

MODULO 3

FUNDAMENTOS DE ELECTRICIDAD



TEMA 12

TEMA 12

TEORIA DEL MOTOR/GENERADOR DE CORRIENTE CONTINUA

INTRODUCCION

El empleo de la energía eléctrica en las aeronaves ha sufrido una evolución muy rápida en el desarrollo de la aviación. En los primeros aviones su utilización se limitaba a proporcionar el encendido de las bujías, hasta los modernos aviones, cuyo funcionamiento está basado en el empleo de circuitos eléctricos para el manejo de las superficies de control.

INTRODUCCION

En los primeros ingenios voladores, el único elemento eléctrico de que disponían era la MAGNETO, dispositivo encargado de generar un alto voltaje que aplicado a las bujías provocaba en estas una chispa que era usada para el encendido para la mezcla del combustible/aire.

GENERALIDADES

Motor eléctrico aquella máquina de tipo rotativo que transforma la energía eléctrica en energía mecánica.

El mismo motor principal de un avión necesita la ayuda de un motor de arranque eléctrico para iniciar su movimiento

Trenes de aterrizaje, los flaps, las bombas hidráulicas y de combustible, las válvulas de control, muchos instrumentos de cabina, controles de vuelo, etc., son por citar algunos, unos de los innumerables dispositivos aeronáuticos que demandan la utilización de los motores eléctricos.

GENERALIDADES

Motores DC (Direct Current): alimentación por corriente continua.

Configuración Serie: devanados del rotor y estator en serie.

Configuración en Paralelo: devanados del rotor y estator en paralelo.

Configuración Compuesta: devanados del rotor y estator en serie y paralelo.

DINAMO

Una dinamo se define como un generador de corriente continua. Este dispositivo rotativo suministra una intensidad unidireccional que se genera en su devanado inducido. El campo magnético inductor se genera en el estator a través de varias bobinas inductoras montadas en los polos.

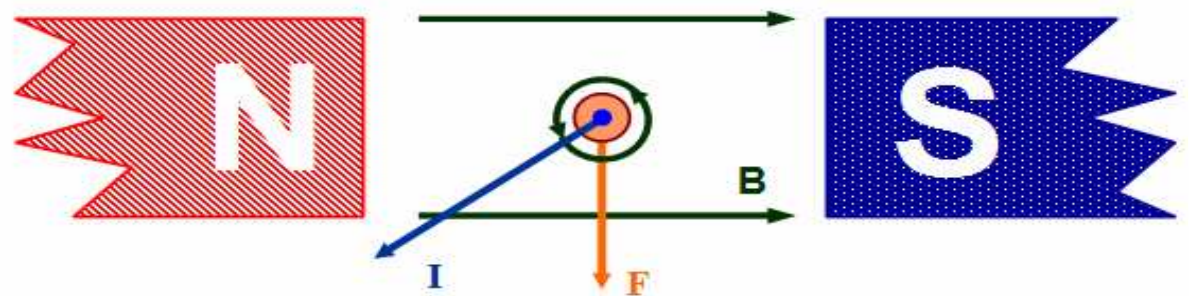
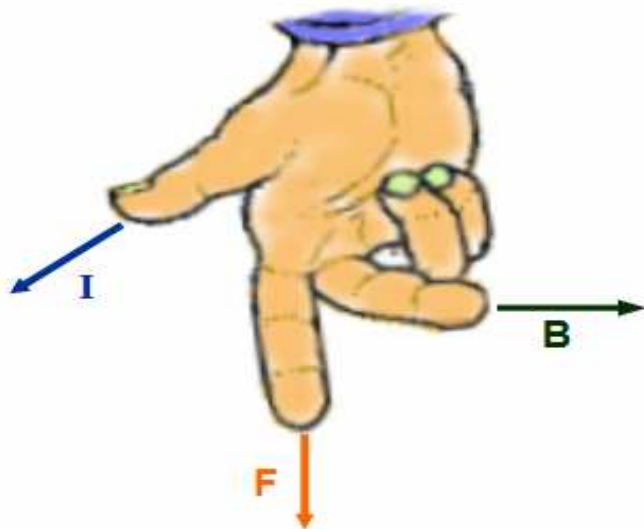
DINAMO VENTAJAS/INCONVENIENTES

Ventajas: Estas maquinas son reversibles pueden funcionar como motor de arranque de los motores principales o del APU. Además permiten obtener corriente continua.

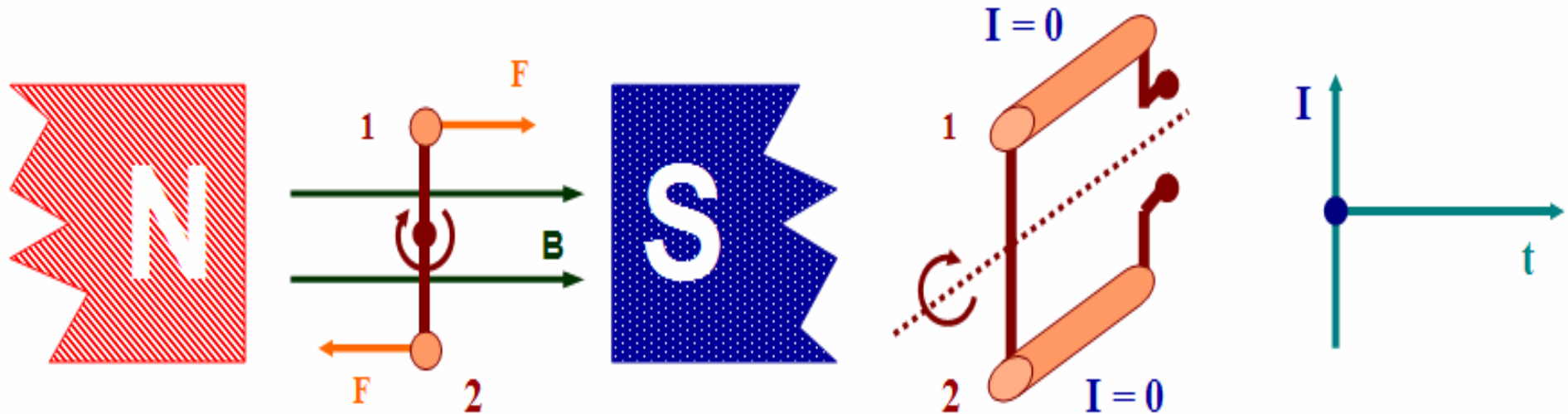
Inconvenientes: Elevada relación potencia/peso, frecuentes operaciones de mantenimiento a causa del desgaste de las escobillas y que pueden producir salto de chispa durante su funcionamiento lo que puede causar a su vez perturbaciones electromagnéticas en su entorno

GENERACION DE CORRIENTE CON UNA ESPIRA

Un generador eléctrico es un dispositivo que convierte la energía mecánica en eléctrica. Para ello, es necesario un movimiento relativo del conductor en el seno de un campo magnético, ya que de ese modo se puede generar una fuerza electromotriz inducida.



