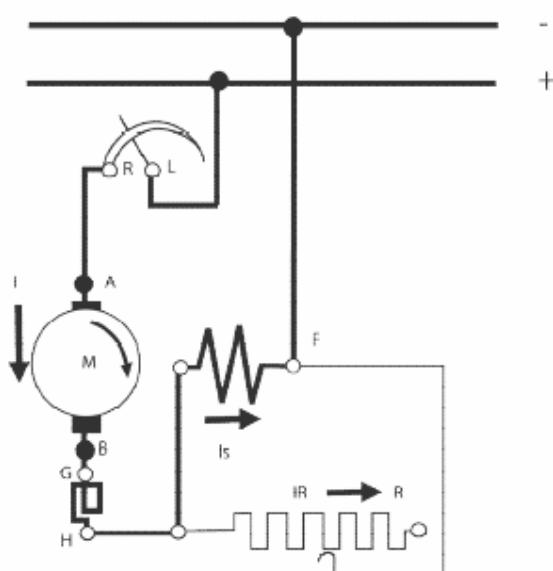
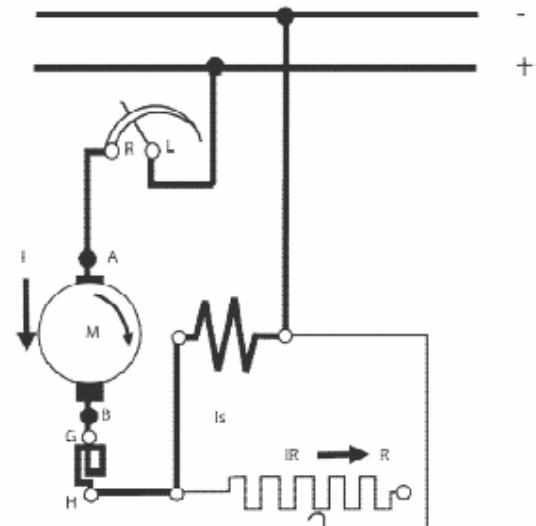
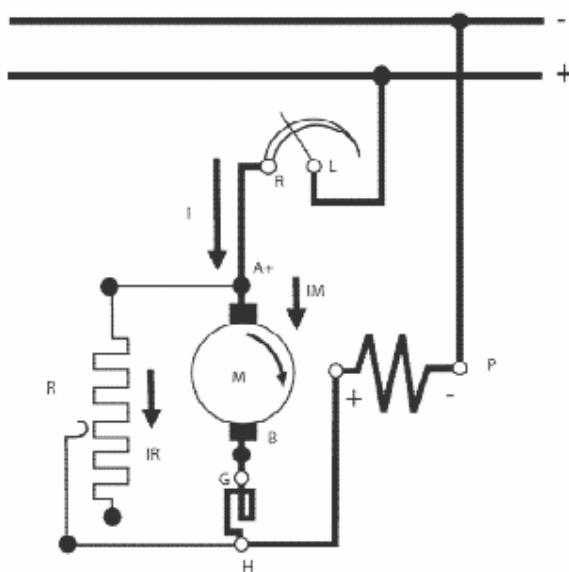
Si deseamos bajarla más allá de su límite natural, es posible hacerlo disminuyendo la tensión U o aumentando el producto con el agregado de resistencias al circuito de inducido, conectadas en serie como la resistencia de arranque.

ATENCION



En los motores no debe nunca cortarse la corriente de excitación, porque de hacerlo se anula el flujo, y la velocidad se incrementa enormemente dañándose el inducido si las protecciones no actúan a tiempo.

Cualquiera de los dos métodos no es recomendable, el primero porque es prácticamente imposible sin una máquina o grupo de máquinas auxiliares; y el segundo porque al aumentar R_i aumentan las pérdidas y baja sensiblemente el rendimiento. El rango de variación de velocidad con reóstato de campo suele ser de 2:1. Finalmente, los motores con excitación en serie necesitan también una resistencia para la puesta en marcha. La regulación de velocidad no es tan fácil como en los de derivación, ya que en aquellos, la regulación por medio del campo es sencilla y económica. En las figuras siguientes vemos dos formas de regulación de los motores serie.



- Si la resistencia está en paralelo con el inducido, y es muy baja $IR > IM$ el motor estará muy excitado y sin embargo la corriente de inducido es pequeña, girando el motor muy despacio, y conservando una cupla normal.

- Aumentando R aumenta la velocidad.
- Cuando la resistencia está en paralelo con el campo al disminuir R aumenta IR disminuyendo IS , y por lo tanto aumenta la velocidad.

3.7 La Velocidad depende de la Carga

La fuerza de rotación que desarrolla el motor para hacer girar cierta carga depende de la cantidad de corriente que el inducido toma de la línea.



Cuanto más pesada sea la carga, mayor será la fuerza de torsión necesaria y más intensa tendrá que ser la corriente del inducido.



Cuanto más liviana sea la carga, menor torsión se necesita y menor tendrá que ser la corriente del inducido.

- La caída de tensión en la armadura ($I_a R_a$) y la fuerza contra-electromotriz (E_c) siempre tienen que sumarse para igualar la tensión aplicada (E_t) — $E_t = I_a R_a + E_c$.
- Como el voltaje aplicado (E_t) es constante, la suma de la caída de voltaje y de la fuerza contra-electromotriz ($I_a R_a + E_c$) también tiene que ser constante.
- Si se aplica una carga más pesada al motor, éste disminuye su velocidad.
- Pero esta disminución de velocidad reduce a su vez la fuerza contra-electromotriz, que depende de ella.

- Como $E_c + I_a R_a$, es constante, y dado que E_c ha disminuido, entonces el valor de la R_a tendrá que aumentar.
 - La resistencia de la armadura no ha variado y, por lo tanto, tiene que haber aumentado la intensidad en la armadura.
 - Esto significa que la torsión desarrollada es mayor y que el motor puede accionar la carga más pesada a menor velocidad.
 - Por lo tanto, usted ve que la velocidad del motor de CC depende de la carga que propulsa.

La velocidad del motor de corriente continua depende de:

La fuerza del campo magnético y del valor de la tensión aplicada, como también de la carga. Si se disminuye la fuerza del campo el motor debe aumentar su velocidad para, mantener el valor de fuerza contra-electromotriz que corresponde.

Si se abre el circuito de campo, sólo queda magnetismo remanente y la velocidad del motor aumenta peligrosamente, tratando de mantener la fuerza contra-electromotriz necesaria para oponerse a la tensión aplicada

Habiendo carga liviana o ninguna carga, el circuito de campo abierto puede hacer que el motor gire con tanta velocidad que se rompa: las delgas del colector y otras piezas saltan y pueden herir gravemente al personal.

La velocidad del motor puede graduarse:

- Regulando la fuerza del campo con un reóstato de campo.
- Regulando el voltaje aplicado al inducido con un reóstato en serie con el inducido.

ATENCION

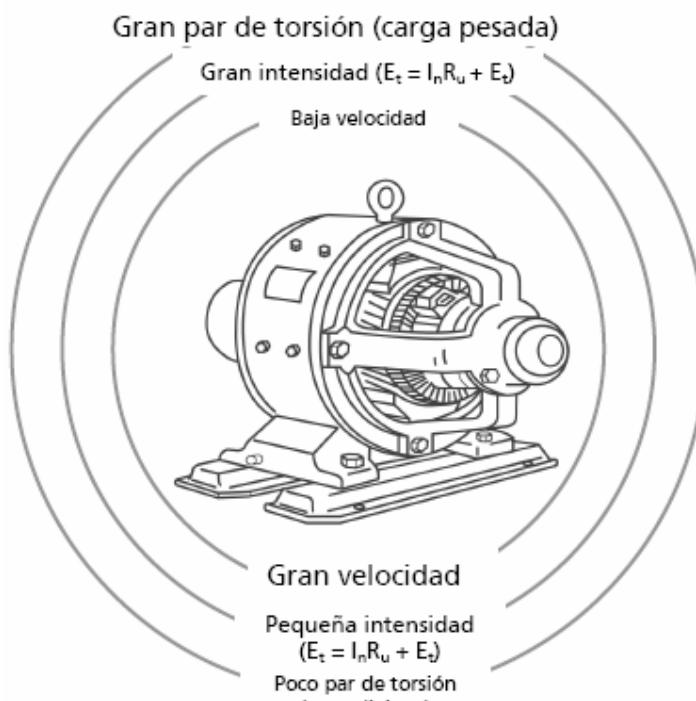
Antes de poner en marcha un motor de CC cerciórese siempre y nunca deje de comprobar que la resistencia de arranque está puesta al máximo cuando aplica tensión a sus bornes.

• El aumento de la resistencia en el circuito del inducido tiene el mismo efecto que la disminución del voltaje aplicado al motor, que es el de disminuir la velocidad.

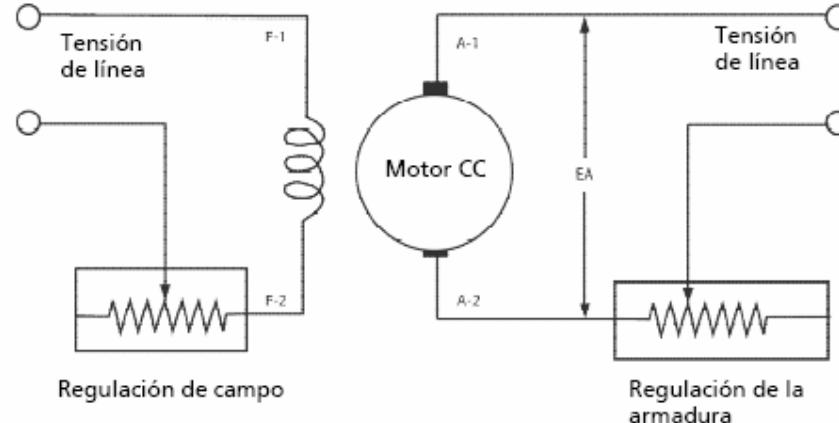
• Este método se emplea raras veces porque se necesita un reóstato demasiado grande y porque se reduce la torsión de arranque.

• El aumento de la resistencia del circuito de campo disminuye la corriente en él, y, por ende, la fuerza del campo.

• La menor fuerza de campo hace que el motor gire con mayor velocidad para mantener la misma fuerza contraelectromotriz.



Resumiendo, la velocidad de rotación del motor de CC depende de la intensidad del campo y del voltaje en el inducido.



Métodos para regular la velocidad

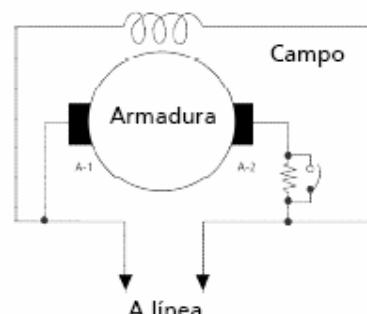
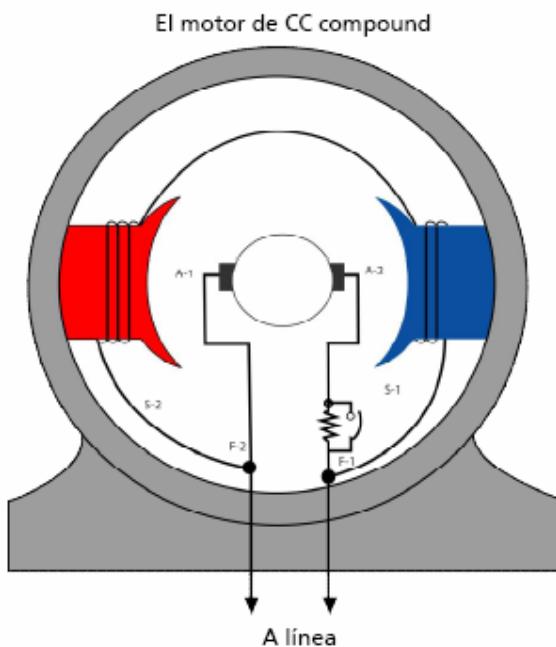
3.8 Conexión de Campo

Motores de CC en Derivación

En el motor en derivación, el campo está conectado directamente con la línea de alimentación y, por lo tanto, es independiente de las variaciones de carga y de la corriente en el inducido.

- La fuerza de torsión, o más propiamente, el "par motor" desarrollado, varía con la intensidad de corriente en el inducido.
- Si la carga del motor aumenta, el motor disminuye su velocidad, reduciendo la fuerza contra-electromotriz, que depende tanto de la velocidad como de la intensidad constante del campo.
- La menor fuerza contra-electromotriz permite que aumente la intensidad de la corriente en el inducido y aumenta el "par motor" desarrollado.
- Siempre que se modifica la carga, la velocidad varía hasta que el motor recupera su equilibrio eléctrico, o sea hasta que $E_c + I_a R_a = E_t$.
- En el motor en derivación, la variación de velocidad desde carga cero hasta carga normal o "plena carga" es sólo del diez por ciento con respecto a la velocidad sin carga, o "en vacío".
- Por este motivo, los motores en derivación se consideran de velocidad constante.

Al poner en marcha el motor en derivación se debe conectar una resistencia de arranque en serie con el inducido para limitar la corriente en el inducido hasta que la velocidad llegue a producir la fuerza contra-electromotriz necesaria. Como la corriente de arranque es débil debido a esta mayor resistencia, el "par de arranque" será también débil.



Los motores en derivación suelen emplearse en los casos en que se desea velocidad constante bajo carga variable, y cuando se puede poner en marcha el motor con cargas ligeras o nulas.

Motores de CC en Serie

El "par motor", fuerza de rotación, desarrollada por cualquier motor, depende de la corriente del inducido y de la fuerza del campo.

En el motor en serie, la fuerza del campo mismo depende de la intensidad de corriente en el inducido, de manera que el "par motor" desarrollado depende doblemente de la intensidad de la corriente que circula en el inducido.

Cuando la velocidad del motor es baja, la fuerza contra-electromotriz es, por supuesto, baja y la intensidad en el inducido es grande. Esto significa que el "par motor" será muy grande cuando la velocidad del motor es baja o cero, como sucede cuando el motor se pone en marcha. Se dice entonces que el motor en serie tiene mucho par de arranque.

- Existen tareas especiales que requieren gran "par de arranque" y la gran aceleración que este par imprime. Tales aplicaciones son las grúas, guinches eléctricos y trenes y tranvías eléctricos.

- Los motores utilizados en estas máquinas siempre son en serie porque las cargas son muy pesadas en el arranque y luego se van haciendo más livianas a medida que aumenta la velocidad.

- El motor compound es una combinación de motor en serie y en derivación. El campo consiste en dos juegos de bobinas separados. Uno de estos juegos, cuyas bobinas están arrolladas con muchas espiras de alambre fino, está conectado con el Inducido como campo en paralelo. El otro, cuyas bobinas consisten en pocas espiras de alambre grueso, está conectado en serie con la armadura como campo en serie.

Enorme par motor de arranque

Gran aceleración
Carga pesada: gran par, poca velocidad
Carga liviana: poco par, gran velocidad



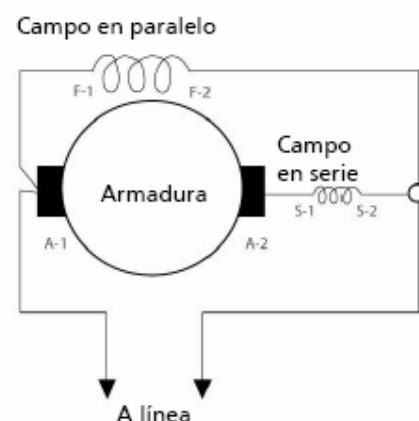
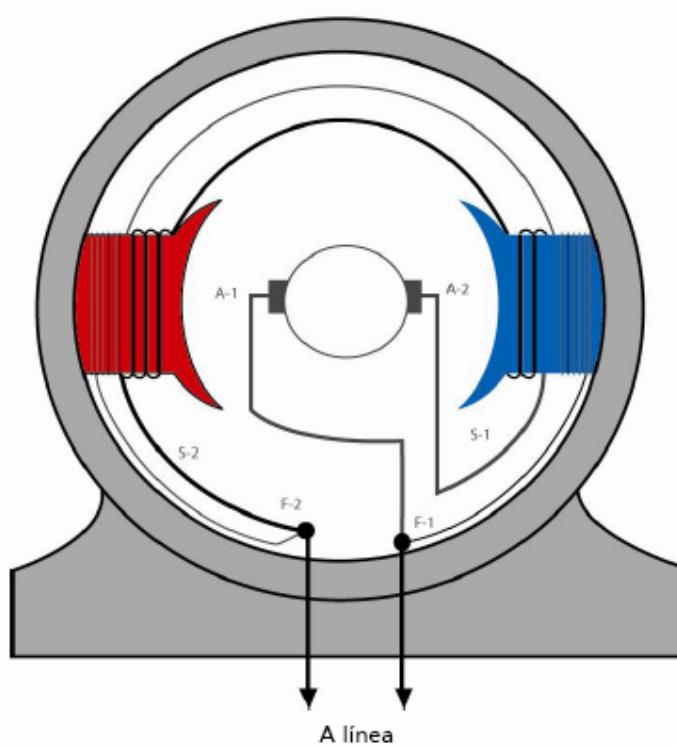
Motor compound

- Es una combinación de los rasgos de los motores en serie y en derivación.
- Sus campos en serie y en paralelo están conectados de manera que se suman entre sí, son los que se emplean más comúnmente.
- El aumento de la carga disminuye la velocidad e incrementa considerablemente el par desarrollado. El "par de arranque" también es grande.
- Tiene una velocidad bastante constante, con excelente fuerza de arrastre en cargas pesadas y buen "par de arranque".

En el motor compound diferencial el campo en serie se opone al campo en paralelo, y el campo total sufre un debilitamiento cuando aumenta la carga. Esto permite aumentar la velocidad cuando aumenta la carga, pero hasta cierto punto. El "par de arranque" es muy pequeño.

El motor compound diferencial se emplea raras veces.

El motor de CC compound

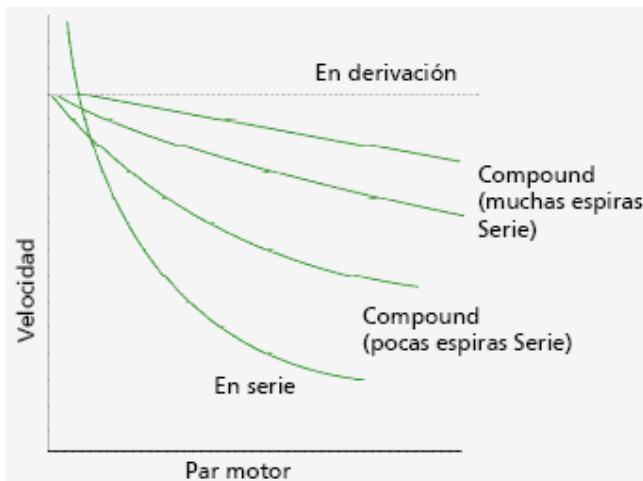


3.9

Características Comparativas de los Motores de CC

Las características de funcionamiento de los distintos tipos de motores de corriente continua pueden resumirse haciendo un gráfico de las variaciones de velocidad de acuerdo con el "par" o carga del motor.

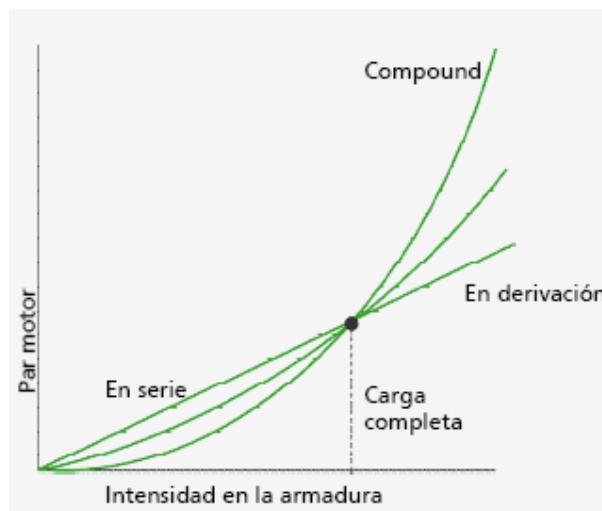
En el gráfico hay cuatro curvas. Observe que la velocidad del motor en derivación varía muy poco al aumentar el "par motor" debido a un aumento de la carga.



Por otra parte, la velocidad del motor en serie disminuye considerablemente cuando aumenta el "par motor". Las características de velocidad del motor compound están comprendidas entre las de las máquinas en derivación y en serie. Observe que cuanto más en serie sea, el motor (o sea que tiene mayor porcentaje de espiras en serie en comparación con las espiras en paralelo), más su funcionamiento se aproxima al motor en serie.

En el segundo gráfico vemos la forma en que varia el "par" según la intensidad de corriente en el inducido para distintos motores de igual potencia en caballos.

La curva del "par motor" del motor en derivación es una línea recta porque el campo permanece constante, y el "par" es directamente proporcional a la intensidad en el inducido. Las curvas de los motores en serie y compound muestran que por encima de plena carga o de la intensidad de funcionamiento normal.

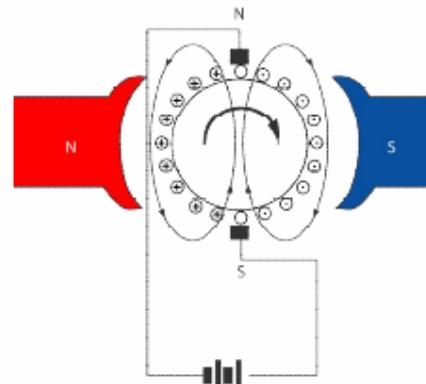


El "par" es mucho mayor que en el motor en derivación. Por debajo de la intensidad correspondiente a plena carga la fuerza de campo de las máquinas en serie y compound no alcanza su valor completo y, por lo tanto, el "par" desarrollado es menor que en la máquina en derivación.

Principio del Motor de CC

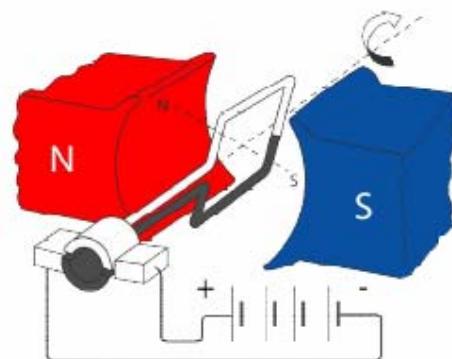
La corriente que circula por las bobinas de la armadura o inducido hace que éste se imante.

Los polos de la armadura son atraídos por los polos de campo de signo contrario, haciendo girar a la armadura.



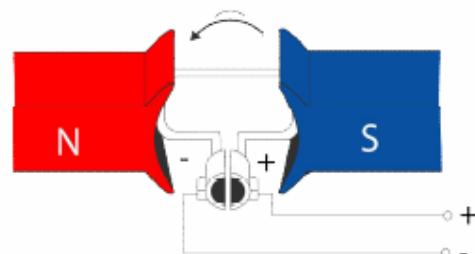
Comutación en el Motor de CC

El colector invierte la corriente del Inducido en el momento en que polos distintos del inducido y del campo se enfrentan, invirtiendo la polaridad del campo del inducido. Los polos iguales del inducido y del campo se rechazan, provocando la rotación continua de la armadura.



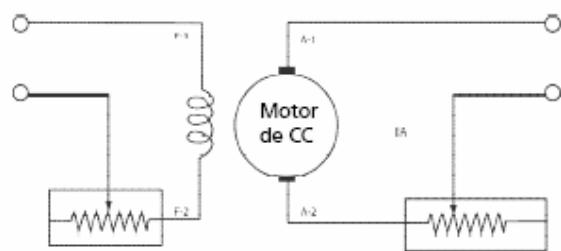
Fuerza Contra Electromotriz del Motor de CC

Las bobinas del inducido del motor de CC generan al girar una fuerza electromotriz que se opone al voltaje aplicado. Esta fuerza contra-electromotriz limita la intensidad de la corriente en el inducido.



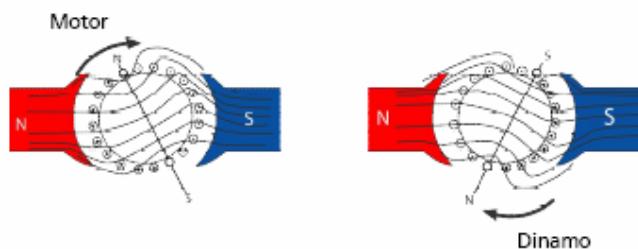
Regulación de la Velocidad del Motor de CC

La velocidad del motor de corriente continua puede modificarse mediante una resistencia variable conectada en serie con la bobina de campo o en serie con el inducido. La mayor resistencia del circuito de campo permite aumentar la velocidad del motor, mientras que la mayor resistencia del circuito del inducido disminuye la velocidad.



Reacción de Inducido

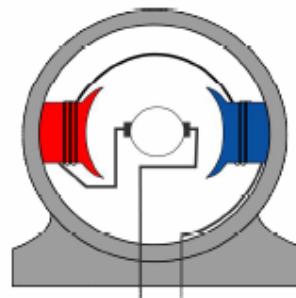
El campo del inducido deforma el campo principal del motor, desviando la línea neutra en sentido contrario a la rotación de la armadura. Para reducir a un mínimo el efecto de la reacción de inducido en el funcionamiento del motor se utilizan polos auxiliares, bobinados compensadores y piezas polares ranuradas.



Motores en serie

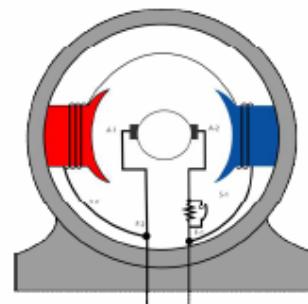
Los bobinados de campo están conectados en serie con las bobinas del inducido y la fuerza del campo varía de acuerdo con las modificaciones de la intensidad en el inducido.

Cuando la carga reduce su velocidad, el motor en serie desarrolla mayor "par", y su "par de arranque" es mayor que la de otros tipos de motores de corriente continua.



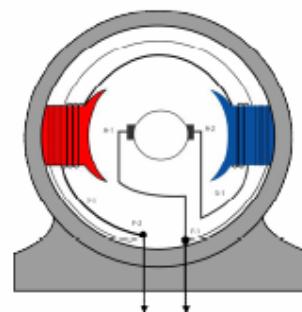
Motores en derivación o shunt

Los bobinados de campo están conectados en paralelo con la bobina de armadura, y la fuerza del campo es independiente de la intensidad de corriente en la armadura. La velocidad del motor en paralelo sólo varía ligeramente con los cambios de carga y su torsión de arranque no es tan grande como en otros tipos de motores de corriente continua.



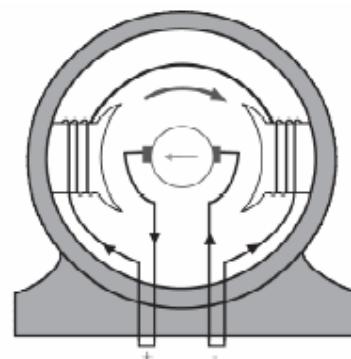
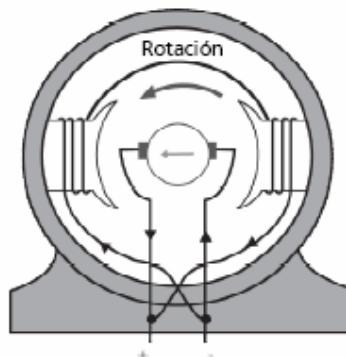
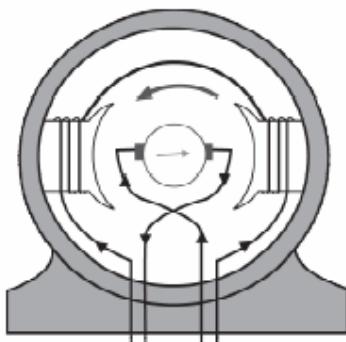
Motores en serie paralelo

Un juego de bobinados de campo está conectado en serie con el inducido mientras que el otro lo está en paralelo. Las características de velocidad y de carga se pueden modificar conectando los juegos de campos de manera que se sumen o se contrarresten entre sí.



Inversión del motor

El sentido de la rotación del motor de CC puede invertirse haciendo la inversión de las conexiones de campo o invirtiendo las conexiones de la armadura.



3.10 Reostato de Arranque Elemental

Al estudiar motores de CC usted ha aprendido que la resistencia del inducido es muy baja, pues por lo general no llega a un ohm. Si esta resistencia fuese la única oposición que encontraría el flujo de corriente, la intensidad en el inducido sería demasiado grande.

Cuando el motor está en marcha, la fuerza contra electromotriz generada en la armadura en movimiento se opone a la tensión aplicada y limita la intensidad de la corriente en el inducido. Sin embargo, en el momento en que el motor se pone en marcha la fuerza contra-electromotriz es cero, mientras que la corriente de arranque sería demasiado grande por no encontrar limitación.

MANTENIMIENTO

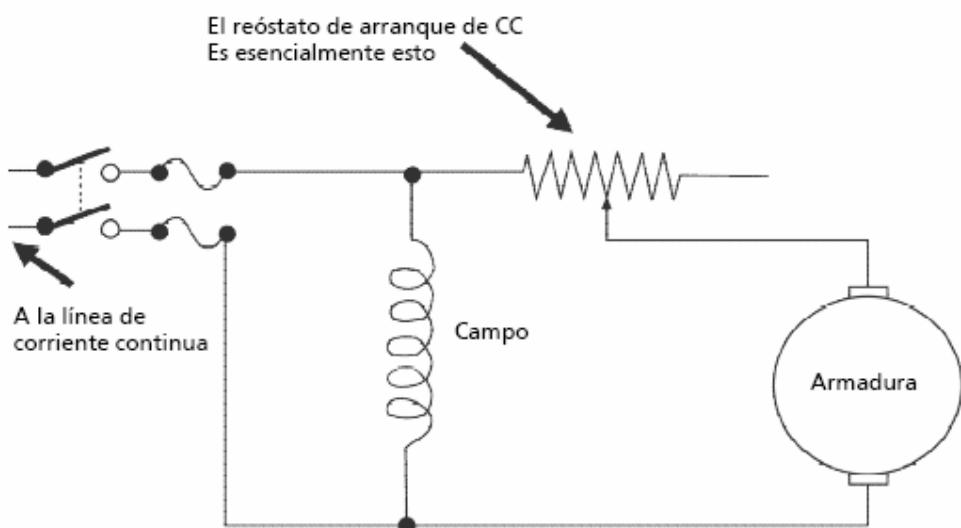


Para impedir esta gran intensidad de arranque, que deterioraría los bobinados del inducido y el colector, se coloca en serie con el inducido una resistencia denominada "resistencia de arranque" en el momento de puesta en marcha. A medida que aumentan la velocidad y la fuerza contra-electromotriz, la resistencia de arranque va siendo eliminada gradualmente del circuito.

Reóstato de arranque

- El conjunto completo de resistencias de arranque se llama "reóstato de arranque".
- Además de limitar el valor de la intensidad de arranque, suele incluir dispositivos para proteger al motor en caso de que se abran los circuitos de campo o de que la tensión de línea caiga demasiado.
- Además, la resistencia de arranque vuelve a conectarse automáticamente en el circuito cada vez que el motor se para.
- Cuando está construido de manera que también puede regular la velocidad de funcionamiento del motor, se lo denomina "reóstato de regulación".

Hay varios tipos de reóstatos de arranque, algunos accionados a mano y otros automáticos. Por lo general la intensidad de arranque está limitada a alrededor del 150 por ciento de la intensidad normal a plena carga. Hay algunos motores de CC chicos cuyas armaduras contienen muchas espiras alambre delgado que ofrecen suficiente resistencia al flujo de corriente como para prescindir del reóstato de arranque. Sin embargo, en todos los motores grandes de CC se requiere algún tipo de reóstato de arranque o de control.



Los reóstatos manuales se clasifican por la cantidad de conexiones que se hacen desde él al motor y a la línea. Hay reóstatos de arranque de :

Dos puntos

Tres puntos

Cuatro puntos

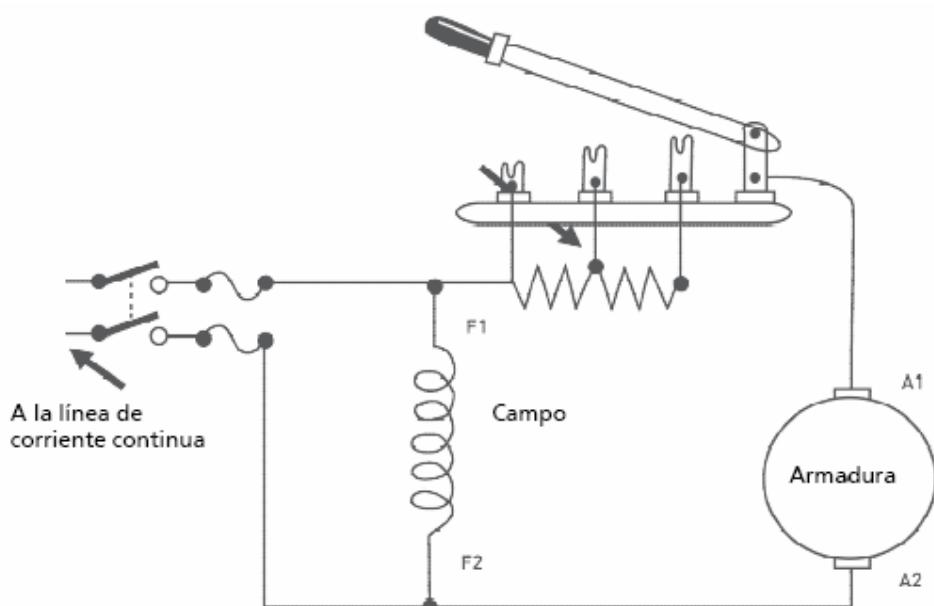
Reóstato elemental

El reóstato elemental consta de una resistencia que contiene varias tomas. Esta resistencia se puede ir separando gradualmente del circuito mediante un interruptor a cuchilla cuyos contactos conectan las tomas de la resistencia.

- La fuerza de torsión Al ponerse en marcha el motor, el interruptor toma contacto con el extremo de la resistencia, de manera que la resistencia completa queda en serie con el inducido.

- A medida que el motor adquiere velocidad, la hoja se va cerrando lentamente, haciendo puente en nuevos tramos de la resistencia hasta que, al cerrarse por completo el interruptor, toda la resistencia ha quedado separada del circuito.

La desventaja del reóstato elemental está en que si el operador se olvida de abrir el interruptor de arranque cuando abre el interruptor principal para parar el motor, el inducido no tendrá ninguna resistencia limitadora conectada con él en el momento en que de nuevo se pone en marcha el motor. Además, el reóstato elemental no protege al motor de la velocidad excesiva si se abre el circuito de campo.



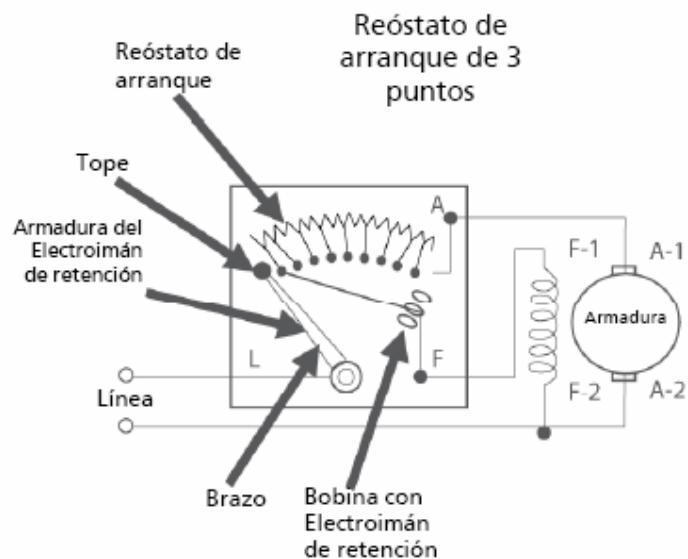
Reóstato elemental

El reóstato de tres puntos tiene tres terminales, según se ve en la ilustración. El punto "L" va a la línea, el punto "A" comunica con el inducido y el punto "F" se dirige al campo. Cuando se pone en marcha el motor, el brazo se mueve hasta el primer contacto y toda la resistencia queda en serie con el circuito del inducido. La bobina de campo está conectada en serie con la bobina de retención a través de la línea. A medida que el motor cobra velocidad y que la fuerza contra-electromotriz aumenta, el brazo se desplaza sucesivamente a cada uno de los contactos, disminuyendo gradualmente la resistencia. Mientras el brazo se mueve a lo largo del reóstato, parte de la resistencia también está en serie con el campo y con la bobina de retención. Cuando el brazo ha recorrido todo el camino hacia la derecha hasta el punto denominado "posición de marcha", el inducido está conectado directamente con la línea y el motor funciona a toda velocidad.

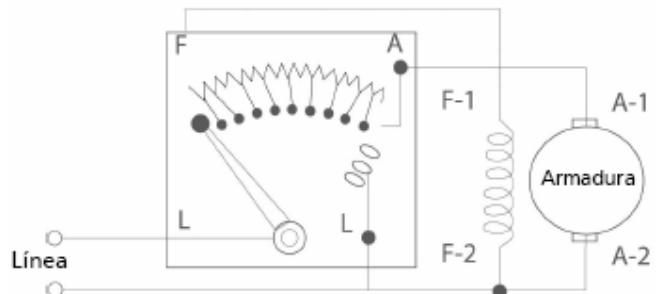
En la posición de marcha un pequeño contacto de hierro toca la "bobina de retención" y es mantenido allí por la atracción electromagnética producida por la corriente de campo que circula por esta bobina. Si por algún motivo la tensión de la línea cae, la bobina de retención ya no puede retener al hierro y el resorte de retorno vuelve al brazo a la posición primitiva, desconectando así el motor.

- Esto impide que el motor arranque sin resistencia de arranque cuando se vuelve a aplicar el voltaje de línea. El resorte de retorno también puede montarse de manera que haga regresar el brazo si la tensión desciende en cierta medida. A esto se lo denomina protección de bajo voltaje. El campo en paralelo abierto reduce la fuerza contra-electromotriz generada por el motor shunt o compound, dando como resultado una excesiva corriente en el inducido y una mayor velocidad en el motor. Como la bobina de retención del reóstato de tres puntos va conectada en serie con el bobinado de campo en paralelo, el reóstato se suelta y desconecta el circuito del motor si por cualquier motivo el circuito del campo en paralelo llega a abrirse.

- Si se requiere un control variable de velocidad que modifique la intensidad del campo, se emplea un reóstato de cuatro puntos en el cual la bobina de retención está conectada con la línea. Por lo tanto su atracción magnética no se modifica con las variaciones de la corriente de campo que produce el regulador de velocidad. Este tipo de reóstatos no ofrece protección si se abre el campo. Estos reóstatos que son del tipo de placa frontal, tienen un grupo de con tactos dispuestos en botones sobre una placa aislante. El contacto de la palanca de control toca un solo botón a la vez, efectuando el arranque, el paro y la regulación de velocidad.



Reóstato de arranque de 4 puntos



Los reóstatos de arranque para motores en serie son de:



Dos puntos



Tres puntos

Reóstato de dos puntos

- Tiene dos conexiones, una con el inducido y otra con la línea.
- La bobina de retención está en serie con el inducido, de manera que, cuando el brazo está en posición de circuito abierto, el inducido y el campo están desconectados de la línea.
- Moviendo el brazo desde un punto al siguiente, el motor tiene tiempo para ir adquiriendo velocidad y aumentar la fuerza contra-electromotriz junto con el aumento de la intensidad de corriente en el inducido.
- Cuando el brazo está en posición de marcha, la resistencia queda completamente eliminada del circuito del inducido y del campo.
- El brazo es retenido en posición de marcha por la bobina de retención, que está en serie con el inducido y, en consecuencia, funciona con la corriente del inducido.
- Cuando se retira la carga del motor, la corriente del inducido cae, debilitando el campo de la bobina de retención.
- El brazo queda libre, vuelve a la posición de circuito abierto y el motor se detiene.
- De esta manera el motor se desconecta cada vez que se retira la carga.
- A esto se llama protección de carga.

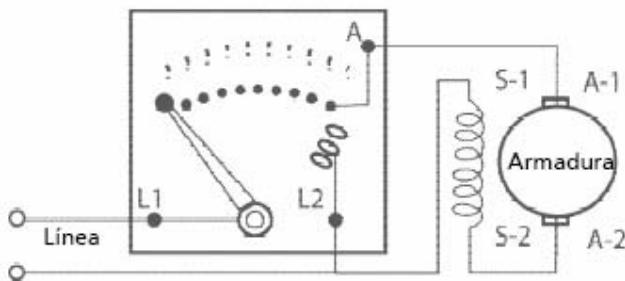
Reóstato de tres puntos

El reóstato de tres puntos también puede emplearse con motores en serie. En este caso la bobina de retención hace las veces de protector de bajo voltaje.

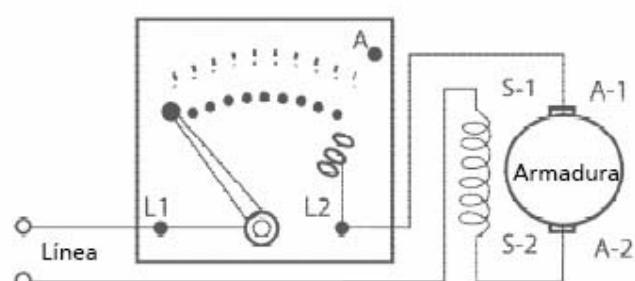
Si la tensión de la línea se interrumpe o cae a un valor bajo, la bobina de retención suelta el reóstato. Esto impide que se aplique voltaje de línea al motor en momentos en que la resistencia de arranque está separada del circuito.

Este tipo de reóstato no ofrece protección cuando no hay carga. Las conexiones a línea y al motor para los reóstatos de arranque de dos y tres puntos aparecen en los grabados de abajo.

Reóstato de tres puntos



Reóstato de dos puntos



3.11 Colectores y Escobillas

Estos elementos usted los reconoce por los capítulos anteriores.

¡ATENCIÓN!

Para que la conmutación de las máquinas de corriente continua sea satisfactoria debe mantenerse un contacto continuo entre el colector y las escobillas. El colector debe ser mecánicamente perfecto, con la unidad muy bien equilibrada, y las escobillas deben tener la forma correcta y estar bien ajustadas.

MANTENIMIENTO



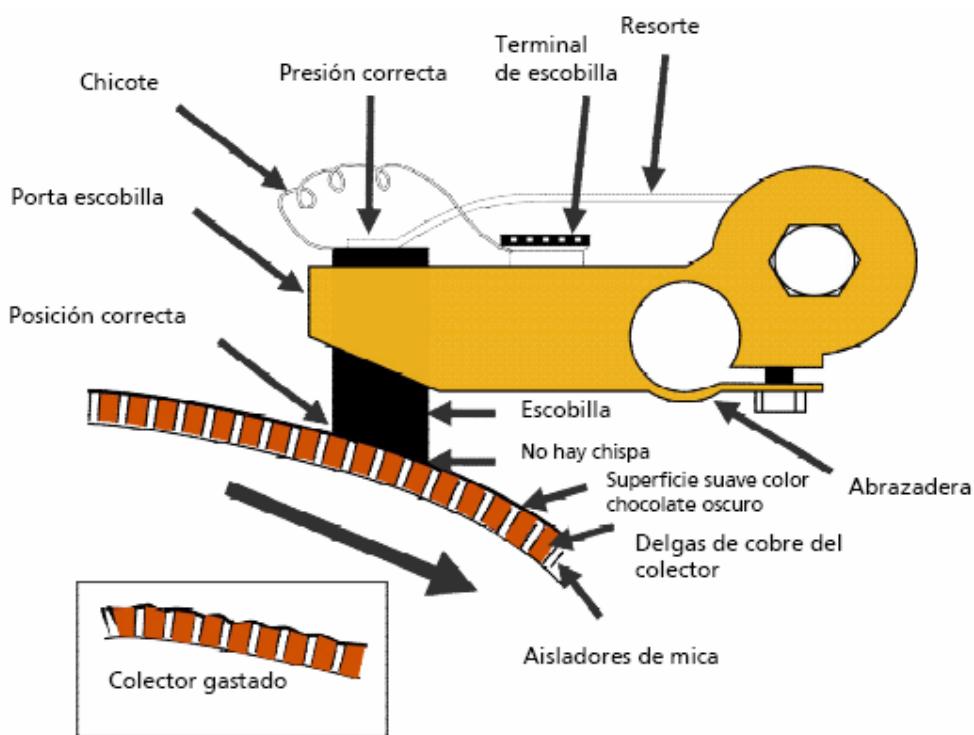
Después de los cojinetes, las partes que más se descomponen en las máquinas rotativas de corriente continua son los colectores y los juegos de escobillas. El continuo deslizamiento de las escobillas sobre el colector va desgastando a las primeras y tiende a desalinearlas, provocando inconvenientes en el colector y en las escobillas. Cuando se produce alguna falla de conmutación, ésta va acompañada por un chisporroteo excesivo que agrava la falla original y produce otras más.

MANTENIMIENTO



Tenga en cuenta estas observaciones:

- Cuando la conmutación es correcta el colector, tiene color chocolate oscuro.
- Este color se debe a la acción de las escobillas al deslizarse sobre el colector en movimiento.
- La superficie del colector es suave.
- Con carga normal aparecen muy pocas chispas.
- Por lo general la aislación de mica entre las delgas está recortada por debajo de la superficie de éstas.
- Las escobillas tienen libertad para resbalar hacia arriba y abajo dentro de sus soportes y apoyan en el colector mediante un resorte que produce una presión de 100 a 150 gramos por centímetro cuadrado de superficie de escobilla.
- La presión demasiado débil produce contacto de escobilla deficiente y chisporroteo innecesario, mientras que el exceso de presión ocasiona excesivo desgaste de las escobillas.



Damos a continuación el procedimiento de inspección y los pasos que se siguen para eliminar los inconvenientes:

- Observe el funcionamiento de la máquina para ver si puede encontrar algo raro, como arcos o chispas excesivas, que podrían sugerir una conexión suelta.
- Pare la máquina, fijándose bien de que ha desconectado toda corriente antes de seguir adelante con la inspección.
- Revise todas las conexiones y compruebe que ninguna está suelta. Compruebe la posición relativa de las escobillas en el colector. (Tienen que estar en los lados opuestos del colector). Si las escobillas están mal espaciadas, fíjese si el soporte se ha torcido y endérecelo.
- Inspeccione el estado de las escobillas. Si están muy gastadas tendrá que cambiarlas. Para sacar la escobilla, primero levante la palanca del resorte para suprimir la presión y después extraiga la escobilla. Inserte una escobilla nueva, fijándose de que pueda moverse libremente dentro del porta-escobilla. El extremo de la escobilla debe ajustarse con el colector, lijándolo de la manera que aparece en el grabado. Ajuste el resorte de la escobilla. Fíjese si el chicote y su terminal están bien ajustados. El chicote no debe tocar ningún metal, excepto los porta escobillas con los cuales está conectado.
- Revise el colector para ver si está sucio, si tiene roturas, irregularidades, etc. El polvo se puede sacar con una gamuza. Si tiene irregularidades puede pasárselas papel de lija. Jamás use tela esmeril.

MANTENIMIENTO



Cuando se produce chisporroteo excesivo en el colector y no se puede obtener buena commutación, se debe inspeccionar el colector y los juegos de escobillas, corrigiendo todo defecto siempre que sea posible.

Funcionando normalmente, los bobinados de campo y del inducido de las dinamos y motores están completamente aislados de la carcasa de la máquina, que está abalonada sobre su soporte.

Tomando la resistencia entre la carcasa y el inducido o el campo se tiene que leer infinito o varios millones de Ohm.

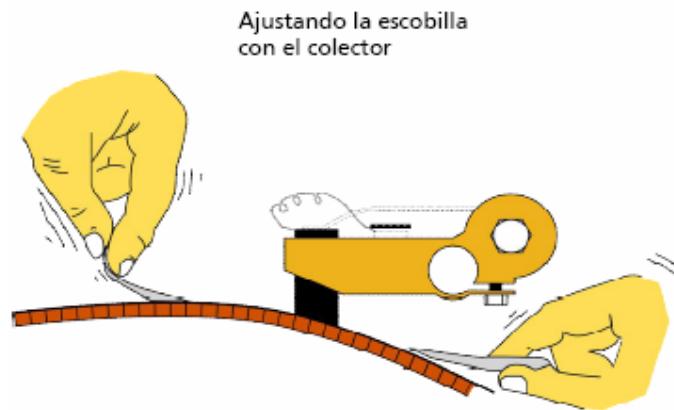
Debido a veces al recalentamiento producido por exceso de carga en la máquina o porque ha penetrado aire demasiado húmedo en el barco, la gran resistencia de la aislación disminuye o parte de la corriente filtra a través de la aislación llegando a la carcasa.

Esta filtración de corriente acelera el deterioro de la aislación y, si no se la descubre a tiempo, la filtración será completa y hará cortocircuito entre la bobina y la carcasa- (A la bobina en estas condiciones se la denomina "bobina a masa").

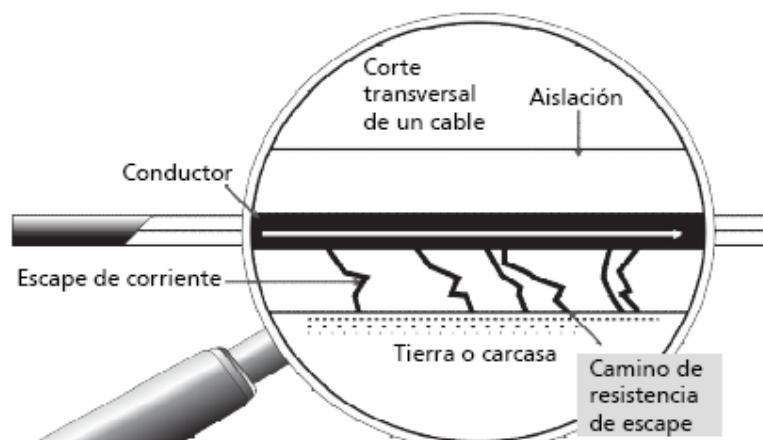
El cortocircuito hará que todo el bobinado se recaliente y se queme. Los bobinados del inducido y de campo, por lo tanto, deben ser inspeccionados a intervalos regulares para ver si hay "escapes" o "derivaciones" y "contacto a masa" antes de que se produzcan serios desperfectos.

Para probar la aislación de las grandes máquinas no se puede emplear el óhmetro común porque a menudo la derivación sólo se pone de manifiesto cuando se aplica un voltaje alto. El óhmetro es incapaz de aplicar un voltaje de suficiente valor como para probar debidamente las derivaciones.

Para ello se emplea un instrumento llamado "megger" que suministra el alto voltaje necesario y está calibrado para acusar resistencias muy altas.



En la siguiente ilustración vemos cómo se produce una falla típica de aislación cuando el aislante se raja, se rompe o se debilita por la acción del agua salada. Cada una de las vetas de filtración se convierte en un pequeño circuito en paralelo por el cual la corriente pasa a tierra.



3.12 El Megger o Megohmetro

El megger es un instrumento que se emplea para medir la resistencia de las aislaciones, como la resistencia entre los bobinados y carcasa de máquinas eléctricas, y la resistencia de la aislación de cables, aisladores y casquillos. El megger consta de dos partes:



Una dinamo accionada a mano (magneto) o una batería de alto voltaje "B", que suministra la tensión para hacer la medición.

Antes de emplear el megger se verifica la tensión del circuito para cerciorarse de que no circula corriente, porque el megger sólo se puede usar en circuitos sin corriente.

Entonces se conectan los dos terminales del instrumento a tierra para asegurar una buena conexión a tierra y el buen funcionamiento del mismo.

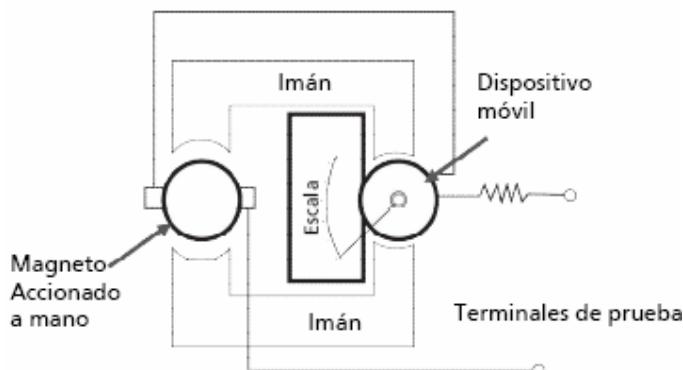
Seguidamente se conecta el megger con el circuito que se va a probar y se acciona la manivela, generándose un alto voltaje en los terminales del megger.

A raíz de esto pasa corriente por el circuito o la aislación que se está probando. Este flujo de corriente se mide en el dispositivo móvil como en el óhmetro, pero, a diferencia de éste, el megger está calibrado para medir megohms.

La resistencia normal para un circuito aislado de tierra es de varios cientos de megohms.

Si el instrumento acusa valor bajo, hay contacto a tierra y es menester reemplazar el circuito.

Esquema simplificado del megger



Un tipo especial de dispositivo móvil.

El contacto a "tierra" sirve de punto de referencia para las mediciones de voltaje y resistencia en los circuitos eléctricos. Todos los grandes objetos metálicos (como cajas de motores, cajas de interruptores y cajas de transformadores) relacionados con los equipos eléctricos, están conectados directamente a tierra. El megger determina si cualquiera de los conductores interiores de un motor o transformador ha entrado en contacto con la caja metálica (ha hecho "tierra") o si corre peligro de hacerlo.



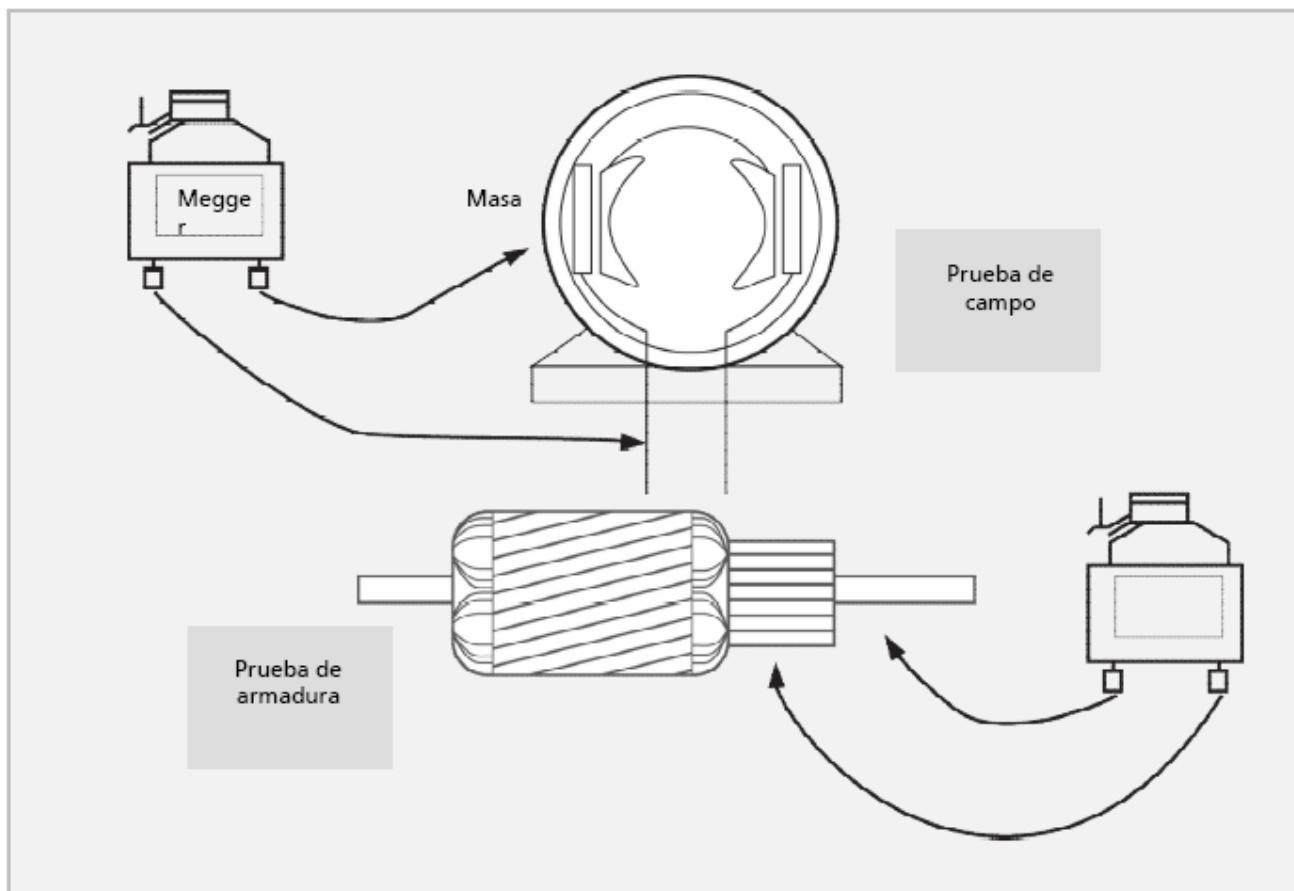
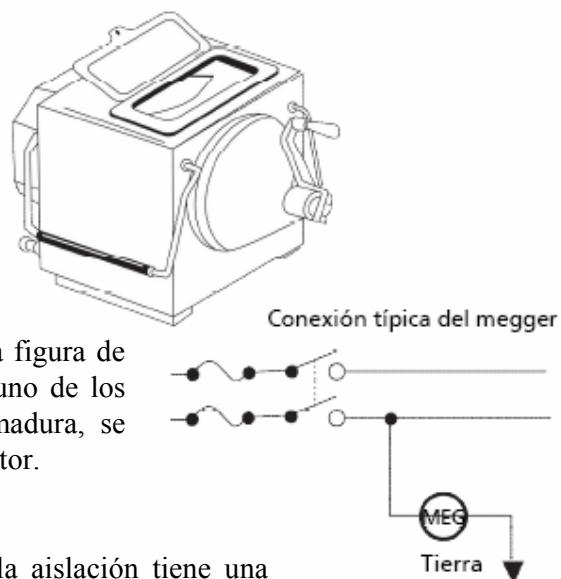
- A veces la humedad de la aislación reduce la resistencia del aislante hasta un megohm. La humedad puede eliminarse secando la aislación con estufas, juegos de lámparas o corriente de aire caliente. Las bobinas de campo pueden secarse haciendo pasar corriente.

Para probar las filtraciones de aislación o bobinas con contacto a masa en máquinas de corriente continua, se conectan los electrodos del megger con la carcasa y los terminales externos-

Si indica menos de un megohm, parte de la aislación es defectuosa y se debe localizar la filtración. Los terminales del campo deben desconectarse del inducido y probarse por separado.

El método para hacer las pruebas es el que aparece en la figura de abajo. Para probar el campo se conecta el megger con uno de los lados del campo y con la carcasa. Para probar la armadura, se conecta el instrumento entre el árbol y las delgas del colector.

Si el megger indica varios megohms quiere decir que la aislación tiene una resistencia normal, pero si indica menos de dos megohms. por ejemplo, la filtración es excesiva y eventualmente la aislación se deteriorará. Por supuesto, si el megger indica cero significa que la aislación está rota y que la bobina hace cortocircuito con la carcasa de la máquina.



3.13 Probando las Bobinas de Campo

Para verificar el estado de las bobinas de campo que posiblemente estén cortadas o en 'cortocircuito interno' se emplea el óhmímetro.

MANTENIMIENTO



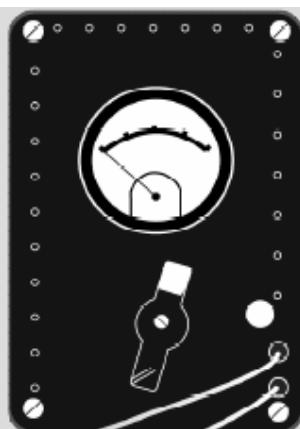
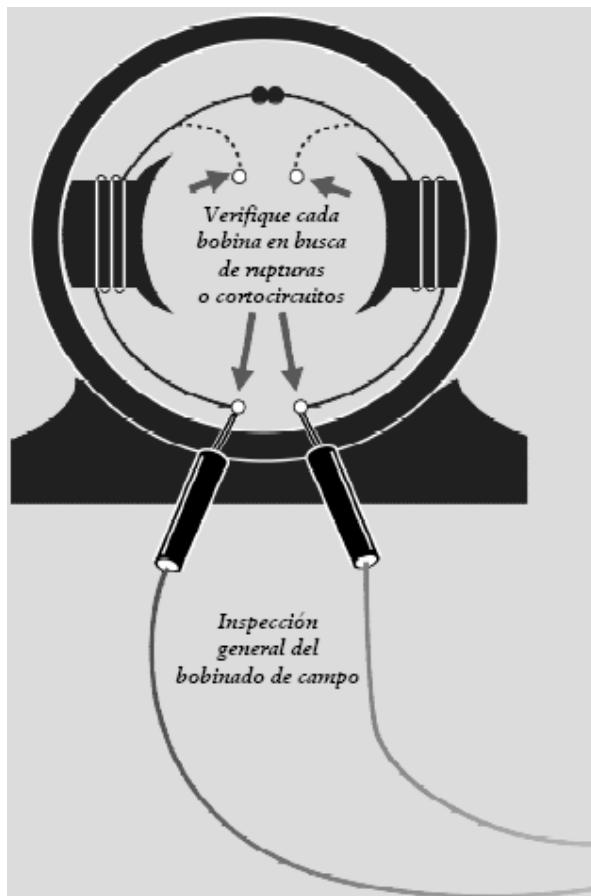
- El brazo es retenido en posición de marcha por la bobina de retención, que está en serie con el inducido y, en consecuencia, funciona con la corriente del inducido.

- Cuando se retira la carga del motor, la corriente del inducido cae, debilitando el campo de la bobina de retención.

- El brazo queda libre, vuelve a la posición de circuito abierto y el motor se detiene.

- De esta manera el motor se desconecta cada vez que se retira la carga.

- A esto se llama protección de carga.



¡ATENCIÓN!

Normalmente la resistencia del inducido de la máquina de CC es tan baja que no se la puede medir con el óhmetro común, pues indicará prácticamente cero.

- Si algunas de las espiras del inducido están en cortocircuito, el óhmetro siempre indicará prácticamente cero.
- Si existe un corte, en cambio, el óhmetro también indicará cero debido a la gran cantidad de recorridos en paralelo. Por eso para probar inducidos se emplean dispositivos especiales.

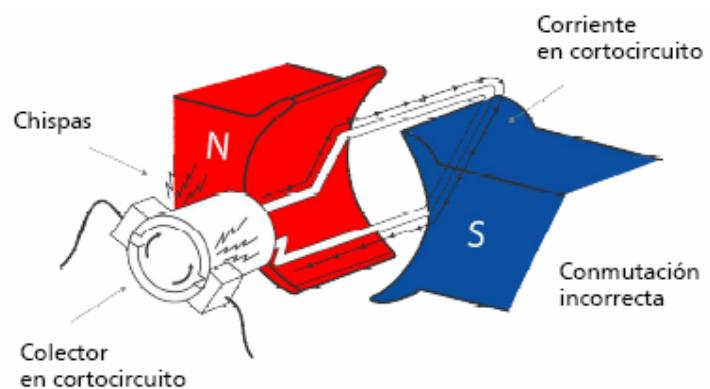
3.14

Repaso de Dinamos de Colectores Electricos

Queremos fijar algunos conceptos importantes en forma de repaso:

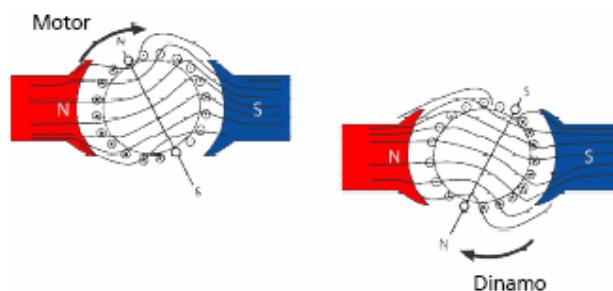
Chispas del colector

Se producen chispas en las escobillas cuando éstas hacen cortocircuito con las delgas del colector que corresponden a una bobina que está generando FEM y que no está en la línea neutra. Las chispas se reducen cambiando la posición de las escobillas o empleando polos auxiliares o bobinados compensadores.



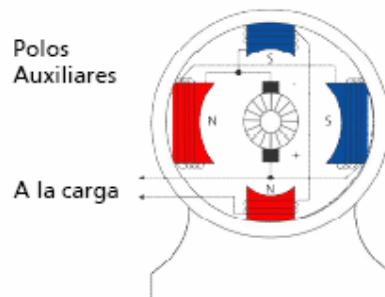
Reacción de Inducido

Efecto del campo del inducido al deformar el campo principal. El campo del Inducido es producido por el flujo de corriente en el circuito del inducido.



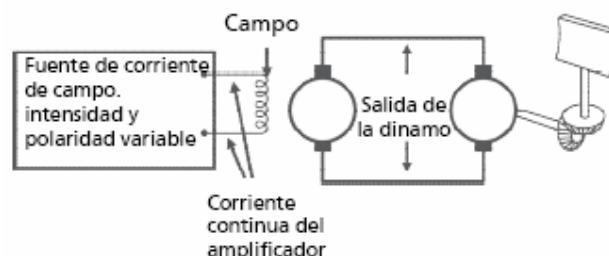
Polos auxiliares

Pequeños polos montados entre los bobinados del campo principal para producir un campo exactamente contrario al de las bobinas del inducido y contrarrestar el efecto de la reacción de inducido.



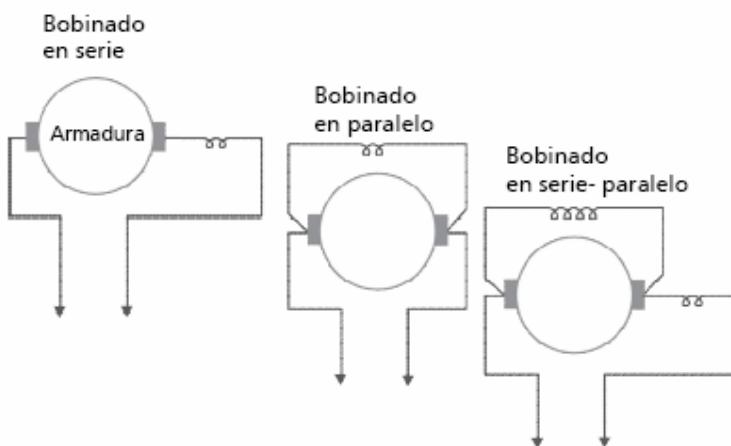
Dinamo de excitación separada

Dinamo que tiene un campo en paralelo que es excitado por una fuente externa de tensión continua.



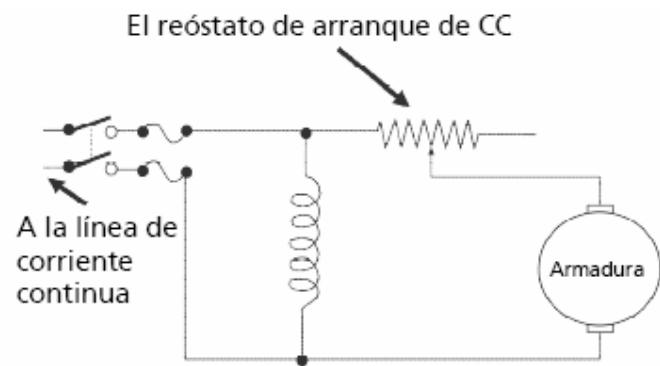
Dinamos de autoexcitación

Dinamo en derivación, - en serie y compound conectadas para obtener la excitación da campo del voltaje da salida de la dinamo misma. Los campos en serie están conectados en serie con la carga de la dinamo y aprovechan la corriente de carga para excitar al campo, mientras que los campos en paralelo están conectados con los terminales de la dinamo en paralelo con la carga eléctrica de la misma.



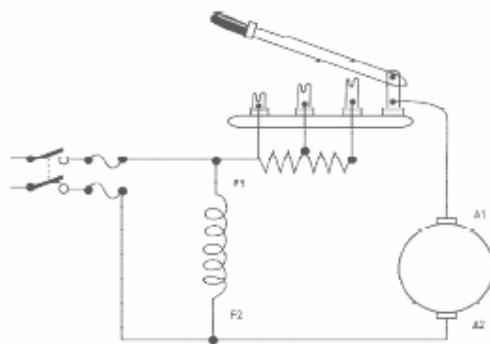
Reóstato de arranque para motores de CC

Se trata de un circuito de interruptores que contiene una resistencia conectada en serie con el inducido, con el fin de reducir la intensidad de corriente en el inducido hasta un valor conveniente para la puesta en marcha. A medida que la velocidad del motor aumenta, la resistencia va siendo separada del circuito y la intensidad de corriente es limitada por la fuerza contra-electromotriz del inducido.



Reóstato de arranque de dos puntos

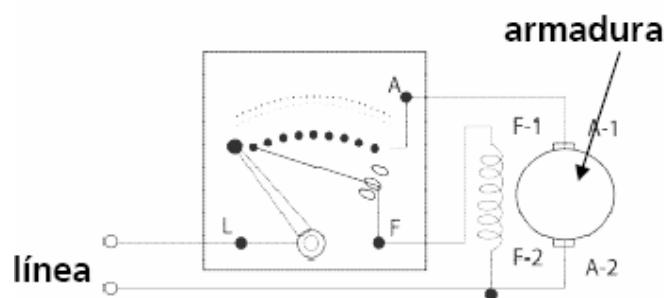
Reóstato para motores de CC que sólo tiene dos conexiones, una con la línea de corriente continua y otra con el circuito del inducido del motor. Este tipo de reóstato se desconecta automáticamente en caso de interrumpirse la corriente de línea si se lo dota de una bobina de retención



Reóstato de arranque de tres puntos

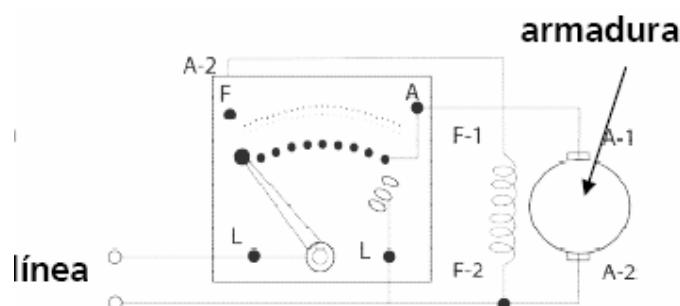
Reóstato para motores de CC que tiene tres terminales: de línea, de inducido y de campo.

Una bobina de retención va conectada en serie con el campo del motor y suelta el brazo del reóstato en caso de que se interrumpa la corriente de línea o de que se produzca una apertura en el circuito de campo.



Reóstato de arranque de cuatro puntos

Reóstato para motores de CC que consta de cuatro terminales: dos de línea, uno de campo y otro de inducido. La bobina de retención está conectada directamente con la línea y el bobinado de campo no está en serie con esta bobina. Este reóstato de arranque se usa cuando se aplica reóstato de campo para regular la velocidad.



- Una gran proporción de la corriente eléctrica producida por máquinas dinamoeléctricas es alterna.
- A raíz de esto el generador de corriente alterna es el medio más importante para la producción de corriente eléctrica.
- Los generadores de CA, o "alternadores", varían grandemente de tamaño dependiendo de la cantidad de energía eléctrica que deben suministrar.

EJEMPLO



Por ejemplo, los alternadores de plantas hidroeléctricas como la de las represas hidroeléctricas son de enorme tamaño y producen miles de kilowatts a tensiones de 13.000 voltios.

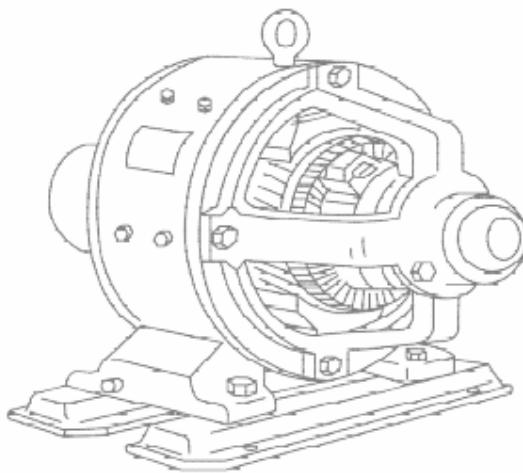
- Aparte de su tamaño, todos los generadores eléctricos, sean de CC o CA, dependen de la acción de una bobina que atraviesa un campo magnético, o de un campo magnético que atraviesa una bobina.

- Mientras exista movimiento relativo entre un conductor y un campo magnético, siempre se generará voltaje. La parte que genera el campo magnético se denomina "campo" o "inductor", mientras que la parte que genera el voltaje se denomina "armadura" o "inducido".

- Para que se produzca movimiento relativo entre un conductor y el campo magnético todas las máquinas dinamo-eléctricas constan de dos partes mecánicas, el rotor y el estator.

- Usted sabe que en las dinamos de corriente continua la armadura siempre es el rotor.

Los principios de los Generadores de CC y CA son los mismos.

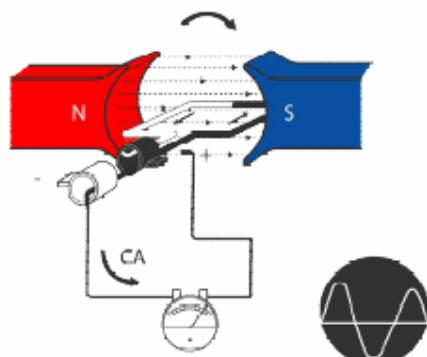
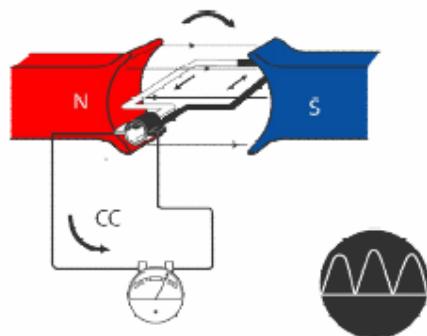


- Aparte de su tamaño, todos los generadores eléctricos, sean de CC o CA, dependen de la acción de una bobina que atraviesa un campo magnético, o de un campo magnético que atraviesa una bobina.

- Mientras exista movimiento relativo entre un conductor y un campo magnético, siempre se generará voltaje. La parte que genera el campo magnético se denomina "campo" o "inductor", mientras que la parte que genera el voltaje se denomina "armadura" o "inducido".

- Para que se produzca movimiento relativo entre un conductor y el campo magnético todas las máquinas dinamo-eléctricas constan de dos partes mecánicas, el rotor y el estator.

- Usted sabe que en las dinamos de corriente continua la armadura siempre es el rotor.

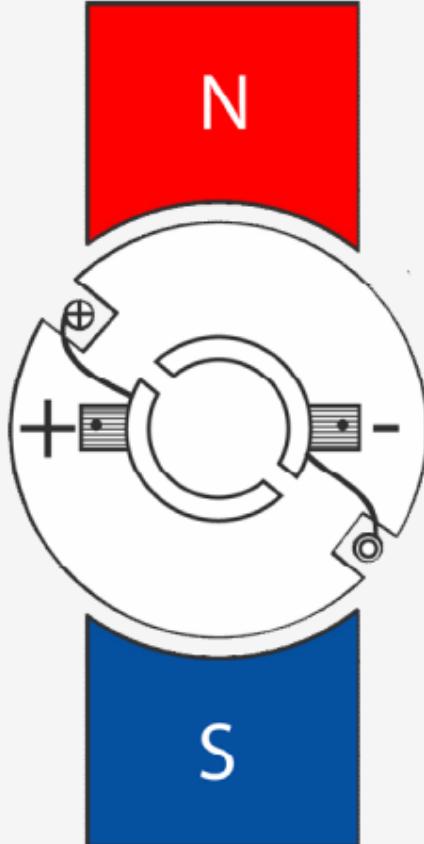


ACTIVIDAD 3.

El movimiento de rotación en el motor de corriente continua, es debido a concepto ya estudiados, la siguiente actividad propone fijar algunos conceptos fijar algunos conceptos fijar algunos conceptos en estas dos

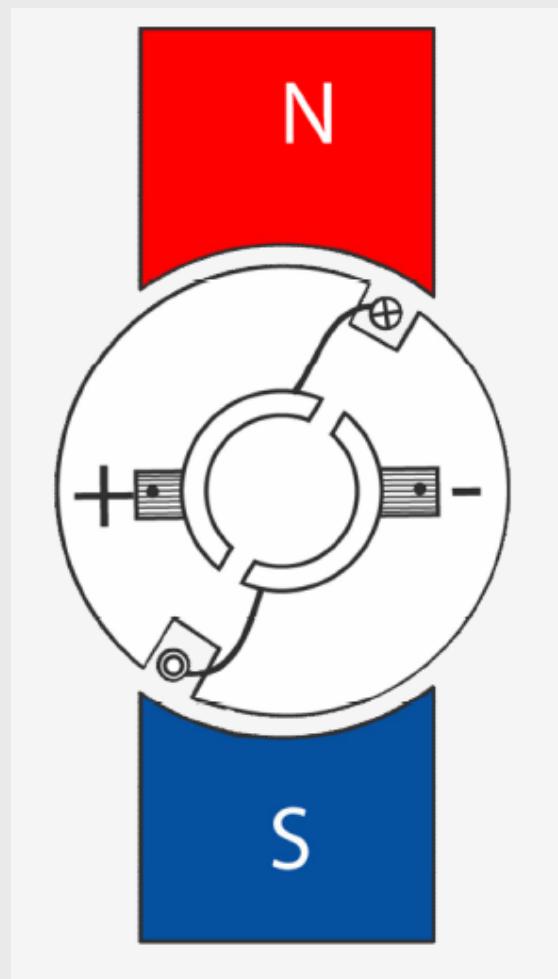


En la figura siguiente indique el sentido de la fuerza de acuerdo al sentido de la corriente eléctrica aplicada a la espira y cuál será el sentido de giro del motor.





En la figura siguiente indique el sentido de la fuerza de acuerdo al sentido de la corriente eléctrica aplicada a la espira y cuál será el sentido de giro del motor.

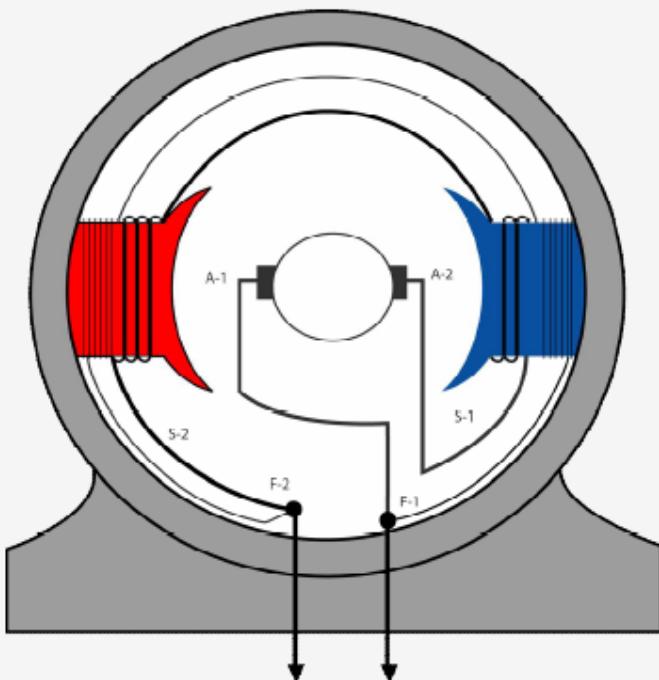


ACTIVIDAD 3.

La forma en que observamos el motor y descubrimos sus conexiones da mucha información, le proponemos realizar esta actividad.



Indique a que motor corresponde este esquema.



Derivación

Serie paralelo

¡Felicitaciones!

Usted ha finalizado el capítulo 3. A continuación se desarrollará el capítulo Los Ensayos con Maquinas Electricas.



Los Ensayos con Maquinas Electricas

TEMAS DEL CAPÍTULO 4

4.1 Principios del motor de CC	129
4.2 Principio de funcionamiento	170
4.3 Reacción del inducido	174

En este capítulo observamos los ensayos que se le realizan a las máquinas eléctricas, su utilidad e importancia.



4.1 Principales Ensayos

Los ensayos en general, se realizan para comprobar si las condiciones para las que fue diseñado la máquina serán satisfechas por la misma. Estos se realizan antes de colocar la máquina en su lugar de emplazamiento final.

Los ensayos, según su finalidad, pueden clasificarse en dos grandes grupos:



Ensayos de producción

Se realizan sobre los prototipos, la mayor parte de las veces no definitivos.

- Con estos ensayos se determinan características muy íntimas de la máquina, que sirven al proyectista para determinar el acierto con que seleccionó ciertos valores y ciertas dimensiones.
- Una modificación del prototipo más otro ensayo, guiará al diseñador en la tarea de ir creando la máquina, y corrigiendo detalles que no es posible tener en cuenta en el diseño teórico, porque escapan a la posibilidad de un cálculo.

En este grupo se pueden encontrar

- La medición de temperaturas en lugares muy particulares
- La medición de la inducción
- La dispersión de flujo
- La obtención de características

Esto se efectúa sobre la máquina prototipo, que luego se reproducirá en serie.