GENERACION DE CORRIENTE CON UNA ESPIRA



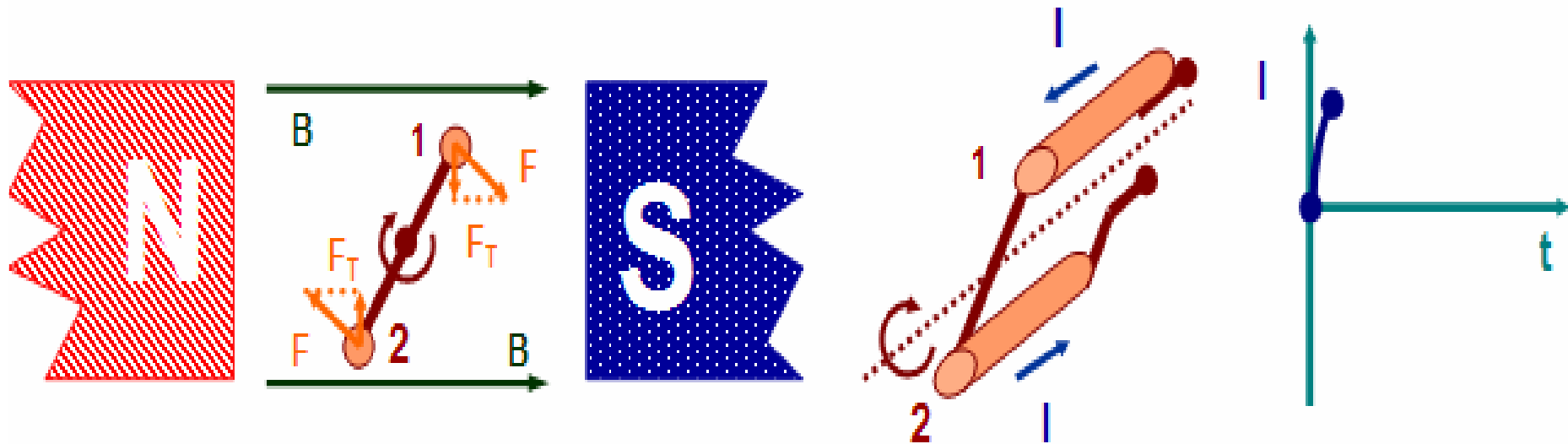
FORMULA DE LORENZ

$$F = I \cdot l \cdot B \cdot \text{sen } \theta$$

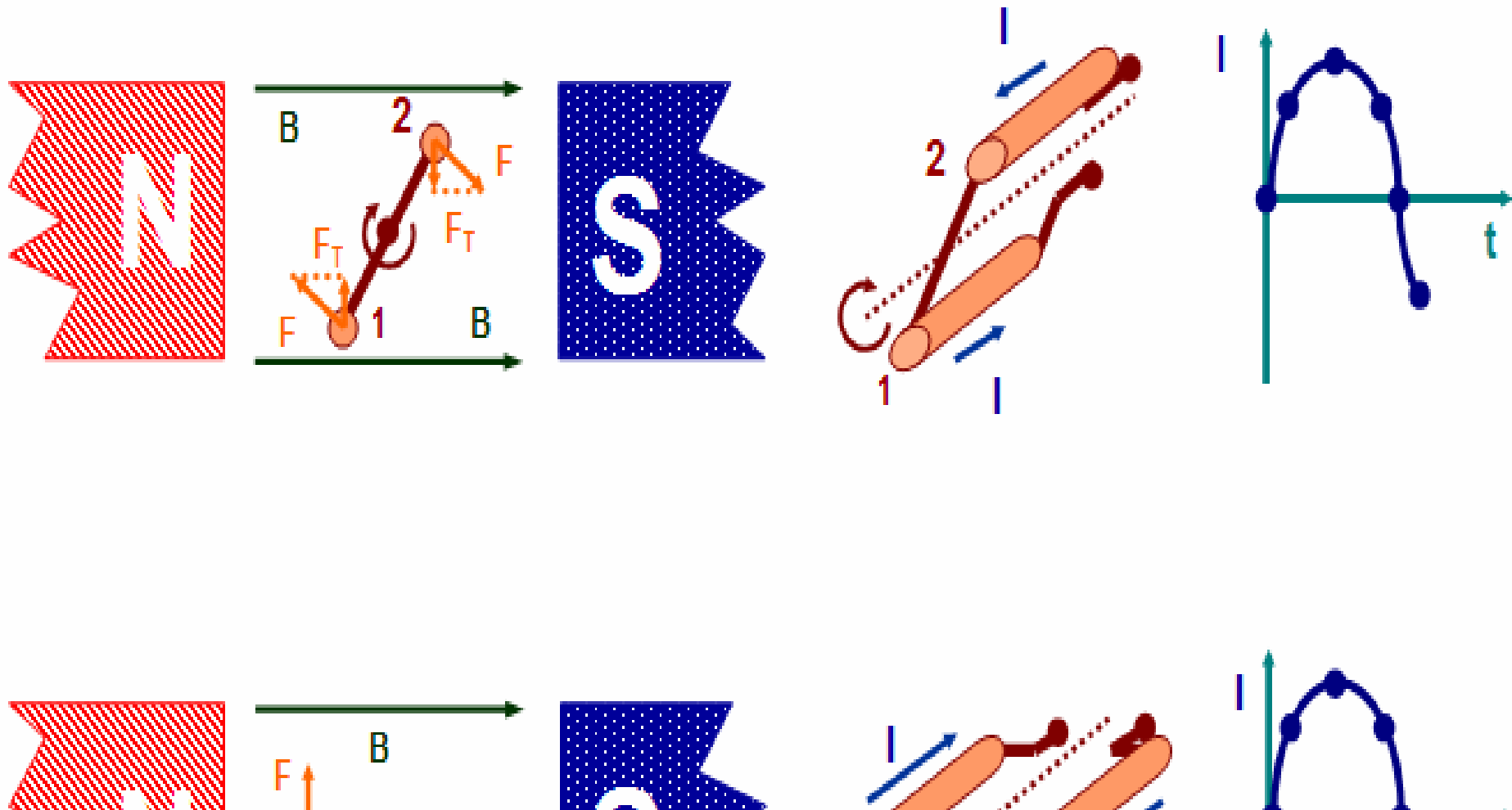
LEY DE FARADAY

$$\varepsilon = - \frac{d \phi}{dt} = 0$$

GENERACION DE CORRIENTE CON UNA ESPIRA



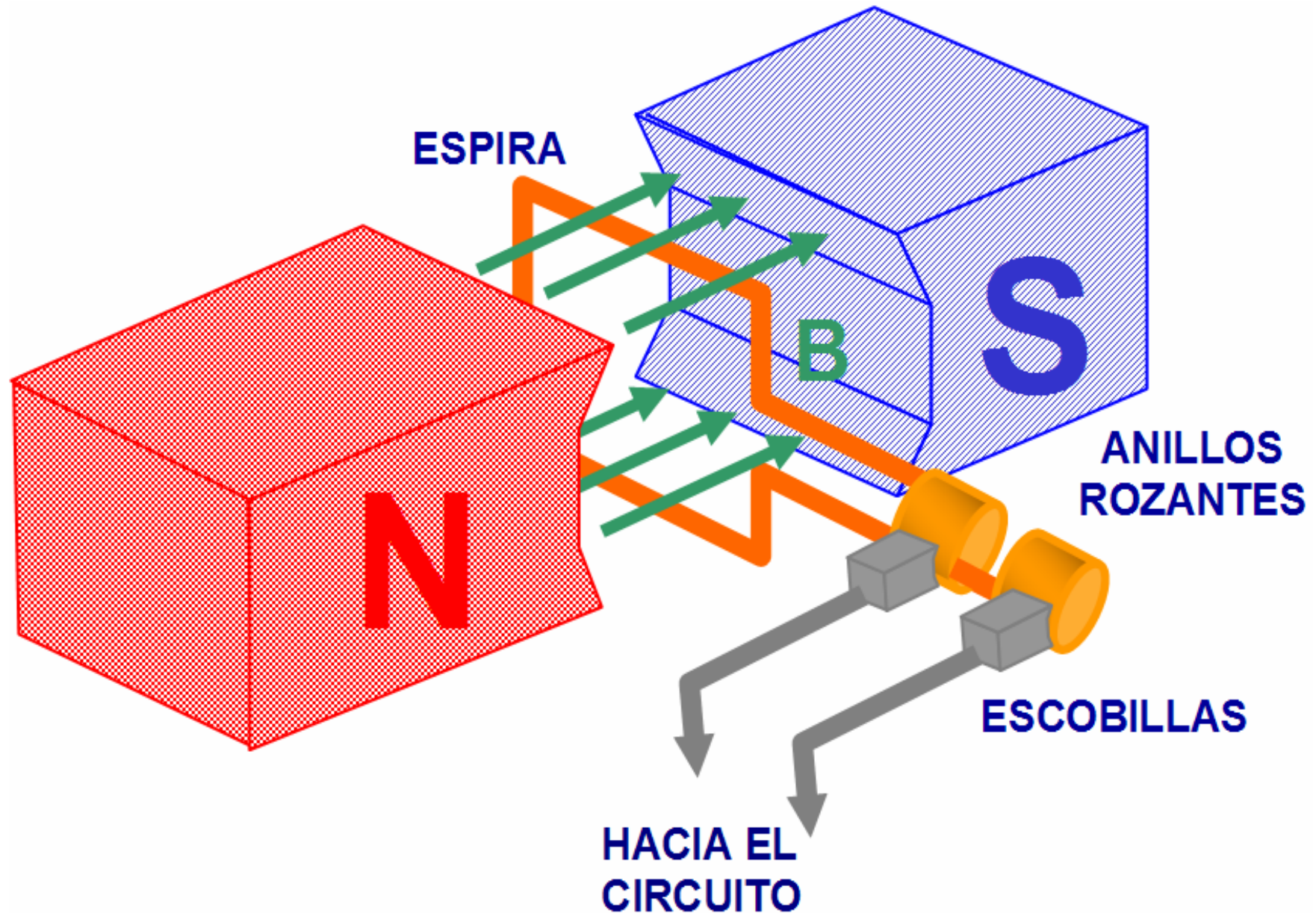
GENERACION DE CORRIENTE CON UNA ESPIRA



GENERACION DE CORRIENTE CON UNA ESPIRA

El resultado de esta secuencia es la generación de una corriente alterna en la espira, pero el problema surge a la hora de comunicar la espira giratoria con un circuito fijo, con objeto de poder aprovechar la intensidad generada

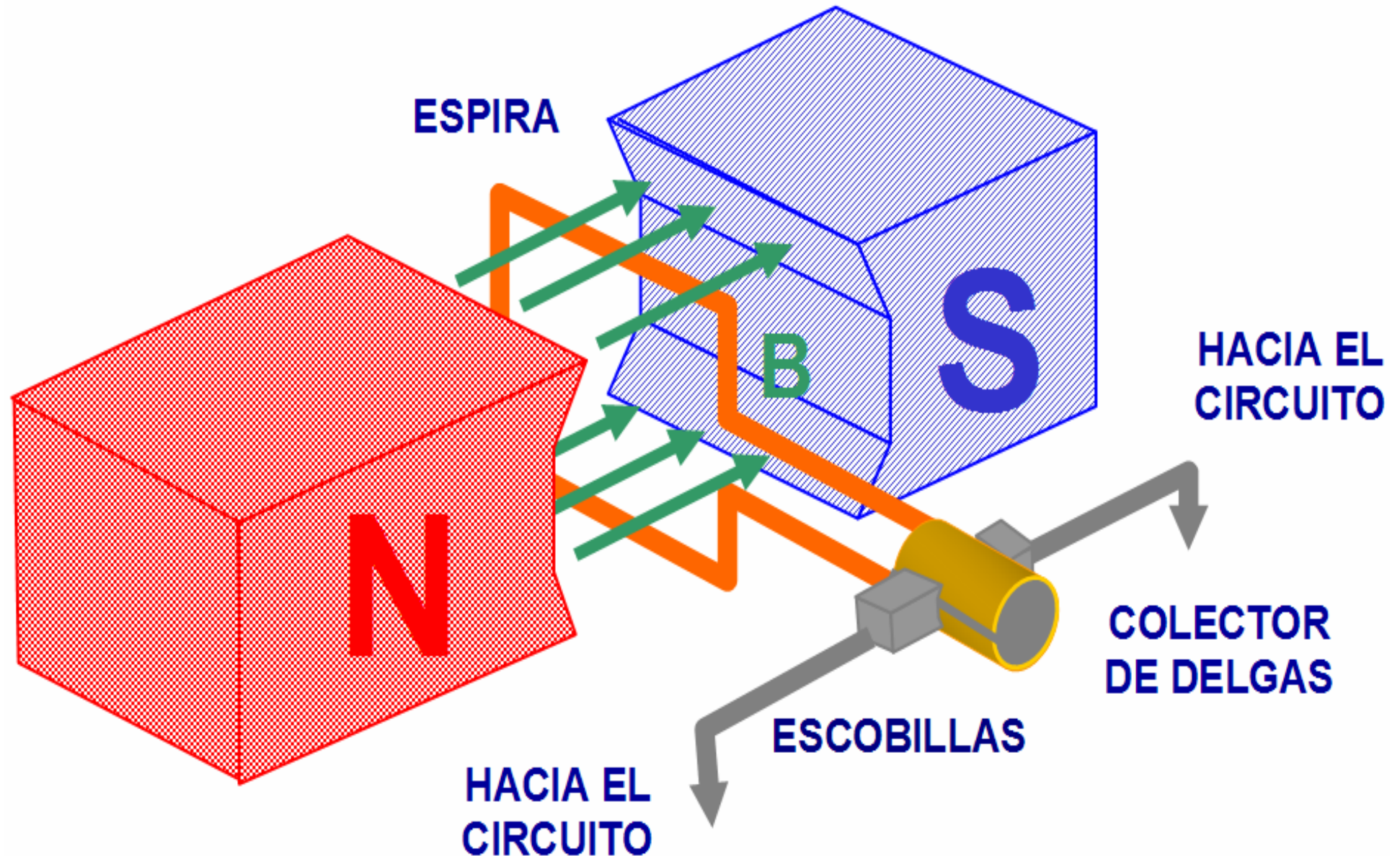
GENERACION DE CORRIENTE CON UNA ESPIRA



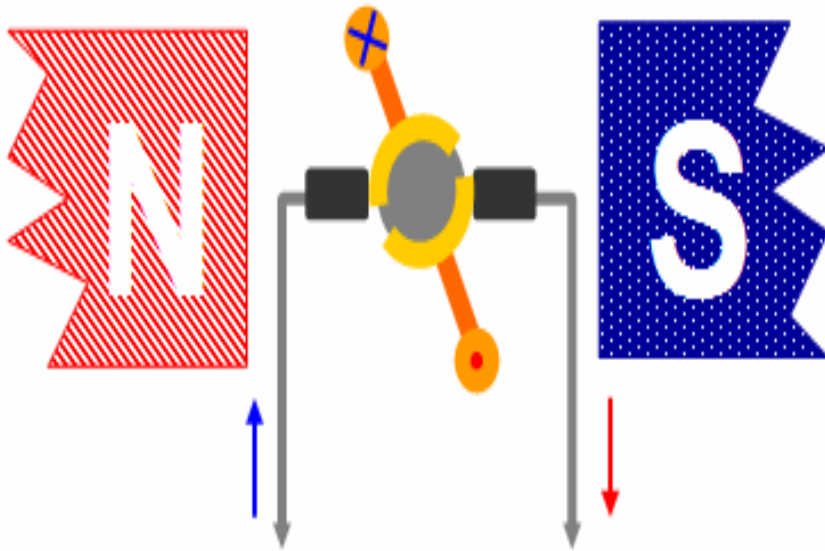
GENERACION DE CORRIENTE CON UNA ESPIRA

Si cuando termina el ciclo positivo, se invierten los anillos colectores, la corriente circula en el mismo sentido en todo momento, por lo que se obtiene una corriente pulsante, pero continua. Una forma sencilla e ingeniosa de invertir los anillos es la colocación de dos medios arcos en el mismo anillo,

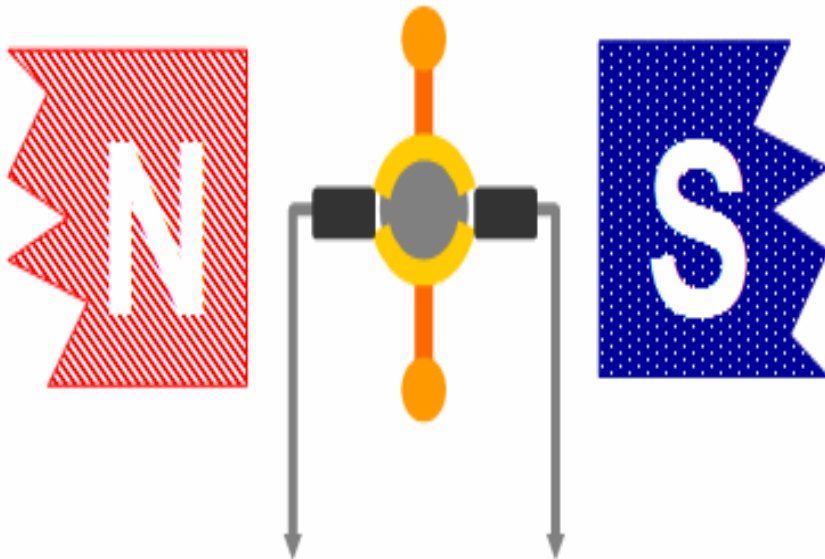
GENERACION DE CORRIENTE CON UNA ESPIRA



FUNCIONAMIENTO DE UNA DINAMO



En la figura anexa se observa cómo la intensidad siempre entra por un conductor y sale por el otro. La intensidad sólo cambia de sentido en la espira, pero como cuando la espira pasa por la línea neutra no genera corriente, ese es el momento para cambiar de delga y así, la intensidad seguirá fluyendo hacia la salida por la misma escobilla



En la realidad, la espira del generador elemental visto anteriormente se convierte en una bobina cuyos extremos están unidos a las delgas, con objeto de producir más corriente inducida. Igualmente, en vez de existir dos delgas hay muchas más, con sus correspondientes bobinas conectadas a sus terminales.