Las máquinas grandes no se fabrican en serie sino por unidades, en vez del prototipo, hay que guiarse por otras máquinas similares, que al efecto se ensayan. Y además, en las grandes unidades, los tipos de ensayos se confunden, ya que por la importancia del mecanismo, el cliente sigue la fabricación por medio de sus representantes técnicos, o se estipulan las condiciones con un documento.

Ensayos de recepción

- Determinan la calidad a grandes rasgos, y son suficiente prueba de confianza para aceptar la unidad.
- La máquina que pase estos ensayos tiene las máximas posibilidades de funcionar satisfactoriamente por largo tiempo.

Los ensayos de recepción más importantes son:

- Calentamiento.
- Rígidez dieléctrica.
- Sobrecarga.
- Sobre velocidad.
- Rendimiento.

ATENCION

En las máquinas medianas y pequeñas, no es posible que el usuario realice muchos ensayos y analice detenidamente la unidad, porque no se justifica, y en tal caso recurre a los de recepción.



Hay hechos mecánicos que se descuentan sin necesidad de ensayos, no pudiéndose aceptar por ejemplo una máquina en la que roce el rotor con el estator, o se note juego en los cojinetes, etc., ya que son defectos groseros e inadmisibles.

En definitiva, lo primero que debe examinarse, es que la máquina funcione con aspecto normal. Aunque esto parece básico, existe lista de chequeos para estos ensayos.

Los ensayos, de cualquier tipo, pueden realizarse según dos criterios:



Ensayos directos



Ensayos indirectos

En los ensayos indirectos, la máquina no funciona en las condiciones reales, sino en formas diversas más fáciles de reproducir en laboratorios o fábricas, y que seguidas de un proceso de cálculo permiten predeterminar las características.



RECUERDE

Recordemos que siempre que se ensayan máquinas, debe consultarse y seguir una norma, sin cuyo requisito, el trabajo tiene un valor relativo, porque no puede referirse a una prescripción dada.

ATENCION

Todos los ensayos deben, en lo posible y sobre todo si son de recepción, ajustarse a normas. La selección de las normas adecuadas queda a criterio del operador y depende de muchos factores técnicos y económicos.



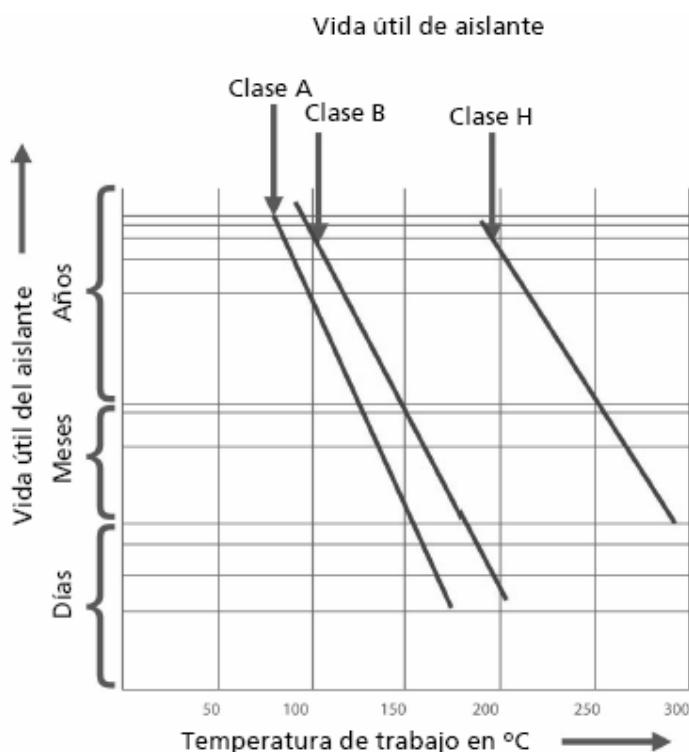
El ensayo de calentamiento consiste en obtener la curva con la cual se determina la temperatura máxima o de servicio :

$$\Theta = f(t)$$

con la cual se determina la temperatura máxima o de servicio :

$$\Theta_{mx}$$

Conociendo los materiales aislantes empleados en la elaboración de la máquina, y con la ayuda de la tabla siguiente, se verá si puede funcionar al régimen establecido en la placa de características.



¡ATENCIÓN!

El calentamiento depende de las pérdidas y del sistema de ventilación, y la Θ_{mx} tiene distintos valores según los diversos órganos



- Para ajustarse a las normas se ensayarán las máquinas con todos sus sistemas de ventilación correctamente ajustados, y se anotará la temperatura ambiente o inicial, en la forma que se especifique la norma que se elija.
- En cuanto a las temperaturas de servicio, correspondientes a los diversos órganos, hay que seleccionar algunos de ellos. Por lo regular se elige el más importante, que son los devanados y según el criterio del operador y los elementos de que disponga, tomará órganos fijos o móviles.
- Las normas especifican la temperatura máxima que pueden alcanzar los diversos órganos, según el aislante de que está fabricado, y la forma en que se mide la temperatura.

La temperatura se puede medir:

1 Elevación de resistencias

2 Por termómetro

3 Por termo-elementos incorporados a los diversos órganos

La medición por resistencia es la más cómoda y económica, pero sólo es posible en devanados.

En los núcleos, cojinetes, colectores, carcasa, etc.; sólo es posible con termómetro, que medirá la temperatura de sus superficies.

El tercer sistema es raramente empleado, y sólo se justifica en máquinas muy grandes

GLOSARIO

La normalización, de donde se deriva norma, promueve la creación de un idioma técnico común a todas las organizaciones y es una contribución importante para la libre circulación de los productos industriales.



Marcha del ensayo

Se provee a la máquina de los elementos para que pueda funcionar a plena carga.

Si es generadora o conversora

Se la carga con resistencias, por lo regular resistencias líquidas para lograr capacidades elevadas con poco volumen.

Si es un motor

Se la provee de un freno, con el cual sea posible regular la carga mecánica, midiendo la cupla y la velocidad.

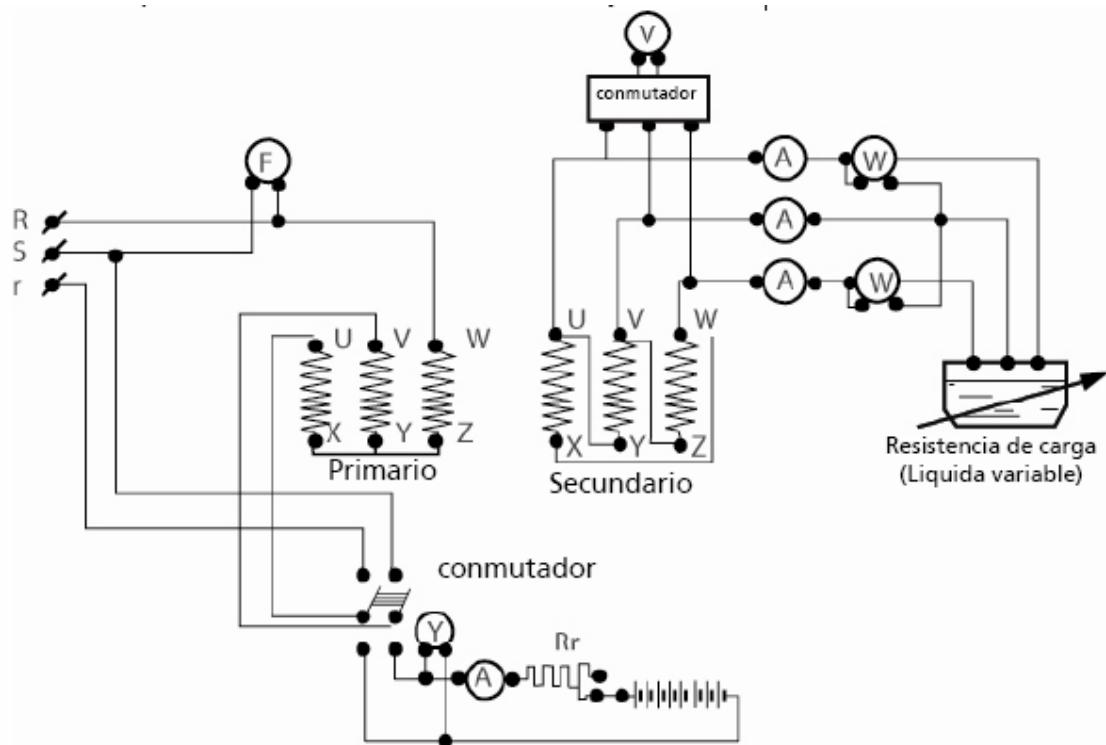
Pasos a seguir:

- Se ubican todos los instrumentos para las medidas, eléctricas, mecánicas, térmicas y de tiempo. Hay que tener la garantía de que la máquina desarrolla la potencia nominal, en las condiciones nominales de velocidad, tensión y frecuencia, durante todo el tiempo que dura el ensayo y para cumplirlo deben seleccionarse los aparatos de medida que convengan a cada caso en particular.
- Si es una máquina muy especial, se ajustará el ensayo a las condiciones de chapa. Sobre uno de los arrollamientos más importantes, se coloca un sistema de conmutación eléctrica que permita, con la mayor rapidez, desconectarlo de la red y conectarlo a un circuito de medida de resistencias, ya sea del tipo volt-amperométrico, o del tipo a puente.
- Se prefiere este último, porque la resistencia de los bobinados principales, es generalmente baja. Si se trata de una máquina de continua, esto resulta más fácil hacerlo por el método voltamperométrico, y con aparatos continuamente incorporados. En este caso no son necesarias las conmutaciones.
- Durante el ensayo, y a intervalos regulares que el operador fija según su criterio o como indique la norma que consulta, efectúa las mediciones de resistencia que con ayuda de la fórmula traduce a grados. Con un cronómetro toma los tiempos correspondientes se calcula la 0_{mx} . Para efectuar las medidas de resistencia con el sistema de conmutación citado, es necesario parar la máquina, conmutar, efectuar lecturas, conmutar y volver a poner en marcha, operación que se recomienda efectuar en el menor tiempo posible.
- Aparte de las medidas por resistencia, se pueden ubicar varios termómetros en lugares estratégicos, con los que se completa el ensayo. Uno de los operadores puede, mientras la máquina se detiene para medir resistencia, tomar lectura de colectores o anillos rozantes si los hay. Si la máquina tiene un medio refrigerante, también debe someterse a medición.
- La prueba puede considerarse terminada, cuando el calentamiento no se eleva más de 2°C en una hora.
- La máquina debe trabajar a la potencia nominal.

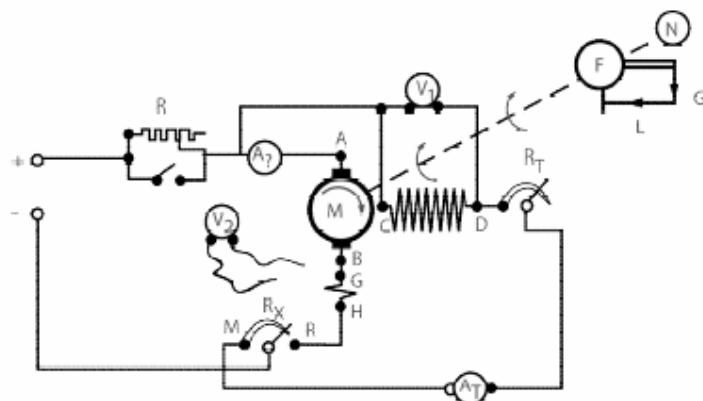
¿Es siempre posible tener una carga para la máquina a ensayar?

La respuesta es negativa, ya que si se trata de pequeñas máquinas será posible improvisar, o una resistencia de carga, o un freno adecuado para la medida, pero en el caso de máquinas grandes o aún medianas, las complicaciones son serias, aparte de que como la prueba durará 6 u 8 horas, el consumo de energía es importante y debe tenerse en cuenta. Es por estas últimas razones que se han ideado métodos indirectos aproximados.

A continuación, un esquema de conexiones para ensayar un transformador trifásico y un motor derivación respectivamente como método de ensayos directos.



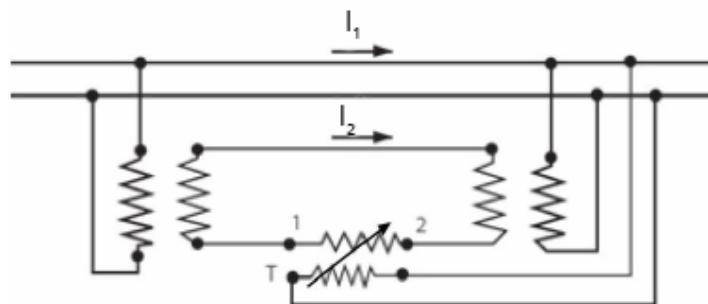
En la conexión del transformador, medimos, al conmutar la llave bipolar, la resistencia de dos fases en serie, del primario. Las condiciones normales las medimos sobre el secundario y se regula con la carga.



- En el ensayo del motor derivación de la parte mecánica medimos la velocidad con el taquímetro N y la cupla útil $C = G \cdot I$.
- Simultáneamente con el voltímetro conectado a C D y el amperímetro A1 obtenemos la resistencia de campo.
- Con el amperímetro A2 tenemos la corriente de inducido.
- Deteniendo la máquina, y dando una corriente moderada, que se regula con R y se mide con A2, se puede tocar con las puntas de prueba del voltímetro V2 las delgas que están debajo de dos escobillas contiguas.
- Se mide así (a tensión en el devanado independiente de la caída por contacto, y como se conoce la corriente se calcula la resistencia y la elevación de temperatura del devanado).

• Aclaremos convenientemente que los esquemas propuestos son funcionales, no incluyendo shunt, multiplicadores, etc., que se seleccionarán de acuerdo a la máquina que se ensaya, pero lo expuesto sirve de base para preparar el esquema de conexión, en el ensayo de cualquier máquina.

• Pero repetimos que no siempre es posible encontrar la carga adecuada, que sólo poseen algunas fábricas y laboratorios importantes, y muy difícilmente el comprador. Sólo en máquinas pequeñas es posible improvisarla.



• Vemos este principio aplicado a dos transformadores monofásicos. Como son máquinas iguales, al conectar sus secundarios en oposición no circulará corriente, tomando los primarios sus corriente de vacío necesarias para cubrirlas pérdidas en el hierro.

- En el circuito de los secundarios hay un transformador variable por cualquier sistema (se prefiere a topes), pero de tal forma que la tensión entre puntos 1 y 2 sea nula si es necesario.
- Con esta última máquina se agrega al circuito una f.e.m. que hace circular una corriente I_2 que se regula hasta que tenga el valor de la nominal de ambas máquinas. Esta corriente origina un desequilibrio en los primarios y da lugar a una corriente de circulación I_1 entre ellos

El conjunto toma de la línea la potencia:

$$P_o + P_r$$

P_o

Potencia a vacío (de pérdidas en el hierro)

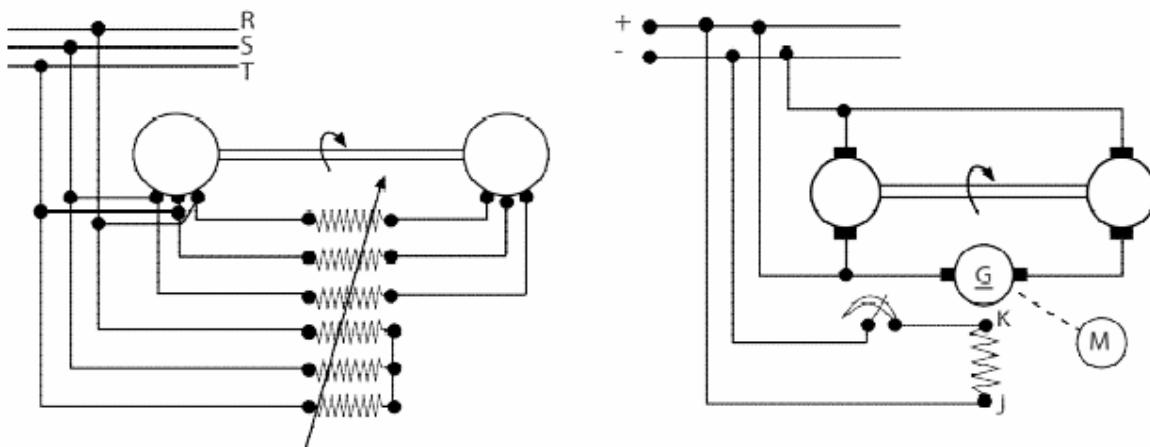
P_r

Potencia que absorbe el transformador auxiliar Y

El método es económico por ser poca la potencia requerida, a pesar de trabajar ambas máquinas a plena carga.

El circuito se completa intercalando los instrumentos de medida necesarios.

En los secundarios, las corrientes tienen sentidos relativos contrarios, así que mientras un primario entrega potencia, el otro la absorbe, lográndose una circulación de energía entre máquinas, y de la red sólo hay que reponer las pérdidas



En las máquinas rotativas, la circulación de energía no se puede hacer por medio de la red primaria, por la cual se acoplan sus ejes, como en la figura.

Sobre el circuito de inducidos de estas máquinas sincrónicas se colocó un regulador a inducción.

Cuando dicho regulador no agrega tensión, ambas máquinas marchan como motores sincrónicos.

Si se aplica f.e.m. en cada fase aparece una corriente local en el circuito de ambas máquinas, que tienen sentido relativo contrario, haciendo que trabaje una como motor impulsando a la otra que trabaja como generador.

Hay entonces circulación de energía, y de la red se toma sólo las pérdidas.

En la figura vemos el método aplicado a dos máquinas derivación de continua. En este caso se necesita un pequeño generador acoplado a su motor, de forma que permita la regulación de tensión auxiliar

ATENCION

En los casos de máquinas rotativas, pueden los circuitos principales independizarse de la red, impulsando los ejes con un motor auxiliar.

Rigidez Dieléctrica

Las pruebas de rigidez dieléctrica se realizan con:

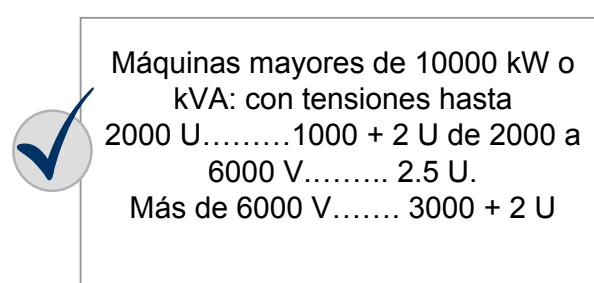
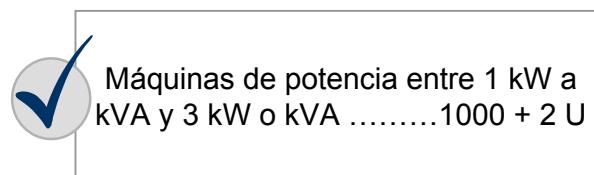
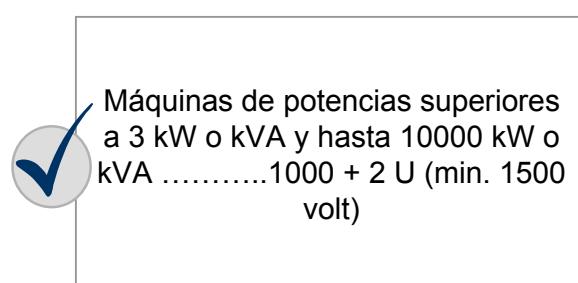
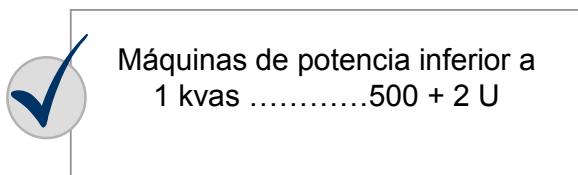
- La máquina nueva.
- En ensayo se ejecuta por lo regular en la fábrica.
- En algunos casos un poco antes de finalizar su construcción.

Tienen por objeto comprobar si el aislamiento es suficiente para soportar la tensión de servicio con las anormalidades que suelen ocurrir.

La medición se efectúa entre bobinados, y entre bobinados y el cuerpo de la máquina (masa o tierra).

En la mayor parte de las normas se especifica que el ensayo de rigidez se debe realizar a la temperatura de servicio, vale decir, al finalizar el ensayo de calentamiento.

Los valores adoptados por las normas IRAM son:



U

Tensión de servicio

Además se especifica la tensión que deben tolerar cada una de las partes constitutivas de las diversas máquinas.

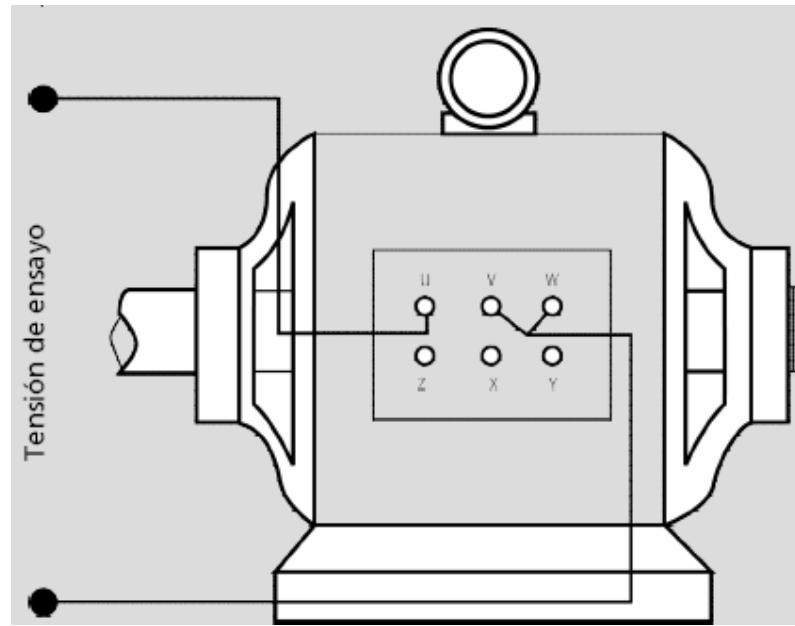
Los normas DIN especifican también el "ensayo de espiras" para determinar el aislamiento entre cada espira. Se efectúa marchando la máquina en vacío e incrementando la tensión 1,5 veces la nominal.

Estas mismas normas indican el ensayo con ondas de frente rectangular, para máquinas de más de 2500 volt, por ser este un fenómeno propio de las altas tensiones en líneas de transmisión

MANTENIMIENTO



Los ensayos de aislamiento son los que se realizan periódicamente con máquinas en servicio. Se efectúan con un comprobador de aislamiento, y siguiendo todas las normas y prescripciones relativas a las instalaciones en general.



• Cuando hay muchas máquinas en servicio, suelen llevarse planillas con el estado de aislación de todas las máquinas.

• En figura siguiente vemos las conexiones para el ensayo de rigidez, que se considera aprobado si no se producen descargas superficiales ni perforaciones.

Sobre-velocidad, sobrecarga, conmutación, arranques y corto circuito.

El ensayo de sobre-velocidad

- Es de índole mecánica.
- Consiste en someter a la máquina, durante 2 minutos, a una velocidad mayor que la nominal.
- Dicha velocidad la fijan las normas según el tipo de máquina y por lo regular es de 20 a 100 % de aumento.
- Al fin de la prueba no deben observarse anomalías en los órganos giratorios sometidos a fuerza centrífuga, como ser bobinas de campo, zapatillas polares, vendajes, etc.

Reóstato de dos puntos

- Tiene dos conexiones, una con el inducido y otra con la línea.
- La bobina de retención está en serie con el inducido, de manera que, cuando el brazo está en posición de circuito abierto, el inducido y el campo están desconectados de la línea.
- Moviendo el brazo desde un punto al siguiente, el motor tiene tiempo para ir adquiriendo velocidad y aumentar la fuerza contra-electromotriz junto con el aumento de la intensidad de corriente en el inducido.
- Cuando el brazo está en posición de marcha, la resistencia queda completamente eliminada del circuito del inducido y del campo.
- El brazo es retenido en posición de marcha por la bobina de retención, que está en serie con el inducido y, en consecuencia, funciona con la corriente del inducido.
- Cuando se retira la carga del motor, la corriente del inducido cae, debilitando el campo de la bobina de retención.
- El brazo queda libre, vuelve a la posición de circuito abierto y el motor se detiene.
- De esta manera el motor se desconecta cada vez que se retira la carga.
- A esto se llama protección de carga.

Rendimiento

El rendimiento de una máquina, salvo especificación en contra, se sobreentiende funcionando ésta a plena carga. Depende de la máquina y del valor que tenga el rendimiento se puede medir:



Directa



Indirectamente

Aunque parezca paradójico, en la mayor parte de los casos se prefiere la medida indirecta, y esto se debe a que los errores de la medición directa son en muchos casos mayores que los que se cometan en un proceso indirecto.

RECUERDE

Ocurre esto porque el rendimiento es, en la mayor parte de las máquinas, un número muy próximo a la unidad.



EJEMPLO

Supongamos que una máquina tiene un rendimiento del 90 % medido directamente, y que las medidas se hicieron con un error de + 5 %.

Podemos garantizar el rendimiento en $\pm 4,5\%$ y en consecuencia, el rango de incertidumbre varía entre: 85.5 % y 94.5 % que es enorme e inadmisible como dato técnico.

Si sobre la misma máquina, cuyas pérdidas son del 10 % efectuamos la medición con un error doble (10 %) derivado esto de la mayor cantidad de operaciones y suposiciones, medimos las pérdidas con una incertidumbre de $\pm 1\%$ y aplicamos:

$$n = 100 - p / 100 = 0.91 \% \text{ ó } 0.89 \%$$

De esta forma el rango de incertidumbre es mucho menor. Es por estas razones que, con máquinas cuyo rendimiento es menor del 50 o 60 %, recién se usa el método directo. Cuando se especifica este valor, se indica asimismo el método utilizado.

Como método directo se entiende el medido cargando la máquina, y como se usa para unidades pequeñas es fácil de realizar.

- Sobre la parte eléctrica, la potencia se mide con los aparatos eléctricos correspondientes.
- Sobre la parte mecánica, con frenos o máquinas contrastadas.

El ensayo es análogo al de calentamiento.

Para la medida indirecta, se pueden emplear varios métodos, como por ejemplo:

- Como el de oposición, donde la potencia que toma el conjunto de la red es el doble de las pérdidas de cada unidad.
- Pero más común es medir las pérdidas en forma individual, para lo cual, algunas normas las clasifican así:

a) Pérdidas a vacío

- En el hierro.
- En los aislantes.
- Por roce (cojinetes y escobillas).
- Por ventilación.

b) Pérdidas por excitación

- Efecto joule en arrollamientos derivación.
- Efecto joule en arrollamientos independientes.
- Contacto con anillos rozantes.

EJEMPLO**c) Pérdidas en carga**

- Efecto joule en arrollamientos de inducido.
- Efecto joule en arrollamientos en serie.
- Contacto en colectores y anillos por donde circula la corriente de carga.
- Pérdidas adicionales.

En el transformador, las pérdidas en hierro se determinan con el ensayo a vacío, y en corto circuito se obtienen las restantes.

En el rectificador las pérdidas escapan un poco a la clasificación anterior, pero igual se pueden medir las pérdidas a vacío y estimar las de carga conociendo la resistencia general del rectificador.

En las máquinas a inducción, también se pueden calcular las pérdidas por los ensayos a vacío y a rotor bloqueado, con análogos razonamiento que en el transformador.

Para la medición de las pérdidas a vacío las normas aconsejan el método del motor, adaptable a todas las máquinas de continua, y también a las sincrónicas, con las providencias que en cada caso se especifiquen.

Las pérdidas de excitación se valoran midiendo las resistencias y las de carga, también midiendo las resistencias.

Las pérdidas por contacto se estiman según normas, lo mismo que las adicionales.

Está normalizado asimismo, la forma en que deben computarse las potencias que toman los elementos de regulación, máquinas excitadoras, etc.

Velocidad de un motor de corriente directa

• La velocidad de un motor de corriente directa es igual a la fuerza contra electromotriz (f.c.e.m.) generada en la armadura.

• Un debilitamiento del flujo principal reduce la f.c.e.m. y una f.c.e.m. más baja permite más flujo de corriente en el circuito de armadura.

• Este incremento en la corriente de armadura provee un campo magnético más fuerte en la armadura, el cual causa un incremento en la velocidad de la armadura.

• La velocidad se incrementa hasta que la f.c.e.m. puede limitar la corriente de armadura a un nuevo valor.

• Este valor es determinado por la fuerza del campo magnético principal, en este punto el motor maneja la carga de velocidad constante.

• Un decremento en la corriente de armadura da como resultado un decremento en la reacción de armadura, que a su vez permite un incremento del campo principal y la armadura bajará su velocidad.

Los datos de potencia y velocidad nominales de un motor están considerados como una carga constante. En otras palabras, un motor de 10 HP a 1200 RPM, está diseñado para manejar una carga de 10 HP a 1200 RPM, de acuerdo a la ecuación:

$$\text{HP} = \frac{\text{T} \cdot \text{N}}{5250}$$

En la ecuación se observa que existe una relación entre potencia (HP), par (T) y velocidad (N) por lo que un incremento en la velocidad requiere un decremento similar en el par para mantener la misma potencia (HP).

Un motor debe operar tan cerca como sea posible a su máxima carga ya que en ese punto los motores son más eficientes.

Algunas características de la velocidad de los motores de CC

- La velocidad en un motor shunt varía ligeramente cuando la carga es completamente removida.
- La velocidad en un motor compound varía considerablemente cuando la carga es completamente removida.
- La velocidad en un motor serie se incrementa muy rápidamente cuando la carga es removida.

RECUERDE



En los casos de máquinas rotativas, pueden los circuitos principales independizarse de la red, impulsando los ejes con un motor auxiliar.

Control de velocidad

- Tiene un amplio rango de velocidad de operación.
- Esta velocidad se controla con relativa facilidad

La corriente de armadura es un parámetro dependiente que varía con la carga; los parámetros independientes son:

- El voltaje de armadura (V)
- La resistencia de armadura (R_A)
- La corriente de campo (I_F).

La velocidad del motor puede controlarse de dos formas:

1

Control por armadura

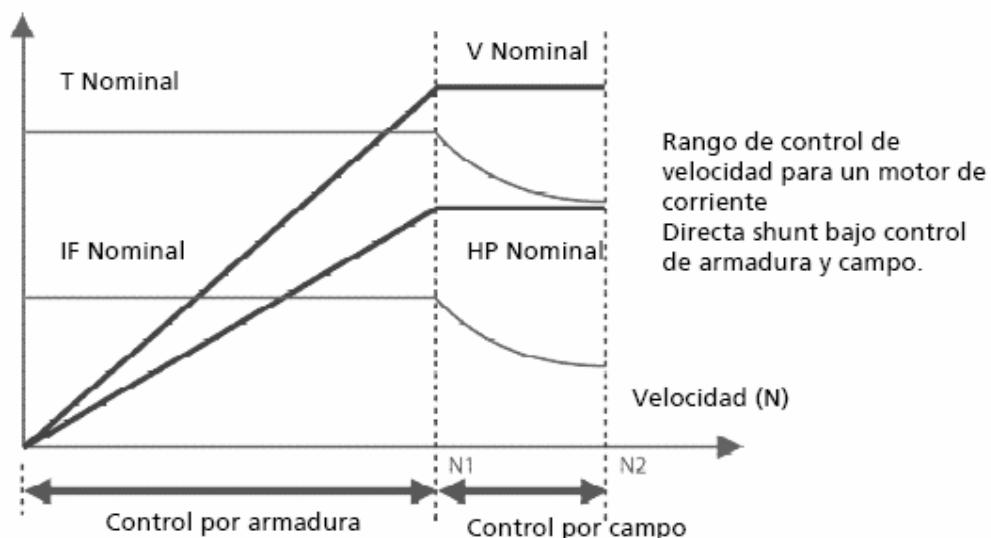
- Es el más útil, debido a que el campo magnético se puede mantener a amplitud plena, lo cual permite al motor desarrollar par pleno.
- Es casi proporcional a la velocidad

2

Control por campo

- Se realiza reduciendo la corriente de campo.
- Solo se puede hacer en motores shunt o compound.
- Se usa para permitir que el motor opere a una velocidad superior a la que se obtiene a pleno voltaje de armadura.

Las características para todo el rango de velocidad se muestran en la figura. El control por armadura eleva la velocidad hasta N1, mientras que el control por campo, la eleva adicionalmente hasta la velocidad N2.



El par disponible, a la corriente de armadura nominal, es máximo durante el control por armadura (hasta N1) y disminuye junto con la corriente de campo hasta la velocidad N2. La potencia (HP) se incrementa linealmente hasta N1 y se mantiene constante hasta N2.

El uso de tiristores para el control de velocidad de motores de corriente directa tiene un rango muy amplio de aplicaciones. En el caso de que la alimentación disponible sea de corriente alterna, se emplean los convertidores.

Como se mencionó, anteriormente la velocidad base (N_B) es la velocidad que presenta el motor bajo condiciones de voltaje de armadura (V_A) pleno o nominal, corriente de armadura (I_A) o carga plena y corriente de campo pleno (I_{FF}).

- En la práctica, para las velocidades menores a la velocidad base, la corriente de campo se mantiene en su valor pleno.
- Entonces la corriente de armadura corresponde con la demanda de par por parte de la carga y se manipula el voltaje de armadura para lograr la velocidad deseada o requerida.
- Al tener la corriente de campo pleno ($\Phi = 1.0$) en el rango de cero velocidad a velocidad base, se tiene plena disponibilidad del par motor máximo, esto es, del par nominal (T_N).
- Debido a que en todo el rango se tiene disponible el par nominal, a esta región de operación se le conoce como región de par constante.

Bobinados de campo

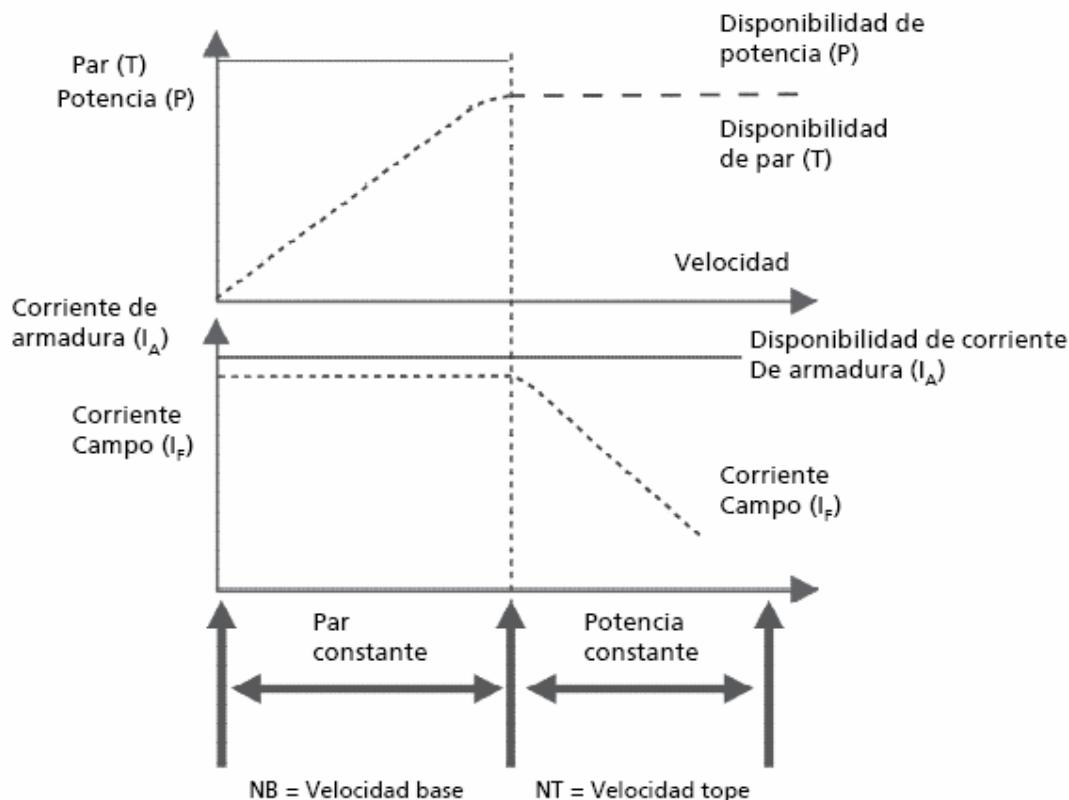
- Para velocidades mayores a la velocidad base (rango de velocidad base a velocidad tope) el voltaje de armadura se mantiene constante en su valor máximo o nominal y se manipula la corriente de campo para lograr la velocidad requerida.
- En este segundo rango de velocidad, al debilitar el campo disminuyendo la corriente de campo de su valor pleno, la disponibilidad de par motor se reduce.
- En esta forma se presenta una reducción del par disponible con un incremento en la velocidad; esto permite disponer de la potencia nominal de la máquina en todo el rango de velocidad base a velocidad tope, por lo cual a esta región de operación se le conoce como región de potencia constante.
- La capacidad de poder entregar la potencia nominal en un amplio rango de velocidad es otra de las ventajas importantes de la máquina de corriente directa sobre otro tipo de accionamientos.
- La expresión de potencia constante no significa que la máquina en esa región esté siempre operando a plena potencia, sino que puede tener en todo ese rango la disponibilidad para el uso de la potencia nominal.

RECUERDE

La expresión de par constante no significa que la máquina en esa región esté siempre operando a ese par motor, sino que puede tener en todo ese rango la disponibilidad para el uso del par nominal.



La siguiente figura muestra las características de par, potencia, corriente de armadura y corriente de campo contra velocidad, se indican las 2 regiones mencionadas: la de par constante y la de velocidad constante.



Características par-potencia y velocidad en motores de corriente directa.

Controladores de velocidad electrónicos

Los controladores de velocidad de motores de corriente directa se obtienen para variar la cantidad de corriente que fluye a través de la armadura o del devanado shunt, esto es, insertando resistencias o variando el voltaje a través de los devanados de armadura o devanados de campo.

Con algunos cambios menores, un arrancador electrónico puede ser utilizado para acelerar un motor a su velocidad nominal y para variar la velocidad.

Un dispositivo frecuentemente utilizado para este propósito es el **Rectificador Controlado de Silicio (SCR)** (dispositivo que opera como un switch o interruptor, bloqueado completamente o dejando pasar plenamente la corriente), que es parte fundamental en este tipo de controladores.

- Un controlador de velocidad con SCR puede ser utilizado para variar los voltajes de armadura y campo.
- Con un arreglo adecuado se puede tener el control de velocidad por encima y debajo de la velocidad nominal.
- El control de velocidad en un motor de corriente directa puede ser desde 0 a la velocidad nominal (velocidad base) variando el voltaje a la armadura.
- Para variar la velocidad de un motor de velocidad base a velocidad tope se deberá debilitar la alimentación en campo.

EJEMPLO



Por ejemplo, un motor con una velocidad nominal de 1250 RPM puede operar:

- De 0 a 1250 RPM variando el voltaje de armadura
- De 1250 RPM a 1560 RPM a plena carga debilitando el voltaje de campo.

Además los SCR proporcionan acciones de protección como pérdida de campo y limitación de corriente. Como ya se mencionó, la corriente a través del devanado de campo puede tener un bajo valor pero el SCR desconectaría a la armadura de la fuente de alimentación si este valor es muy bajo por motivos de protección. El controlador de velocidad con SCR puede estar preparado para proveer cambios en el voltaje aplicado a la armadura para mantener una velocidad constante ante variaciones de carga.

El buen funcionamiento de la máquina

Existen muchos factores que influyen en el funcionamiento de una máquina de corriente directa. A continuación se presentarán 6 factores relacionados con las escobillas y el conmutador, que repercuten en su buen funcionamiento:

1

Generación de arcos

- Muchas veces el chisporroteo en las máquinas es la primera señal de problemas. Tres de las causas más comunes son las cargas o corrientes altas, vibración y condiciones atmosféricas adversas.
- Entre otros factores también se tienen la selección equivocada de las escobillas y sus ajustes mal hechos.

2

Superficie del conmutador lisa y uniforme

Una superficie lisa y uniforme en el conmutador proporciona un buen funcionamiento de las escobillas y, por consiguiente, una operación satisfactoria de la máquina.

3

Desgaste en el conmutador

- En cuanto al desgaste del conmutador, el mantenimiento preventivo del conmutador es muy importante. Las escobillas abrasivas en exceso, el acumulamiento de cobre en la superficie de contacto de las escobillas, irregularidades en la superficie del conmutador y arcos dañan la superficie del conmutador y producen su desgaste.

4

Pérdidas eléctricas y mecánicas

- Algunas pérdidas de energía son inevitables (ninguna máquina es 100% eficiente).
- Las pérdidas por fricción de las escobillas, resistencia y calentamiento excesivos, pueden en ocasiones ser suficientemente grandes para afectar el funcionamiento del motor o generador.
- La selección apropiada de las escobillas minimizan las pérdidas, logrando así un mejor funcionamiento de la máquina.

5

Operación silenciosa

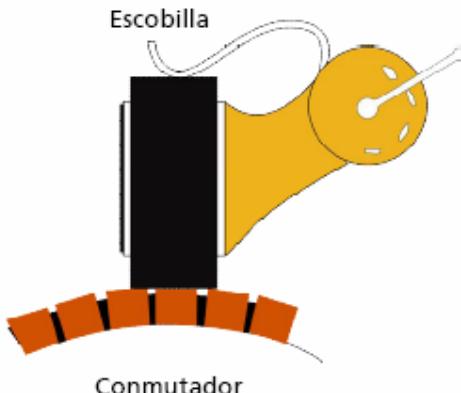
- El contacto constante entre las escobillas y el conmutador es uno de los principales factores para asegurar un buen funcionamiento.
- Una operación silenciosa es una buena indicación de que el contacto es bueno. El ruido puede producirse por diversas razones, pero siempre está asociado con bajas eficiencias y eventualmente daño de la máquina.
- Algunos ejemplos comunes son el juego e irregularidades en las barras del conmutador y tensión y ángulos de escobillas incorrectos.

6

Durabilidad de las escobillas

Con respecto a la durabilidad de las escobillas, es siempre deseable tener una larga duración de las escobillas ya que, generalmente, indica una operación satisfactoria de la máquina.

Sin embargo, obtener (en un cambio del tipo de escobillas) una mayor duración no es siempre lo adecuado, pues en algunos casos, extender su durabilidad (a costo de desgaste del conmutador, por ejemplo) resulta mucho más costoso que su reemplazo frecuente).



Ubicación de la escobilla y el conmutador

7

Contacto entre las escobillas y el conmutador

- Ni la escobilla ni la superficie del conmutador están realmente lisas.
- De cada uno de ellos sobresalen pequeños bordes o picos. Por lo tanto, aún cuando la escobilla encaje firmemente en el conmutador, un contacto del 100% entre ambas superficies es imposible.
- Al girar el conmutador, los bordes o picos en la superficie de la escobilla se consumen rápidamente y surgen nuevos picos que mantienen el contacto entre la escobilla y el conmutador
- Estos nuevos picos también se desgastan y son reemplazados nuevamente.
- El efecto neto de esto es una serie completa de puntos, que se sustituyen rápidamente, a través de los cuales fluye la corriente eléctrica.
- Sin embargo, la rápida formación y sustitución de estos puntos genera también el movimiento de la escobilla en el porta escobillas.

PARA PENSAR

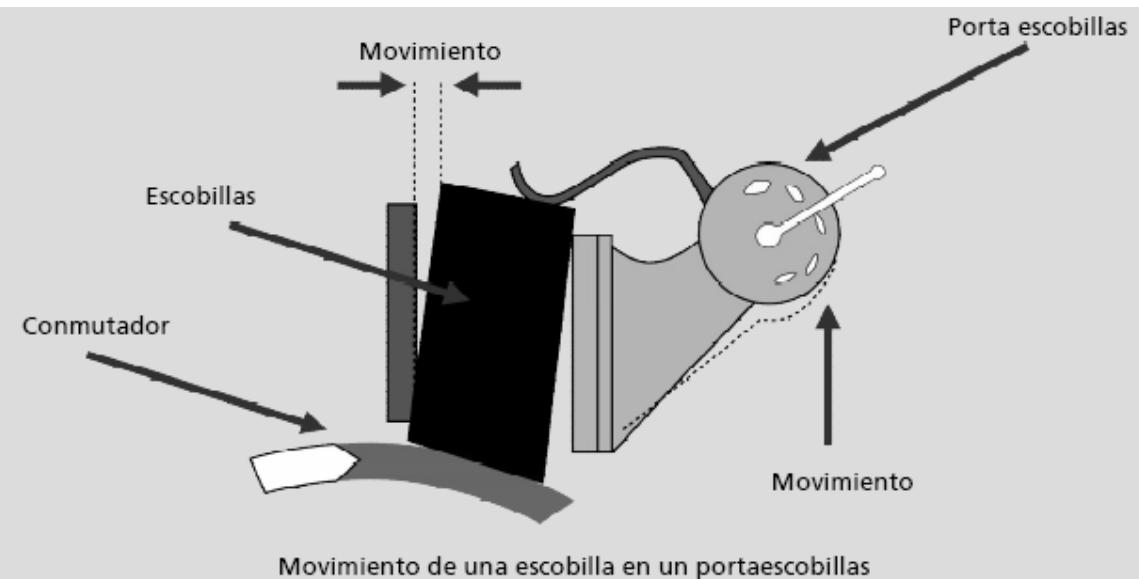
Es muy difícil que el contacto entre las escobillas y el conmutador sea perfecto. Se puede ver que una escobilla encaja firmemente con el conmutador en movimiento, asumiéndose que el contacto es perfecto. Pero, aún cuando su resorte presiona la escobilla en contra del conmutador, el contacto sólo es parcial.





MANTENIMIENTO

- Cualquier movimiento, vertical o de lado a lado, es perjudicial debido a que interrumpe el contacto entre la escobilla y el conmutador. El resultado final, se presenta en arcos o hasta la fractura de la escobilla.



Evaluación del sistema de conmutación en las máquinas de corriente directa.

- Se pudiera suponer que los picos de corriente podrían generar un alto calentamiento en la escobilla y dañarla, pero esto no sucede. El carbón, material del que está hecha la escobilla, con sus propiedades refractarias, previene la elevación excesiva de la temperatura.
- Los fenómenos de conmutación que frecuentemente son responsables de las chispas en las escobillas, son las consecuencias de la inversión de la corriente en las secciones del inducido puesta en cortocircuito por las escobillas.
- No hay que confundir las chispas de conmutación con las que resultan por causas mecánicas (vibraciones), mal montaje de la línea neutra, distancia no respetada entre líneas de escobillas, defectos de colocación del colector, etc
- El colector y las escobillas son fuentes de defectos en las máquinas de corriente directa. El deslizamiento continuo de las escobillas sobre las delgas del colector tiende a desgastarlas y desalinearlas, causando mal contacto entre el conmutador (colector) y las escobillas. Cuando la conmutación no se produce correctamente, ella puede estar acompañada de chispas excesivas, que agravan el defecto inicial. Cuando la conmutación es buena, las chispas son mínimas.

8

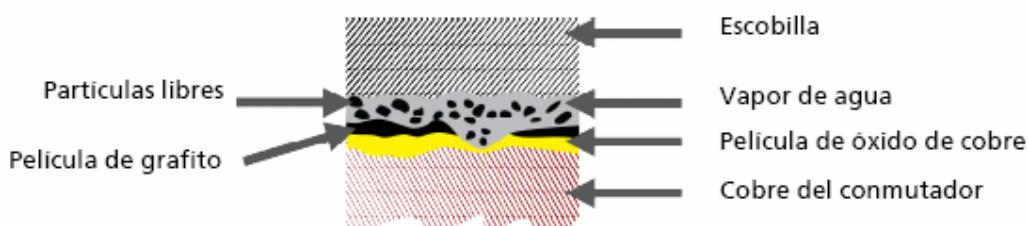
Superficie del conmutador

A continuación se establecen los procedimientos que se deben aplicar para la evaluación, así como también para el establecimiento de un buen estado de conmutación en las grandes máquinas de corriente directa, alargando de este modo la vida útil del equipo y disminución del mantenimiento correctivo debido a fallas producto de este fenómeno.

En cuanto a la superficie del conmutador, un factor del cual depende la operación exitosa de las máquinas eléctricas es la formación y el mantenimiento de una cubierta apropiada en la superficie del conmutador, conocida como patina.

• Esta cubierta es 1000 veces más delgada que un cabello y, aún así, es la clave para el buen funcionamiento de las escobillas y una conmutación satisfactoria. Si la mecánicamente, se aceleraría el desgaste de las escobillas y del conmutador.

• Está compuesta de cuatro partes las cuales son de óxido de cobre, una cubierta delgada de grafito, partículas sueltas de grafito y de vapor (humedad) tal como lo muestra la figura. La cubierta se forma por la acción de contacto y el flujo de corriente entre la escobilla y el conmutador. Pueden pasar unas horas o unos días para obtener una cubierta satisfactoria y después es importante mantenerla así.



• El hecho de que la superficie del conmutador no esté completamente lisa, aunque así lo parezca al tacto y la vista, permite la adherencia de esta cubierta.

RECUERDE

El origen de algunas de las cuatro partes de la cubierta como el grafito, está en la misma escobilla. La escobilla proporciona el material para la cubierta delgada de grafito.



- Las piezas microscópicas que salen de las escobillas al girar el conmutador, forman dos capas, una parte del grafito de la escobilla al conmutador, donde se adhiere, y por otra parte las partículas sueltas producidas durante el desgaste de la escobilla. El cobre de la superficie del conmutador más el oxígeno del aire forman la capa de óxido de cobre.
- La cuarta capa de la cubierta es la de vapor, proviene de la humedad en la atmósfera y la cantidad presente en cualquier momento dado; depende de factores propios del clima local.
- Esta capa de vapor aunque es extremadamente delgada es muy importante. Funciona como una superficie de deslizamiento muy parecida a la cubierta delgada de agua que se forma al deslizar los patines de hielo. Sin una capa de vapor para el deslizamiento de las escobillas, estas se desgastarían muy rápidamente (humedad relativamente baja).
- Las escobillas deben estar químicamente tratadas para asegurar que depositan en el conmutador una cubierta durable y que compense cambios de humedad de la atmósfera y deficiencia del oxígeno. Una superficie de cobre puro, la cual carece de la cubierta, no permite un buen funcionamiento de la máquina.
- Generalmente en un conmutador nuevo o recién reparado, la escobilla empieza rápidamente a establecer su cubierta característica.
- Algunas escobillas operan con densidades de corriente altas, y establecen y mantienen una cubierta satisfactoria, lo cual no ocurriría en casos de otros grados.

9

Fricción

La fricción es la resistencia ante cualquier esfuerzo de deslizar un objeto sobre otro.

- La fricción en las escobillas se refiere al roce constante entre las escobillas y el conmutador.
- La fricción, además de desgastar la escobilla y el conmutador, aumenta sus temperaturas, generando así pérdidas de energía.
- La temperatura del conmutador y la pérdida de energía total de la máquina son importantes debido a que afectan a la operación de una máquina.
- Para evitar esto, se debe tener el menor roce posible o un mínimo coeficiente de fricción entre la escobilla y el conmutador.

ATENCION

- Cuando una máquina opera bajo condiciones normales, esto es, en una atmósfera no contaminada, con la carga recomendada, la presión de contacto correcta y el grado de escobilla apropiado, las pérdidas por fricción son pequeñas.

El conmutador es quizás la parte más importante de una máquina de corriente continua y en la que más se manifiestan los abusos. Muchos conmutadores muestran algunas variaciones de color en su superficie, aún cuando se presentan delgas completamente oscuras y claras, y que todavía no se considera un problema serio.

Delgas quemadas, requerirán usualmente una pulida del conmutador si el defecto empeora con el tiempo. Una zona oscura no es necesariamente una zona quemada. Si esta área puede ser raspada con una goma de borrar hasta que el cobre aparezca brillante y si las delgas no aparecen picadas, quiere decir que no están quemadas y no será causa de problemas mayores.

La verificación de las condiciones de la superficie del conmutador, requiere de una buena inspección visual, comparada luego con lo siguiente:

Verificación de las condiciones en la superficie del conmutador

- Debe poseer un color uniforme que va de color marrón claro a oscuro. El punto más importante en este caso es que el color sea uniforme y el acabado de su superficie no sea ni muy brillante ni extremadamente opaco.
- Las películas indeseables ocasionadas por las condiciones atmosféricas son por lo general totalmente oscuras, negras o grises.
- Por otra parte el conmutador debe estar libre de rayas.
- Las condiciones anteriores, por lo general, se deben a baja corriente por área de escobillas, sobrecalentamiento en el conmutador cuando el motor trabaja muy por encima de su capacidad.
- Las rayas en el conmutador por lo general, es producto de partículas desprendidas de las escobillas debido a alta o baja presión.
 - Para solventar esta situación rápidamente, hay que lijar suavemente la superficie del conmutador para devolver el color y tersura adecuada. Luego hay que verificar la presión de los resortes de los porta escobillas y restaurar.
 - Si las condiciones cualitativas en la superficie del conmutador se restablecen en muy poco tiempo se tendrá que elevar la densidad de corriente por escobilla, levantando uno o más anillos de recorrido alrededor de la periferia del colector o colocar escobillas especiales de acción limpadora como las escobillas de grafito natural.

10

Presión de la escobillas

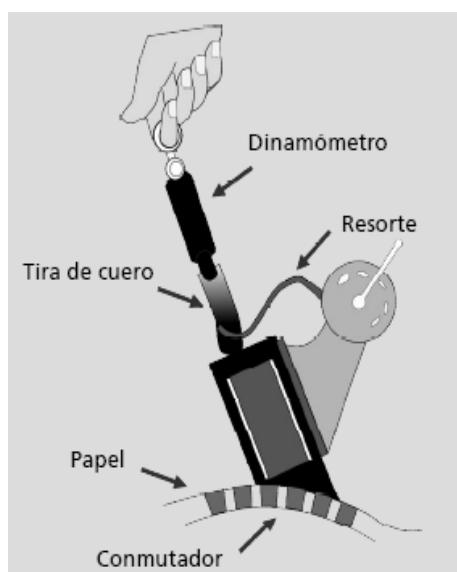
El factor más importante en el funcionamiento de una escobilla es su presión de contacto. Si ésta es demasiado baja, se producirá sobrecalentamiento (debido a pérdidas eléctricas) y desgaste excesivo por quemaduras así como vibrar y producir chisporroteo. Si la presión es demasiado elevada producirá, entonces, sobrecalentamientos debido a pérdidas por fricción y desgaste excesivo por abrasión. Afortunadamente existe un campo de presión en el cual las pérdidas y el desgaste no varían.

- Esto permite las tolerancias del trabajo y cierta generalización de las recomendaciones con respecto a la presión de las escobillas.
- El desgaste de la escobillas en función de la presión de la presión sobre ellas consiste de una componente eléctrica y de una mecánica. De ahí resulta una presión ideal a ser aplicada, la cual debe ser respetada para proporcionar, tanto un menor desgaste de la escobilla, como del cuerpo deslizante y, simultáneamente, garantizar un buen contacto eléctrico.
- La función de un porta escobillas es apoyar a la escobilla en la posición apropiada y mantener la fuerza en el contacto eléctrico.
- De las presiones aplicadas sobre las escobillas dependen las pérdidas mecánicas y eléctricas, la commutación, el reparto de corriente en las escobillas, su desgaste y por consecuencia el funcionamiento de la máquina.

ATENCION



- Es importante controlar, periódicamente, la presión que ejecuta la fuerza entre las porta escobillas y las escobillas por medio de un dinamómetro.
- Esta verificación es de suma importancia ya que la presión se mantiene en sus debidos valores y evita la acción selectiva, en donde algunas escobillas toman más corriente de la que proporcionalmente les corresponde.



• Cada grado de escobilla tiene su rango de presión particular en el cual opera de la mejor manera. Los fabricantes de escobillas proporcionan tablas o instrucciones que muestran las presiones apropiadas para las diversas escobillas.

• Una vez que se tiene la recomendación del fabricante, es fácil revisar las escobillas de las máquinas y corregir las presiones si es necesario. Para esto sólo se necesita una escala de tensión graduada en cuartos de libra y una tira de papel, tal como se muestra en la figura.

• Si la escala que se utiliza tiene un gancho o anillo convencional, lo mejor es utilizar una tira de cuero para obtener un contacto más firme.

- Es importante colocar la tira de cuero bajo el resorte que presiona la escobilla en donde éste hace contacto con la escobilla, ya que de lo contrario la lectura no sería precisa.

MANTENIMIENTO



Los pasos a seguir para revisar las escobillas y corregir las presiones son:

- Paso 1: Se jala la escala de tensión en dirección paralela a la escobilla.
- Paso 2: Al mismo tiempo se jala la tira de papel despacio hasta que quede suelta.
- Paso 3: Se lee la escala en el cuarto de libra más cercano.
- Paso 4: Si es necesario, se mueve la palanca de ajuste del resorte que presiona la escobilla hacia abajo o arriba para que la presión sobre la escobilla esté dentro del rango recomendado por el fabricante.

Para una mejor operación de la máquina, es importante asegurarse de que todas las escobillas se ajusten dentro del rango de presión apropiado. Las presiones desiguales podrían ocasionar serios problemas.

11

Área de las escobillas

Los fabricantes de escobillas generalmente indican las presiones en PSI o en lbs/in², pero en ocasiones las escobillas tienen un área de sección transversal menor que una pulgada cuadrada.

Muchas escobillas, en posición inclinada, presentan una mayor área de contacto con el commutador en relación a su sección transversal. Esto quiere decir que el área de la superficie total de la escobilla en contacto con el commutador es mayor que una escobilla con su extremo plano, pero para todos los propósitos prácticos se puede ignorar esta diferencia y solamente calcular el área de sección transversal (ancho x espesor).

EJEMPLO



- Para una escobilla de 1 3/4 de pulgada de ancho x 3/8 de pulgada de espesor (4.44 cm de ancho por 0.95 cm de espesor), el fabricante recomienda de 4 a 5 lbs/in² (0.28 kg/cm² a 0.35 kg/cm²).
- La sección transversal de la escobilla es de 1 3/4 x 3/8 de pulgada ó 21/32 pulgadas cuadrada (4.23 cm²), por lo tanto, la presión que se necesitará sólo será de 21/32 de 5 lbs/in² ó 3.3 lbs/in² (2.26 kg/cm² ó 1.49 kg/cm²).
- Generalmente es mejor que se utilice el límite más alto del rango de presión, en este caso 5 PSI (0.35 kg/cm²) de presión, debido a que al desgastarse la escobilla la presión del resorte disminuye un poco.
- Por lo tanto, si se ha ajustado la presión de la escobilla en su límite inferior recomendado, 4 PSI (0.28 kg/cm²) de presión, un poco de desgaste en la escobilla podría hacer que la presión del resorte caiga abajo del límite inferior recomendado.

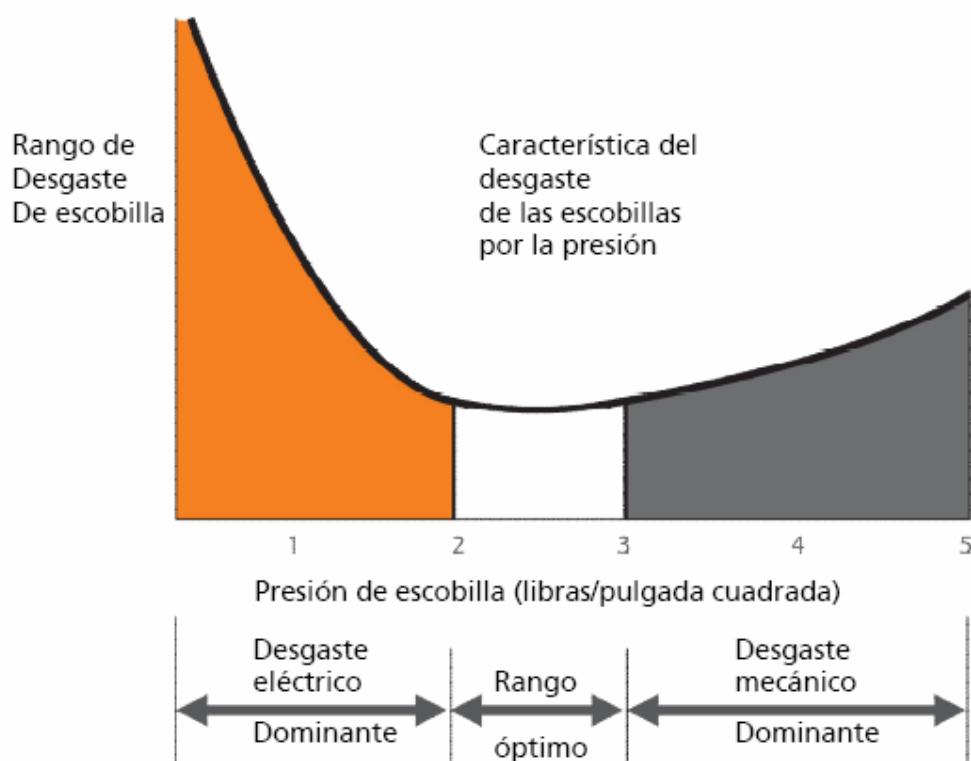
12

Cómo la presión afecta en el desgaste

• Se podría creer que las escobillas durarían más si se ajusta el resorte para aplicar una presión ligera, sin embargo sucede lo contrario.

• La presión ligera genera un contacto inestable entre la escobilla y el conmutador, la formación de arcos y subsecuentemente un daño al conmutador.

En la figura se muestra como se eleva el desgaste cuando la presión cae por debajo del límite inferior recomendado por el fabricante. En este caso, el desgaste eléctrico es mayor que el desgaste mecánico que produciría una mayor fricción al incrementar la presión en la escobilla.



Sin embargo, no se deben tolerar presiones muy bajas ni muy altas. La mejor guía para obtener los mejores resultados es el rango especificado por el fabricante.

13

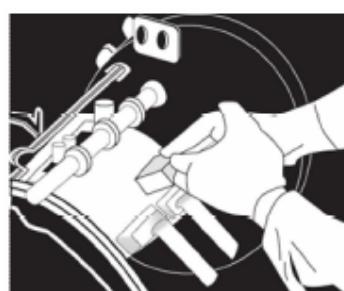
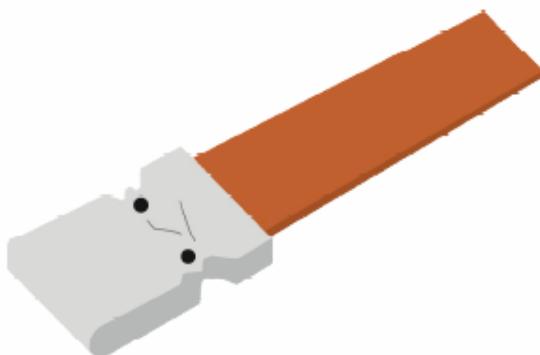
Contaminantes de contacto

- En muchos ambientes industriales actúan influencias contaminantes en el contacto entre la escobilla y el conmutador.
- Estos contaminantes de contacto son generados en el aire y se adhieren a la cubierta de la superficie del conmutador, afectándola químicamente e incrementando la fricción de la escobilla.
- Los contaminantes de contacto como los productos de la combustión del carbón, gas y aceite combustible, son peligrosos para el conmutador. Sólo un poco de estos humos basta para afectar rápidamente la cubierta del conmutador.
- Existe un grupo de químicos fuertes: flúor, cloro, yodo y bromo, los cuales frecuentemente acompañan a los humos industriales y todos afectan el balance químico de la cubierta del conmutador.
- Los solventes orgánicos tales como el alcohol, acetona, éter y muchas sustancias comunes como aguarrás, compuestos para la limpieza, humos de pinturas y humos de tabaco, dañan la cubierta del conmutador.
- Un mal olor no es necesariamente una clave de que algo malo esté sucediendo, ya que algunas de las reacciones más dañinas no despiden aromas o incluso producen un aroma agradable.

14

Limpieza del conmutador

- Si la máquina en operación tiene una cubierta en el conmutador en buen estado, se debe mantener así. Una de las formas más sencillas y mejores de lograr esto es mediante un limpiador de lona como el que se muestra en la figura.



- Este limpiador está fabricado con varias capas de lona resistente dobladas y afianzadas sobre un extremo de una tabla de madera. De preferencia una tira de madera fuerte de 3/8 de pulgada de ancho y 3 pies de largo (0.95 cm de ancho y 91.44 cm de largo).



MANTENIMIENTO

Para utilizar el Limpiador de Lona se presiona la lona contra el conmutador en rotación moviendo lentamente la tabla de un lado a otro. De esta manera se elimina el aceite, la grasa y el tizne de la superficie del conmutador sin destruir la cubierta de óxido-cobre-grafito



- Además es un instrumento seguro ya que se mantienen las manos lejos de las peligrosas descargas eléctricas y de la misma máquina.
- Otro limpiador de superficies muy efectivo es el bloque abrasivo flexible o llamado comúnmente como piedra de hule (Figura). Éste se parece a un borrador rectangular grande de goma, y funciona casi igual que el de lona. Sólo se presiona contra el conmutador cuando éste está girando e inmediatamente elimina los depósitos de suciedad y grasa. La acción abrasiva de este limpiador no daña las escobillas ni obstruye las ranuras del conmutador.
- La frecuencia con que se debe limpiar el conmutador en cualquiera de estas dos formas depende de la tendencia local de que se acumule este tipo de depósitos

El limpiador abrasivo no se debe utilizar muy frecuentemente, pues pudiera dañar la superficie del conmutador.

15

Redondez del conmutador

El trabajo pesado de los conmutadores, sus características físicas individuales y el envejecimiento generan daños tales como la pérdida de redondez. Este es uno de los problemas más serios que se presentan, pero si se detecta a tiempo se puede solucionar.

15

Redondez del conmutador

El trabajo pesado de los conmutadores, sus características físicas individuales y el envejecimiento generan daños tales como la pérdida de redondez. Este es uno de los problemas más serios que se presentan, pero si se detecta a tiempo se puede solucionar.

El conmutador pierde su redondez debido a su construcción y el desgaste electromecánico. En la figura se muestra un conmutador típico con sus delgas de cobre sujetas entre anillos de acero en forma de V.

- Una capa de mica sirve como aislamiento eléctrico entre los dos metales y la estructura completa está sujetada firmemente con tornillos y tuercas.

- No todos los conmutadores están construidos de esta forma pero su principio es el mismo.

- Al fabricar las máquinas de corriente directa, los conmutadores son la parte más delicada y sensible.

- Esto se debe a que los materiales para su construcción como el cobre, la mica y el acero, tienden a deformarse cuando trabajan a altas temperaturas hasta 400 °F (204.4 °C) y muy altas revoluciones.

- Así, la superficie del conmutador puede sufrir cambios, y estos cambios pueden ocasionar que disminuya la duración de las escobillas.

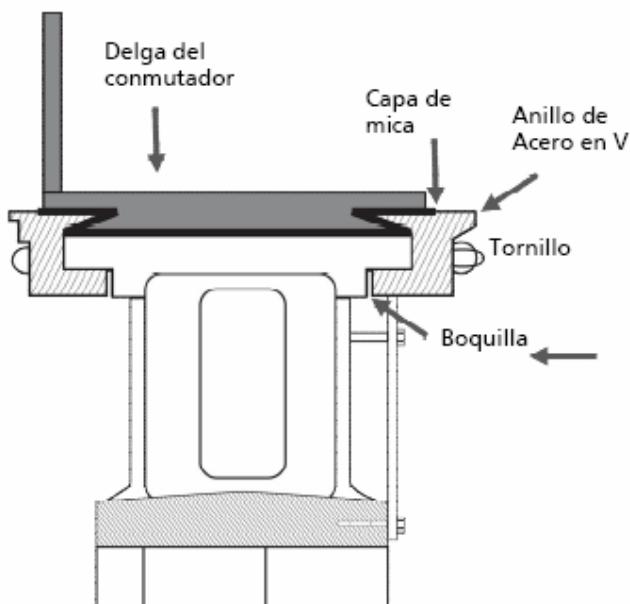
Delgas altas y/o bajas:

- Antes de entregar una máquina, los fabricantes aplican un tratamiento al conmutador para que la mica y el cobre resistan los cambios de temperaturas y tensiones mecánicas.

- Sin embargo, aún así existen diversas razones mecánicas y eléctricas por las cuales se deteriora el conmutador.

- Por ejemplo, las delgas que se llegan a aflojar, debido a la fuerza centrífuga se salen y se convierten en delgas altas, o una conexión con alta resistencia aceleraría el desgaste haciendo que las delgas estén bajas.

- Cualquiera de estos casos se empeora con el desgaste eléctrico, hasta que las delgas se convierten en obstáculos para las escobillas, ocasionando arcos y tanto las escobillas como el conmutador terminan dañados.



MANTENIMIENTO



Para localizar las delgas altas se debe hacer lo siguiente:

- Colocar el borrador de un lápiz de madera ordinario en la parte superior de la escobilla mientras gira el conmutador.

- Sostener el lápiz suavemente con los dedos manteniéndolo en paralelo con la escobilla.

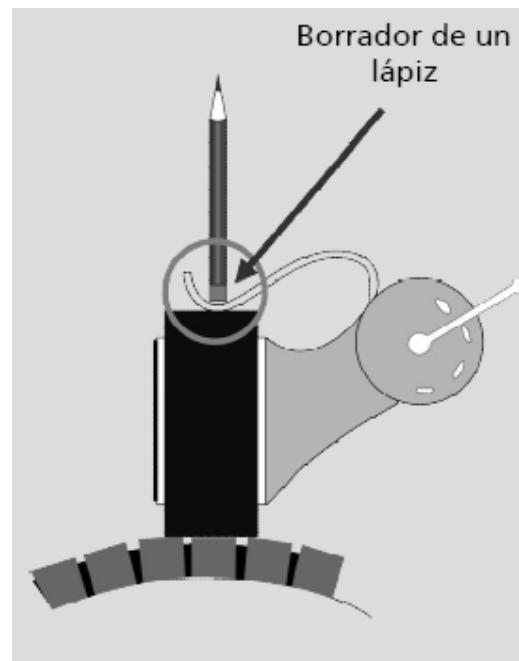
- Se detectan las delgas altas cuando el lápiz se mueve hacia arriba y abajo.

- Aparte de la prueba con el lápiz es importante ajustar los tornillos del conmutador de vez en cuando. Esto asegura el apriete del anillo de acero en V, lo anterior ayuda a no producir problemas con las delgas.

- Verificación del ranurado del conmutador (rebaje de la mica)

- Si el aislamiento entre delgas no está suficientemente bajo respecto a cada una de ellas, será preciso rebajar dicho aislamiento (recorte de las láminas de mica).

En muchas máquinas de corriente directa suele acontecer que el aislamiento de mica que se pone entre las delgas del conmutador sobresale de la superficie; puede suponerse entonces que la mica es más dura que el cobre y sufre un desgaste menor que dicho metal, lo cual es totalmente falso ya que ambos han de experimentar un desgaste similar, porque la escobilla no puede desgastar el cobre si no está en contacto con él.

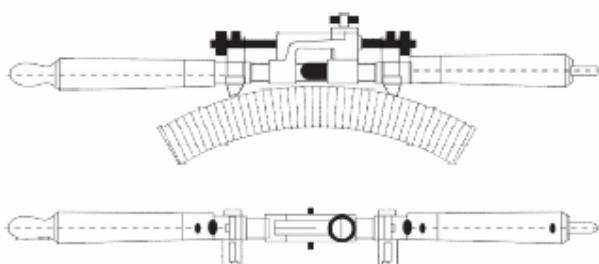
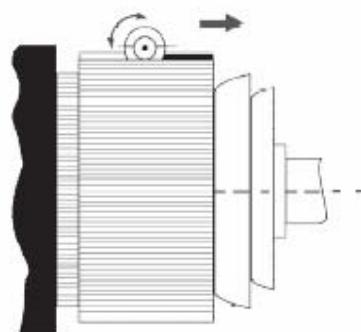
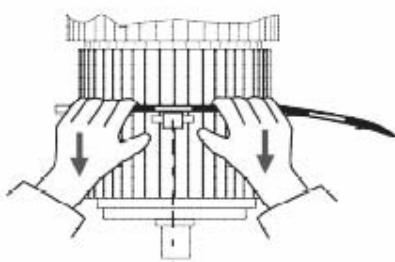


El cobre no se desgasta, sino que se desintegra por efecto de los arcos minúsculos que se forman entre las escobillas y el colector. Este hecho puede comprobarse haciendo funcionar dos máquinas de corriente directa como generadores análogos durante el mismo tiempo, de los cuales uno suministre corriente mientras que en el otro no haya corriente en las escobillas ni en el conmutador. La mica tiende a sobresalir en el conmutador que tiene corriente, mientras que es imposible que se produzca el mismo hecho en el otro generador. El ranurado del conmutador es una tarea que se puede realizar antes o después de maquinar al torno, a veces es conveniente realizar esta actividad antes, si la cantidad a maquinar es considerable debido a grandes irregularidades o no uniformidades del conmutador y la mica puede quedar al ras de la delga lo que dificultaría insertar la herramienta de desmicar en la ranura.

Para detectar y corregir los desperfectos en el ranurado de las micas entre delgas del conmutador hay que aplicar lo siguiente:

- Verificar que el rebaje de las micas mantengan la profundidad adecuada que será como máximo de 2.2 mm (0.086") y como mínimo de 1.8 mm (0.070").
- Si las profundidades no son adecuadas, se procede a realizar el rebaje con el dispositivo apropiado.
- Este trabajo se ejecuta con una máquina fresadora manual y discos de acero o diamante para cortar la mica, la cual debe tener un espesor de 0.5 mm (0.019") a 2 mm (0.078").
- En donde la proporción del rebaje no es grande, se puede emplear una herramienta popular que consiste de una hoja de seguita sujetada a un mango de madera, junto con otra herramienta similar.
- Por otro lado, pueden usarse cualquiera de las herramientas que se obtienen de cierto número de fabricantes para la ejecución de este rebaje.

En las siguientes figuras se muestra un ejemplo de una fresadora utilizada para el corte de micas.



ATENCION



Se debe tenerse mucho cuidado de no dejar una película de mica pegada a una de las paredes de la ranura. Éstas tienen que ser revisadas detenidamente y si se encuentran algunos fragmentos de mica adheridos, será necesario utilizar un cepillo para quitarlos. Si estos fragmentos se dejan, serán levantados en la próxima operación del motor hacia los bornes de las delgas, presentándose así una de las peores condiciones para el buen funcionamiento del conmutador.

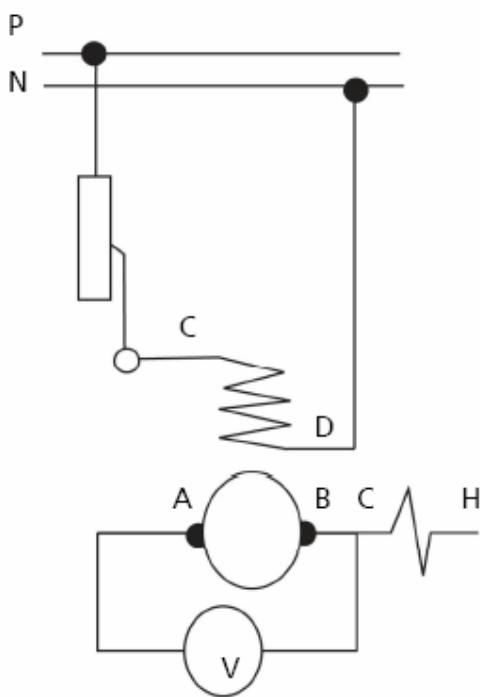
16

Determinación de la zona neutra

- Cuando por razones de mantenimiento o reparación se deben retirar el puente de las escobillas debe tenerse la precaución de marcar la posición del sector con respecto a una referencia fija.
- El puente de las escobillas se ajustará milimétricamente sobre las marcas existentes. Si éstas han desaparecido o se han cambiado los porta escobillas, hay que fijar nuevamente la posición correcta. Si se trata de un motor con dos sentidos de rotación, es preciso que el puente caiga en la zona neutra, si el motor tiene un solo sentido de rotación debe caer en dicha zona.

La posición de la zona neutra (método simplificado) se determina como sigue:

- Se desconecta el inducido de la red y se conecta con un voltímetro.
- Este debe empalmarse a los bornes A y B, es decir, directamente al inducido, no a los A y H pues así quedarían los polos de conmutación conectados con el voltímetro.
- Por medio del regulador se conectarán por tiempos cortos la excitación, corriendo a la vez poco a poco el puente de las escobillas hasta que el voltímetro no marque desviación alguna.
- Se repetirán los ensayos con varias posiciones del inducido para buscar la posición más favorable del puente de las escobillas.
- La posición exacta puede exactamente comprobarse haciendo marchar el motor en uno y otro sentido con la misma tensión e igual excitación: las dos marchas deben realizarse con igual número de revoluciones.
- Si no hay o han desaparecido las marcas de las escobillas hay que hacer nuevas marcas.
- En los motores con un sólo sentido de rotación puede quedar el puente de las escobillas algo fuera de la zona neutra, corrido en el sentido de la rotación del motor, si con ello se consigue mejor conmutación o más favorable comportamiento del número de revoluciones.



Para obtener un buen rendimiento de la máquina se debe prestar atención especial al:

Porta escobillas y escobillas



Acomodo y ajuste de las escobillas



Acomodo y ajuste de las porta escobillas

Es importante asegurarse de que la escobilla realice correctamente su trabajo, ya que existen diversos factores que podrían interferir.

Para información detallada remitirse al Manual de Escobillas y Porta-escobillas.

El resorte

• De los diversos componentes de los porta escobillas el más sacrificado es el resorte de tensión. Éste sufre un gran deterioro debido a las altas temperaturas y a la fatiga. Sin embargo, su revisión es sencilla mediante una escala de tensión para escobillas.

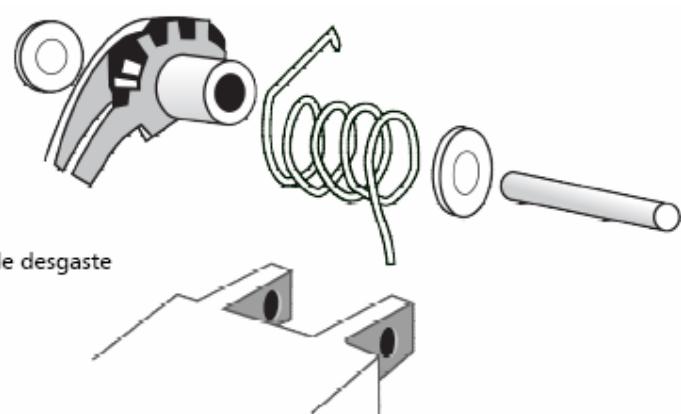
• Cuando la tensión es baja y no se puede corregir con el instrumento de ajuste, la única solución es remplazarlo por uno nuevo. Al instalar el resorte nuevo, se debe ajustar a la tensión correcta.

Desgaste mecánico

• El desgaste mecánico se presenta por la fricción entre las partes en movimiento del porta escobillas. Esto es normal e inevitable en todas las máquinas

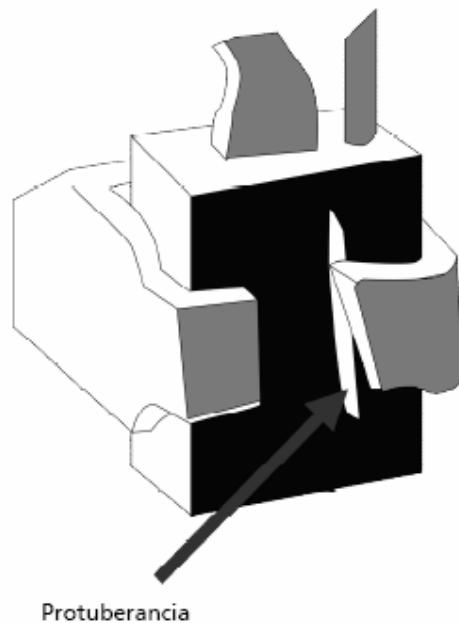
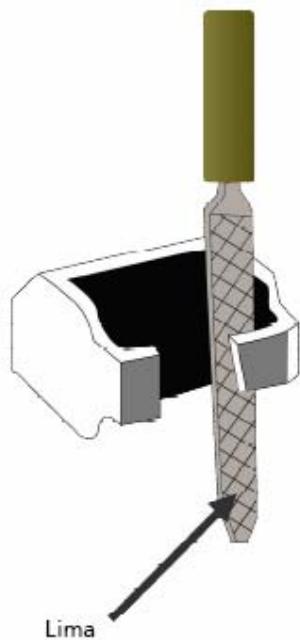
• Para disminuir el desgaste mecánico, es recomendable colocar grafito en las partes en movimiento de los porta escobillas.

• Ponga atención en el eje donde se enrolla el resorte y se debe tener cuidado de no rociar grafito sobre la superficie del conmutador.



• Las asperezas o protuberancias dentro del porta escobillas interrumpen el movimiento normal de las escobillas.

- Estos defectos pueden originarse por un manejo inadecuado del porta escobillas, por ejemplo una caída accidental o una marca accidental con alguna herramienta.



- Para solucionar esto, únicamente se lima la parte del interior del porta escobillas que ocasiona la interrupción del movimiento de la escobilla.

Compacidad de las escobillas con la superficie del colector

• La escobilla realiza una función eléctrica y mecánica dentro del sistema de commutación de una máquina de CC; es un conductor de la corriente en un circuito eléctrico y se sujeta a las fuerzas mecánicas mientras hace el contacto físico con una superficie en el movimiento.

- Para la evaluación de este punto, se realiza el procedimiento que vemos en la página siguiente.