FUNCIONAMIENTO DE UNA DINAMO

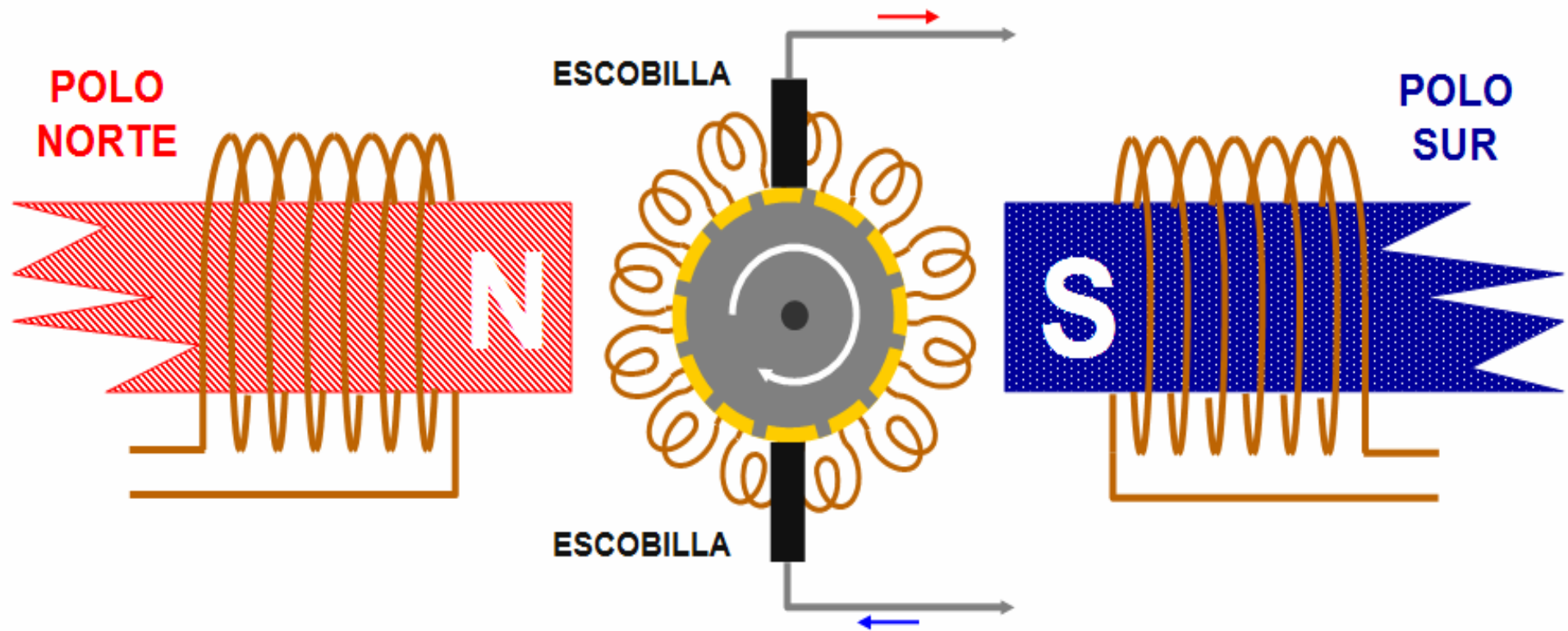
Para dar mayor solidez al conjunto de bobinas que constituyen el inducido, éstas se sitúan sobre un rotor que tiene ranuras en su periferia. Los devanados se alojan en esas ranuras con una buena fijación, sin que la fuerza centrífuga debida a la rotación pueda deshacerlos. Al situar en el colector un gran número de delgas, se consigue por cada bobina una señal diferente y desfasada el mismo número de grados geométricos (giro del rotor) que eléctricos (fase eléctrica de la señal).



FUNCIONAMIENTO DE UNA DINAMO

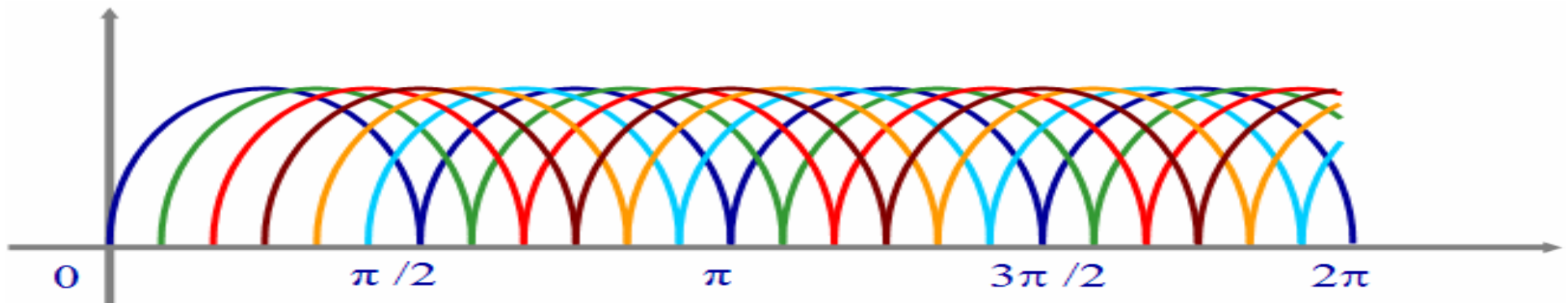
En ciertos casos, se suelen instalar sólo dos escobillas para recolectar todas las intensidades inducidas. En este caso, sólo dos delgas del colector están en contacto con las escobillas. La corriente generada por las demás delgas no se podría aprovechar, si no fuera porque a una misma delga se unen los extremos de dos devanados diferentes. De esta forma, todas las bobinas se encuentran en serie e interconectadas, pudiéndose aprovechar la f.e.m. generada en cada una de ellas.

FUNCIONAMIENTO DE UNA DINAMO



FUNCIONAMIENTO DE UNA DINAMO

La suma de corrientes continuas pulsadas y desfasadas consiguen un rizado de la señal muy pequeño, por lo que al final la estabilidad de su amplitud aumenta hasta casi conseguirse una línea recta.



PARTES DE UNA DINAMO

Las partes principales de una dinamo son:

Estator: parte fija que envuelve a la parte rotativa.

Rotor: parte giratoria.

Espira: anillo conductor.

Devanado: conjunto de espiras.

Inducido: devanado en el cual se genera la corriente inducida.

Inductor: devanado que genera el campo magnético.

Bobina de campo: conjunto de espiras del inductor.

Colector: dispositivo del rotor que recoge la corriente inducida.

Delga: cada una de las piezas conductoras adosadas al colector.

PARTES DE UNA DINAMO

Entrehierro: espacio comprendido entre el rotor y el estator.

Material ferromagnético: material que es atraído por el campo magnético.

Polo de campo: conjunto de láminas de material ferromagnético en el cual se arrolla el inductor.

Escobilla: pieza fija en contacto con las delgas que recoge la corriente inducida.

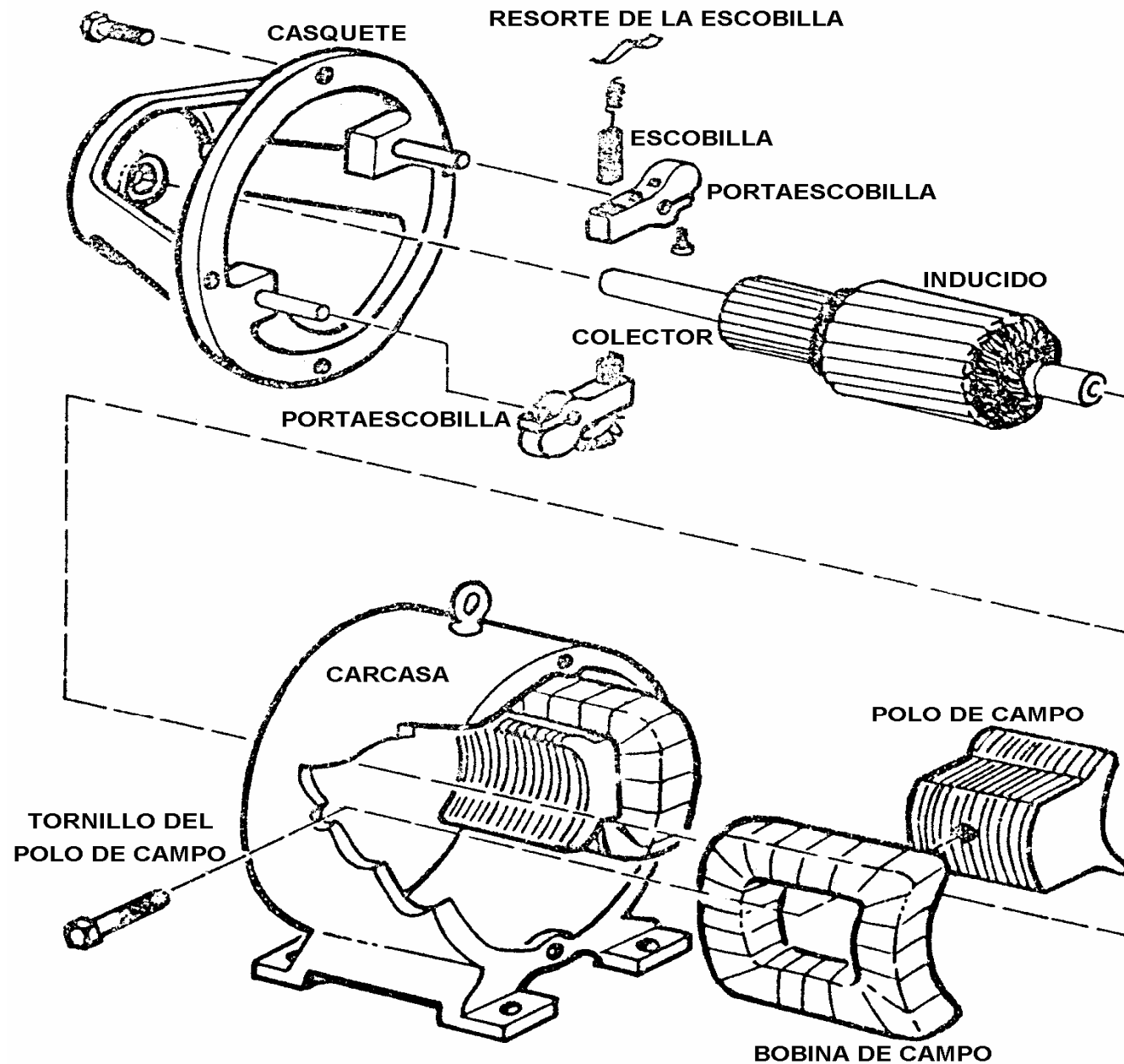
Porta-escobillas: elemento soporte de las escobillas.

Resorte del porta-escobillas: muelle que mantiene en contacto con un esfuerzo constante las escobillas y las delgas del colector.

Culata o Carcasa: Parte externa que soporta al estator.

Casquete: extremo de la carcasa que contiene los cojinetes del rotor.