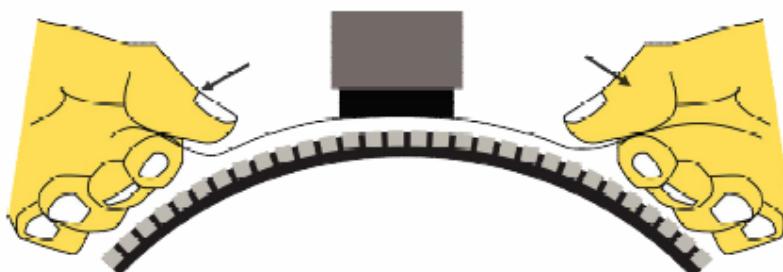
MANTENIMIENTO

- Verificar visualmente si alguna escobilla no está haciendo un buen contacto con la superficie del colector.
- Si no es tiempo de cambiar las escobillas y alguna de ellas no está haciendo un buen contacto, seguir los siguientes pasos:
 - Levantar todas las escobillas del polo donde se encuentra el defecto.
 - Colocar un papel de lija fina bajo la escobilla defectuosa.
 - Asentar solo esta escobilla y lijar en el sentido de rotación de la máquina hasta obtener un buen resultado.
 - Limpiar los residuos de lijadura con un trapo mojado con algún líquido especial o con aire a presión.
 - Colocar todas las escobillas en su posición original.
 - No se recomienda cambiar la escobilla por una nueva a menos que la escobilla esté desgastada o esté partida.

Ajuste de la escobilla

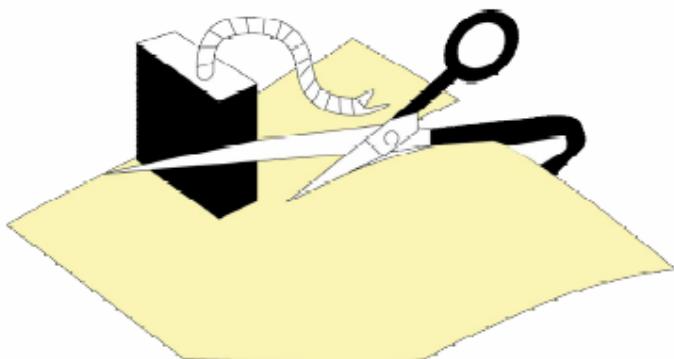
El ajuste de las escobillas no se logra sólo colocándolas en los porta escobillas, también requieren de un desgaste inicial, el cual debe ser en la superficie de contacto de la escobilla con el commutador.

- Cuando la curva de la superficie de contacto de la escobilla coincide con la curva del commutador, se obtiene el área de contacto máxima para un buen funcionamiento eléctrico.
- Es entonces cuando la escobilla queda ajustada.



- Para ajustar las escobillas más rápidamente se recomienda utilizar papel de lija.

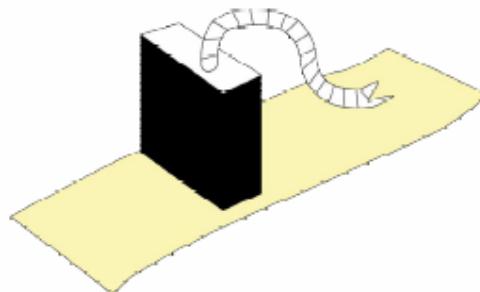
- A este proceso también se le llama asentamiento de la escobilla.



- Para ajustar la escobilla con papel de lija, se corta la lija a lo largo unas 10 a 12" (25.4 cm a 50.8 cm) con el ancho de la escobilla.

- Con la parte abrasiva de la lija hacia la escobilla, se desliza la lija entre la escobilla y el conmutador haciendo movimientos hacia atrás y adelante.

- Se mantiene la lija lo más pegada al conmutador hasta que la escobilla tenga la misma forma que el conmutador.



Espacio entre la escobilla y el porta escobillas

El ajuste de las escobillas no se logra sólo colocándolas en los porta escobillas, también requieren de un desgaste inicial, el cual debe ser en la superficie de contacto de la escobilla con el conmutador.

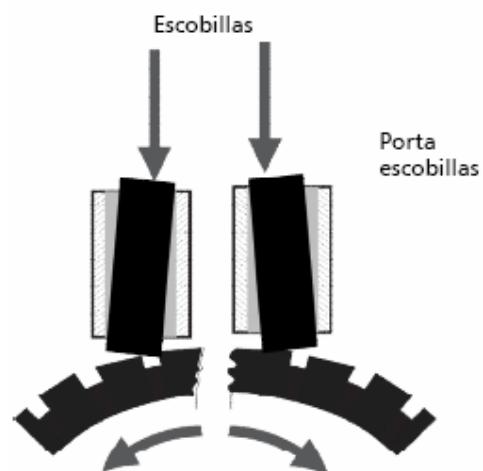
- Debe haber suficiente espacio para que la escobilla pueda moverse libremente, pero no debe haber un espacio demasiado amplio ya que la escobilla se golpearía de un lado a otro.

- Desde luego que cuando el conmutador gira siempre en la misma dirección las fuerzas que actúan previenen que las escobillas se muevan dentro del porta escobillas.

- Cuando realmente se presenta este problema es cuando la máquina gira en ambos sentidos con las escobillas montadas radialmente, tal como se muestra en la figura.

- Un movimiento excesivo hacia delante y hacia atrás de la escobilla dentro del porta escobillas, hace que el conmutador presione la escobilla en contra del porta escobillas en la dirección de rotación.

- Para fijar el espacio correcto entre la escobilla y el porta escobillas, primeramente se mide el espacio hueco permitido hacia el frente y atrás.



- Esa distancia no debe ser menor de 0.002 pulgadas (0.0508 mm) ni mayor a 0.010 pulgadas (0.254 mm).

• El espacio permitido en la dirección de lado a lado es mínimo 0.002 pulgadas (0.0508 mm) y máximo 0.020 pulgadas (0.508 mm) a excepción de las escobillas de metal-grafito las cuales se expanden más que las otras escobillas y por lo tanto requieren de más espacio.

• El porta escobillas y el conmutador deben 020° estar cerca uno del otro. Mientras más cerca estén, menor será la probabilidad de que la escobilla se salga y empiece a tener movimiento.

• El porta escobillas y el conmutador deben estar cerca uno del otro. Mientras más cerca estén, menor será la probabilidad de que la escobilla se salga y empiece a tener movimiento.

• El contacto de estos dos elementos podría ocasionar quemaduras y marcas en el conmutador.

• El espacio apropiado entre el porta escobillas y el conmutador depende de la máquina.

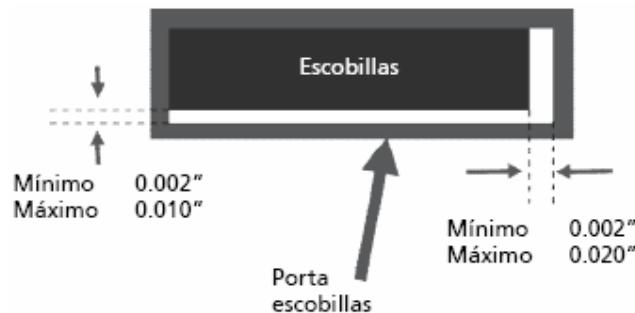
• Éste podría ser desde 1/4 de pulgada (6.35 mm) para máquinas grandes hasta milésimas de pulgada para equipo pequeño.

• Si no se mantiene el espaciamiento debido, esto trae como consecuencia un apoyo defectuoso de las escobillas sobre el conmutador y afectaría también a la secuencia del punto neutro ya que la mayoría de los motores trabajan con porta escobillas inclinados.

• La posición vertical de los porta escobillas sobre la superficie del conmutador es muy importante para asegurar apoyar la escobilla de la forma apropiada a lo largo de la longitud usable de la prisa y para el posicionamiento apropiado en la superficie del contacto.

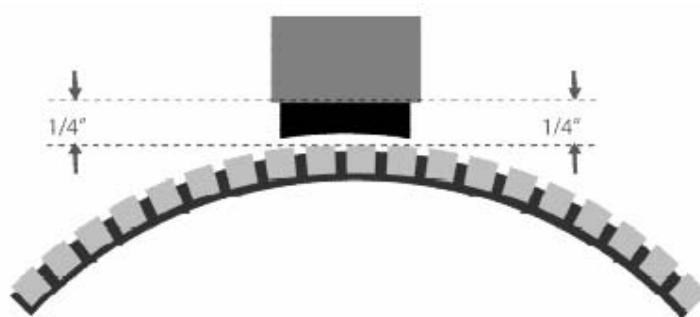
• Cuando un porta escobillas está montado demasiado alto sobre la superficie del contacto o cuando la superficie se ha desgastado a un diámetro significativamente más pequeño, no habrá ningún apoyo adecuado para la escobilla. Esto contribuirá a la inestabilidad del contacto.

• Las conexiones de las escobillas deben ser verificadas para observar que estén adecuadamente conectadas a los porta escobillas de la máquina.



ATENCION

Desde luego que se debe tener cuidado de no colocar el porta escobillas tan cerca del conmutador, ya que el contacto entre estos sería peor que el dejar demasiado espacio entre ambos.



Debe haber una adecuada separación entre las conexiones y las otras partes de la máquina. Para la evaluación y corrección de este punto, se realiza el siguiente procedimiento:

- Luego de estar parada la máquina, levantar todas las escobillas de sus cajas.
- Verificar que se cumpla el espaciamiento adecuado, tomando en cuenta que la distancia necesaria.
- La distancia entre la parte inferior de la caja de las escobillas y la superficie del colector en la mayoría de los motores deberá oscilar entre 1.5 y 2 mm (0.059" y 0.078").
- Dejar todas las cajas porta escobillas bien ajustadas a la distancia dada por medio de los tornillos de sujeción.
- Controlar este espaciamiento asegurando su uniformidad en todos los puntos inferiores del porta escobillas, mediante un pedazo de placa de fibra o material similar con el espesor adecuado que se utilizará como calibrador.
- Condiciones para el buen funcionamiento de las escobillas

ATENCION

Despejar eléctricamente la máquina, tomando en cuenta las medidas de seguridad.



Chispas en las escobillas

Una conmutación satisfactoria es lograr que ninguna de las escobillas, ni el conmutador, estén dañados cuando se realiza una prueba o en condiciones normales de servicio para que no sea requerido un mantenimiento en períodos fuera de lo normal.

- La presencia de algunas chispas visibles no es necesariamente evidencia de una conmutación defectuosa pero es necesario tratar de evitarlos.
- El chisporroteo puede ser debido a cualquier causa mecánica o eléctrica. Las causas usuales de chispas son:
 - La máquina puede estar sobrecargada.
 - El conmutador puede tener una ondulación o la superficie dispareja debido a una delga floja o a que sobresalen ranuras, quemaduras, manchas o las micas sobresalientes (mala soldadura).
 - El conmutador puede estar sucio, aceitoso o gastado.
 - Las escobillas pueden no estar igualmente espaciadas alrededor del conmutador.
- Los porta escobillas pueden estar lejos del conmutador.
- Las escobillas pueden estar atoradas en el porta escobilla y no pueden alcanzar el fin de su recorrido.
- Las escobillas no pueden apoyarse sobre el conmutador con suficiente presión.
- Las escobillas pueden no estar ajustadas a la circunferencia del conmutador.
- El tipo de carbón colocado puede ser incorrecto.
- Las caras de las escobillas pueden estar quemadas.

Algunas características de la velocidad de los motores de CC

Estas son las causas más comunes, pero las chispas también pueden ocurrir por un circuito abierto o una conexión suelta en la armadura. Este inconveniente es indicado por una chispa brillante que pasa completamente alrededor del interruptor y puede ser reconocida por la marca que deja en el punto del interruptor donde se abrió el circuito. Si un cable de arrastre del inducido del interruptor se rompe o desconecta, saltará una chispa brillante.

Este inconveniente puede ser fácilmente localizado en el interruptor sobre cada lado de la desconexión por estar más o menos picado.

- Uno de los requisitos elementales para el funcionamiento eléctrico eficiente es un contacto suave e ininterrumpido entre la escobilla y el interruptor. La vibración de las escobillas interrumpe la continuidad.
- La vibración en las escobillas también puede ser causada por algún mal funcionamiento de la máquina, lo cual no tiene relación con el tipo de trabajo que se esté realizando.

RECUERDE



Esta vibración puede ser resultante de la naturaleza de la aplicación de la máquina, la cual es totalmente ajena al equipo. En este caso se pueden utilizar dispositivos atenuadores para aislar al motor o generador de la fuente de vibración.

A continuación se presentan 6 fuentes típicas de vibración de escobillas:

- 1) Protuberancias en el interruptor..
- 2) Interruptor irregular.
- 3) Presión equivocada en escobillas.
- 4) Porta escobillas defectuosos.
- 5) Ángulo de escobillas incorrecto.
- 6) Grado de escobillas incorrecto.

Carga

• La carga de una máquina se refiere a la corriente presente en la máquina en cualquier momento. Se expresa como un porcentaje de la capacidad nominal de la máquina, esto es, el rango en amperes de carga plena de la máquina.

• Para este caso, la carga para las escobillas de la máquina se expresará como la densidad de corriente en las escobillas en cualquier momento, la cual afecta la formación de la cubierta que a su vez está relacionada con el grado de las escobillas.

• Por ejemplo, una carga ligera en las escobillas electro-grafíticas no serviría para la formación de película de cubierta suficiente en el conmutador y, consecuentemente, se obtendría fricción, en una cubierta demasiado delgada en el conmutador o ambas cosas

• Este problema se puede corregir eliminando algunas escobillas hasta conseguir el promedio de la densidad de corriente de operación.

• En caso de que las condiciones de operación generen una densidad de corriente baja en conjunto con picos periódicos, la mejor solución es cambiar las escobillas por otras de un grado que permita una mejor formación de cubierta según el rango en el que se esté operando.

• Por el contrario, una carga demasiado pesada produciría arcos en las escobillas y la formación de demasiada película de cubierta y, por consiguiente, quemaduras en las barras del conmutador.

• Para evitar esto se debe seleccionar un grado de escobilla con poca capacidad de formación de cubierta, dependiendo del rango de densidad de corriente.

Humedad

• La humedad es una parte importante para la formación de la cubierta del conmutador.

• Para que se pueda formar una cubierta normal se puede ya sea instalar escobillas especiales, las cuales pueden ser recomendadas por los fabricantes, o controlar la humedad en el área de trabajo.

GLOSARIO



"Sentido de FEM Inducida" significa el sentido en que la corriente circulará a raíz de esta FEM inducida.

Contaminantes

Para determinar cuándo el ambiente de operación de una máquina está contaminado, se deben considerar los siguientes puntos:



Apariencia del conmutador



Olores

Cualquier decoloración en tonos de verde o verde amarillento en los ejes del conmutador, son señal de que existe contaminación.

Un olor parecido al de un huevo podrido es señal de que existe sulfuro de hidrógeno en el ambiente, lo cual es perjudicial para el conmutador.

MANTENIMIENTO



Para evitar el problema de la contaminación, es recomendable que el área de trabajo esté ventilada mediante puertas, ventanas, ductos de aire forzado, etc.

En ocasiones es más práctico utilizar escobillas para pulir el conmutador, en lugar de un programa de purificación de aire.

Cuando todas las escobillas empiezan a vibrar al mismo tiempo, significa que la máquina no tiene carga o que la carga es demasiado ligera. Si la densidad de corriente en las escobillas es baja, la fricción aumenta.

4.2

Revisión de un Motor de Corriente Directa

Medición de resistencia de aislamiento

La resistencia de aislamiento es útil para determinar la presencia de humedad y polvo en la superficie de los devanados o arrollamientos. Una completa información de ésta, es útil para determinar cuándo es necesario limpiar los devanados, secarlos o reemplazarlos o, a final de cuentas, desechar la máquina después de haber cumplido su vida útil.

¡ATENCIÓN!



Una repentina reducción de la resistencia indica la importancia de realizar un mantenimiento especial.

MANTENIMIENTO



Se sugiere tomar mediciones de la resistencia de aislamiento en períodos no superiores a los seis meses.

El método para medir la resistencia de aislamiento debe ser definitivamente controlado y seguro para evitar cualquier tipo de accidente.

Algunas de las recomendaciones que se sugieren seguir para una medición efectiva son:

- Adoptar un tiempo definido de aplicación para tomar lectura, preferentemente después de un minuto de aplicación de tensión. Hacer pruebas inmediatamente después de parada, cuando la máquina esté libre de humedad.

• Se considera un valor de aislamiento a una resistencia de aislamiento de 1 kΩ por cada volt de servicio.

• La medición de resistencia se realiza mediante el instrumento portátil denominado megohmetro o Megger, provisto de una fuente interna de corriente directa que consiste en un generador de CC o un alternador. Los valores de tensión que generan oscilan dependiendo de la marca y de su finalidad entre los 600 y 5,000 V, de este modo, es fundamental utilizar un instrumento cuya tensión sea acorde a la tensión de servicio de la máquina a controlar con el fin de no procurar daños en el aislamiento de sus devanados.

EJEMPLO

Un motor de 140 V de tensión de servicio necesitaría una resistencia límite de 140 kΩ.

ATENCION

Siempre use el instrumento con el mismo voltaje (megómetro).



- Tomar las lecturas a las terminales de la máquina, estando seguro que los cables e interruptores estén aislados o sin tensión.
- Tomar los valores de temperatura de las bobinas a temperatura ambiente y el estado de los arrollamientos.
- La resistencia variará inversamente con la temperatura.
- Es decir la resistencia de aislamiento disminuirá con el aumento de la temperatura.
- Aproximadamente la resistencia se duplicará por cada 15 °C (59 °F) de caída de la temperatura.

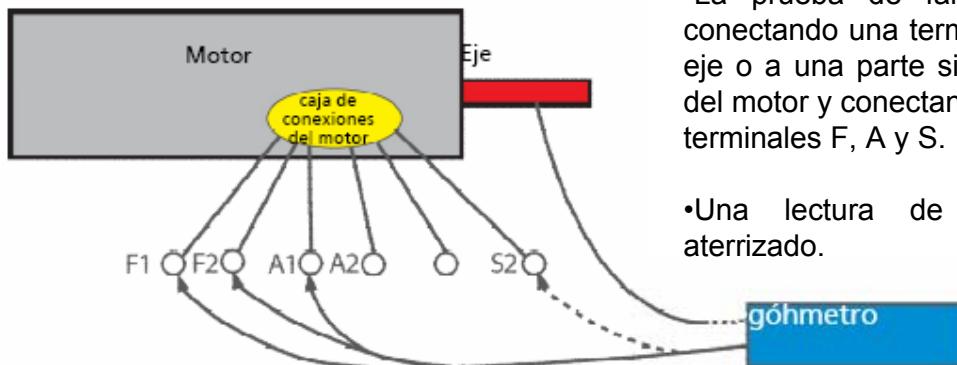
EJEMPLO



Si el aislamiento tiene una determinada resistencia a 75 °C (167 °F), cuando esté a 60 °C (140 °F) la resistencia deberá ser el doble (aproximadamente) y 25 °C (77 °F) deberá ser diez veces más grande.

- Cuando un motor falla al arrancar, lo primero que se debe revisar son los fusibles de su suministro (circuito principal), el relevador de sobrecarga térmico y los fusibles del tablero de control del motor.
- Si los fusibles están bien, y el interruptor y los relevadores no han sido operados por sobrecarga, se debe revisar el panel de control.
- Para revisar el motor, se desconectan las terminales de armadura y las de campo del controlador y se hacen pruebas de continuidad y de falla a tierra.
- Esto tanto en el circuito del campo shunt, del campo en serie y de la armadura

Prueba de falla a tierra

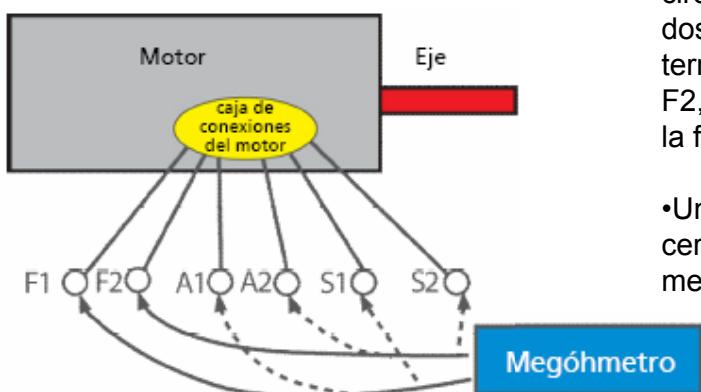


- La prueba de falla a tierra se realiza conectando una terminal del megómetro al eje o a una parte sin pintura de la carcasa del motor y conectando la otra terminal a las terminales F, A y S.

- Una lectura de cero indica circuito aterrizado.

megómetro

Prueba de continuidad



- La prueba de continuidad (prueba de circuito abierto) se realiza conectando las dos terminales del megómetro con las terminales del circuito correspondiente F1-F2, A1-A2 y S1-S2 tal como se muestra en la figura.

- Una lectura de cero indica un circuito cerrado y una lectura elevada en el megómetro indica un circuito abierto.

Megómetro

Tips para el desarme de un motor

En ciertas ocasiones para mantenimiento, y en otras para reparación, se requiere desarmar los motores eléctricos, por lo que es conveniente dar algunas indicaciones para facilitar este trabajo.

¡ATENCIÓN!

Conviene seleccionar un área de trabajo limpia cuando el motor se desarma. Estando en su lugar de montaje, se debe tener suficiente cuidado con el manejo de sus partes, y éstas deben ser marcadas y debidamente etiquetadas para su correcto armado posterior.

¡ATENCIÓN!

Antes que nada, es fundamental desconectar la alimentación del motor (des-energizar).

MANTENIMIENTO



Se recomienda seguir las siguientes reglas generales para desarmar un motor:

- Tomar nota (elaborar un diagrama) de las conexiones del motor para evitar errores cuando se vuelva a poner en servicio.
- Quitar todo el equipo auxiliar que no permita el acceso libre al motor.
- Analizar si se requiere o no remover el motor del lugar de su instalación hay que cuidar que las láminas de ajuste no se desordenen.
- Seguir las recomendaciones del fabricante para su montaje y maniobras a realizar.
- Algo que es básico al desarmar un motor, es la colocación de marcas entre las tapas y el estator, a fin de conservar la misma posición para el armado posterior. Después de marcar las tapas y la carcasa del motor, se puede proceder al desarmado. Se recomienda seguir las siguientes precauciones:
 - No usar martillos metálicos directamente sobre cualquier parte del motor, ya que el impacto puede romper o fracturar al hierro fundido, o bien, puede deformar otras partes.
 - No usar desarmadores (destornilladores) para forzar las tapas al querer separarlas, esto puede producir marcas o daño.

Procedimiento para el desarmado del motor

- Si el motor tiene escobillas, quitarlas de sus porta-escobillas.
 - Después de los pasos anteriores, se está en posición de retirar las tapas de la carcasa. Tan pronto como se separen las tapas, el rotor o armadura queda soportado por el estator. Se deberán tomar precauciones para evitar que el rotor sufra daño, usando un soporte. Entre más grande es el motor, se tiene mayor riesgo de daño.
 - Usar un martillo de bola (preferentemente) y un bloque de madera (para proteger contra daño).
 - Remover las tapas de ambos lados del motor.
- Previamente se tuvieron que haber desconectado todos los alambres de circuitos que pueda haber

- A medida que se continua con el proceso de desarmado, se deben de registrar todas las partes que se retiran y el orden en que van. Es recomendable, elaborar un diagrama para el alambrado y hacer una lista de colores, de acuerdo a los códigos para cada terminal, o bien usar la numeración convencional.

¡ATENCIÓN!



Una vez que se han retirado las tapas del eje del motor, se puede retirar el rotor, sin que se golpee contra el estator o los devanados del estator para evitar daños. Dependiendo del tamaño del motor (en consecuencia del rotor), se deben adoptar distintas formas de soporte del rotor.

4.3

Inspección y Mantenimiento al Motor de Corriente Directa

Identificación de los devanados de una máquina de corriente continua

Para identificar los bornes que corresponden a cada devanado en una máquina de CC se debe proceder como a continuación se indica:

- Con un multímetro se buscan los pares de bornes que tengan continuidad y se marcan.
- El devanado del campo paralelo se distingue por tener una resistencia mayor que la de los demás.
- Con el mismo multímetro se identifican los bornes que corresponden al devanado de campo paralelo.
- Para identificar el devanado de armadura se pone una de las terminales del multímetro con una de las escobillas y con la otra terminal se buscan los dos bornes que tengan continuidad y que corresponderán a los bornes del devanado de armadura, cuya resistencia es menor que la del campo.
- Por eliminación, los dos bornes (o conductores) restantes serán del devanado de campo serie.

A continuación se enumeran algunas de las pautas a tener en cuenta para un mejor y más seguro desempeño en la instalación de una máquina de CC.

Ensayos de producción

- Inspeccionar el estado de los rodamientos (baleros).
- Medir con un megger la resistencia de aislamiento de sus devanados para comprobar que esté dentro de los valores aceptables.
- Principalmente es recomendado si el motor ha permanecido largo tiempo almacenado.
- Si la resistencia de aislamiento es baja, enviar el motor a mantenimiento.
- Si tuviera válvula de grasa, cambiar la grasa de los rodamientos (baleros) que pudiera estar deteriorada después de un almacenamiento prolongado.

Tips para la instalación del motor

Las siguientes son algunas de las indicaciones a seguir cuando se vaya a realizar la instalación de una máquina de CC.

- 1 Sacar la tabla de rotor, si la tuviera.
 - 2 Limpiar la punta del eje.
 - 3 Verificar la correcta fijación de la base del motor.
 - 4 Montar acoplamientos, poleas, etc. exclusivamente con las herramientas adecuadas.
-
- 2 Alinear el equipo correctamente.
 - 3 Controlar las vibraciones y verificar que estén dentro de los valores aceptables.

El buen funcionamiento depende de una buena cimentación, acoplamiento y alineación. Si el motor y la máquina acoplada no están instalados correctamente se observarán:

-  Ruidos en el funcionamiento.
-  Daños en los rodamientos (baleros).
-  Vibraciones excesivas.

Conexión de una máquina de CC

Para realizar una correcta conexión de la máquina, se recomienda tomar en cuenta las siguientes indicaciones:

- Controlar que el voltaje indicado en la placa de datos, sea igual al de la red de alimentación.
- Asegurarse que al ejecutar la tarea de conexión o desconexión del motor, el interruptor principal posea la tarjeta de seguridad NO CONECTAR.
- Verificar que el arrancador se encuentre en buen estado.
- Verificar la correcta identificación de los terminales. Si es posible, utilícese el diagrama respectivo. De lo contrario identifique las terminales con el método ya explicado.
- Realizar las conexiones correspondientes. Operar al motor por medio de interruptores y protecciones adecuadas.
- Verificar que las partes que están bajo tensión y en movimiento estén respectivamente aisladas y protegidas.
- Controlar que el sentido de giro sea el correcto realizando la operación con el motor desacoplado.
- En motores sellados, verificar que esta condición prevalezca siempre.

Mantenimiento de un motor de corriente directa

Para mejores resultados, se requiere que la inspección y el mantenimiento de los motores sea un procedimiento sistemático y continuo. La frecuencia de inspección y la tendencia a que el motor falle varía y es determinada por:

-  La importancia del motor en la línea de producción.
-  El tiempo que opera el motor diariamente.
-  El tipo de servicio que realiza.
-  Las condiciones del medio ambiente.
-  El exceso de temperatura y humedad.

• El programa de inspección de los motores puede ser flexible y adaptable a las necesidades de la planta.

- Sin embargo, asegurar un programa de inspección y mantenimiento del motor puede evitar costosos paros innecesarios.

- El factor más importante en el programa de mantenimiento de motores es mantenerlos limpios de aceite, agua, suciedad y cualquier otro tipo de partículas

- La mayor parte de las partículas que se introducen al motor son por su sistema de ventilación. Por esta razón es necesario mantener los filtros (y limpios) en los ventiladores y hacer con frecuencia una limpieza en el motor.

¡ATENCIÓN!

El exceso de temperatura y humedad causan deterioro del aislamiento de los devanados, lo cual producirá una falla a tierra o un cortocircuito. Los motores que se encuentran en un medio ambiente de alta temperatura o humedad presentan una mayor tendencia a fallar.

MANTENIMIENTO



A continuación se presenta un programa de mantenimiento para los motores de corriente directa en general.

Semanalmente se debe:

- Revisar la temperatura de los rodamientos (baleros) y la carcasa.
- Revisar el nivel de aceite de lubricación en los rodamientos (baleros).
- Revisar que no existan fugas de lubricante. Esto consiste en observar que no haya grasa o aceite en el eje (flecha) o sobre los devanados.
- Revisar, para detectar señales de sobrecalentamiento o malos contactos, el arrancador del motor, los interruptores, los fusibles y dispositivos de control.
- Revisar que en operación no presente ruidos inusuales.

Trimestralmente se debe:

- Revisar las poleas, bandas, protectores de bandas, los pernos de la carcasa y en general todos los sujetadores mecánicos.
- Revisar la limpieza entre los rodamientos (baleros) y el eje (flecha) (evitar agregar exceso de grasa).
- Revisar el entrehierro. Cuando esté accesible, medirlo y llevar su historial.
- Limpiar los ductos de ventilación y sus filtros. Limpieza a devanados.
- Medir y registrar el aislamiento de los devanados así como su temperatura.

MANTENIMIENTO



Semestralmente se debe:

- Limpiar por completo el motor y retirar la suciedad de los devanados y ductos de ventilación.
- Drenar la transmisión, renovar el aceite en las mangas de los rodamientos (baleros).
- Agregar grasa a los rodamientos de bolas (baleros) si es necesario y registrar la fecha en que el motor fue lubricado.
- Revisar todos los depósitos, particularmente sus sellos, en caso de que estos se encuentren en mal estado, remplazarlos.
- Revisar el estado de la grasa de los rodamientos (baleros).
- Revisar y apretar todas las conexiones eléctricas.
- Revisar que las aspas de los ventiladores no estén quebradas.
- Verificar la vibración del motor en operación.
- Revisar que las cadenas y bandas estén en buen estado.
- Medir y verificar la corriente de armadura, compararla con el valor indicado en la placa y anotar el desvío.
- Un programa de actividades y paros cortos y largos permite cumplir un programa de mantenimiento completo.

Anualmente se debe:

- Revisar todos los devanados, limpiar y reparar el aislamiento si esto es necesario.

- Revisar la limpieza entre el eje (flecha) y los rodamientos (baleros) para prevenir que éstos resulten dañados.

Un buen mantenimiento de un motor se puede resumir como:

- Mantenerlo limpio y bien ventilado.
- Efectuar revisiones regulares para detectar cualquier variación de las condiciones normales de operación. En esto se incluye carga (corriente y desbalance), resistencia de aislamiento, temperatura y vibración.
- Aplicar siempre los lubricantes adecuados y llevar un programa de lubricación.
- Efectuar las pequeñas reparaciones y ajustes cuando sea necesario para evitar daños mayores en el motor.
- Implementar y mantener un sistema de registro que muestre las reparaciones que ha requerido el motor a través del tiempo.

ACTIVIDAD 4

Los ensayos dan mucha información, sin poner en riesgo las máquinas eléctricas, la siguiente actividad propone fijar los conceptos.



Le proponemos que nos indique si los conceptos indicados en la primer columna de la izquierda, son verdaderas, falsos y en caso de tener algún condicionamiento por favor aclare el por qué.

Conceptos extraídos	Verdadero	Falso	Depende. Justifique
Los ensayos en general, se realizan para comprobar si las condiciones para las que fue diseñado la máquina serán satisfechas por la misma.			
Los ensayos, según su finalidad, pueden clasificarse en dos grandes grupos: A. Ensayos de distribución. B. Ensayos de recepción.			
Los ensayos, de cualquier tipo, pueden realizarse según dos criterios: I). Ensayos directos. II). Ensayos indirectos.			
El ensayo de calentamiento consiste en obtener una curva de temperatura en función del tiempo.			
Los ensayos de aislamiento son los que se realizan periódicamente con máquinas en servicio.			
Cuando hay muchas máquinas en servicio, es muy engorroso y complicado llevar planillas con el estado de aislación de todas las máquinas.			



Continuacion de la actividad

Conceptos extraídos	Verdadero	Falso	Depende. Aclare el porque
Una característica muy importante en los motores de corriente directa es su escaso rango de velocidad de operación y la relativa facilidad con la que esta se controla.			
Una superficie lisa y uniforme en el commutador proporciona un buen funcionamiento de las escobillas y, una operación satisfactoria de la máquina.			
El contacto constante entre las escobillas y el commutador es uno de los principales factores para asegurar un buen funcionamiento			
Para información detallada nunca se remita a los Manuales del fabricante.			

¡Felicitaciones!

Usted ha finalizado el capítulo 4. A continuación se desarrollará el capítulo Los Alternadores.



Los Alternadores

TEMAS DEL CAPÍTULO 5

5.1 Tipos de alternadores	182
5.2 Regulación de frecuencia y voltaje	190
5.3 Repaso de generadores de CA	193
5.4 El alternador con diferentes tipos de carga	195
5.5 Reacción del inducido en un alternador	197
5.6 Determinación de la reactancia síncrona	198
5.7 Tipos de inductores	199

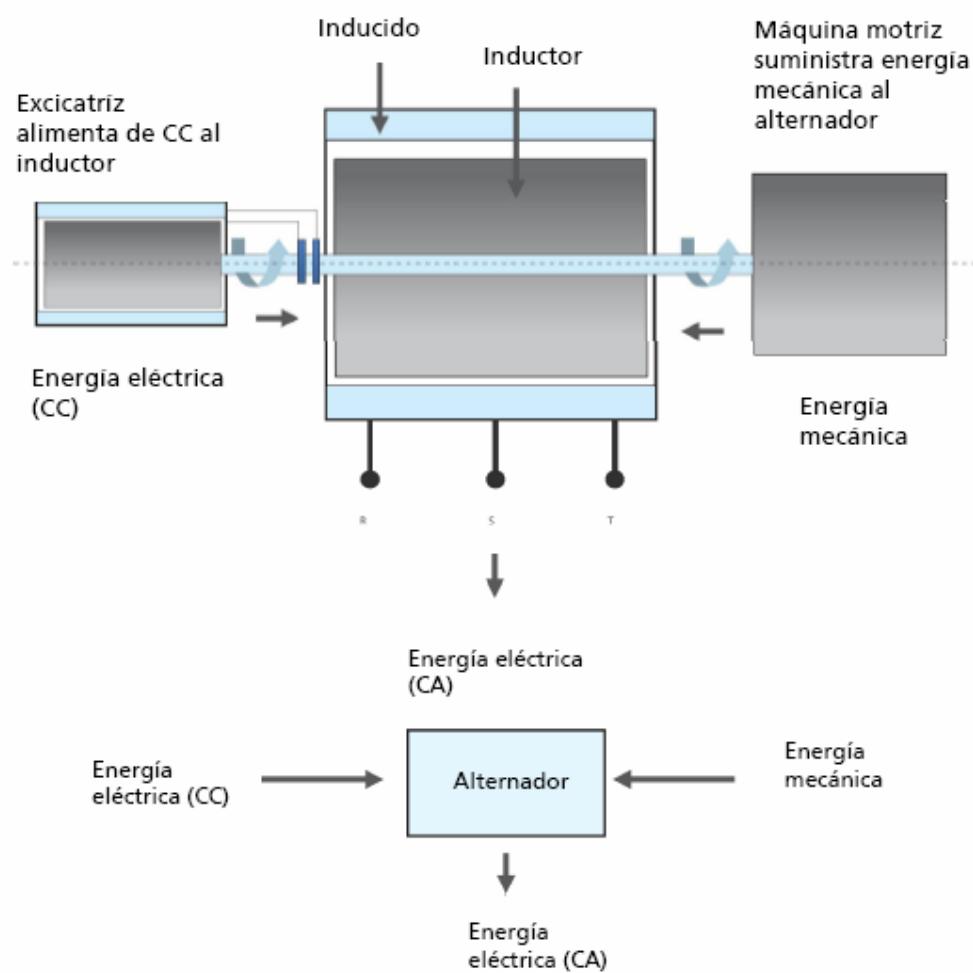
*En este capítulo
veremos cómo
podemos entre usted
y yo comprender
cómo generamos la
energía eléctrica para
nuestra vida
cotidiana.*



5.1 Tipos de Alternadores

En este capítulo vemos la máquina generador utilizada en las centrales de generación.

El alternador transforma la energía mecánica en energía eléctrica



Hay dos tipos de alternadores:



De armadura giratoria

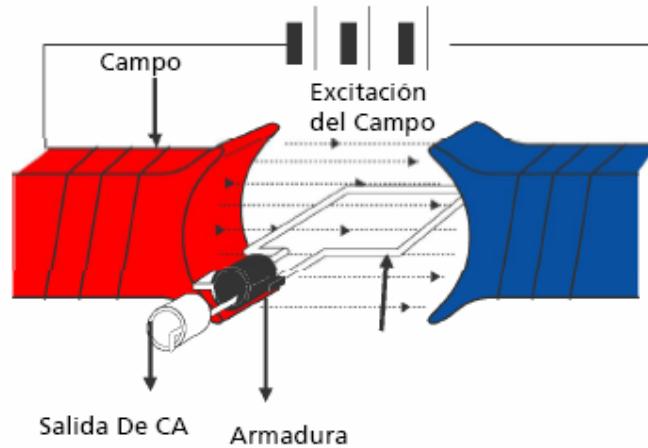


De campo giratorio

1

Alternador de armadura giratoria

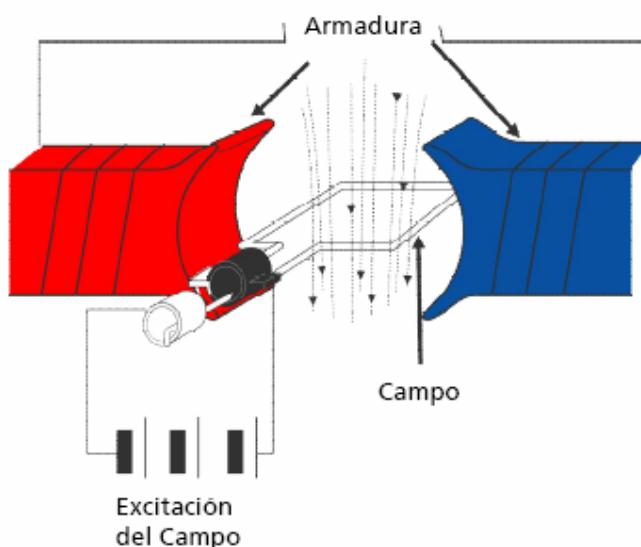
El alternador de armadura giratoria se parece en su construcción a la dinamo de CC en que la armadura gira dentro de un campo magnético estacionario. En la dinamo de CC, la FEM producida en los bobinados de la armadura se convierte en corriente continua gracias al colector, mientras que en el alternador la CA producida es transmitida por medio de anillos de contacto a los terminales de carga, sin sufrir variaciones. El alternador de armadura giratoria sólo se encuentra en los alternadores de poca potencia y por lo general no se usan.



2

Alternador de campo rotatorio

El alternador de campo rotatorio tiene el bobinado de la armadura fijo y el bobinado de campo giratorio. La ventaja de que la armadura sea estacionaria radica en que la tensión generada puede conectarse directamente con la línea de carga. La armadura rotatoria requeriría anillos de contacto para transmitir la corriente desde la armadura hasta el circuito externo. Como los anillos de contacto están al descubierto, se producirían arcos y cortocircuitos al generarse altos voltajes. Por eso los alternadores de alta tensión suelen ser de campo giratorio. La tensión aplicada al campo giratorio es corriente continua de bajo voltaje y, por lo tanto, se evita el problema de la formación de arcos en los anillos de contacto.



Los alternadores de gran potencia propulsados por turbinas de alta velocidad

El propulsor primario de este tipo de alternador, es una turbina de vapor de alta velocidad accionada por vapor a alta presión.

Debido a la gran velocidad de rotación el rotor del alternador de impulsión a turbina es cilíndrico, de escaso diámetro y de bobinados firmemente asegurados en las ranuras de su superficie.

Los bobinados están dispuestos de manera que forman dos o cuatro polos distintos.