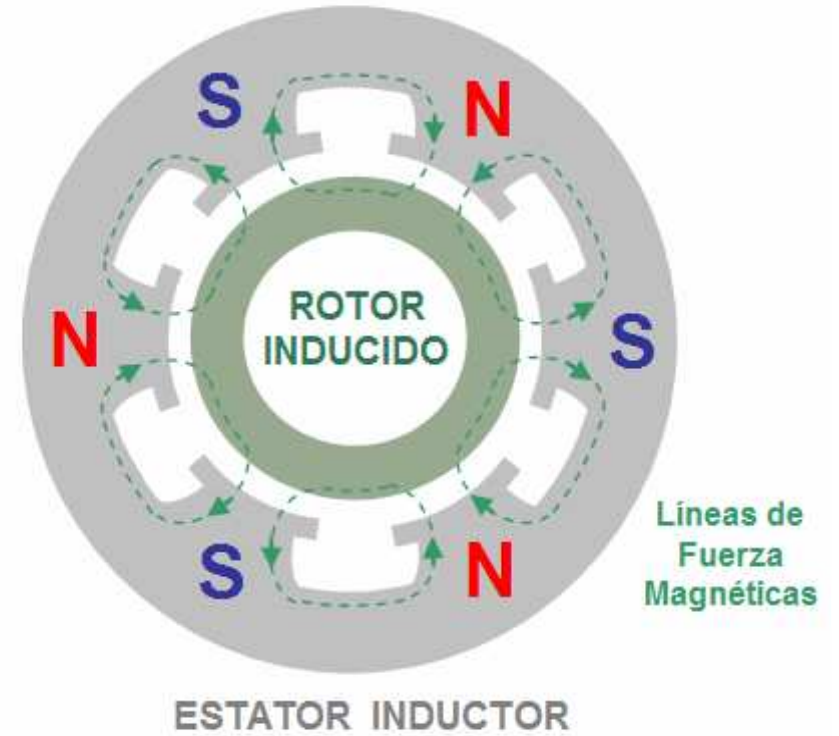
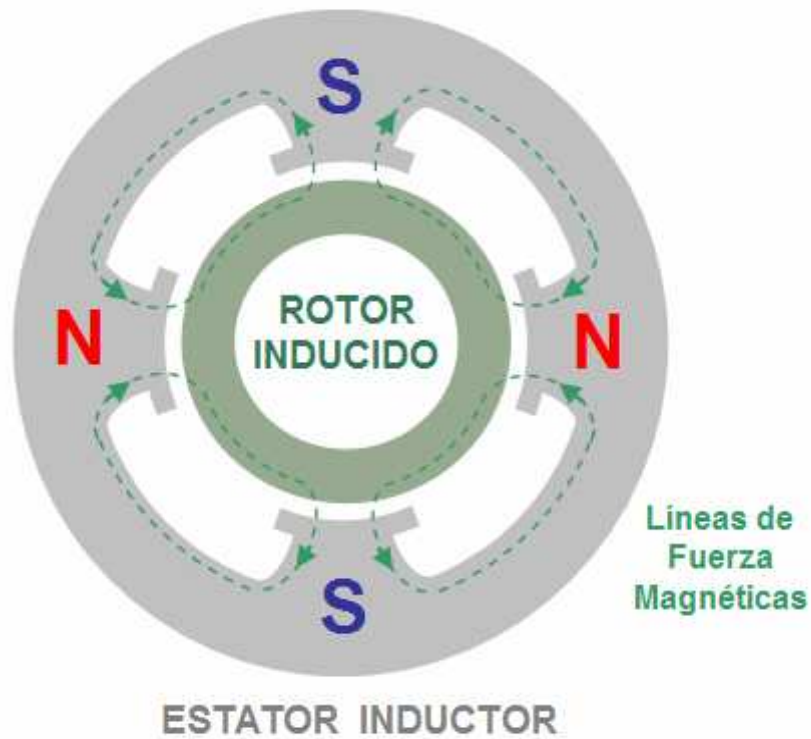
PARTES DE UNA DINAMO



POLOS DE UNA DINAMO

El estator de una dinamo suele contener al devanado inductor, que está compuesto por un número par de polos magnéticos, dispuestos de forma alternada, es decir, junto a un polo norte siempre se coloca un polo sur y viceversa. El conjunto se aloja sobre la culata. En las siguientes figuras, se muestran las dos dinamos más comunes dentro de las aplicaciones aeronáuticas: las dinamos tetrapolares o de cuatro polos y las hexapolares o de seis polos.

POLOS DE UNA DINAMO



GRADOS ELECTRICOS GEOMETRICOS

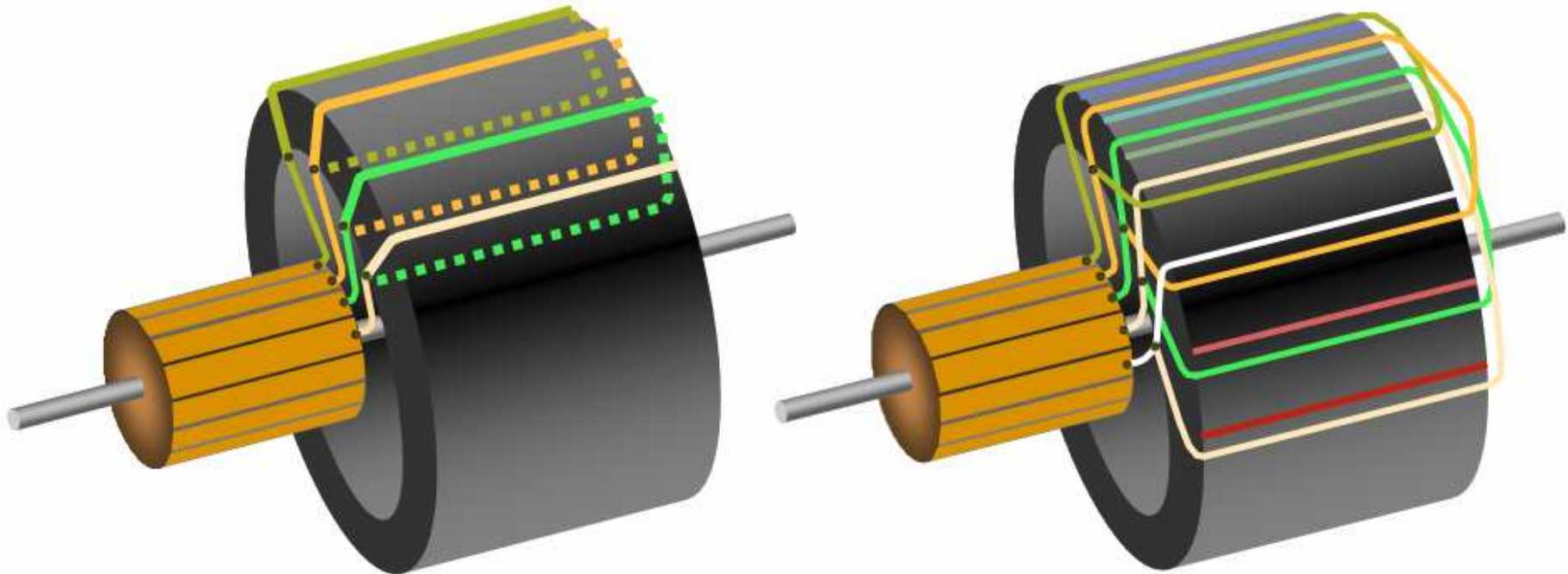
Si un generador solamente tiene dos polos, al dar el rotor una vuelta completa, se produce un periodo de corriente alterna y en este caso los grados geométricos coinciden con los eléctricos.

Por cada par de polos más que posea la máquina aumentará un periodo y por lo tanto 360° eléctricos más.

Grados eléctricos = Grados geométricos x pares de polos.

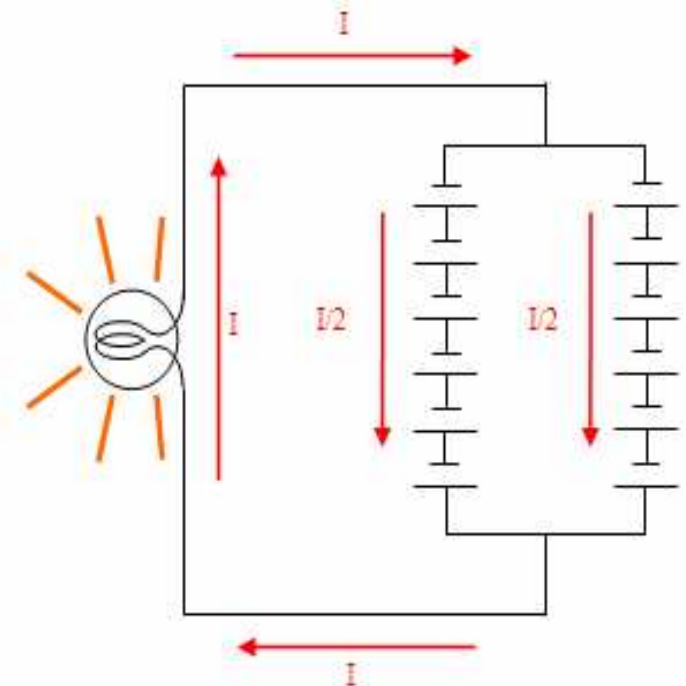
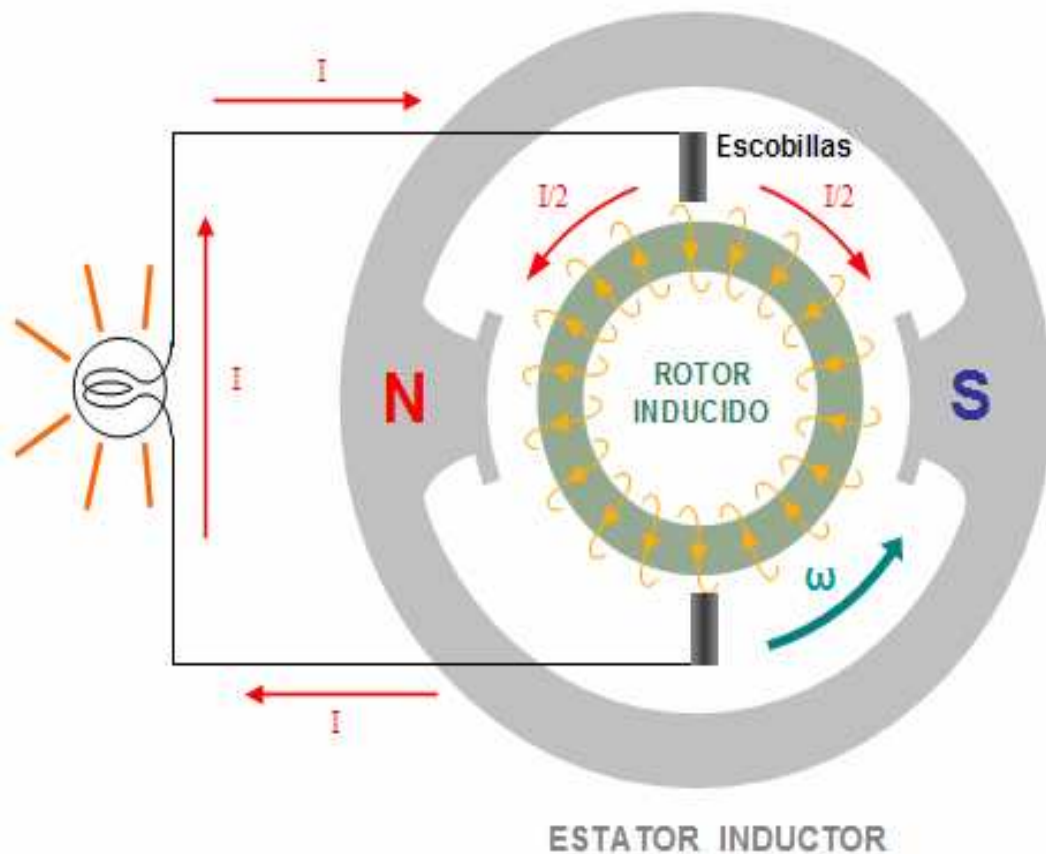
DEVANADOS DE UNA DINAMO

Se utilizan dos sistemas de bobinado: el arrollamiento múltiple, también denominado tambor o imbricado, y el arrollamiento ondulado o serie. En aeronáutica se suele usar el de tambor.



DEVANADOS DE UNA DINAMO

Esquema simplificado del principio de funcionamiento de una dinamo y su circuito equivalente



CHISPORROTEO EN LAS ESCOBILLAS

El rozamiento que se produce entre las escobillas y las delgas girando a gran velocidad crean fuerzas de tipo electrostático que aumentan la fricción entre las superficies (En un avión, el problema mencionado se agrava al alejarse de la superficie terrestre, ya que a grandes altitudes la cantidad de oxígeno y agua (humedad) disminuye) .

“Mala conmutación”: Cuando una escobilla cambia de delga, existe un momento que se mantiene en contacto con dos diferentes, produciendo un cortocircuito justo en el instante en que la corriente cambia de sentido en la bobina. En el proceso se genera una pequeña f.e.m. inducida, que origina una débil intensidad la cual produce el chisporroteo. Para evitar la mala conmutación se instalan en el estator unos pequeños polos auxiliares, cuya misión es minimizar esa intensidad indeseable.