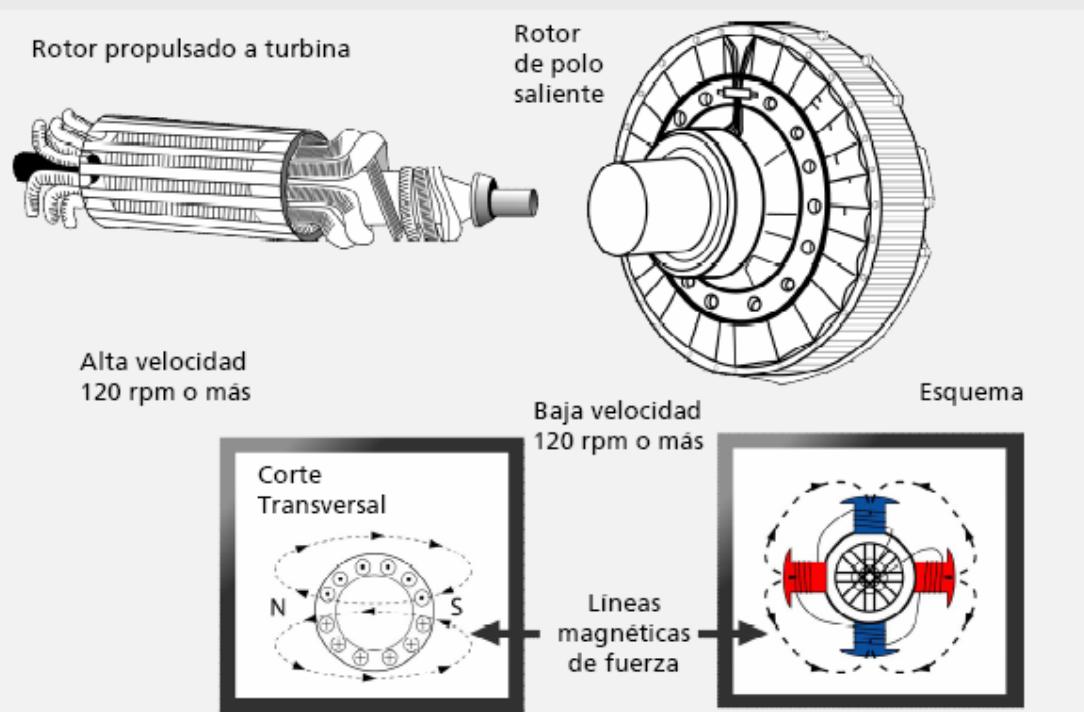
Únicamente con este tipo de construcción el rotor sin romperse puede soportar la tremenda fuerza centrífuga desarrollada por las grandes velocidades.

Los alternadores de menor velocidad

Son accionados por motores, energía hidráulica, turbinas con engranaje y motores eléctricos, se emplea el rotor de polo saliente. En este tipo de rotor varias piezas polares bobinadas por separado están abalonadas con el bastidor del rotor. Los bobinados de campo van conectados en serie o en grupos en serie pero conectados a su vez en paralelo. En ambos casos los extremos de los bobinados están conectados con anillos de con tacto montados en el árbol del rotor. Cualquiera sea el tipo de rotor que se emplee, sus bobinados siempre son excitados por separado mediante una dinamo de CC llamada "excitatrix".

- La armadura estacionaria o estator del alternador contiene los bobinados que son atravesados por el campo magnético rotativo.
- El voltaje generado en la armadura a raíz de este desplazamiento transversal es la corriente alterna que se aplica a la carga.

- Los estatores de todos los alternadores son esencialmente iguales.
- El estator consiste en un núcleo de hierro laminado con los bobinados del inducido incluidos en este núcleo. El núcleo va asegurado al bastidor del estator



Ecuaciones Características del Motor de Corriente Directa

1

Alternador Monofásico

2

Alternador Bifásico

3

Alternador Trifásico

1

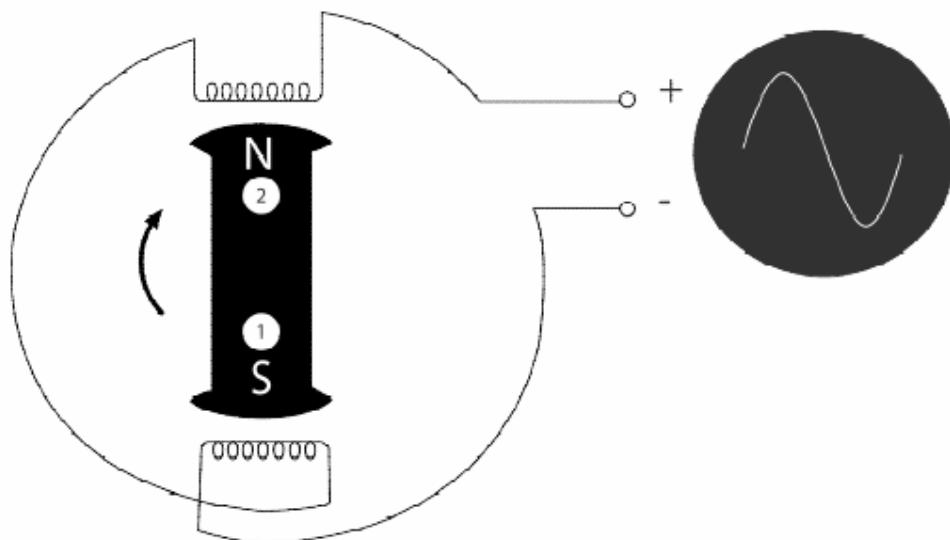
Alternador Monofásico

El alternador monofásico tiene todos los conductores del inducido conectados en serie o en paralelo; esencialmente un solo bobinado en el cual se genera un voltaje de salida.

Si usted comprende el principio del monofásico, entenderá fácilmente el funcionamiento del alternador polifásico.

- En el esquema de abajo aparece un alternador monofásico bipolar.
- El estator es bipolar porque el bobinado forma dos grupos polares distintos, estando devanados ambos polos en el mismo sentido alrededor de la carcasa del estator.
- Observe que el rotor también consiste en dos grupos polares, siendo los polos adyacentes de polaridad opuesta.
- Cuando el rotor gira, sus polos inducen voltajes alternos en las bobinas del estator.
- Como un polo del rotor está en la misma posición con respecto a un polo del estator del rotor que cualquier otro polo del rotor, los dos polos del estator son cortados por una cantidad igual de líneas magnéticas de fuerza en un momento dado.

Alternador monofásico



Procedimiento para el desarmado del motor

En consecuencia, las tensiones inducidas en cada uno de los dos polos del bobinado del estator tienen la misma amplitud o valor en un instante dado. Los dos polos del bobinado del estator están conectados entre sí, de manera que las tensiones de CA están en fase, o se "suman en serie". Supongamos que el polo 1 del rotor, o polo sur, induce un voltaje con la polaridad que aparece en el polo 1 del estator. Como el polo 2 del rotor es norte, inducirá en el polo 2 del estator una tensión de polaridad opuesta con relación a la tensión inducida en el polo 1 del estator. Para que las tensiones de los dos polos se sumen en serie, los polos 1 y 2 van conectados según se ve en el grabado.

- Los alternadores polifásicos tienen dos o más bobinados monofásicos espaciados simétricamente alrededor del estator.
- En el alternador bifásico hay dos bobinados monofásicos espaciados de manera que la tensión alterna inducida en uno de ellos esté 90 grados fuera de fase con la tensión inducida en el otro.
- Los bobinados están eléctricamente separados entre sí.

La única manera de obtener una diferencia de fase de 90 grados consiste en espaciar los bobinados de manera que mientras uno de ellos es atravesado por un flujo de campo máximo, el otro lo sea por un flujo cero.

¡ATENCIÓN!

Los dos polos del estator están en serie, de manera que las tensiones inducidas en cada polo se suman, suministrando una tensión total que es doble de la producida en cada uno de ellos.



2

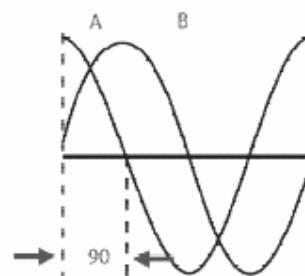
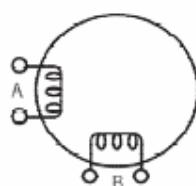
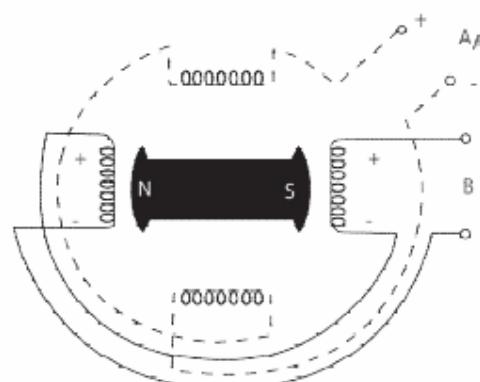
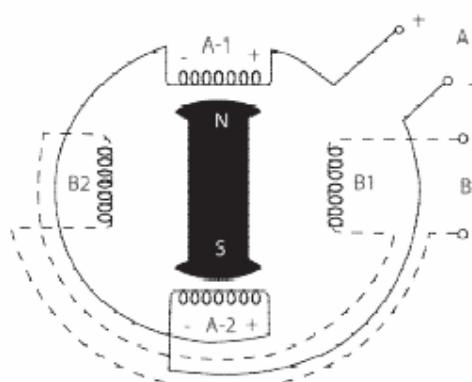
Alternador Bifásico

A Alternador bipolar bifásico

- El estator consiste en dos bobinados monofásicos completamente independientes. Cada bobinado consta de una serie de dos bobinados que están en fase y conectados de manera que sus voltajes se suman.
- El rotor es idéntico al empleado en el alternador monofásico.
- En el primer esquema los polos del rotor están frente a los bobinados de la fase A.
- Por lo tanto la tensión inducida en la fase A es máxima y la inducida en la fase B es cero. Cuando el rotor sigue girando, se aleja de los bobinados A y se acerca a los B.

• A raíz de esto la tensión inducida en la fase A disminuye desde su valor máximo y la inducida en la fase B asciende desde cero.

- En el segundo esquema los polos del rotor están frente a los bobinados de la fase B. Ahora la tensión inducida en la fase B es máxima, mientras la inducida en la fase A ha caído a cero.
- Observe que una rotación de 90 grados del rotor corresponde a un cuarto de ciclo, o sean 90 grados. El diagrama de las ondas muestra las tensiones inducidas en las fases A y B para un ciclo completo. Las dos tensiones tienen una diferencia de fase de 90 grados.



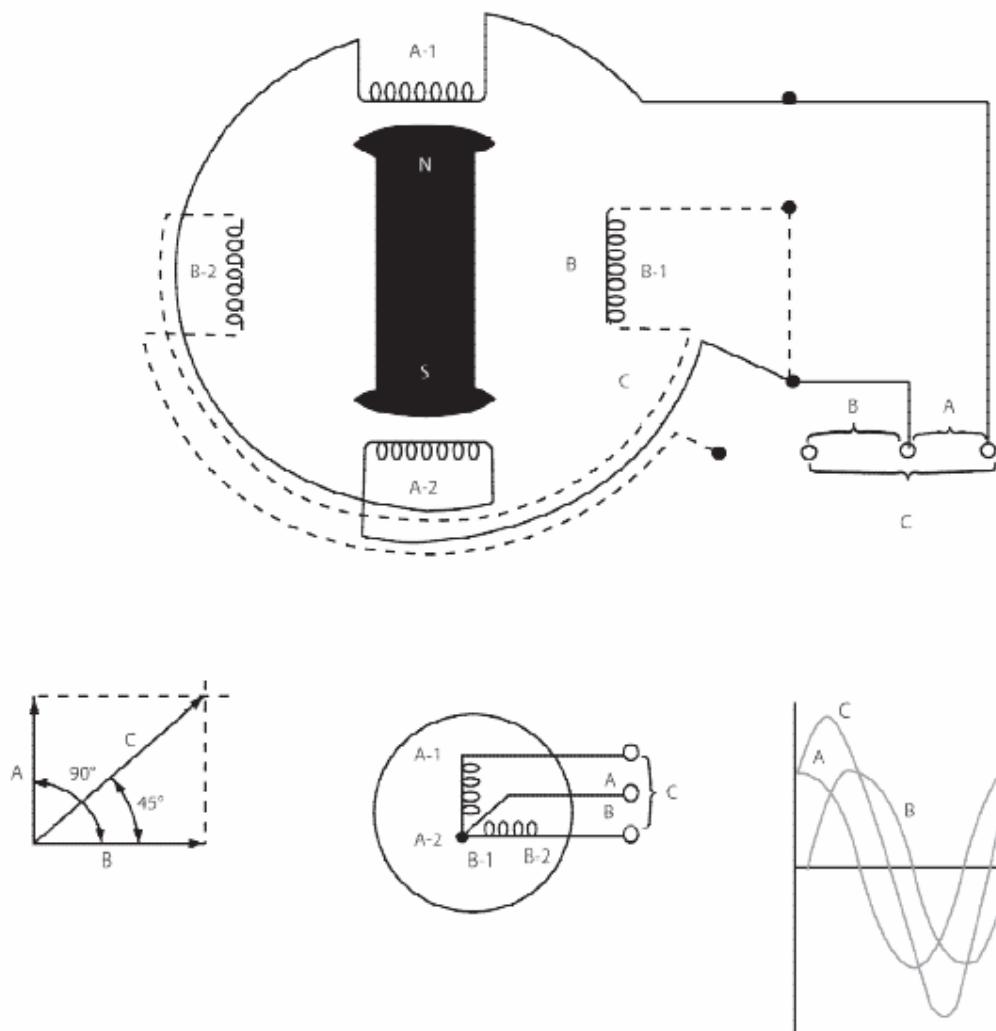
B Alternador bifásico de tres conductores

• Si las fases del alternador bifásico se conectan de manera que salgan al exterior tres conductores, en vez de los cuatro originales (dos para cada fase), entonces el alternador se denomina bifásico de tres conductores, según aparece el esquema de abajo.

- El esquema ha sido simplificado de manera que el rotor aparezca y que la fase completa, consistente en varios bobinados en serie, se vea como un bobinado solo. Los bobinados han sido dibujados en ángulo recto para representar el desplazamiento de fase de 90 grados entre ellos.

- Los tres conductores posibilitan tres conexiones de carga distintas, A y B entre cada una de las fases, y C entre ambas fases. La tercera tensión representa la suma vectorial de las tensiones de las dos fases; su magnitud es mayor que cualquiera de los dos voltajes de fase y tiene un desplazamiento de 45 grados con respecto a las dos fases que la componen.

- La tensión resultante es igual a la raíz cuadrada de dos ($\sqrt{2} = 1,414$) multiplicada por la tensión de fase.



3

El alternador trifásico

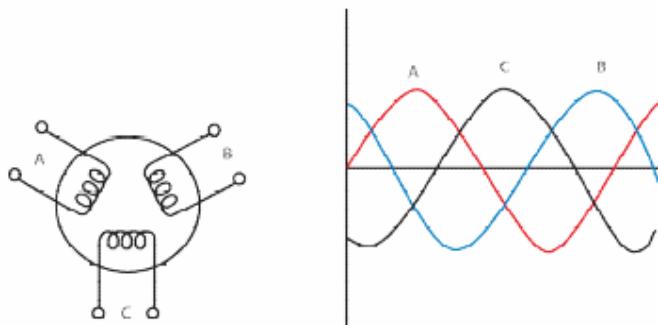
• Como su nombre lo indica, tiene tres bobinados monofásicos espaciados de manera que la tensión Inducida en cualquiera de ellos tiene un desplazamiento de fase de 120 grados con respecto a las otras dos.

- El esquema del estator trifásico que mostrase todas las bobinas sería muy complejo y resultaría difícil de interpretar. Pero en el esquema simplificado vemos todos los bobinados de una sola fase agrupados como uno solo, según la ilustración.

• En vez de hacer salir seis terminales del alternador trifásico, los mismos terminales de cada fase se conectan entre sí formando una "Y" o conexión en "estrella". El punto de conexión se denomina neutro, mientras que la tensión desde este punto hacia cualquiera de los terminales de la línea será la tensión de fase. La tensión total o tensión de línea es 1,73 veces mayor que la tensión de fase. Como los bobinados sólo ofrecen un camino único al flujo de corriente entre fases, las corrientes de línea y de fase son iguales.

• El rotor ha sido omitido por razones de simplicidad. Las ondas de voltaje generadas en cada fase aparecen en el gráfico con un desplazamiento de 120 grados entre ellas.

- El alternador trifásico que se muestra a continuación es esencialmente un conjunto de tres alternadores monofásicos cuyas tensiones generadas están fuera de fase en 120 grados. Las tres fases son independientes entre sí.



- El estator trifásico también se puede conectar de manera que las fases estén unidas en los extremos.

- En la conexión en triángulo las tensiones de línea son iguales a la tensión de fase, pero las intensidades de línea serán iguales a la suma vectorial de las intensidades de fase.

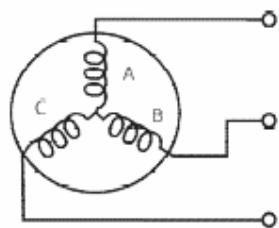
- Esto se llama conexión "en triángulo".

- Como las fases están 120 grados fuera de fase. La intensidad de línea será 1,73 veces la intensidad de fase.

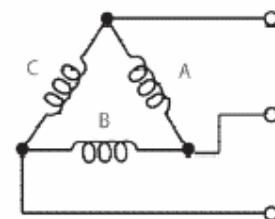
En los alternadores trifásicos se utilizan dos tipos de conexiones:

1 En estrella

2 En triángulo



Conexión trifásica en estrella



Conexión trifásica en triángulo

5.2

Regulación de Frecuencia y Voltaje

La frecuencia de la corriente alterna generada por el alternador depende de



La cantidad de polos



La velocidad del rotor

- Cuando un rotor ha girado hasta que dos polos adyacentes del rotor (norte y sur) hayan atravesado un mismo bobinado, la tensión inducida en ese bobinado habrá variado un ciclo completo de 360 grados eléctricos.

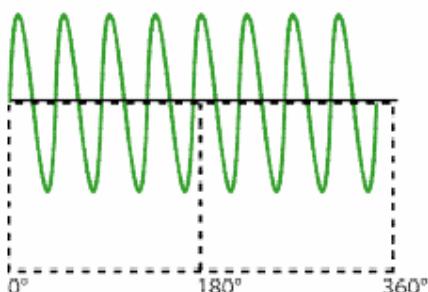
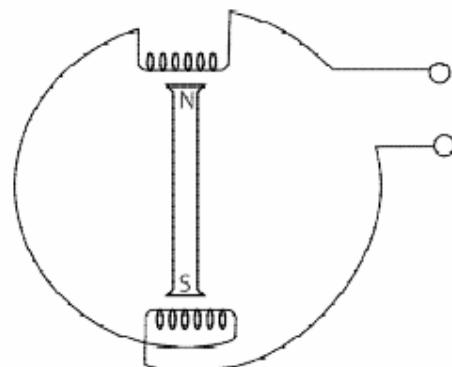
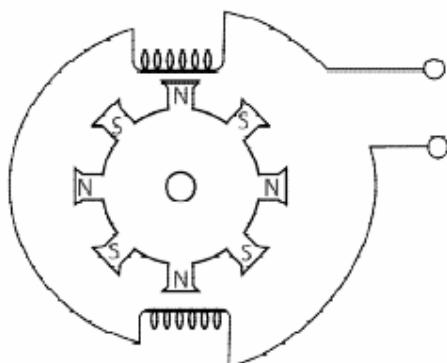
- Cuantos más polos haya, menor será la velocidad de rotación para una frecuencia dada.

- La máquina de dos polos debe girar a doble velocidad que la de cuatro polos para producir la misma frecuencia.

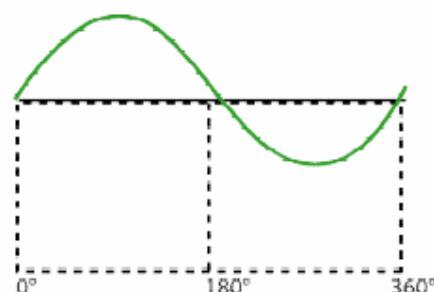
- La magnitud de la tensión generada por el alternador se modifica haciendo variar la fuerza del campo (corriente de campo).

En el alternador, igual que en la dinamo de CC, la tensión de salida varía de acuerdo con la carga. Además de la caída IR, también se produce en los bobinados otra caída de tensión que se denomina caída IXL. La caída IXL, se debe a la reactancia inductiva de los bobinados. Las caldas IR e IXL reducen la tensión de salida a medida que aumenta la carga.

La modificación que experimenta la tensión desde carga cero hasta plena carga se denomina regulación de voltaje del alternador. Puede mantenerse una tensión de salida constante del alternador variando la fuerza de campo según lo exijan los cambios en la carga.



8 polos. Baja velocidad



2 polos. Alta velocidad

¡ATENCIÓN!

La mayoría de los alternadores que se utilizan en la actualidad son máquinas de bobinados trifásicos.

Esto se debe a que los alternadores trifásicos tienen mucho más rendimiento que los bifásicos o monofásicos.

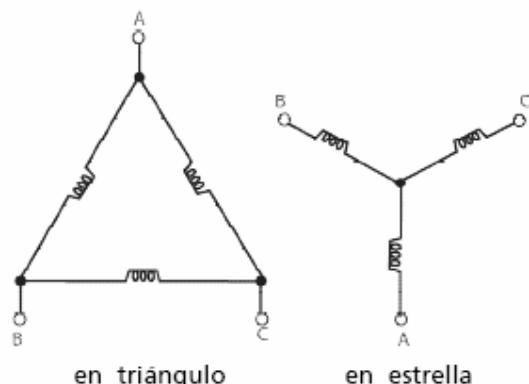


Las bobinas del estator de los alternadores trifásicos pueden unirse entre sí mediante conexiones en estrella o en triángulo, según se ve en el grabado de abajo.

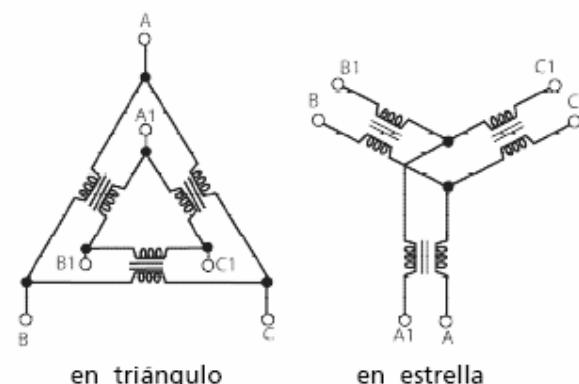
En este tipo de conexión sólo tres conductores salen del alternador, lo cual permite su conexión conveniente con otros equipos trifásicos. Comúnmente se emplean transformadores trifásicos conectados con este tipo de sistema.

Estos dispositivos pueden estar compuestos por tres transformadores monofásicos conectados de la misma manera que los alternadores. Si el primario y el secundario están conectados en estrella, el transformador se denomina "estrella-estrella". Si están conectados en triángulo, el transformador se llama "triángulo-triángulo".

CONEXIONES DE ALTERNADORES



CONEXIONES DE TRANSFORMADORES

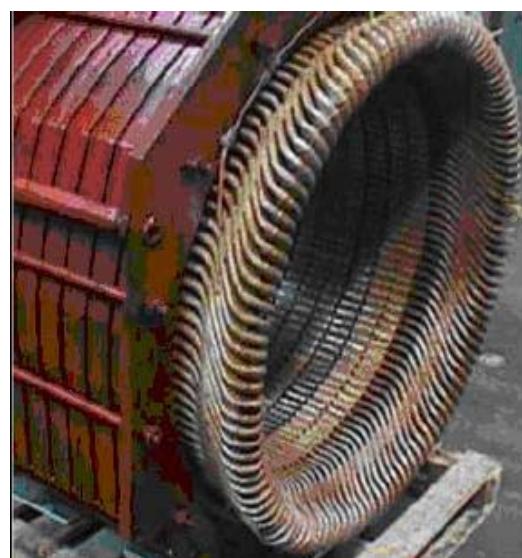


A, B y C son las terminales primarias. A1, B1 y C1 son los terminales secundarios.

Rotor de polos salientes



Estator de la máquina sincrónica

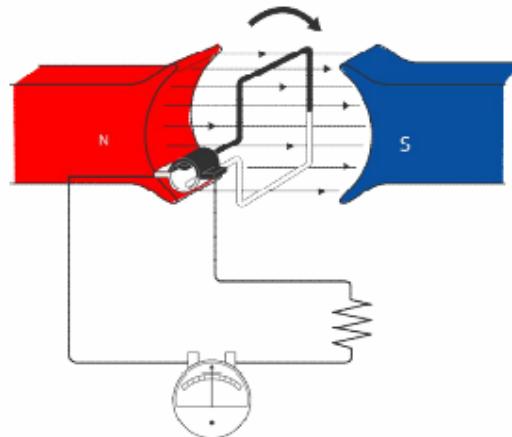


5.3

Repaso de Generadores de CA

Generador de CA

El generador de CA es esencialmente una espira que gira dentro de un campo magnético. Al ser cortado el campo magnético por la espira, se genera en ella una tensión alterna. Esta CA sale de la espira por medio de anillos de contacto y se aplica a una carga externa.

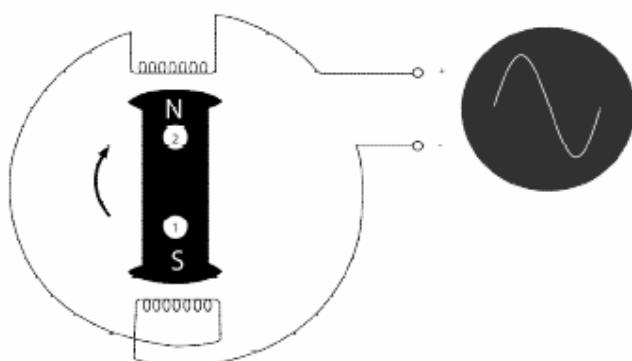


Inducidos e inductores de los alternadores

El inducido es estacionario y el Inductor gira. En el Inducido se pueden generar altos voltajes que se aplican directamente a la carga sin necesidad de anillos de contacto ni escobillas. El bajo voltaje de CC se aplica al campo Inductor por medio de anillos de contacto, pero esto no plantea ningún problema de aislación.

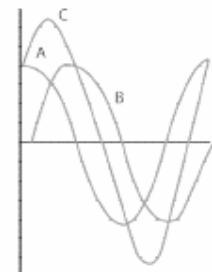
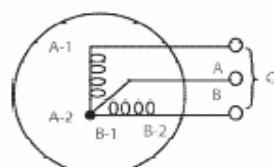
Alternador monofásico

El alternador monofásico tiene un Inducido consistente en varios bobinados colocados simétricamente alrededor del estator y conectados en serie. Las tensiones generadas en cada bobinado se suman entre sí produciendo la tensión total en los dos terminales de salida.



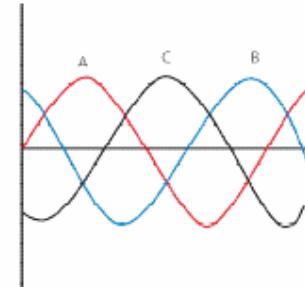
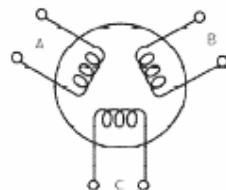
Alternador bifásico

El alternador bifásico consta de dos fases cuyos bobinados están colocados de tal manera alrededor del estator, que las tensiones generadas en ellos están fuera de fase en 90 grados.



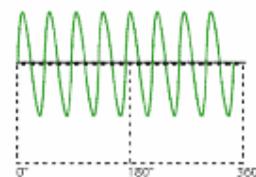
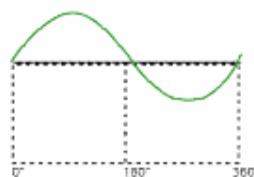
Alternador trifásico

En el alternador trifásico los bobinados generan tensiones cuya diferencia de fase es de 120 grados. Los alternadores trifásicos se utilizan más a menudo para producir energía eléctrica alterna.



Frecuencia del alternador

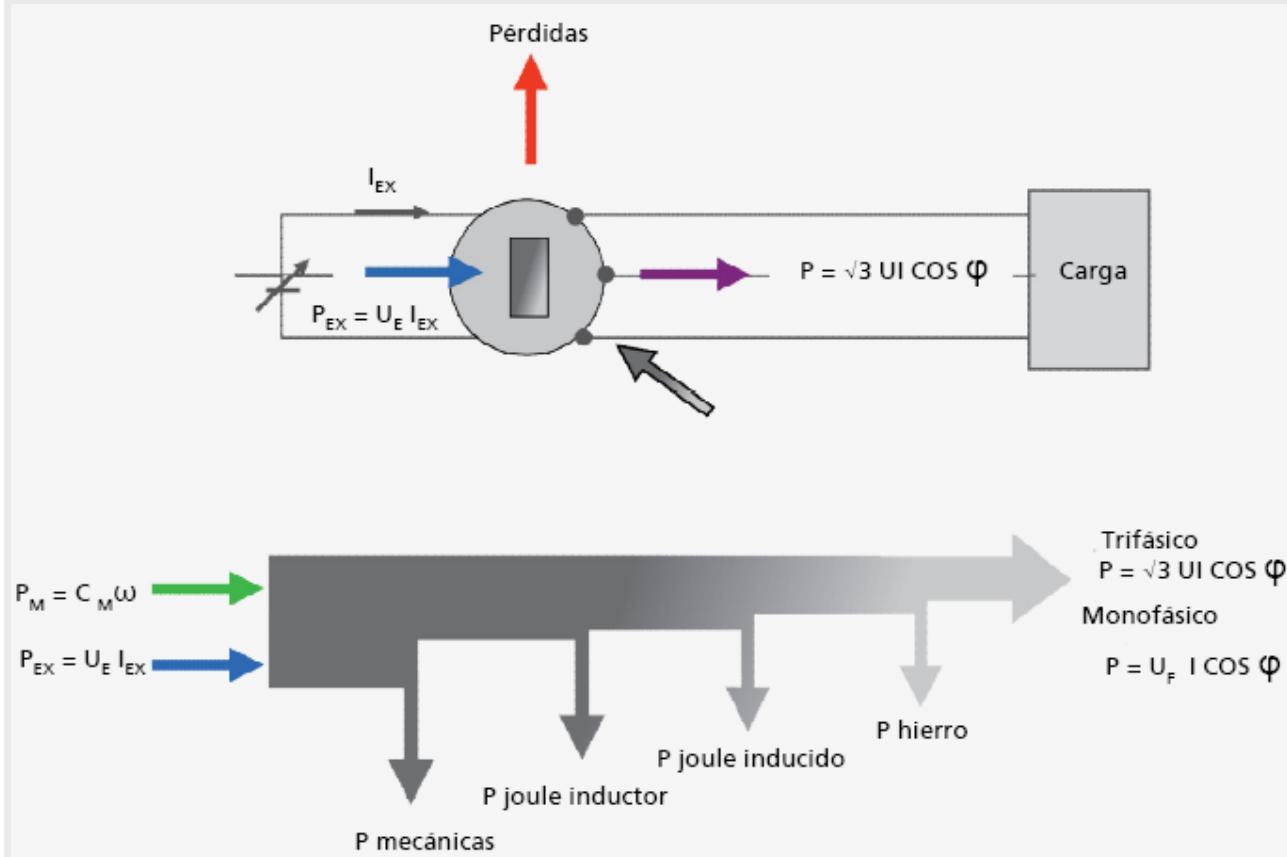
La frecuencia de la corriente alterna generada por el alternador depende de la velocidad de rotación y de la cantidad de pares de polos del rotor. La regulación de tensión del alternador es más deficiente que la de la dinamo de CC debido a la caída en el bobinado del Inducido.



5.4

El Alternador con Diferentes Tipos de Carga

En este esquema observamos las potencias puestas en juego en todo el sistema del alternador.



En este esquema se ve que :

P_m = a la potencia de la máquina motriz.

P_{ex} = potencia de la excitatriz

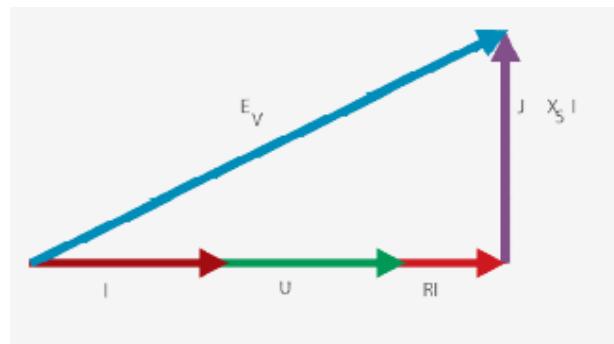
$P_{mecánicas}$ = pérdidas mecánicas

P_{ji} = pérdidas por efecto joule en el inductor y el inducido.

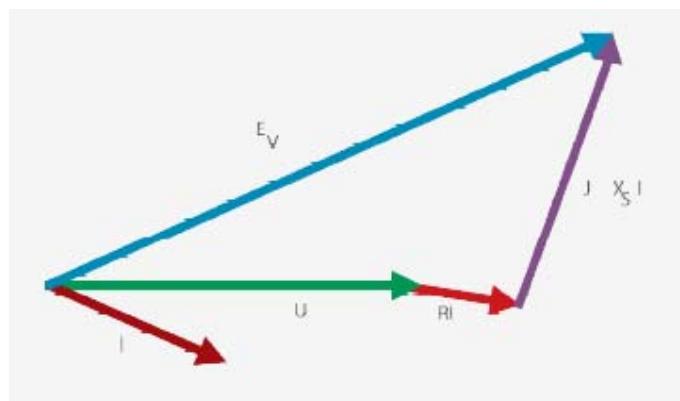
P_h = pérdidas en el hierro.

P = potencia que toma la carga del generador.

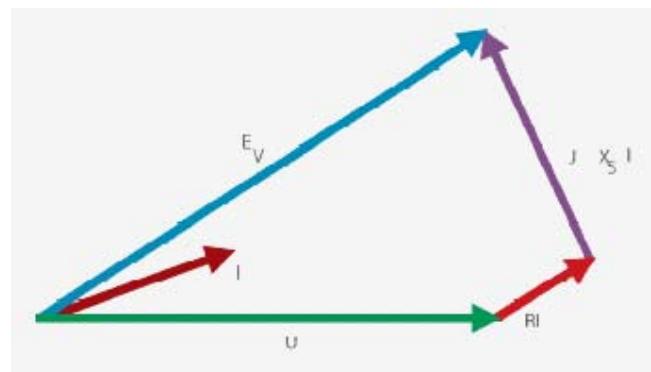
En este esquema observamos las potencias puestas en juego en todo el sistema del alternador.



Veamos el alternador con carga inductiva, la corriente está retrasada a la tensión aplicada.



Veamos el alternador con carga capacitativa, la corriente está adelantada a la tensión aplicada.



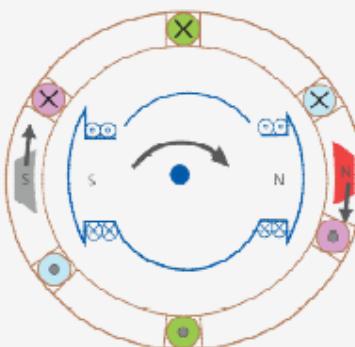
5.5

Reacción del Inducido en un Alternador

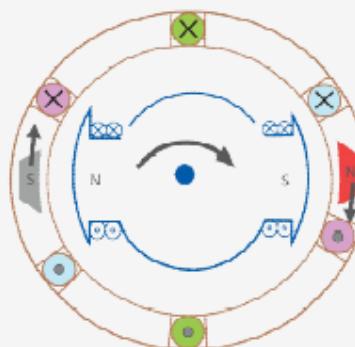
Reacción del inducido



Círcuito resistivo:
reacción transversal



Círcuito inductivo:
reacción longitudinal
sustractiva



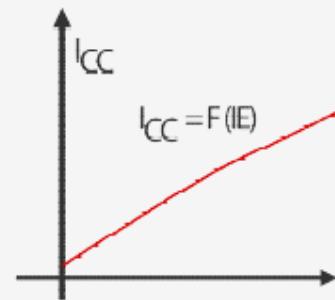
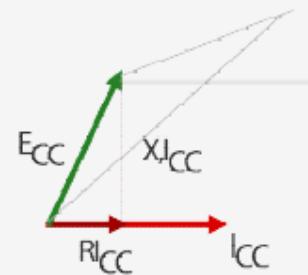
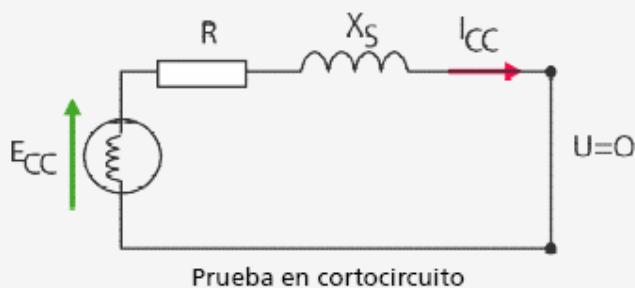
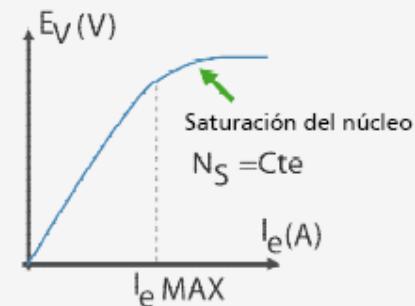
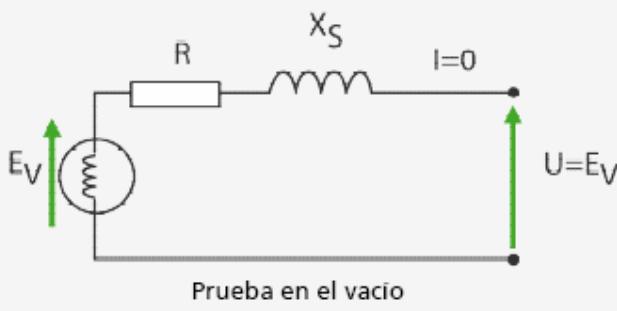
Círcuito inductivo:
reacción longitudinal
aditiva

5.6

Determinación de la Reactancia Síncrona

Se ha de realizar:

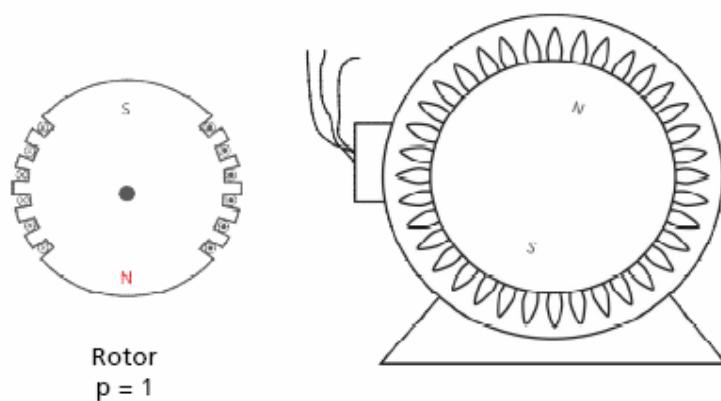
- Prueba en Vacío, para obtener la característica en vacío $E_v = f(I_e)$
- Prueba en cortocircuito, para obtener la característica $I_{cc} = f(I_e)$
- Obtener la reactancia síncrona X_s



5.7 Tipos de Inductores

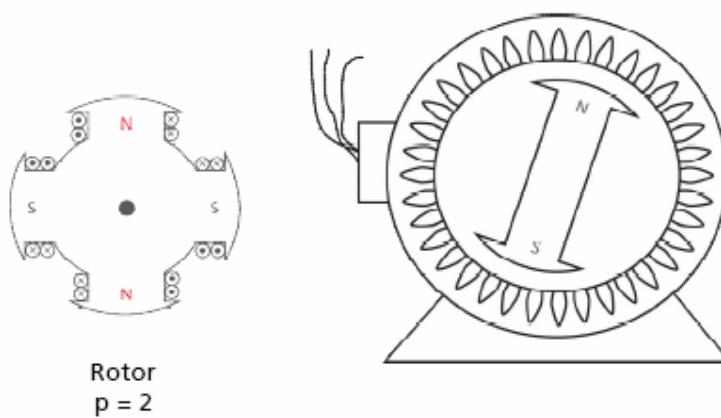
Observemos esquemáticamente los dos inductores más utilizados :

Rotor de polos lisos



Elevadas velocidades de giro (2-4 polos).
Se usa con turbinas de gas y vapor.

Rotor de polos salientes



Bajas velocidades de giro (+ 4 polos).
Se usa con turbinas hidráulicas.

ACTIVIDAD 5

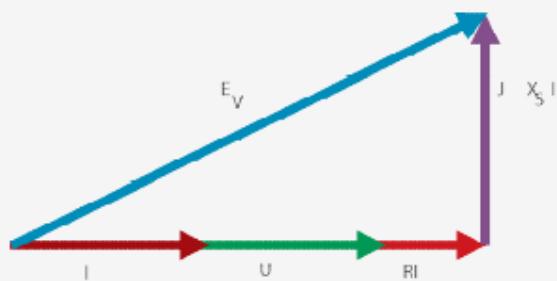
Al visualizar un grafico se obtiene información Son muchos los instrumentos de medición que dan estos gráficos y es necesario saber interpretar lo observado. A continuación se presenta la siguiente actividad para afianzar los conceptos.



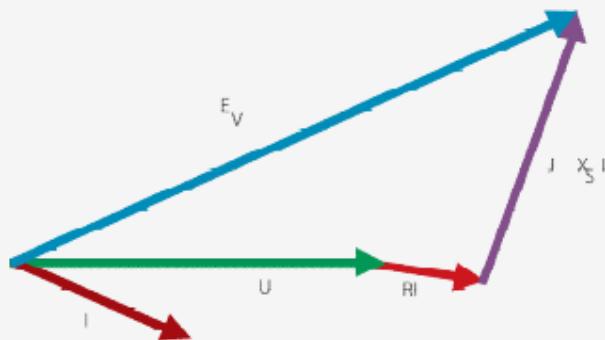
Complete correctamente los espacios en blanco.

1

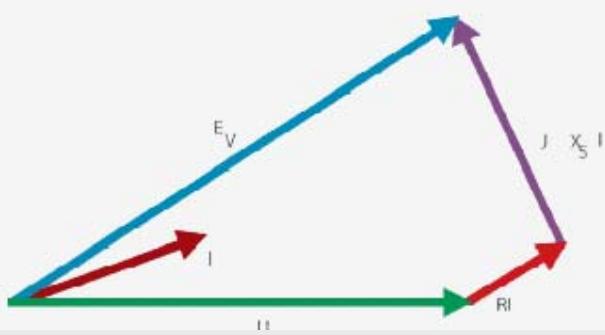
Veamos el alternador con carga resistiva, la corriente está _____ con la tensión aplicada.

**2**

Veamos el alternador con carga inductiva, la corriente está _____ a la tensión aplicada.

**3**

Veamos el alternador con carga capacitativa, la corriente está _____ a la tensión aplicada.

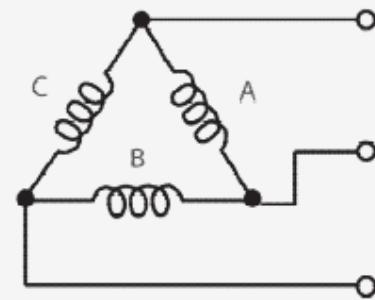
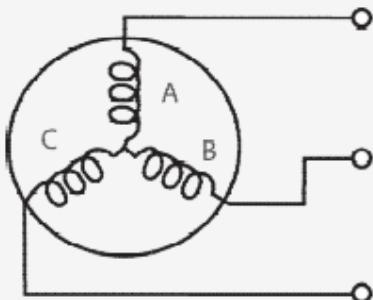


ACTIVIDAD 5

Cuando estemos frente a un motor o un alternador, sus chapas características dan información de cómo conectarlo, le proponemos interpretar estos esquemas que son muy comunes en la vida técnica, le proponemos la siguiente actividad.



Puede indicar en la figura que tipo de conexión se trata
Para cada uno de estos alternadores.



¡¡Felicitaciones! Usted ha finalizado el capítulo 5. A continuación se desarrollará el capítulo Los Motores Síncronos.



Los Motores Síncronos

TEMAS DEL CAPÍTULO 6

6.1 Campo rotante	203
6.2 Tipos de motores sincrónicos	207
6.3 Funcionamiento del motor sincrónico	209
6.4 Arranque de un motor sincrónico	213
6.5 El par de enganche	215
6.6 Ángulo de carga y operación normal	216
6.7 Factor de potencia de diseño y curvas V	218
6.8 Otros motores	223
6.9 Tabla de motores eléctricos disponibles, características y campos de aplicación	230

El motor sincrónico es una aplicación especial del motor de corriente alterna veamos los conceptos más importantes.



6.1 Campo Rotante

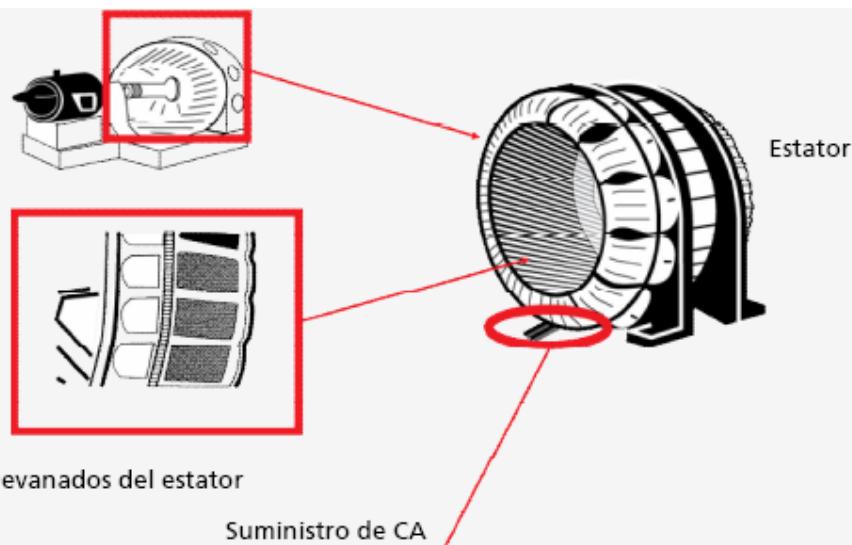
Un motor síncrono es un motor de corriente alterna en el cual el rotor gira a la misma velocidad del campo magnético rotatorio. Para esto, el rotor tiene un devanado que se alimenta con corriente directa durante la operación.

El rotor tiene dos devanados:

 Un segundo devanado o devanado de corriente directa.

 Un devanado para el arranque, el cual puede ser del tipo jaula de ardilla o del tipo rotor devanado.

La figura muestra la distribución de los devanados de armadura (los cuales reciben la alimentación de potencia eléctrica trifásica), observando que hay cierto parecido en relación a los devanados de un motor de inducción común (devanados distribuidos en toda la circunferencia interna del estator)



Los devanados del estator son similares a los de los motores jaula de ardilla o de rotor devanado. Los motores síncronos difieren de los típicos motores de corriente alterna de inducción en que cuando se encuentran girando, se les aplica una excitación de corriente directa a su o sus devanados de campo.

Como la mayor parte de la corriente eléctrica producida es alterna, los motores que se diseñan para CA son muchos. En la mayoría de los casos los motores de CA pueden funcionar de la misma manera que los de CC y son más fáciles de atender.

Esto se debe a que las máquinas de CC tropiezan con ciertas dificultades por el trabajo de conmutación, que requiere escobillas, porta escobillas, líneas neutras, etc.

Muchos motores de CA ni siquiera tienen anillos de contacto, con el resultado de que funcionan sin inconvenientes durante períodos muy largos.

Los motores de CA son ideales para trabajar a velocidad constante, porque en ellos la velocidad esté determinada por la frecuencia de la CA aplicada a los terminales de los mismos. También se hacen motores de CA de velocidad variable, pero dentro de ciertos límites.

Los motores de CA pueden diseñarse para funcionar con una línea de CA monofásica o polifásica.

No importa que sea monofásico o polifásico, el motor siempre funciona en base al mismo principio. Este principio es que la corriente alterna aplicada al motor produce un campo magnético giratorio, el cual, a su vez, hace girar el rotor.

Los motores de CA son generalmente de dos tipos:

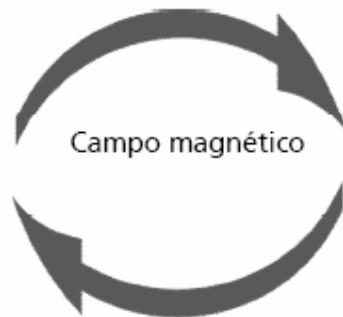
1

El motor sincrónico es en realidad un alternador que funciona como motor, al cual se aplica en el estator una corriente alterna trifásica y en el rotor una corriente continua.

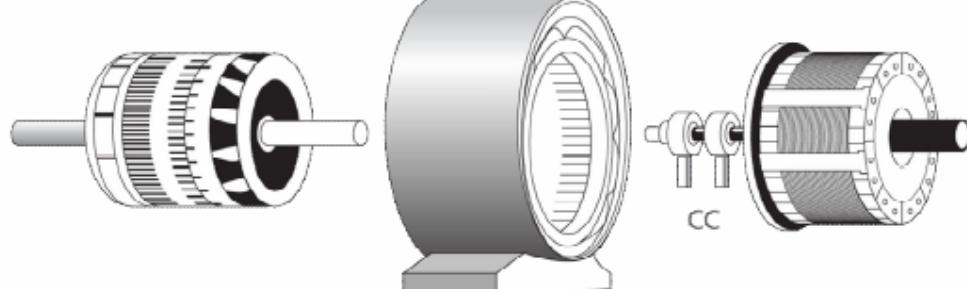
2

El motor de inducción difiere del sincrónico en que el rotor no esté conectado con ninguna fuente de electricidad. De los dos tipos de motores que hemos mencionado, el de inducción es por mucho el más utilizado.

Principio de acción:



Campo sincrónico

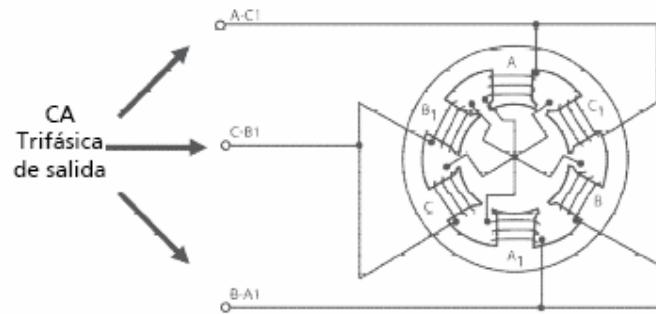


Motor de inducción

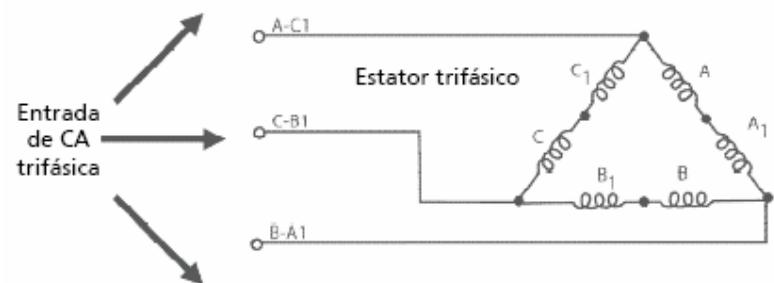
¿Qué relación existe entre la energía y las máquinas eléctricas?

Antes de aprender cómo el campo magnético rotatorio hace que el motor gire, primero deberá saber usted cómo se produce el campo magnético rotatorio.

- En el esquema aparece un motor trifásico al cual se aplica una corriente alterna proveniente de una fuente trifásica como el alternador que hemos estudiado. Los bobinados están conectados en triángulo, según se ve en la figura. Los dos bobinados de cada fase están devanados en el mismo sentido.



- En todo instante el campo magnético producido por una de las fases en particular depende de la intensidad de corriente en esa fase. Si la intensidad es cero, el campo magnético también será cero. Si la intensidad es máxima, el campo magnético tendrá una fuerza máxima.



Como las intensidades de los tres bobinados tienen una diferencia de fase de 120 grados, los campos magnéticos producidos en ellos también tendrán una diferencia de fase en 120 grados.

Ahora bien, los tres campos magnéticos existentes en un instante dado se combinan para producir un solo campo que acciona sobre el rotor.

De un instante al siguiente, los campos magnéticos se combinan, para producir un campo magnético cuya posición varía en un cierto ángulo.

Al completarse un ciclo de CA, el campo magnético se habrá desplazado 360 grados, o sea una revolución.

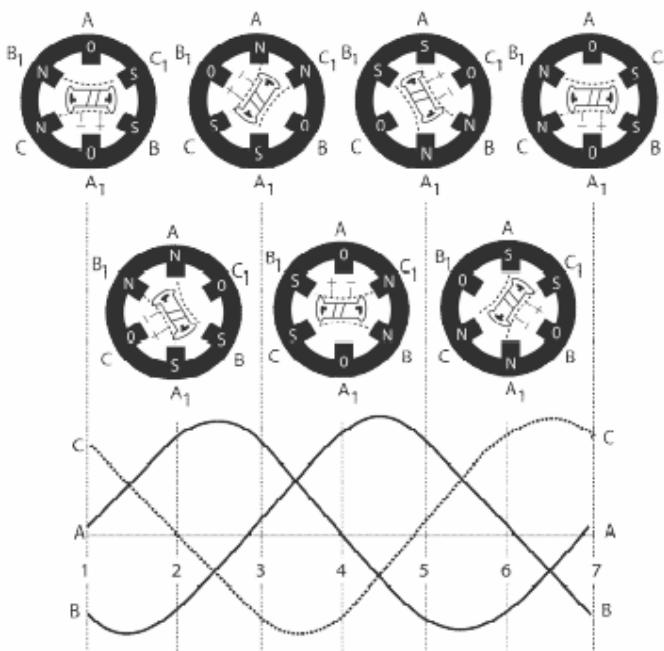
¡ATENCIÓN!

La construcción del motor síncrono es esencialmente la misma que la del alternador de polos salientes

• Para comprender el funcionamiento del motor síncrono supongamos por ahora que la aplicación de CA trifásica al estator provoca el establecimiento de un campo magnético giratorio alrededor del rotor.

- Como el rotor está accionado por CC, hace las veces de barra imantada. Si se permite que una barra imantada gire dentro de un campo magnético, ésta se orientará hasta alinearse con el campo.

- Si el campo magnético giratorio es elevado, ejercerá una intensa fuerza de rotación sobre la barra imantada. Por lo tanto, la barra podrá accionar una carga mientras gira acompañando al campo magnético rotatorio.



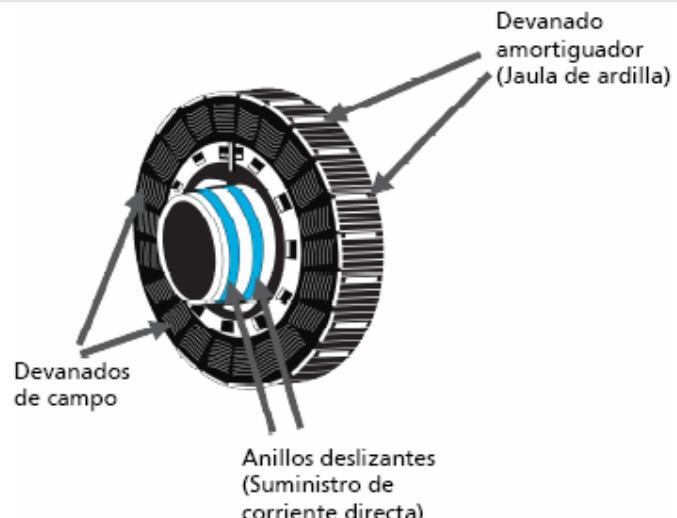
El rotor gira con el campo magnético

¡ATENCIÓN!

A diferencia de los motores de corriente directa en donde el devanado de campo se encuentra en el estator, en los motores síncronos se encuentra en el rotor y reciben alimentación a través de anillos deslizantes y escobillas.



El devanado de campo en los motores síncronos utilizados frecuentemente en la industria para aplicaciones de velocidad constante (como por ejemplo hacer girar las armaduras de generadores de corriente directa), son de baja velocidad y cuentan con 10, 12, 14 y hasta 24 polos, los cuales se instalan en el rotor en una configuración de polos salientes, tal como se ilustra en la figura.



Sobre las caras polares se instalan una serie de barras interconectadas que forman los devanados amortiguadores, los cuales operan como jaula de ardilla durante el arranque



¡ATENCIÓN!



Algunas características distintivas de los motores síncronos son su operación a velocidad constante y la oportunidad que ofrecen de ajuste del factor de potencia.

Otras ventajas son su alta eficiencia en motores de baja velocidad y en motores de alta velocidad de factor de potencia unitarios, así como su baja corriente de arranque en relación a sus equivalentes de inducción.

Como desventajas se consideran su bajo par de arranque y la necesidad de una fuente adicional de voltaje de corriente directa para la alimentación al campo.

6.2

Tipos de Motores Síncronos

Un motor síncrono puede ser de dos tipos:



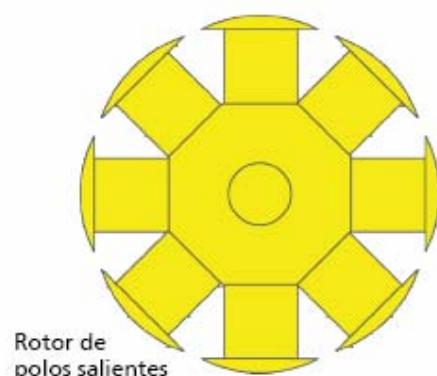
De polos salientes



Rotor listo

Rotor de polos salientes

- Se compone de imanes, como se muestra en la figura, los cuales pueden ser permanentes (en el caso de motores pequeños).
- Electromagnéticos, también el rotor consta de uno o más pares de polos.



Rotor de polos salientes

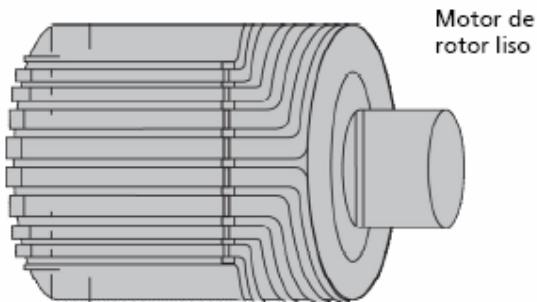
•Este tipo de motor no puede arrancar por sí sólo debido a la alta inercia del rotor y a la alta velocidad con la cual gira el campo magnético.

•El rotor debe ser acelerado hasta alcanzar la misma velocidad que el campo magnético, esto se puede lograr por medio de un arrancador o un drive de frecuencia ajustable.

Un rotor liso

•El que se muestra en la figura, consta de placas, las cuales cubren 2/3 partes de la superficie del rotor.

•Estas placas se colocan de manera que formen un par de polos, a este tipo de motor también se le llama motor de reluctancia. Un motor de reluctancia se puede utilizar para aplicaciones de alta y baja velocidad, además de que puede arrancar por sí mismo.



¡ATENCIÓN!



La velocidad de un motor sincrónico es constante e independiente de la carga. La carga de un motor sincrónico debe estar dentro de la capacidad de fuerza electromagnética generada entre el rotor y el campo magnético. En caso de que la carga sea muy alta se podría perder la sincronía y el motor se detendría.

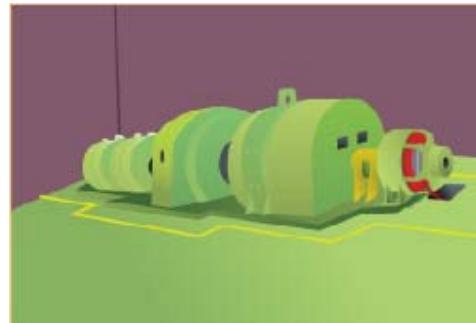
Los motores sincrónicos se utilizan para la operación en paralelo de varias máquinas independientes.

6.3 Funcionamiento del Motor Síncrono

¡ATENCIÓN!

Los motores síncronos generalmente se utilizan para mover cargas que requieren velocidades constantes y que no requieren arrancar y parar frecuentemente. Algunos de estos tipos de cargas son los grupos motor -generador (MG), ventiladores y compresores

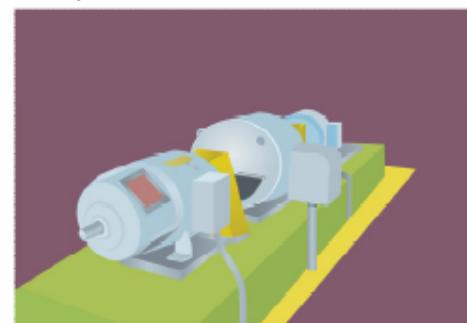
Motor síncrono utilizado como fuerza motriz



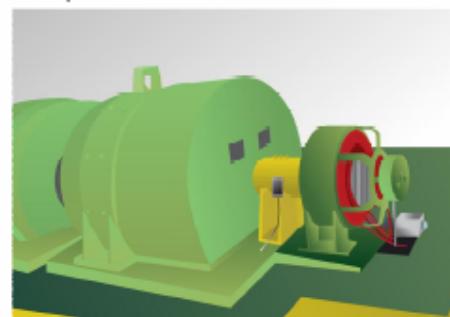
A los motores síncronos de alta velocidad generalmente la excitación a campo es provista por un pequeño generador de corriente directa acoplado directamente a la flecha del motor, en tanto que en motores síncronos de baja velocidad se le provee alimentación al devanado de campo a través de una excitación independiente (el cual pudiera ser un drive de CC, un pequeño generador de CC independiente o de un bus de CC).

A diferencia del motor de la figura anterior, en el motor de la figura siguiente se tiene el generador del excitador de campo del motor síncrono acoplado a la misma eje (flecha) del motor síncrono como se muestra, esto genera la necesidad de que el generador produzca pleno voltaje de excitación cuando el rotor del motor síncrono se acerca a la velocidad síncrona durante el arranque y así se pueda aplicar plena excitación al campo.

Motor síncrono con excitador de campo



Excitador de campo motor síncrono acoplado a la misma flecha del motor



¡ATENCIÓN!

Un motor síncrono no se puede arrancar con el campo energizado con corriente directa.

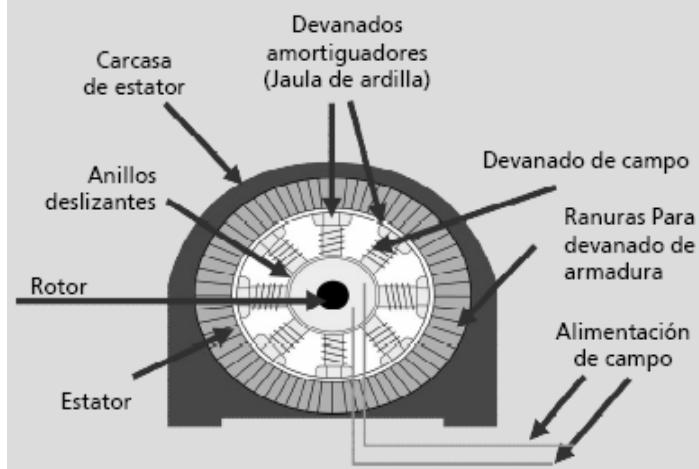
Bajo esta condición se produce un par alterno en el rotor. Cuando el campo magnético giratorio pasa a través del rotor, primero se tiende a hacer que el rotor gire en dirección opuesta a la del campo rotatorio y después en la misma dirección. Esta acción se lleva a cabo tan rápidamente que el rotor permanece estacionario.

MANTENIMIENTO

Para arrancar el motor síncrono, el rotor se deja des-energizado y el motor se arranca de la misma forma que un motor jaula de ardilla o rotor devanado, dependiendo de la construcción del rotor.

Cuando el rotor alcanza aproximadamente el 95% de la velocidad síncrona, se aplica corriente directa al devanado del rotor a través de anillos deslizantes. La corriente directa produce polos fijos norte y sur en el rotor. Estos polos son atraídos y sujetos a los polos opuestos del campo giratorio del estator.

- Debido a que el rotor gira con una velocidad síncrona, el campo magnético del estator deja de cruzar los conductores del rotor.
- Así, la única corriente que fluye en el rotor es la corriente directa de excitación.
- La velocidad de un motor síncrono es constante y no puede ser cambiada a menos que se cambie la frecuencia del voltaje de alimentación a su devanado de armadura.
- Todo esto se ilustra en la figura.
- Si el rotor se retrasa momentáneamente de la velocidad síncrona, producirá un voltaje inducido y la corriente del rotor se incrementará.
- Esto hace que el rotor regrese a su velocidad síncrona. Durante el período de arranque el campo rotatorio induce un voltaje en ambos, el devanado de corriente alterna y el devanado excitador de corriente directa.
- Debido a la velocidad del campo giratorio y al gran número de espiras del devanado de excitación, este voltaje puede ser muy elevado en el devanado del rotor. El voltaje puede ser tan alto que se podría dañar el aislamiento.
- También se induce un alto voltaje cuando se le quita la alimentación de corriente directa al devanado excitador. Debido a esto, siempre se conecta una resistencia de bajo valor a través del campo de excitación y se abre cuando se realiza la transferencia a la fuente de corriente directa. A esta resistencia se le llama resistencia de descarga de campo

Los polos hacen que el rotor gire a la velocidad del campo del estator

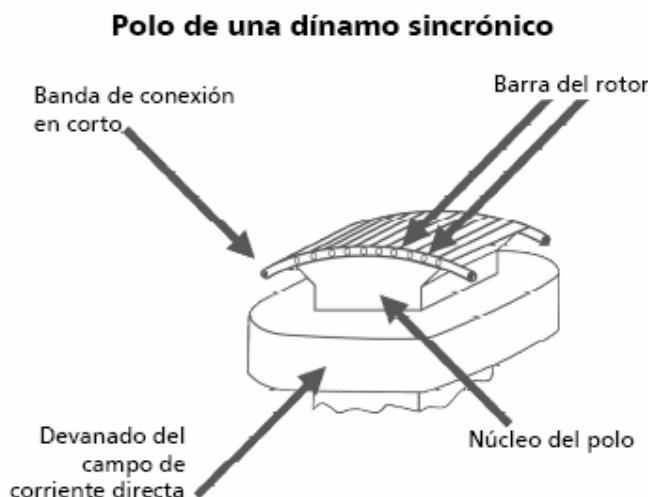
Construcción de un motor síncrono

La mayor parte de los rotores son de polos salientes

Excepto en los motores de muy alta velocidad, que emplean el rotor liso, en la figura se observa un polo de un dinamo (generador) síncrono.

- El devanado amortiguador consiste de barras macizas de cobre colocadas en la superficie de la cara polar y conectadas en cortocircuito mediante una banda, asemejando el devanado jaula de ardilla que se utiliza en los motores de inducción.

- Para eliminar la oscilación y desarrollar el par necesario de arranque, los polos del rotor contienen conductores de caras polares que se conectan en cortocircuito en sus extremos.



¡ATENCIÓN!

La construcción de una máquina síncrona de corriente alterna es la misma para el motor que para el generador. El estator tiene un devanado monofásico o polifásico y el rotor se puede construir de polos salientes o de un rotor liso.

El motor síncrono se debe acelerar a una velocidad suficiente cercana a la síncrona para asegurar su sincronismo con el campo rotatorio. Los medios por los cuales se aceleran a la velocidad necesaria son:

- 1 Un motor de CC acoplado al eje del motor síncrono.
- 2 Mediante el generador de excitación del campo usado como motor de CC.
- 3 Con un motor pequeño de inducción que tenga un par de polos menos.
- 4 Por medio de devanados de amortiguación, como los del motor de inducción de jaula de ardilla.

Un motor de CC acoplado

Se utiliza a veces en los laboratorios con motores sincrónicos que no estén equipados con devanados amortiguadores.

Pero para llevar a cabo el sincronismo del motor, se hace trabajar el generador de CC como un motor y la dinamo sincrónica de CA se sincroniza con el suministro de CA como alternador; una vez en paralelo con el suministro, la dinamo sincrónica trabaja como motor.

Generador de excitación de campo usado como motor CC

Es casi igual que el primero, excepto que el motor excitado sincrónico, que es un generador derivación CC se trabaja como un motor y la dinamo sincrónica de CA se sincroniza con el suministro de CA.

Motor de inducción con un par de polos menos

Empleado es un motor auxiliar de inducción con menos polos, éste implica menos procedimiento de sincronización para el motor sincrónico de CA, para un alternador se necesita que el motor de inducción tenga como mínimo un par de polos menos para compensar la pérdida de velocidad que tiene ese motor debido al deslizamiento.

MANTENIMIENTO



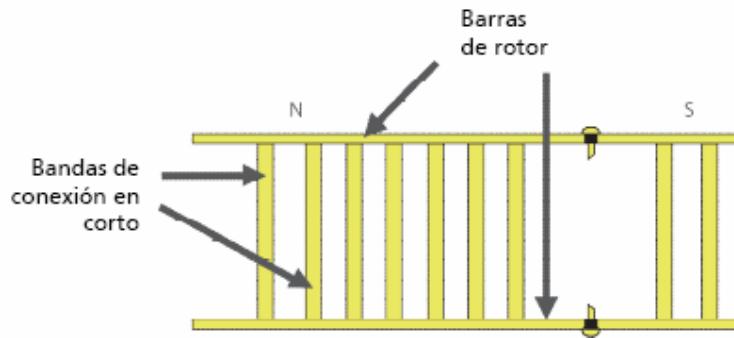
En los tres métodos que acabamos de describir, es necesario que haya poca o ninguna carga en el motor sincrónico y que la capacidad del motor de arranque de CA o CC sea de entre 5 y el 10 por ciento de la capacidad nominal del motor sincrónico acoplado en él.

Sin embargo, el método que se emplea más para arrancar un motor sincrónico es el de un motor de inducción usando los devanados amortiguadores. Este método es él más sencillo y no se requieren máquinas auxiliares especiales.

6.4 Arranque de un Motor Síncrono

Arranque de un motor síncrono como motor de inducción mediante sus devanados amortiguadores.

• Se puede observar que la banda que se conecta en corto circuito a las barras del rotor tiene agujeros; de este modo, se forma un motor complejo de jaula de ardilla y aunque las barras no tienen la capacidad para conducir continuamente la carga nominal del motor síncrono, como motor de inducción basta con poner poca carga.



Cuando se arranca los motores síncronos extremadamente grandes, como motores de inducción:

- Se emplean varios métodos para reducir la corriente de arranque que se toma de la barra de distribución.
- Se acostumbra a conectar en corto circuito el devanado del campo de CC durante el período de arranque entonces, cualquier voltaje y corriente que se induzcan en él, pueden ayudar a que el devanado amortiguador produzca acción de motor.
- Aunque esto puede ocasionar que se desarrollen mayores corrientes de arranque y menores factores de potencia para alcanzar el mismo par o aún un par menor, mejora la velocidad de deslizamiento sin carga del motor síncrono.
- Así, cuando se quita el corto circuito del devanado de campo y se aplica CC al devanado de campo en el rotor, a velocidad igual o cercana a la síncronica, el rotor entra fácilmente en sincronismo con el campo rotatorio del estator.

¡ATENCIÓN!



Entre las ventajas que tienen los motores síncronos sobre los de inducción está el hecho de que el entrehierro de un motor síncrono es mejor. Por esta razón, el devanado de inducción del rotor crea en el arranque una relación bastante alta de la reactancia con la resistencia del rotor.

En resumen cuando se arranca un motor síncrono sin carga, con sus devanados amortiguadores se realizan las siguientes acciones:

Pone en corto el devanado de campo de CC y se aplica al estator, con lo cual el motor alcanza la velocidad sin carga o en vacío como motor de inducción.

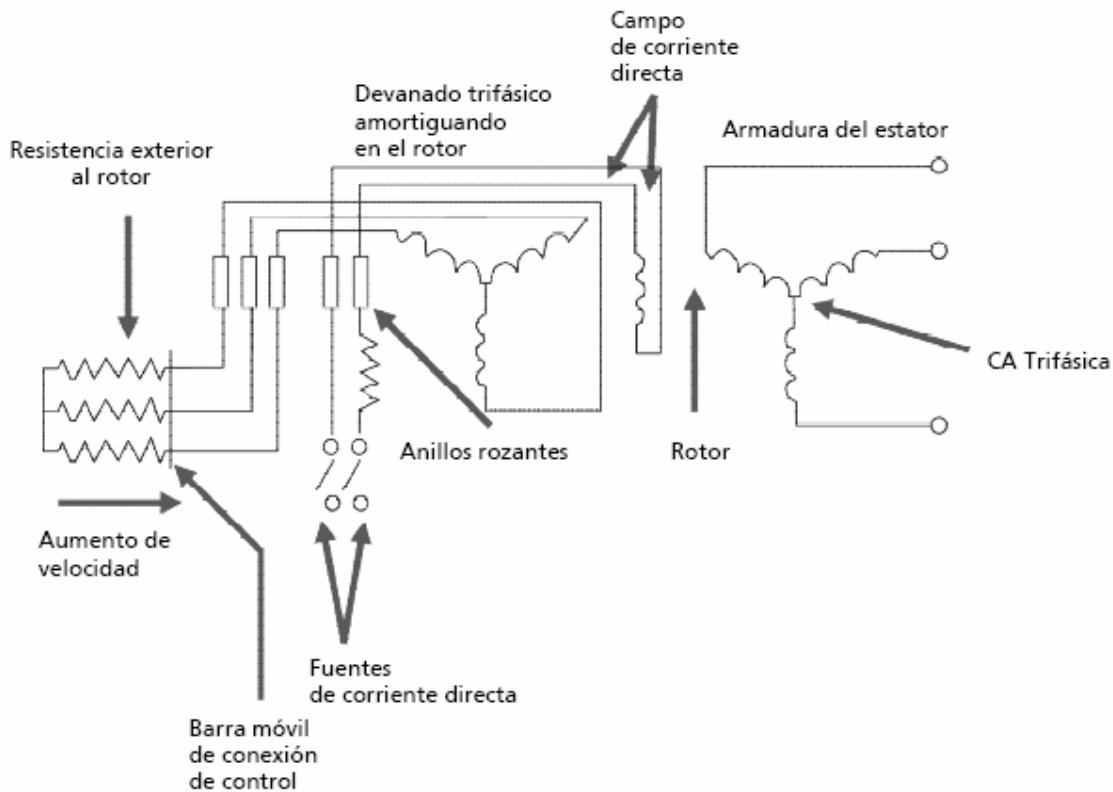
Aplica corriente directa al devanado de campo y la corriente de campo se ajusta para dar una corriente alterna mínima de línea.

Acopla la carga con el eje del motor.

Arranque de un motor síncrono con carga.

- El motor síncrono arranca y trabaja a la velocidad síncrona, mediante sus devanados amortiguadores tipo inducción.
- Para desarrollar una velocidad cercana a la síncrona, el devanado de jaula de ardilla del motor de inducción necesita tener baja resistencia y alta reactancia.
- Estas últimas características producen un bajo par de arranque en un motor de inducción para la misma corriente de armadura, esos pares son aproximadamente del 30 al 50 por ciento del par de plena carga, por ejemplo en ventiladores o compresores de aire, cuyas cargas están en función de su velocidad, se pueden tolerar esos pares aplicados.
- Se puede mejorar el par de arranque de las barras de jaulas de ardillas del rotor síncrono mediante el empleo de aleaciones de alta resistividad en las barras. El amortiguador devanado de fase se reconoce inmediatamente debido a que emplea cinco anillos rozantes, dos para el devanado de campo con CC y tres para el devanado de CA que se conecta en estrella.
- El rendimiento de arranque del devanado, emplea una resistencia externa de arranque para mejorar el par de arranque. El motor se pone en marcha con toda la resistencia externa por fase y se pone en corto circuito en el campo. El motor se acerca a la velocidad síncrona a medida que se reduce la resistencia de arranque y cuando se aplica el voltaje de CC del campo, el motor se asegura en sincronismo.

Conexión de Resistencia para el arranque de un motor Síncronico

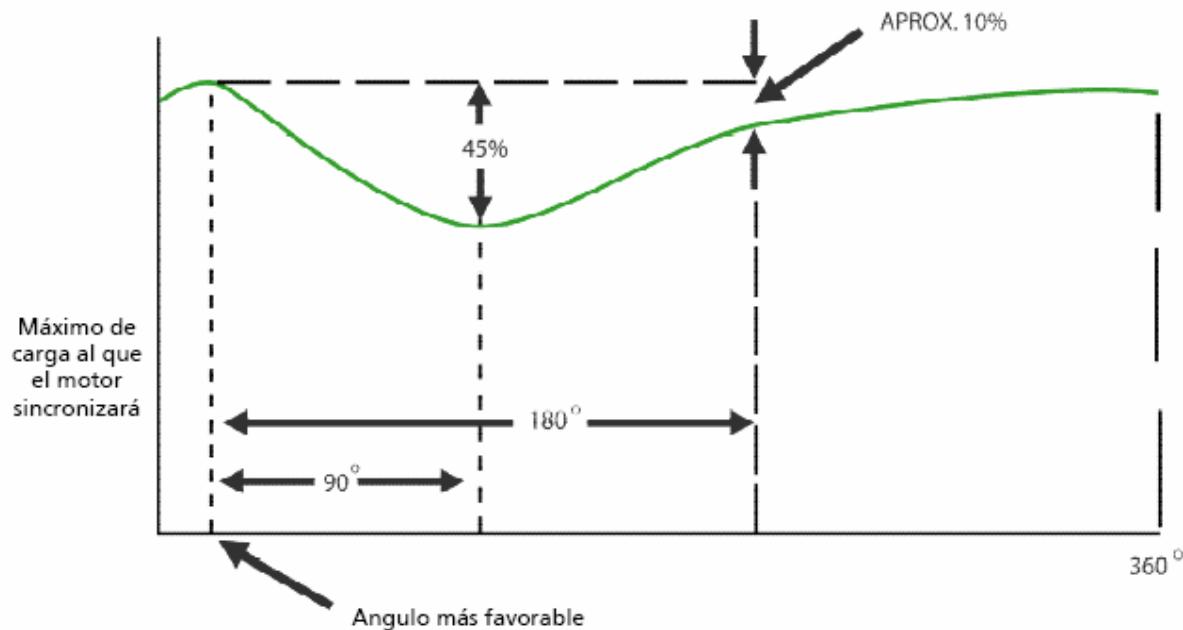


6.5 El Par de Enganche

A mayor inercia en la carga conectada, el motor debe acelerar más cerca de la velocidad síncrona para asegurar sincronización cuando se aplique voltaje a su devanado de campo. El par de enganche varía con el ángulo que forma el eje del rotor y los polos en el devanado de estator.

¡ATENCIÓN!

El par de enganche (o pull in torque) es el máximo par de carga que el motor permite para poder entrar en sincronismo cuando se aplica corriente directa a su campo.



- El máximo par de enganche puede obtenerse cuando se aplica la excitación de campo en la región entre 15 y 30 grados eléctricos en atraso.
- En este punto, el voltaje inducido en el devanado de campo es cero y la intensidad del campo magnético es máxima. Si la polaridad de la excitación de campo aplicada es en la dirección de incremento de la intensidad de flujo magnético, se obtendrá un máximo par de enganche.
- El par de enganche mínimo se tiene aproximadamente 90° después de ese punto, donde hay una pérdida de aproximadamente un 45 % del par de enganche. A 180° del par máximo de enganche, lo cual corresponde a aplicar el voltaje de excitación con polaridad invertida, la pérdida en par de enganche es de aproximadamente un 10 %.

6.6

Ángulo de Carga y Operación Normal

- Con la excitación de campo aplicada y el motor operando a velocidad síncrona, los ejes (punto central del polo) de los polos del rotor se retrasan con respecto a los ejes de los polos del estator en un ángulo conocido como ángulo de carga. A medida que la carga se incrementa, el ángulo de carga se hace mayor.
- Cuando el ángulo de carga es igual a la mitad del paso entre polos (90° eléctricos) o algo menor en rotores de polos salientes, el par motor es el máximo que el motor síncrono puede entregar.
- Más allá de este punto, las líneas de fuerza magnéticas que mantienen el rotor a velocidad síncrona no son suficientemente fuertes para mantenerlo y así el rotor sale de sincronismo (desenganche).
- Si se mantiene la excitación de campo, el rotor puede detenerse a menos que el par producido por los devanados amortiguadores (jaula de ardilla) sea capaz de mantener el par de carga a una velocidad inferior a la síncrona.
- Ante un desenganche bajo carga (pull out), si se mantiene la excitación, la corriente de armadura se incrementa, el factor de potencia rápidamente se atrasa y se presentan severas pulsaciones de corriente y par que pudieran dañar al motor y/o la carga conectada.
- Las pulsaciones de corriente se reflejarán en el sistema de potencia donde está conectado el motor y pueden crecer hasta un valor que terminen en un disparo (apertura) de los interruptores de alimentación, pudiendo producir costosos paros en otras máquinas o procesos.
- Los esfuerzos magnéticos en el motor producen una alta vibración en los devanados y su posible movimiento, daño y falla de aislamiento, pérdida o corrimiento en las laminaciones y piezas polares, etc.
- Las pulsaciones de par pudieran dañar el eje (la flecha), rodamientos (baleros) o soportes de rodamientos (chumaceras) del motor, romper dientes de engranes, o romper bandas o cadenas en el equipo de transmisión.

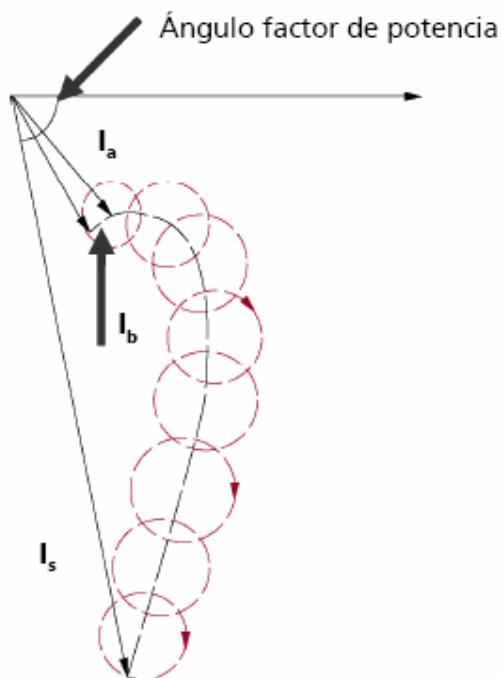
MANTENIMIENTO

Los equipos o máquinas conectadas al motor síncrono, durante el desenganche, estarán sujetas a severas pulsaciones y pudieran sufrir daño.