CHISPORROTEO EN LAS ESCOBILLAS

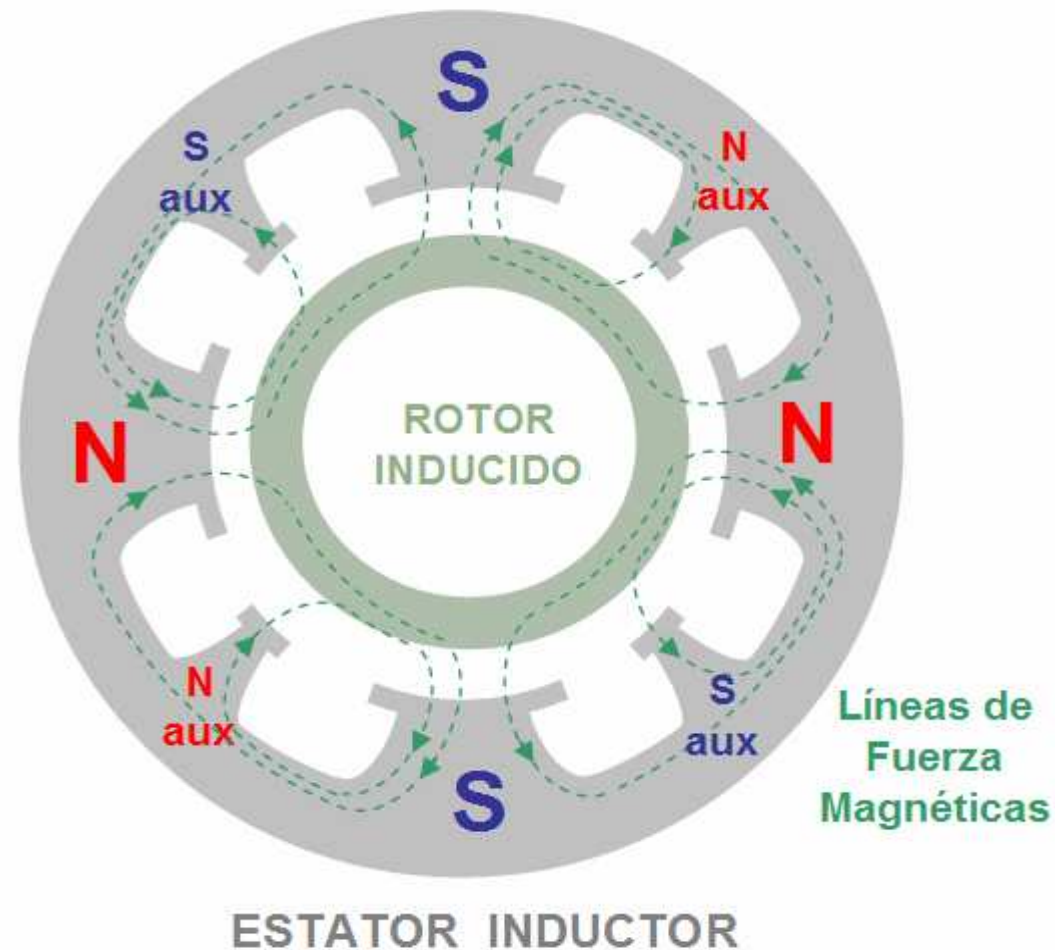
Soluciones al chisporroteo en las escobillas:

Colocar junto a cada polo principal uno auxiliar y de igual polaridad. Los polos adicionales originan una fuerza electromotriz, que crea una intensidad opuesta y de idéntico valor.

La inclinación de las escobillas sobre la línea neutra. La inclinación se realiza en el sentido de giro del inducido. El ángulo formado entre la línea neutra del campo magnético y la línea de inclinación de las escobillas se denomina “ángulo de desvío”.

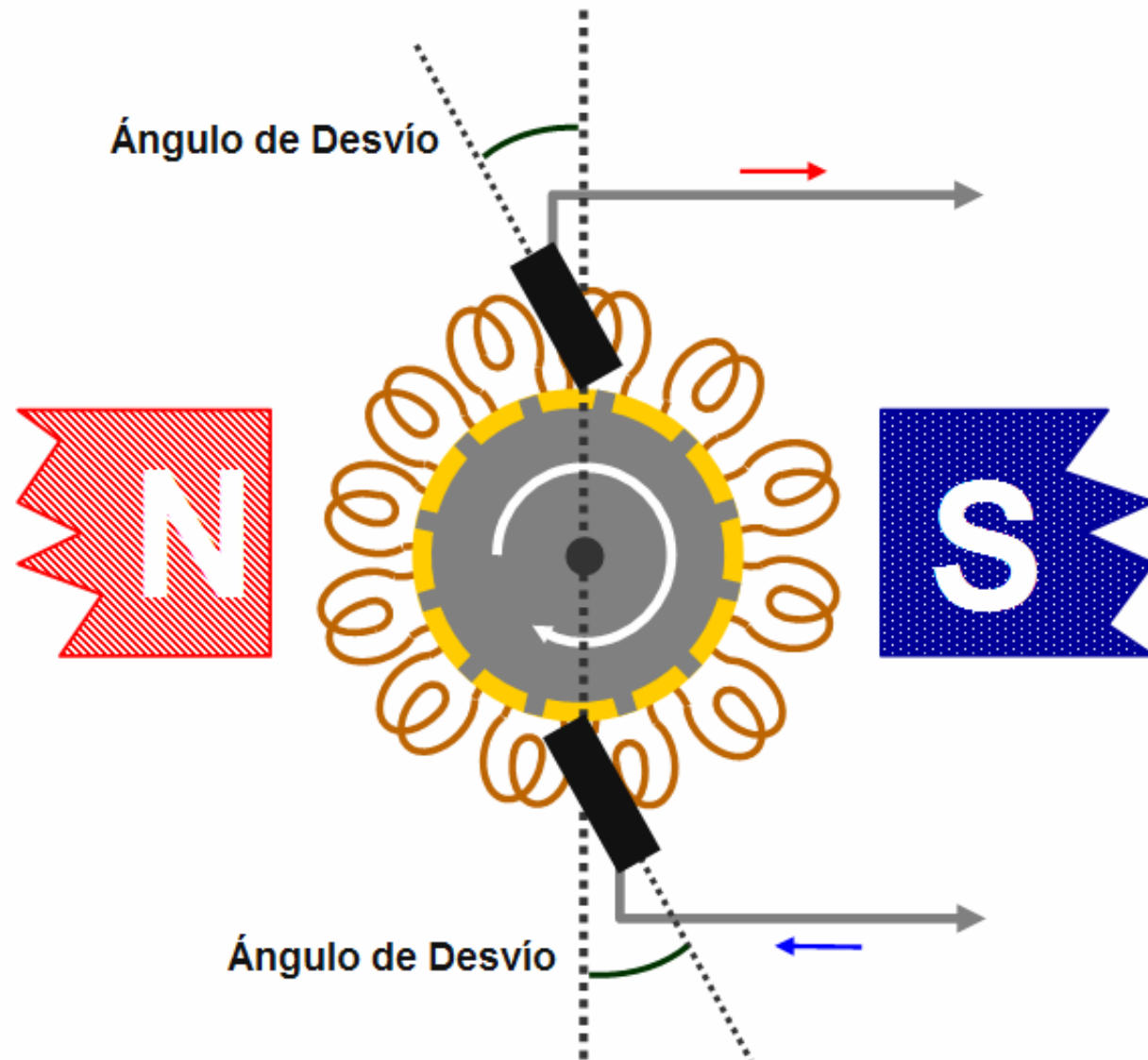
CHISPORROTEO EN LAS ESCOBILLAS

Soluciones al chisporroteo en las escobillas:



CHISPORROTEO EN LAS ESCOBILLAS

Soluciones al chisporroteo en las escobillas:



TIPOS DE EXCITACIÓN EN UNA DINAMO

AUTOEXCITACION

EXCITACIÓN SERIE

EXCITACIÓN PARALELO

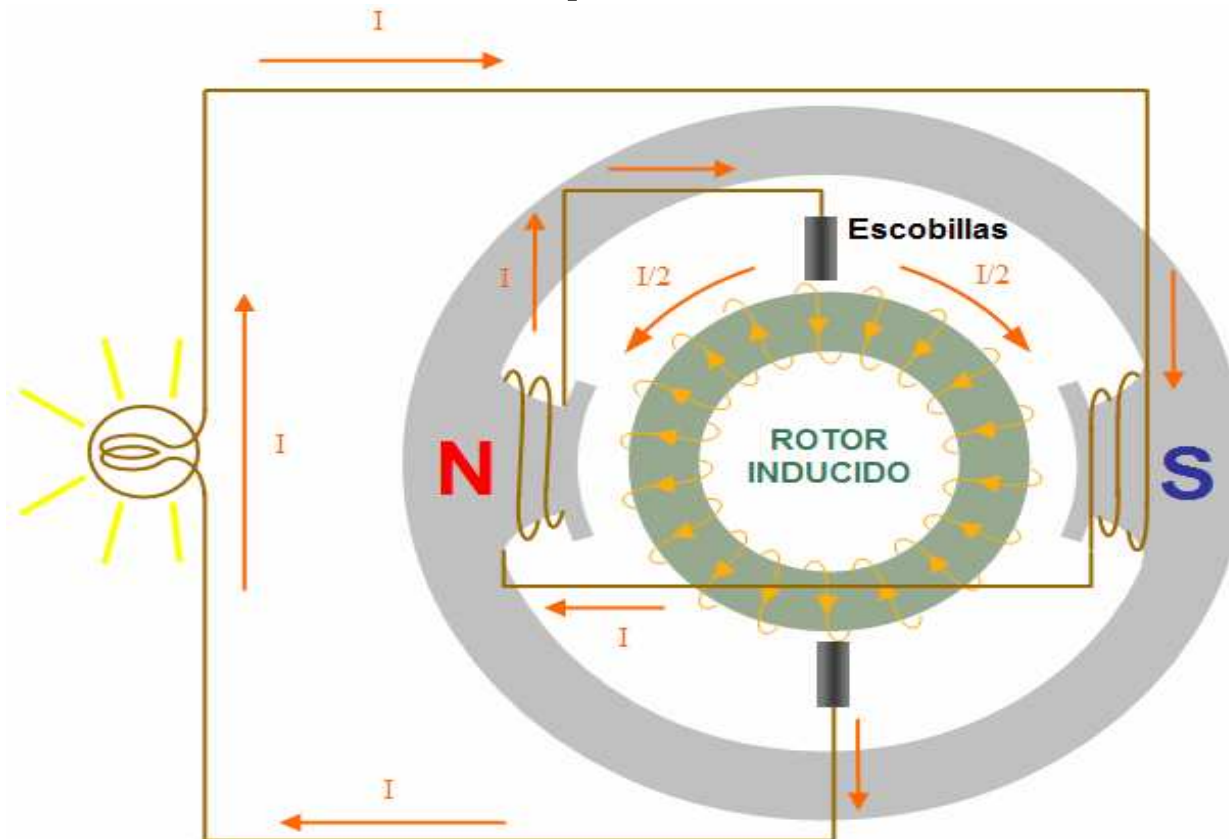
EXCITACIÓN COMPUESTA

EXCITACIÓN SEPARADA

TIPOS DE EXCITACIÓN EN UNA DINAMO

EXCITACIÓN SERIE

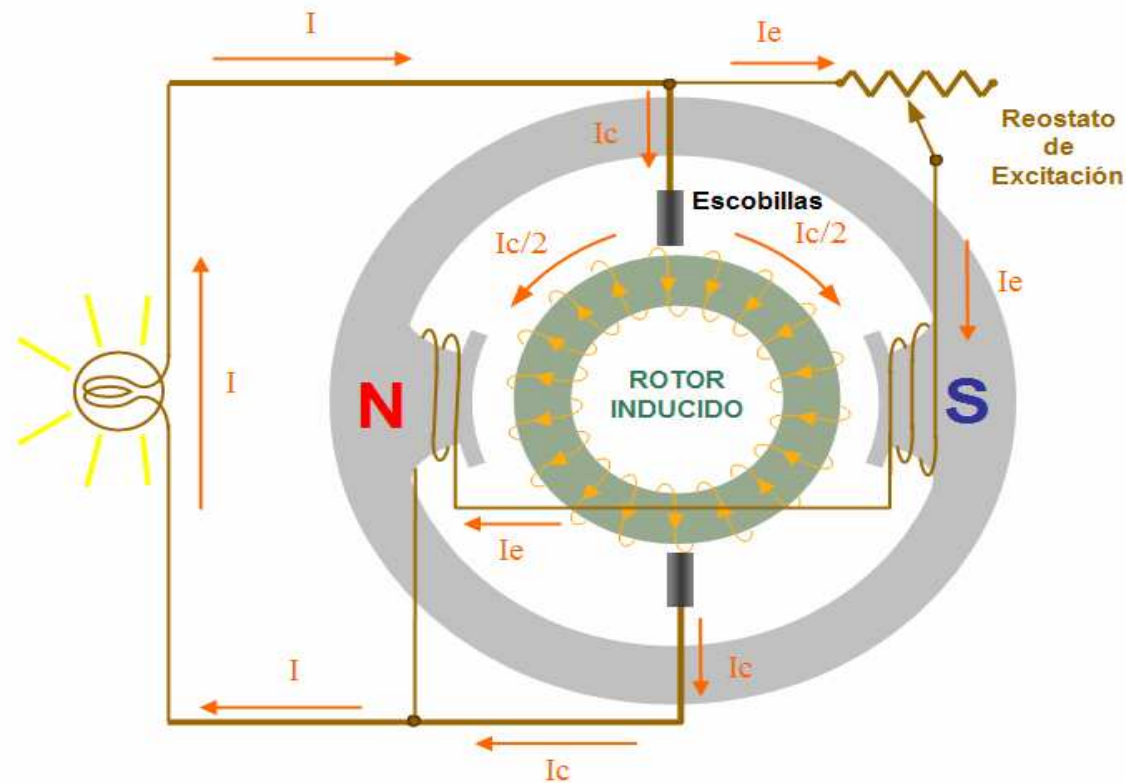
El devanado del inducido y las bobinas inductoras de excitación se disponen en serie. En este tipo, la misma intensidad generada en el inducido, recorre las bobinas del inductor. No se suele emplear en las dinamos aeronáuticas



TIPOS DE EXCITACIÓN EN UNA DINAMO

EXCITACIÓN PARALELA

El devanado del inducido y el devanado de las bobinas inductoras se disponen en paralelo. El inducido proporciona tanto la corriente de carga, como la corriente de excitación. La corriente de excitación es sólo del 1 al 5 % de la intensidad total del inducido. Este tipo es muy común en las dinamos de avión



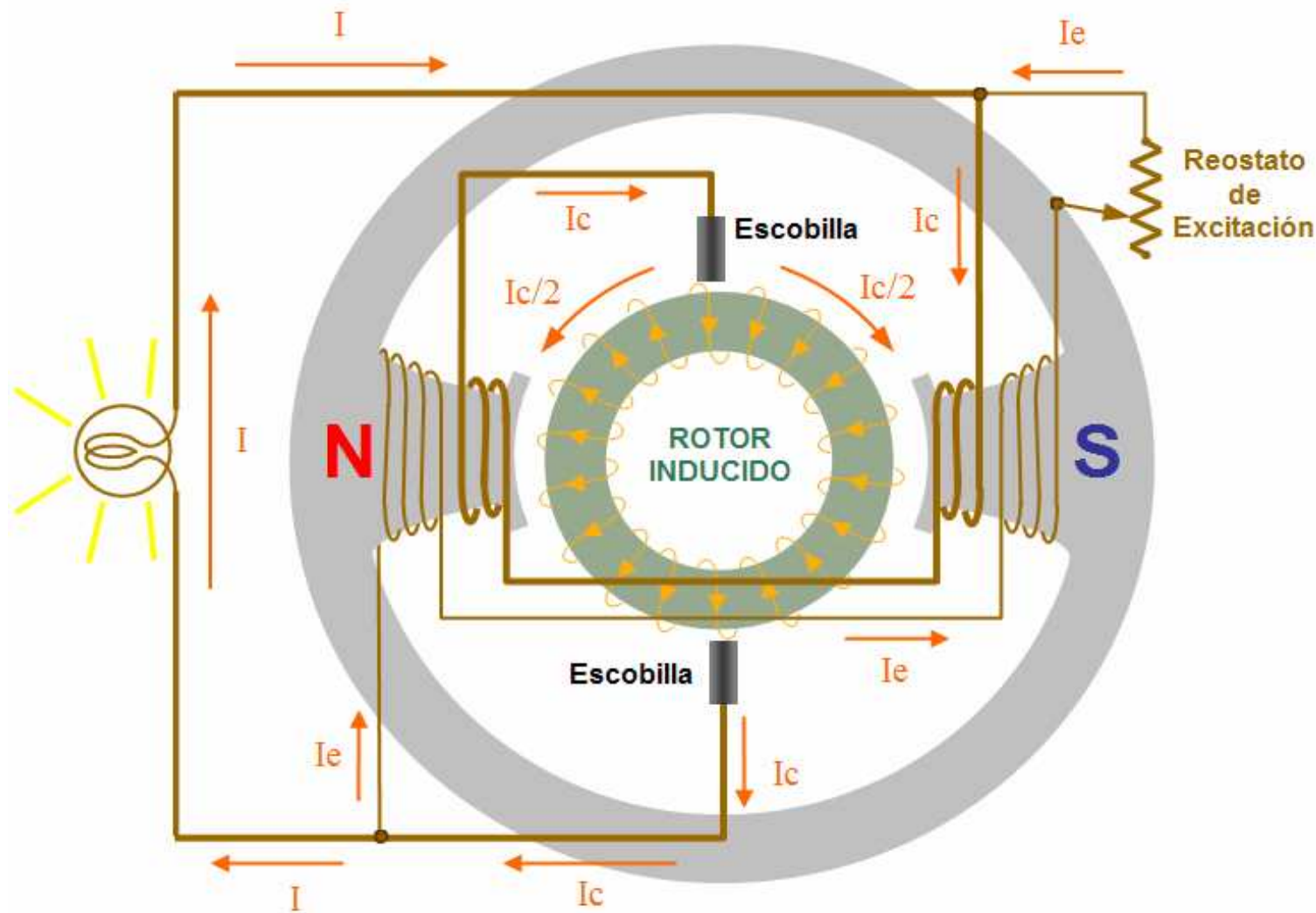
TIPOS DE EXCITACIÓN EN UNA DINAMO

EXCITACIÓN COMPUESTA

La dinamo tiene un devanado de excitación en serie y otro de excitación en paralelo. Los devanados se sitúan sobre los polos principales. El devanado en derivación produce la mayor parte del campo magnético de excitación, mientras el devanado en serie produce un campo variable, que depende de la corriente de carga, consiguiendo de éste modo un medio sencillo de compensar la caída de tensión al cargar el generador. Este tipo de excitación se suele emplear en aviación cuando se disponen en paralelo dos o más dinamos.