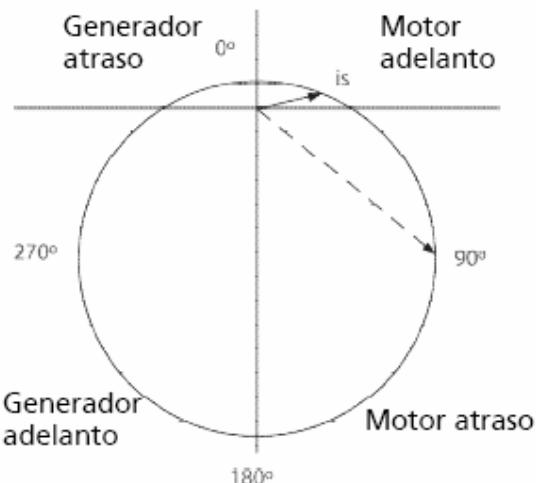
La velocidad del motor caería rápidamente y pudiera llegar a detenerse, dependiendo de las características del par de carga. Así, es importante que se retire la excitación de corriente directa a los devanados del motor tan pronto ocurra un evento de desenganche, dentro del primer ciclo de operación fuera de sincronía.



- En la figura de la siguiente página, se muestra el comportamiento de la corriente de armadura durante el arranque, la cual se representa como I_s y está formada por dos componentes: I_a o componente hacia delante e I_b como componente hacia atrás.
- Cerca de la velocidad sincrónica, I_b rota al doble de la frecuencia del deslizamiento (diferencia entre velocidad sincrónica y velocidad del rotor). La forma en que se comporta la corriente tiene la forma de una espiral, desde el instante de arranque hasta su máxima velocidad como motor de inducción.
- La figura muestra un diagrama vectorial de 4 cuadrantes de una de las fases de un motor síncrono donde se muestra la relación entre el voltaje de alimentación de corriente alterna y la corriente de estator, así como el factor de potencia a medida que se incrementa el par de carga.
- El vector I_s (corriente de armadura o de devanados de estator) se muestra en el nivel de corriente nominal para un motor síncrono especificado con factor de potencia en adelanto.



El círculo muestra la relación entre la corriente y el factor de potencia a medida que se incrementa la carga en un motor síncrono operando en sincronismo y con excitación de campo aplicada y plena, la reducción de la corriente de excitación de campo reduce el radio del círculo. A un ángulo aproximado de 90° se presenta el par máximo, estado en que si se presenta un pequeño incremento en la carga se generará un desenganche.



6.7

Factor de Potencia de Diseño y Curvas V

Potencia y Factor de potencia

Primeramente, lo que se hará es describir los siguientes conceptos:

Potencia activa o real (P):

Existen diferentes dispositivos que convierten energía eléctrica en otras formas de energía tales como mecánica, lumínica, térmica, química, etc. Esta energía corresponde a una energía útil, o potencia activa o simplemente potencia, la cual es similar a la energía consumida por una resistencia y se expresa en watts (W).

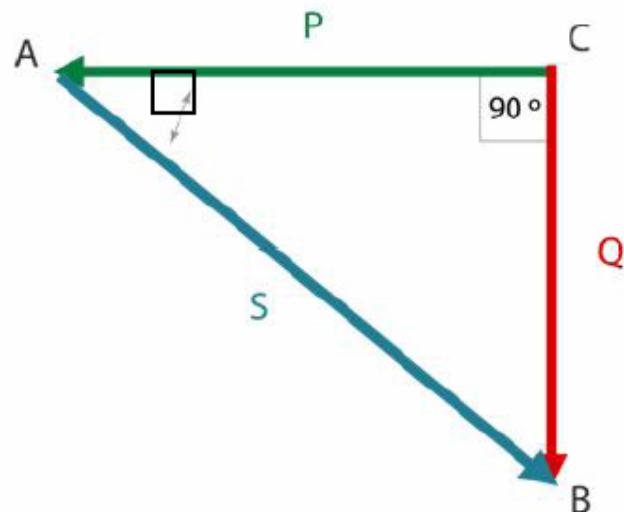
Potencia reactiva (Q):

Los motores, transformadores y todos los dispositivos que hacen uso del efecto de un campo electromagnético, requieren potencia activa para efectuar un trabajo útil, mientras que la potencia reactiva se utiliza por la generación del campo magnético. La potencia reactiva está desfasada 90° de la potencia activa y se expresa en volts - amper reactivos (VAR).

Potencia aparente (S):

El producto de la corriente y el voltaje es llamada potencia aparente, y es también la resultante de la suma de los vectores gráficos de la potencia activa y potencia reactiva; se expresa en volts-amperes (VA). La figura muestra las diferentes formas de potencia eléctrica.

Formas de potencia eléctrica



La relación entre la potencia activa y la potencia aparente se conoce como factor de potencia del circuito. El factor de potencia es usualmente representado con un valor decimal en porcentual. Algunas veces se le refiere como el porcentaje de la potencia total utilizada por el circuito. La fórmula para calcular el factor de potencia es

$$FP = \frac{P}{S} \times 100$$

FP

Factor de potencia expresado en porcentaje (%)

P

Potencia activa

S

Potencia aparente

El factor de potencia también se puede calcular utilizando las fórmulas para potencia activa y potencia aparente.

$$PF = \cos(\phi) \times 100$$

 ϕ **Representa el ángulo que existe entre la potencia activa y la potencia aparente**

Esta fórmula muestra que el factor de potencia se puede considerar, en un valor relativo, como un valor característico de la potencia reactiva consumida.

Mientras más inductivo sea el circuito, mayor es el ángulo entre la potencia real y la potencia aparente. Conforme el ángulo A se incrementa, el factor de potencia disminuye. Esto es que la potencia reactiva se vuelve mayor y que la potencia utilizada por la carga disminuye.

En un circuito puramente resistivo, donde el voltaje y la corriente están en fase, debido a que no existe un ángulo de desfasamiento entre la corriente y el voltaje y el coseno de cero es uno, el factor de potencia es igual a uno. Esto quiere decir que toda la energía liberada por la fuente es consumida por el circuito y se disipa en forma de calor.

En un circuito puramente reactivo, el voltaje y la corriente están desfasados por 90° y como el coseno de 90° es cero, el factor de potencia es cero. Esto quiere decir que el circuito regresa toda la energía que recibe de la fuente, a la fuente.

EJEMPLO

En un circuito donde la reactancia y la resistencia son iguales, el voltaje y la corriente están desfasados por 45° y como el coseno de 45° es 0.7071, el factor de potencia es 0.7071. Esto quiere decir que el circuito ha utilizado aproximadamente un 70% de energía suministrada por la fuente y ha regresado aproximadamente el 30%.

MANTENIMIENTO

Un bajo factor de potencia es indeseable debido a que una gran cantidad de potencia se encuentra circulando a través del circuito, pero sólo una pequeña parte es transferida a la carga.

MANTENIMIENTO

Un bajo factor de potencia produce una baja eficiencia del sistema de distribución de energía eléctrica, esto debido a que:

- Requiere llevar una corriente mayor que la necesaria para aportar la potencia activa, se requiere de conductores más gruesos, generadores y transformadores más grandes, y así encarece el costo de suministrar energía eléctrica.
- Corrientes mayores producen pérdidas mayores en la resistencia de conductores y transformadores, produciendo un consumo innecesario de energía.
- Para equipos ya instalados, un mal factor de potencia limita su capacidad de suministro de potencia eléctrica.
- En diferentes países, las compañías suministradoras del servicio eléctrico, penalizan a los usuarios que en su sistema eléctrico tengan un factor de potencia menor a 0.9.

Corrección del Factor de Potencia**MANTENIMIENTO**

La corrección o mejora del factor de potencia implica diferentes maneras de elevarlo. Los métodos básicamente consisten en conectar un dispositivo entre los conductores en paralelo con las cargas inductivas existentes.

Se usan en forma comercial y existen tres tipos de dispositivos:

1

Capacitores de corrección

Son capacitores comerciales grandes de alto voltaje y alta capacitancia, que se conectan entre las líneas de sistemas monofásicos y trifásicos. Los capacitores de corrección se especifican tanto en kVAR (kilovars) como en kV (kilovolts). Los capacitores comerciales de corrección se limitan a las capacidades menores de kVAR y kV, en comparación de los dos tipos siguientes de dispositivos.

2

Capacitores sincrónicos

Son motores sincrónicos sobreexcitados diseñados sin ejes que sobresalgan, de modo que no se puedan acoplar a cargas mecánicas y tienen por objeto flotar en las líneas trifásicas o monofásicas para tomar solo corriente en adelante del suministro y corregir el factor de potencia. Sus capacidades se indican tanto en kVA como en kV.

3

Operación silenciosa

- El contacto constante entre las escobillas y el conmutador es uno de los principales factores para asegurar un buen funcionamiento.
- Una operación silenciosa es una buena indicación de que el contacto es bueno. El ruido puede producirse por diversas razones, pero siempre está asociado con bajas eficiencias y eventualmente daño de la máquina.
- Algunos ejemplos comunes son el juego e irregularidades en las barras del conmutador y tensión y ángulos de escobillas incorrectos.

MANTENIMIENTO



Se acostumbra no tratar de corregir completamente el factor de potencia de un sistema hasta llegar al factor unidad.

Los motores sincrónicos estándar están especificados para operación a plena carga, ya sea a factor de potencia unitario 1.0 o factor de potencia 0.8 en adelanto.

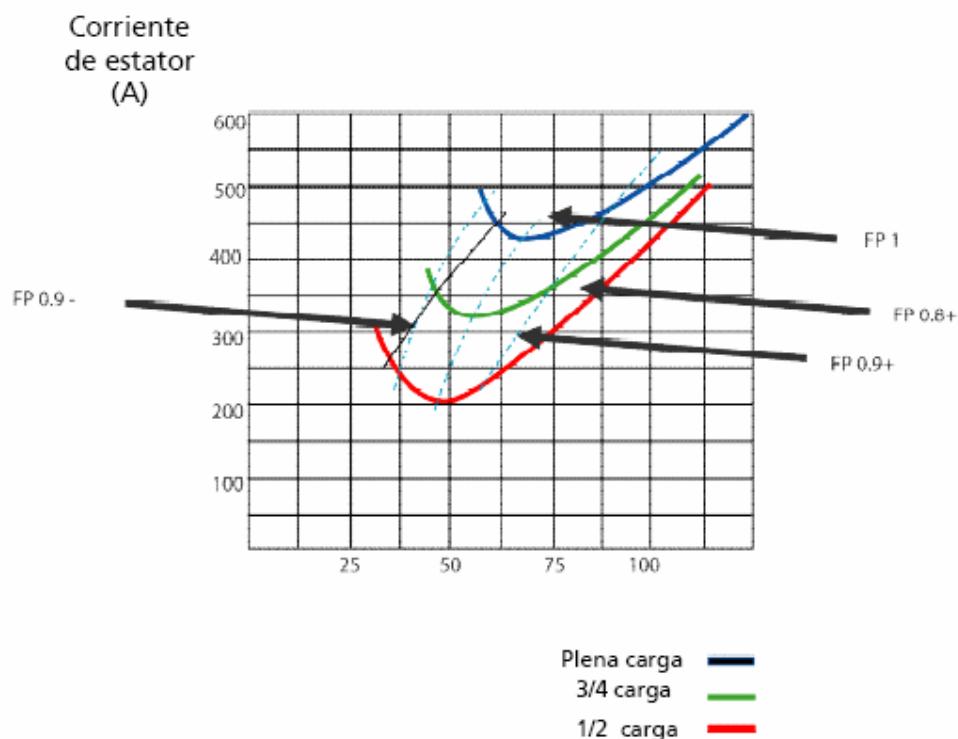
La ventaja de los motores especificados con factor de potencia 0.8 en adelanto es que, además de hacer girar la carga, permiten aportar kilovolts-Amper reactivos (kVAR) que mejoran el factor de potencia del sistema.

Curvas V

Para una carga, el factor de potencia con que opera un motor síncrono está definida por la magnitud de su excitación de campo

- Así, una reducción de la corriente de campo produce que la corriente de armadura se retrase, produciendo una tendencia del factor de potencia a operar en atraso, en tanto que un incremento en la corriente de campo produce que la corriente de armadura se adelante, produciendo una tendencia del factor de potencia de operar en adelanto.

- Las curvas V describen el comportamiento del factor de potencia en un motor síncrono ante cambios en el par de carga y la corriente de excitación de campo. En la gráfica de la figura 54 se presentan varias condiciones de excitación de campo para un motor síncrono ante diferentes situaciones de par de carga y su repercusión en la corriente de armadura (estator) del motor.



Observe que para cualquier condición de carga mecánica, la mínima corriente de armadura se presenta en operación con el factor de potencia unitario. En esta situación un incremento en la excitación de campo producirá un incremento en la corriente de armadura, haciendo que el motor empiece a aportar KVAR capacitivos.

Si para un cierto nivel de carga se tiene un factor de potencia unitario (magnitud de corriente de armadura mínima) y si se incrementa la corriente de excitación, se incrementará la corriente de armadura y el factor de potencia se moverá en adelante; si se reduce la corriente de campo, una vez más, la corriente de armadura se incrementará, pero ahora el factor de potencia se moverá en atraso.

- Motores especiales que no emplean excitación de campo con C.D.
- Existen tipos de motores sincrónicos que no emplean excitación de corriente directa en el devanado de campo y se agrupan en dos categorías:
 - Los motores sincrónicos no excitados, en los que no se tiene ninguna excitación del campo.
 - Los motores de excitación de campo de corriente alterna o sincromotores.

6.8 Otros Motores

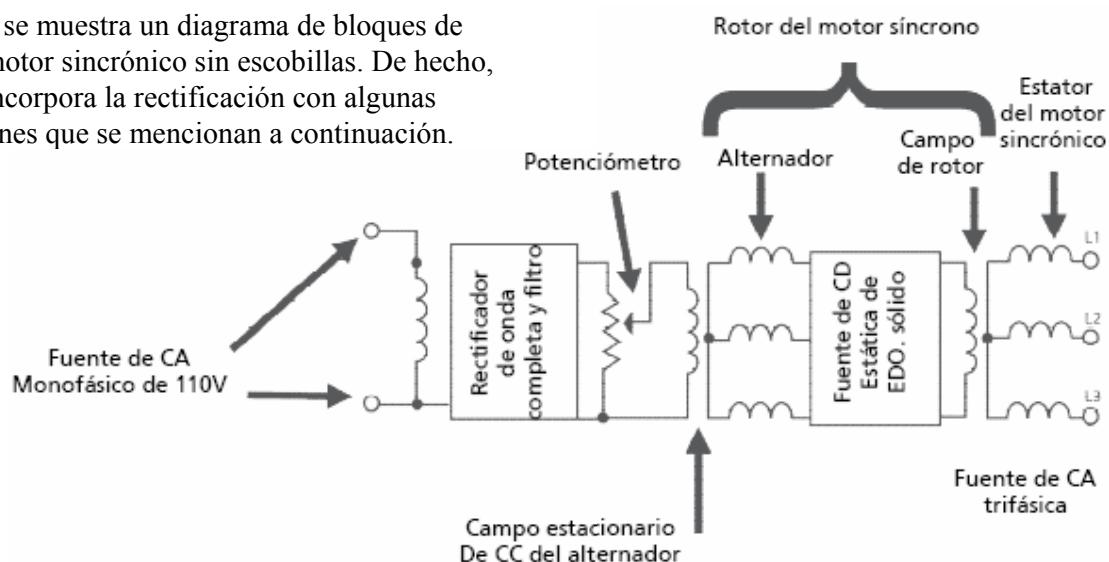
Motores Síncronicos de Inducción

Este motor se creó debido a la demanda de un motor sincrónico polifásico con arranque propio en tamaños menores de menos de 50 HP, que además no necesitaban de excitación de campo de CC y que tuvieran las características de velocidad constante del motor sincrónico. El rotor consiste en un devanado de jaula de ardilla embobinado o vaciado distribuido uniformemente en las ranuras.

Motor Síncrono sin Escobillas

La eliminación del excitador en el eje del motor síncrono suprimió los problemas relacionados con la commutación de un generador de CC y el chisporroteo de las escobillas conectadas al conmutador. Pero todavía es necesario suministrar la CC a través de las escobillas y anillos rozantes, y para eliminar el mantenimiento de estos últimos se creó el motor síncrono sin escobillas.

En la figura se muestra un diagrama de bloques de un tipo de motor síncrono sin escobillas. De hecho, el sistema incorpora la rectificación con algunas modificaciones que se mencionan a continuación.



- Los rectificadores de silicio están sustituidos por tiristores o por rectificadores controlados de silicio (SCR).
- Los rectificadores controlados de silicio se disparan mediante transistores y son los que controlan la salida de CC del transistor.
- El transformador se sustituye por un alternador de CA que tiene un campo de CC estacionario y una armadura polifásica giratoria en la cual se generan voltajes de corriente alterna.
- La excitación de CC del motor síncrono se controla mediante una variación monofásica que existe en el campo estacionario de CC del alternador polifásico y que se encuentra en el mismo eje del rotor que el campo del rotor del motor síncrono.
- El rotor del motor síncrono lleva la armadura del alternador del control de CC estático y del sistema de rectificación, que consta de transistores y tiristores, que se acaba de describir, así como del campo del rotor del motor síncrono.
- Estas cuatro modificaciones proporcionan una forma de controlar la excitación de corriente del campo de un motor síncrono sin necesidad de excitador ni de ningún tipo de anillos rozantes o escobillas.

Los Motores Lineales

Su estructura es idéntica a la de los motores rotativos del tipo síncrono: están compuestos de un estator (plato) y de un rotor (guía de avance) desarrollados en línea. En general el plato se desplaza sobre la corredera a lo largo de la guía de avance.

Este tipo de motor se beneficia de elementos intermedios cinemáticos para la transformación del movimiento, y de ahí la ventaja mecánica del conjunto.

Los Motores Asíncronos Sincronizados

Son motores de inducción. Durante la fase de arranque, el motor funciona en modo asíncrono y cuando ha alcanzado una velocidad próxima a la de sincronismo, pasa a modo síncrono. Si su carga mecánica es importante y no puede girar en modo síncrono, pasa a modo asíncrono. Esta particularidad se obtiene mediante una construcción especial del rotor, en general son motores de poca potencia

Los Motores Paso a Paso

El motor paso a paso es un motor que gira en función de los impulsos eléctricos que alimentan sus arrollamientos. Según su alimentación puede ser del tipo:

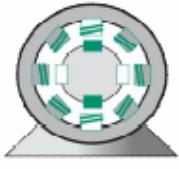
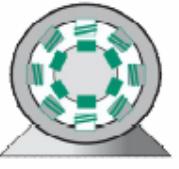
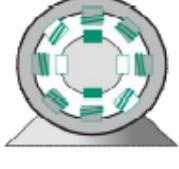
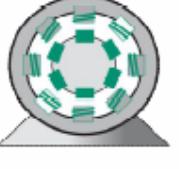
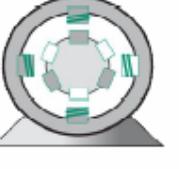
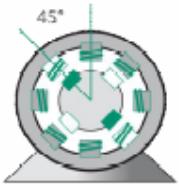
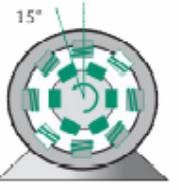
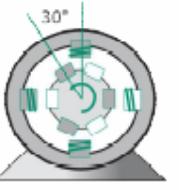


Unipolar: si sus arrollamientos están siempre alimentados en un mismo sentido por una única tensión, de ahí el nombre de unipolar.



Bipolar: cuando sus arrollamientos están alimentados una vez en un sentido y otra en otro: por tanto, crean una vez un polo norte y otra un polo sur, de ahí su nombre de bipolar.

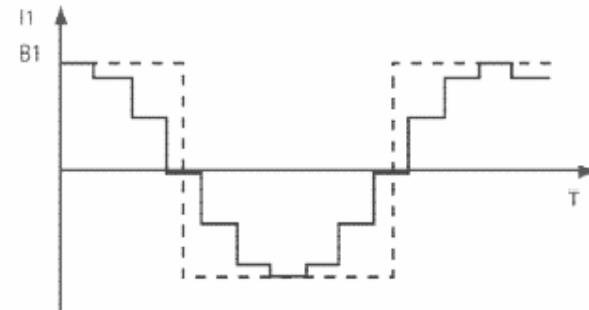
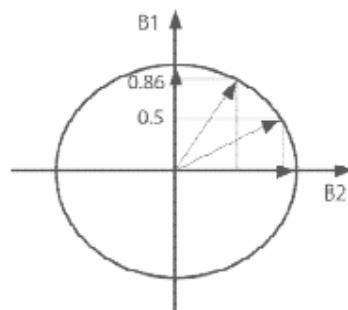
- Los motores paso a paso pueden ser de reluctancia variable, con imanes permanentes o una combinación de los dos.
- El ángulo mínimo de rotación entre dos variaciones de los impulsos eléctricos se denomina paso.
- El motor se caracteriza por el número de pasos por vuelta (es decir. 360°). Los valores normales son 48, 100 ó 200 pasos por vuelta.
- Por tanto, la rotación del motor es discontinua. Para mejorar la solución, este número de pasos puede aumentarse electrónicamente (funcionamiento en micro paso).

Tipo	Bipolar de imán permanente	Unipolar de reluctancia variable	Bipolar híbrido
Características	2 fases, 4 espiras	4 fases, 8 espiras	2 fases, 4 espiras
Número paso/ vueltas	8	24	12
Etapa de funcionamiento			
Paso 1			
Etapa intermedia			
Paso 2			

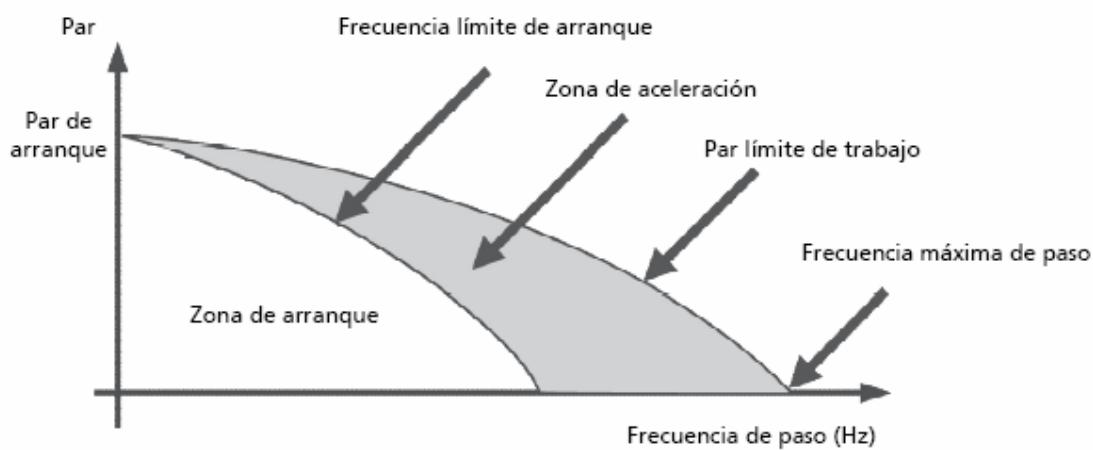
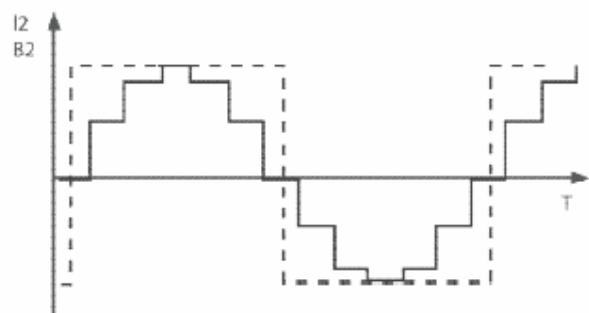
- Haciendo variar la corriente en las bobinas mediante escalones, se crea un campo resultante intermedio entre un paso y otro, lo que produce una reducción efectiva del paso.
- Los circuitos de micro paso multiplican hasta por 500 el número de pasos de un motor que puede pasar así, por ejemplo, de 200 a 100.000 pasos.
- La circuitería electrónica permite controlar los tiempos de estos impulsos y contabilizar su número. Los motores paso a paso y su circuito de mando permiten así la rotación de un eje con gran precisión en velocidad y en amplitud.
- De este modo, su funcionamiento se parece al de un motor síncrono cuando el eje está en rotación continua, lo que corresponde a determinados límites especificados de frecuencia, de par y de inercia de la carga arrastrada.
- Si se sobrepasan estos límites, el motor se «desengancha», lo que produce la parada del motor.
- Se puede conseguir un posicionamiento angular muy preciso sin bucle de medida. Estos motores, normalmente de potencia inferior al kW se utilizan para pequeños modelos alimentados en baja tensión.

- Industrialmente. Los motores paso a paso se utilizan para aplicaciones de posicionamiento tales como el ajuste de topes para corte de longitud, control de válvulas, dispositivos ópticos y de medida, carga y descarga de prensas o máquinas herramienta, etc.
- La simplicidad de esta solución (sin bucle de retorno) hace a este motor especialmente rentable.

- Los motores paso a paso con imanes permanentes presentan también la ventaja de tener par de parada sin alimentación.
- Por el contrario, la posición inicial del móvil debe de ser conocida y tenida en cuenta por la circuitería electrónica para poder asegurar un control eficaz.



Escalones de corriente aplicados a las bobinas de un motor paso a paso, para reducir su paso.



Par máximo en función de la frecuencia de paso

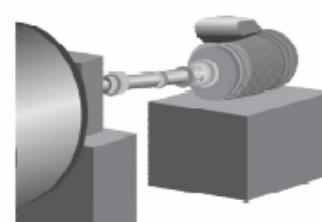
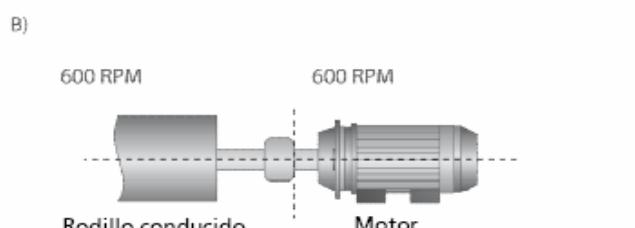
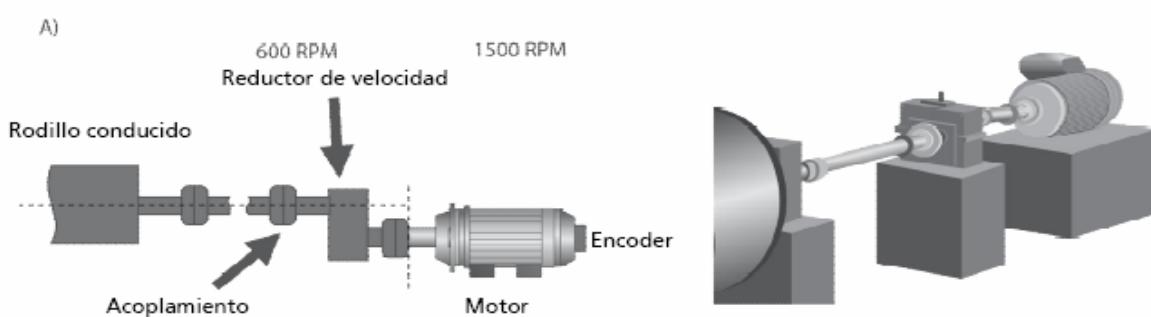
Motores de Imán Permanente

- Este tipo de motores síncronos se utiliza para aplicaciones de baja velocidad en la banda de hasta 850 rpm, directamente sin caja reductora de velocidad.
- Son diseñados exclusivamente para alimentarlos con convertidores de frecuencia para motores con imanes permanentes.

- La gran diferencia con los motores jaula es que la magnetización de la jaula es reemplazada por imanes permanentes altamente eficientes, de esta manera los beneficios de los motores jaula y los de los motores síncronos son aprovechados.

El sistema ofrece como ventajas:

- Alta eficiencia del sistema con drive.
- Excelente ajuste y control de la velocidad con o sin encoder.
- Pocos componentes (implica bajo mantenimiento y poco tiempo de paradas).
- Fácil instalación.
- Ahorro de espacio.



Motor magnético

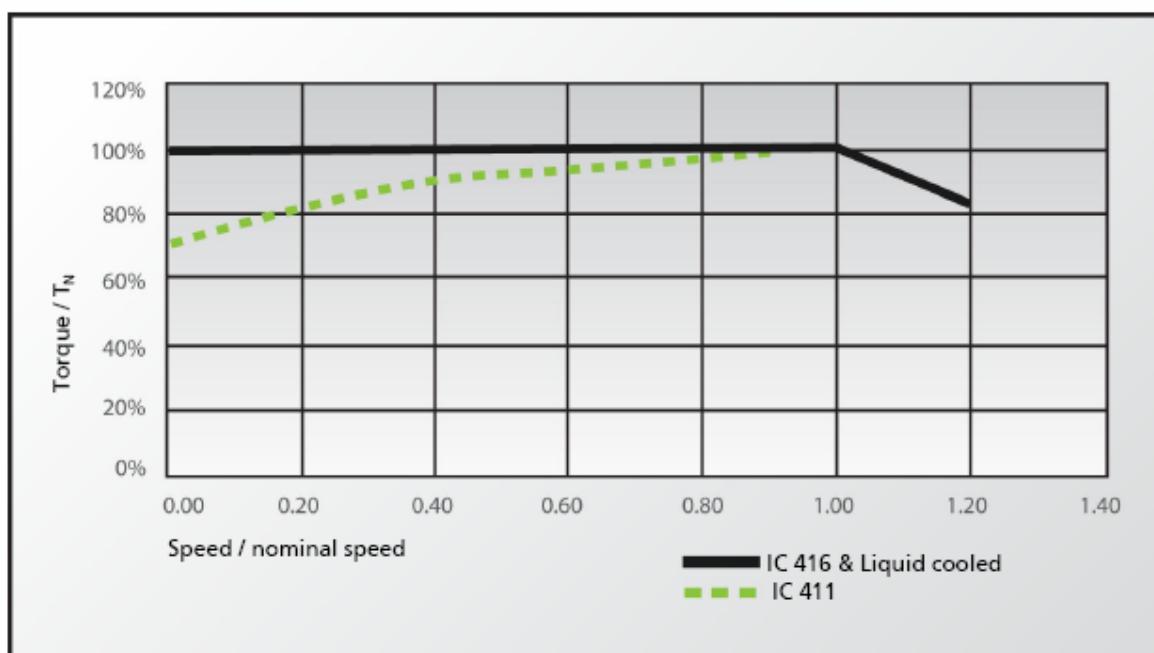
La solución con motor magnético puede remplazar:

- Un motor AC corriente con caja reductora de velocidad y drive.
- Un motor AC de gran cantidad de polos (de 10 a 16 polos o más)
- Un motor de CC con caja reductora.

Es ideal para los siguientes casos:

- Donde la aplicación es controlar la velocidad con un convertidor de frecuencia
- Donde la velocidad nominal de la carga es 100 a 850 rpm o idealmente 300 a 600 rpm
- Donde el torque nominal de la carga es entre 1000 y 50000 Nm
- Donde se requiere sobrecarga de poco tiempo entre 120 y 150 %

El mayor ahorro se logra si el sistema existente es oneroso o tiene problemas.



Cargabilidad de los motores de imanes permanentes con convertidor de frecuencia

6.9

Tabla de Motores Eléctricos Disponibles, Características y Campos de Aplicación

Estas tablas reflejan las cualidades más importante de los diferentes tipos de motores

Asíncrono de jaula

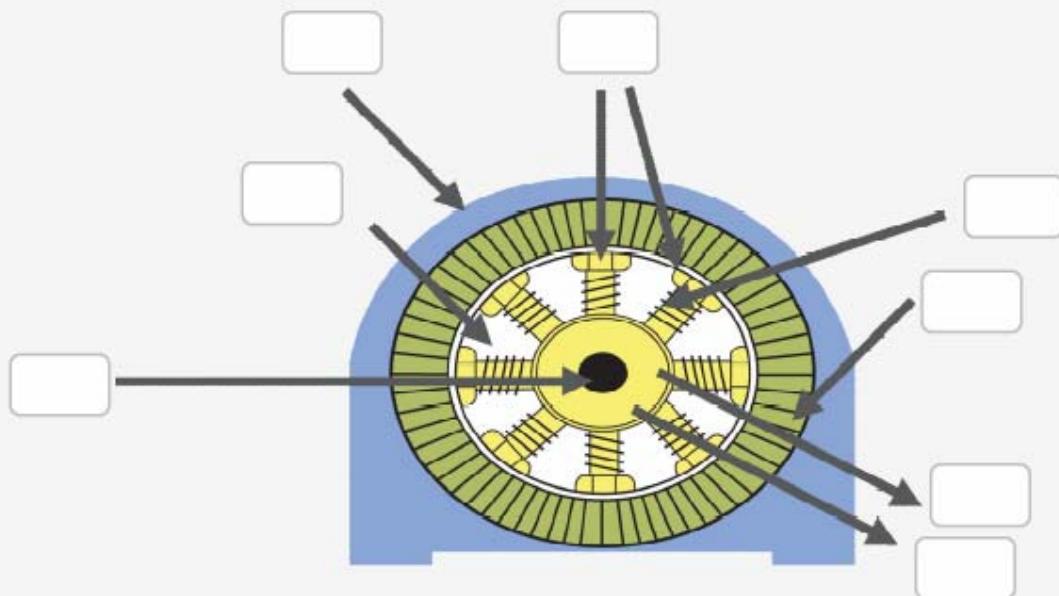
	Trifásico	Monofásico	Asíncrono con anillos	Síncrono con rotor bobinado
Coste del motor	Bajo	Fácil	Elevado	Elevado
Motor estanco	Estándar	Possible	Bajo demanda; caro	Bajo demanda; caro
Arranque directo en la red	Cómodo	Fácil	Dispositivo de arranque especial	Imposible a partir de algunos kW
Variador de velocidad	Fácil	Muy raro	Possible	Frecuente
Costo de la Solución con variador de velocidad	Cada vez más económico	Muy económico	Económico	Muy económico
Prestaciones con variador de velocidad	Cada vez más mayores	Muy bajas	Medias	Elevada
Empleo	Velocidad constante o variable	Normalmente, velocidad constante	Velocidad constante o variable	Velocidad constante o variable
Utilización industrial	Universal	Para pequeñas potencias	En disminución	En las grandes potencias en MT

	Rotor tierras raras	Paso a paso	De corriente continua
Coste del motor	Elevado	Bajo	Elevado
Motor estanco	Estándar	Estándar	Possible; muy caro
Arranque directo en la red	No previsto	No previsto	No previsto
Variador de velocidad	Siempre	Siempre	Siempre
Costo de la Solución con variador de velocidad	Bastante económico	Muy económico	Muy económico
Prestaciones con variador de velocidad	Muy elevadas	Media a elevada	Elevada a muy elevada
Empleo	Velocidad variable	Velocidad variable	Velocidad variable
Utilización industrial	Máquinas herramientas, gran dinámica	Posicionamiento en bucle abierto para pequeñas potencias	En disminución

ACTIVIDAD 6

Es importante conocer cada parte de un alternador le proponemos la siguiente actividad para familiarizarnos con ellas.

En la figura siguiente indique con un número cada parte según la tabla con sus referencias.



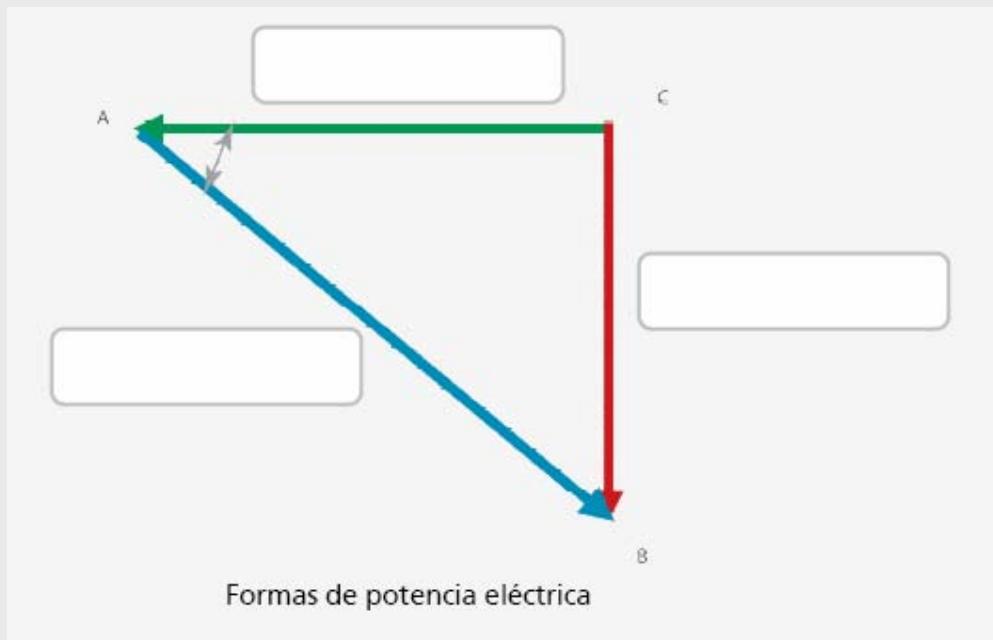
- | | |
|----------------------------|-------------------------------------|
| 1 Devanados amortiguadores | 5 Estator |
| 2 Carcasa estator | 6 Anillos deslizantes |
| 3 Alimentación del campo | 7 Ranuras para devanado de armadura |
| 4 Devanado del campo | 8 Rotor |

ACTIVIDAD 6

Los gráficos dan información sobre que está sucediendo en las máquinas y que carga tienen. En la siguiente actividad se propone interpretar que ocurre.



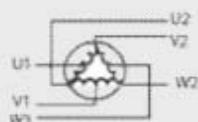
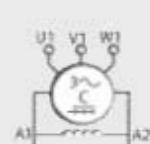
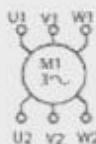
Indique en este esquema las diferentes potencias que aparecen en un circuito.



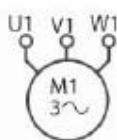
¡Felicitaciones! Usted ha finalizado el capítulo 6. A continuación se desarrollará el capítulo Simbología de los Motores y Generadores Eléctricos.



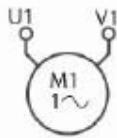
Simbología de los Motores y Generadores Eléctricos



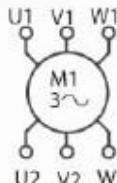
Motor asíncrono trifásico de rotor en cortocircuito



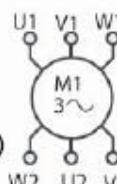
Motor asíncrono monofásico



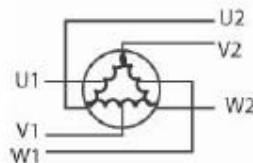
Motor asíncrono de dos devanados estator separados (de 2 velocidades)



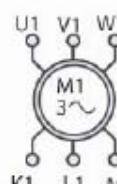
Motor asíncrono con 6 bornas de salida (acoplamiento estrella triángulo)



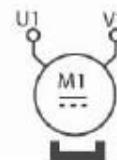
Motor asíncrono de acoplamiento de polos (de 2 velocidades)



Motor asíncrono trifásico, rotor de anillos



Motor de imán permanente



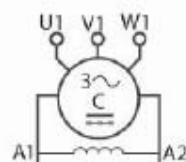
Generador de corriente alterna



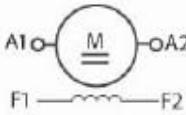
Generador de corriente continua



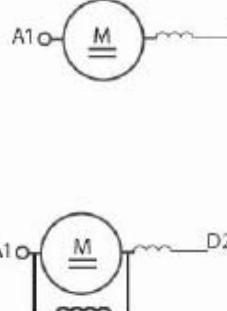
Comutador (trifásico/continuo) de excitación en derivación



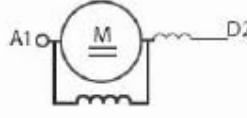
Motor de corriente continua de excitación separada



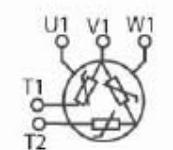
Motor de corriente continua de excitación en serie



Motor de corriente continua de excitación compuesta



Motor asíncrono equipado con sondas de termistancia



En este punto finaliza la explicación sobre Simbología de Motores y Generadores Eléctricos.

¡Felicitaciones! Ha finalizado el curso de Generadores y Motores de CC y CA Sincrónicos