TIPOS DE EXCITACIÓN EN UNA DINAMO

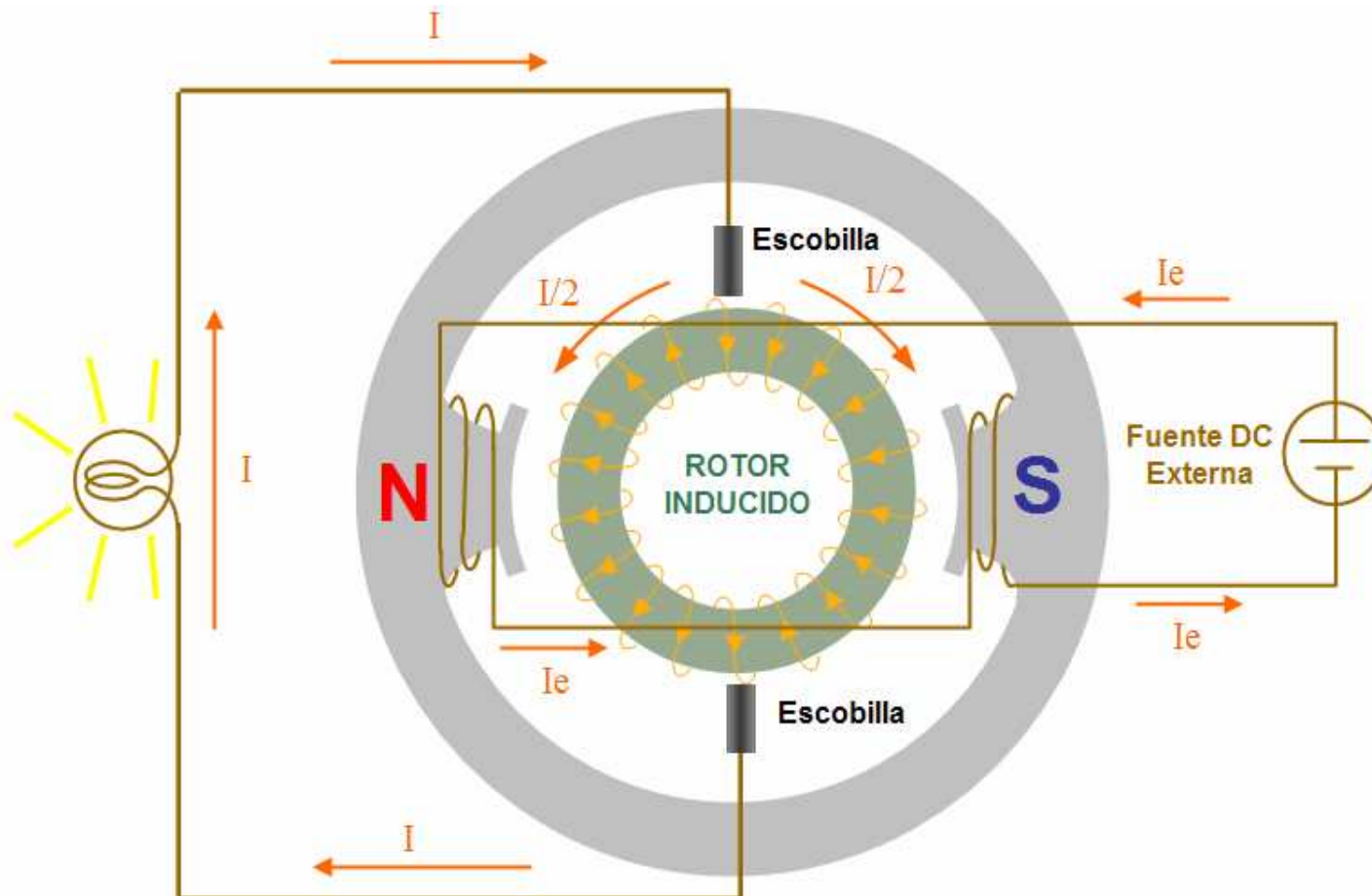
EXCITACIÓN COMPUESTA



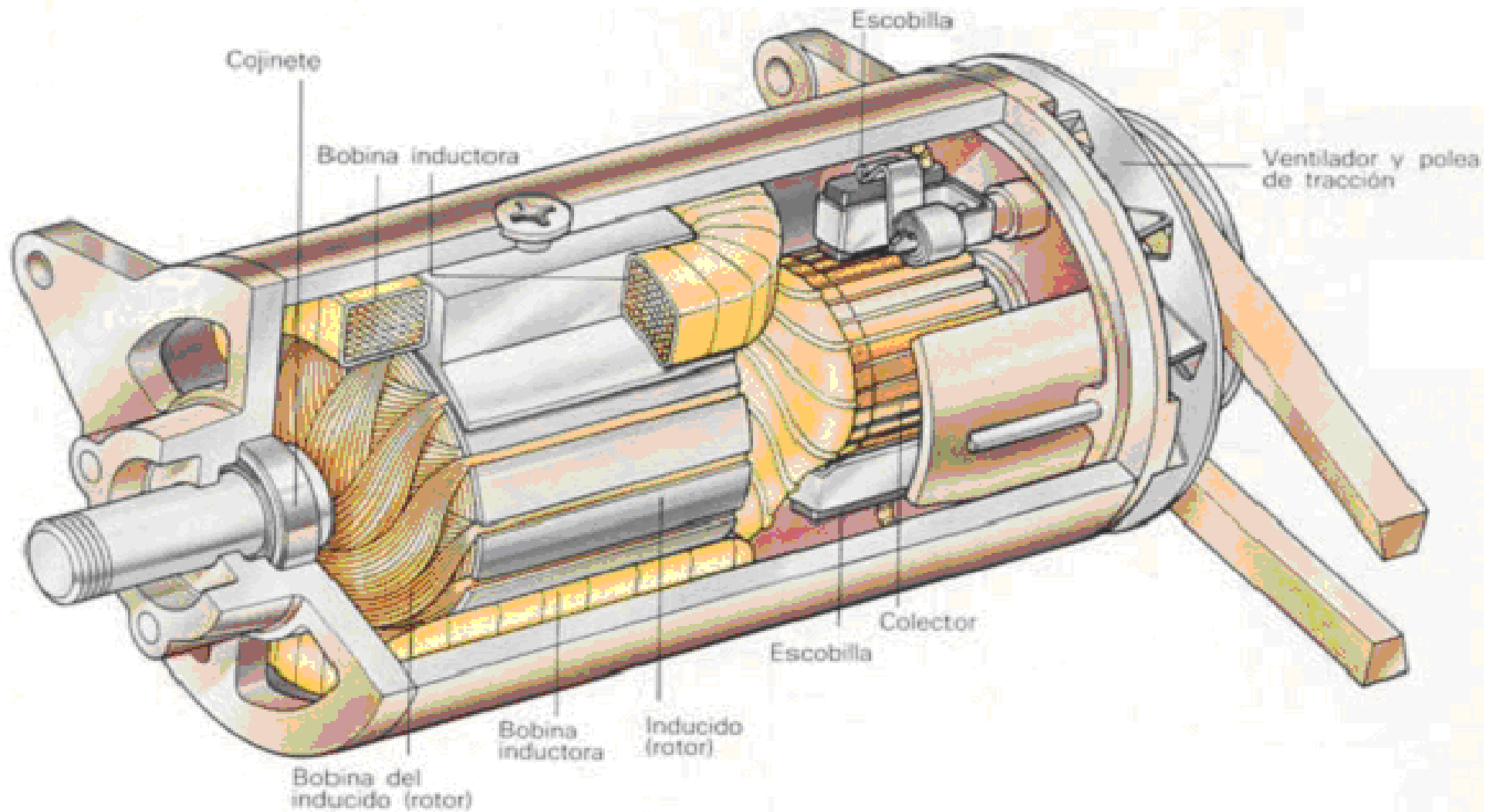
TIPOS DE EXCITACIÓN EN UNA DINAMO

EXCITACIÓN SEPARADA

La dinamo tiene un devanado de excitación similar al generador en derivación, pero se conecta a una fuente independiente de corriente continua.



SECCION DE UNA DINAMO



MOTORES ELECTRICOS DC

GENERALIDADES

Recibe el nombre de motor eléctrico aquella máquina de tipo rotativo que transforma la energía eléctrica en energía mecánica. Las ventajas más destacables de los motores eléctricos sobre los demás tipos de motores, radica en varios factores; menor tamaño, funcionamiento silencioso, contaminación muy baja, comodidad de manejo, etc.

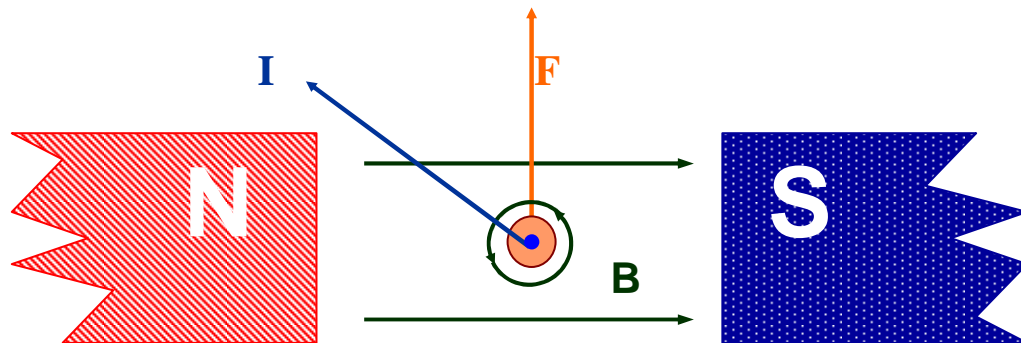
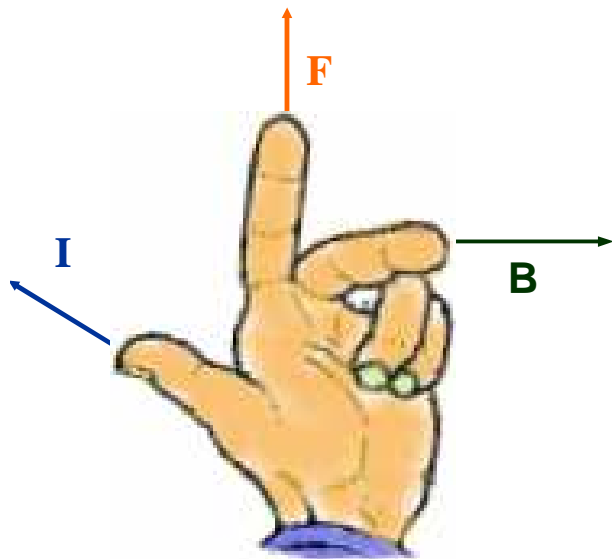
MOTORES ELECTRICOS DC

GENERALIDADES

Para los motores se utiliza la regla de la mano izquierda. Un motor proporciona movimiento (F), si a un conductor que atraviese un campo magnético (B), se le proporciona una corriente (I).

Dados: I y B

Se obtiene: F



CLASIFICACION DE LOS MOTORES

Motores DC (Direct Current)

Motores AC (Alternating Current) o Asíncronos

Motores AC/DC o Síncronos

CLASIFICACION DE LOS MOTORES

Motores DC (Direct Current): alimentación por corriente continua.

Configuración Serie: devanados del rotor y estator en serie.

Configuración en Paralelo: devanados del rotor y estator en paralelo.

Configuración Compuesta: devanados del rotor y estator en serie y paralelo.

CLASIFICACION DE LOS MOTORES

Motores AC (Alternating Current) o Asíncronos:
alimentación por corriente alterna.

Existe un deslizamiento en las velocidades angulares relativas entre el campo inductor y el rotor.

Inducción de Rotor Devanado.

Inducción de Jaula de Ardilla.

Inducción de Rotor Devanado y Jaula de Ardilla.

CLASIFICACION DE LOS MOTORES

Motores AC/DC o Síncronos: alimentación por corriente continua y alterna.

La velocidad angular relativa entre campo inductor y rotor es nula.

APLICACIONES DE LOS MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA

Tienen su aplicación principal cuando se dispone de tensiones pequeñas y se busca un par de arrastre elevado

Para su funcionamiento requieren la introducción de corriente continua, tanto en las bobinas del rotor como del estator, con objeto de crear los campos magnéticos que al interactuar provoquen el movimiento mecánico

FUERZA CONTRA-ELECTROMOTRIZ

La fuerza contra-electromotriz surge por el hecho de producirse una inducción en el rotor, debida a la existencia de un movimiento dentro de un campo magnético. La variación del flujo magnético origina sobre los conductores del rotor una fuerza electromotriz, que se opone a la tensión aplicada en los bornes del motor (Ley de Lenz). Por ello, se la denomina fuerza contra-electromotriz (f.c.e.m.).

Los factores que influyen en su variación son:

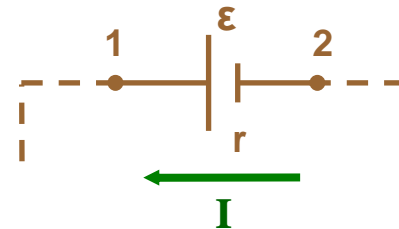
El número de espiras del rotor.

La velocidad de giro del rotor.

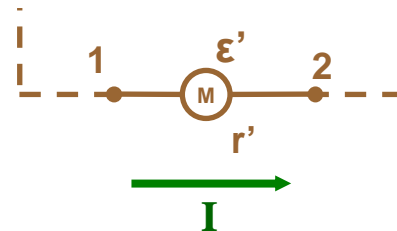
La intensidad del campo inductor.

FUERZA CONTRA-ELECTROMOTRIZ

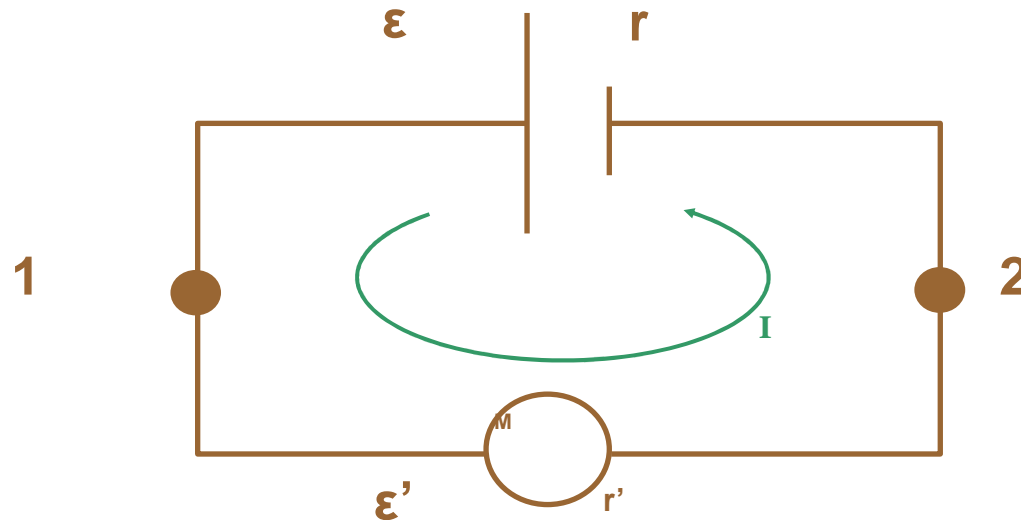
$$V1 - V2 = \varepsilon - I \cdot r \quad \text{FUERZA ELECTROMOTRIZ}$$



$$V1 - V2 = \varepsilon' + I \cdot r' \quad \text{FUERZA CONTRA-ELECTROMOTRIZ}$$



LEY DE OHM EN UN CIRCUITO CON MOTOR Y GENERADOR



$$[V1 - V2] - [V1 - V2] = 0 = - \varepsilon + I \cdot r' + \varepsilon' + I \cdot r$$

$$\Rightarrow \varepsilon - \varepsilon' = I \cdot (r + r') \Rightarrow \varepsilon - \varepsilon' = I \cdot R$$

ε : Fuerza Electromotriz del Generador (voltios [V]).

ε' : *Fuerza Contraelectromotriz del Receptor* (voltios [V]).

I : Intensidad de corriente eléctrica (amperios [A]).

R : Resistencia eléctrica total del circuito, incluyendo las de los hilos conductores y las internas del generador y del motor (ohmios [Ω]).

ENERGIA CONSUMIDA POR UN MOTOR ELECTRICO

La energía que consume un motor eléctrico en funcionamiento durante un tiempo “t” viene dada por

$$E = \varepsilon' \cdot I \cdot t$$

PARAMETROS PRINCIPALES DE UN MOTOR

Velocidad: varía con el momento resistente y la intensidad que circula por el estator. La fuerza contraelectromotriz depende de su variación.

Par motor: el momento de giro depende de la intensidad del inducido.

VARIACION DE LA FUERZA CONTRAELECTROMOTRIZ

\mathcal{E}' DEPENDE DE LA VELOCIDAD

1º VELOCIDAD CERO, $\mathcal{E}' = 0$

R = RESISTENCIAS DE LOS CABLES
DE LAS BOBINAS DEL ROTOR

I = GRANDE

SE PRECISA DE R DE ARRANQUE

2º AUMENTA VELOCIDAD

\mathcal{E}' AUMENTA

I DISMINUYE

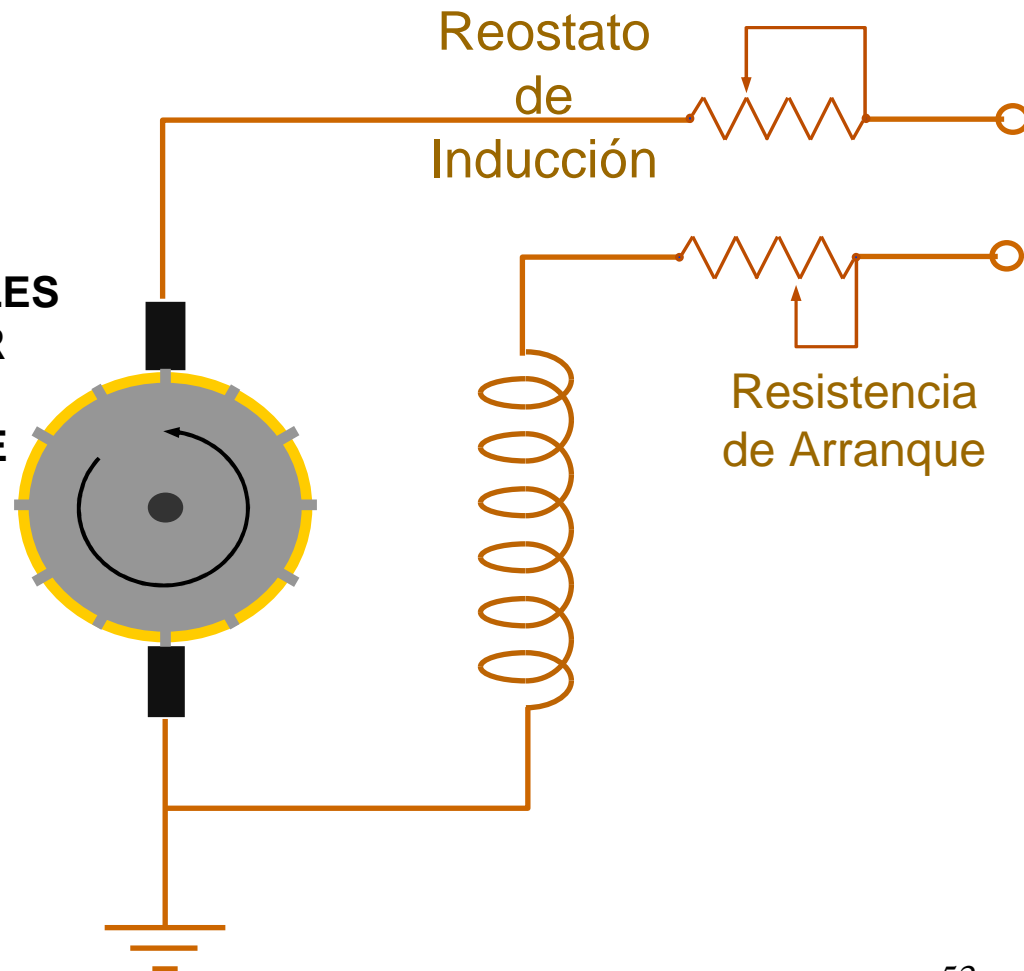
DISMINUIR LA R DE ARRANQUE

3º VELOCIDAD DE REGIMEN

I DE REGIMEN

\mathcal{E}' VALOR DE REGIMEN

NO SE PRECISA DE R DE ARRANQUE



REGULACION EXTERIOR DE LA VELOCIDAD DEL ROTOR

La intensidad del estator

La tensión aplicada al rotor

La carga o momento resistivo

RELACION ENTRE LA VELOCIDAD ANGULAR, FUERZA CONTRA-ELECTROMOTRIZ E INTENSIDAD

Ley de Ohm

$$\mathcal{E} - \mathcal{E}' = I \cdot R$$

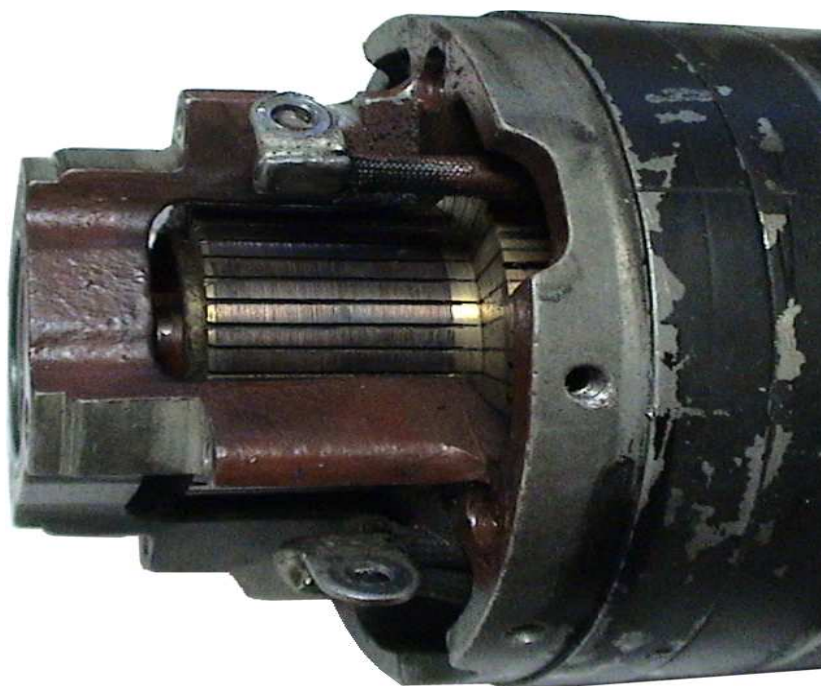
- * SI LA VELOCIDAD ANGULAR DISMINUYE
- * DISMINUYE LA F.C.E.M.
- * AUMENTA LA I (AUMENTA EL PAR MOTOR)

COLECTOR Y ESCOBILLAS

Colector: se compone de delgas fabricadas con un material de alta calidad y conductividad. Se busca que su desgaste sea el menor posible y que el material que separa las diferentes delgas sea aislante, normalmente mica.

Las escobillas suelen ser de grafito, sujetas por un soporte porta-escobillas, que contiene unos resortes que aseguran el contacto permanente sobre las delgas del colector. El objetivo de esta construcción es provocar que la zona de contacto sea lo más uniforme posible, creando el mínimo rozamiento, y por tanto, el mínimo desgaste

COLECTOR Y ESCOBILLAS



FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR DC

Para que el eje del rotor pueda originar un movimiento giratorio se requiere una doble intensidad, una que circule por las espiras del devanado de campo del estator y otra por las espiras del devanado del rotor. La que circula por las espiras del inductor crea un campo magnético de gran intensidad, que el rotor aprovecha al está inmerso en él. Cuando una corriente circula por sus espiras, debido a la Fuerza de Lorenz y a la regla de la mano izquierda, se produce la rotación del eje.

CONFIGURACIONES DE LOS MOTORES DC

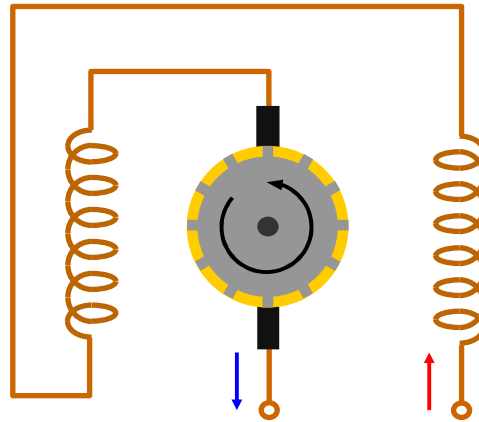
Dependiendo de la forma en que se conecten los devanados que constituyen el estator y el rotor, se distinguen tres tipos de configuraciones:

En serie.

En Paralelo.

Compuesta.

MOTORES DC CONFIGURADOS EN SERIE



Devanado de campo y devanado del rotor están en serie

Gran par de arranque

Su velocidad de rotación depende de la carga

Carga $\downarrow \Rightarrow \omega \uparrow \Rightarrow \epsilon' \uparrow \Rightarrow \text{I}_{\text{ROTOR}} \downarrow \Rightarrow \text{PAR} \downarrow$

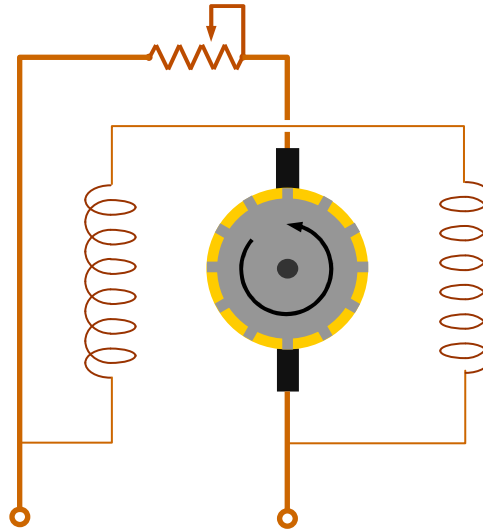
Carga $\uparrow \Rightarrow \omega \downarrow \Rightarrow \epsilon' \downarrow \Rightarrow \text{I}_{\text{ROTOR}} \uparrow \Rightarrow \text{PAR} \uparrow$

APLICACIONES DE LOS MOTORES DC CONFIGURADOS EN SERIE

Para el arranque del motor del avión, los actuadores de flaps y el movimiento del tren de aterrizaje.

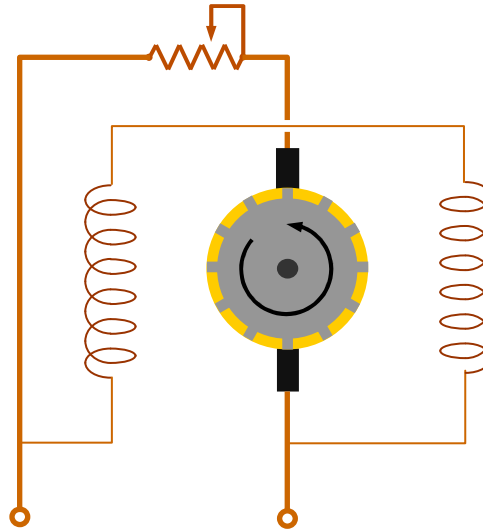
Se aconseja que este tipo de motores operen siempre bajo carga, ya que sin ella el aumento de su velocidad de rotación los puede dañar.

MOTORES DC CONFIGURADOS EN PARALELO



Tienen los dos devanados configurados en paralelo. El devanado de campo con muchas espiras de hilo fino (con objeto de que por ellas circule una pequeña corriente de campo), si se compara con la intensidad que fluye por el rotor. Así, la resistencia eléctrica del estator es elevada y la intensidad que lo atraviesa es prácticamente constante

MOTORES DC CONFIGURADOS EN PARALELO



Carga $\downarrow \Rightarrow \omega \uparrow \Rightarrow \epsilon' \uparrow \Rightarrow \Delta V_{\text{ROTOR}} \downarrow \Rightarrow \Delta V_{\text{ESTATOR}} \downarrow \Rightarrow \omega \downarrow$

Carga $\uparrow \Rightarrow \omega \downarrow \Rightarrow \epsilon' \downarrow \Rightarrow \Delta V_{\text{ROTOR}} \uparrow \Rightarrow \Delta V_{\text{ESTATOR}} \uparrow \Rightarrow \omega \uparrow$

MOTORES DC CONFIGURADOS EN PARALELO

Los conductores que constituyen el rotor se pueden fabricar con mucha o poca resistencia:

Si la resistencia es relativamente alta, aunque muy inferior al devanado de campo, el motor inicia el giro conectándolo directamente a la fuente de alimentación.

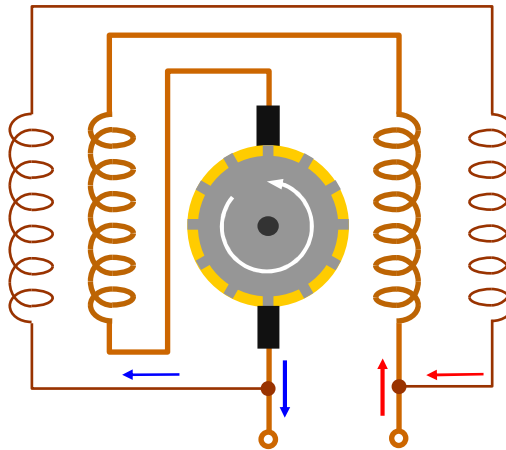
Si la resistencia es muy baja, se requiere la instalación de un reostato en serie para su puesta en movimiento. Al principio, hay que ajustarlo a la mayor resistencia y, conforme incrementa su velocidad, se disminuye la resistencia eléctrica, de tal forma, que cuando ha alcanzado su régimen de giro, la resistencia del reostato es nula.

APLICACIÓN DE LOS MOTORES DC CONFIGURADOS EN PARALELO

Su aplicación principal es proporcionar una velocidad de rotación constante, aunque la carga que se les aplique sea variable.

Igualmente se suele utilizar cuando se trata de arrancar el motor sin carga de arrastre o con una resistencia muy débil.

MOTORES DC EN CONFIGURACION COMPUESTA



Aprovecha de las ventajas del motor serie y de las del motor paralelo

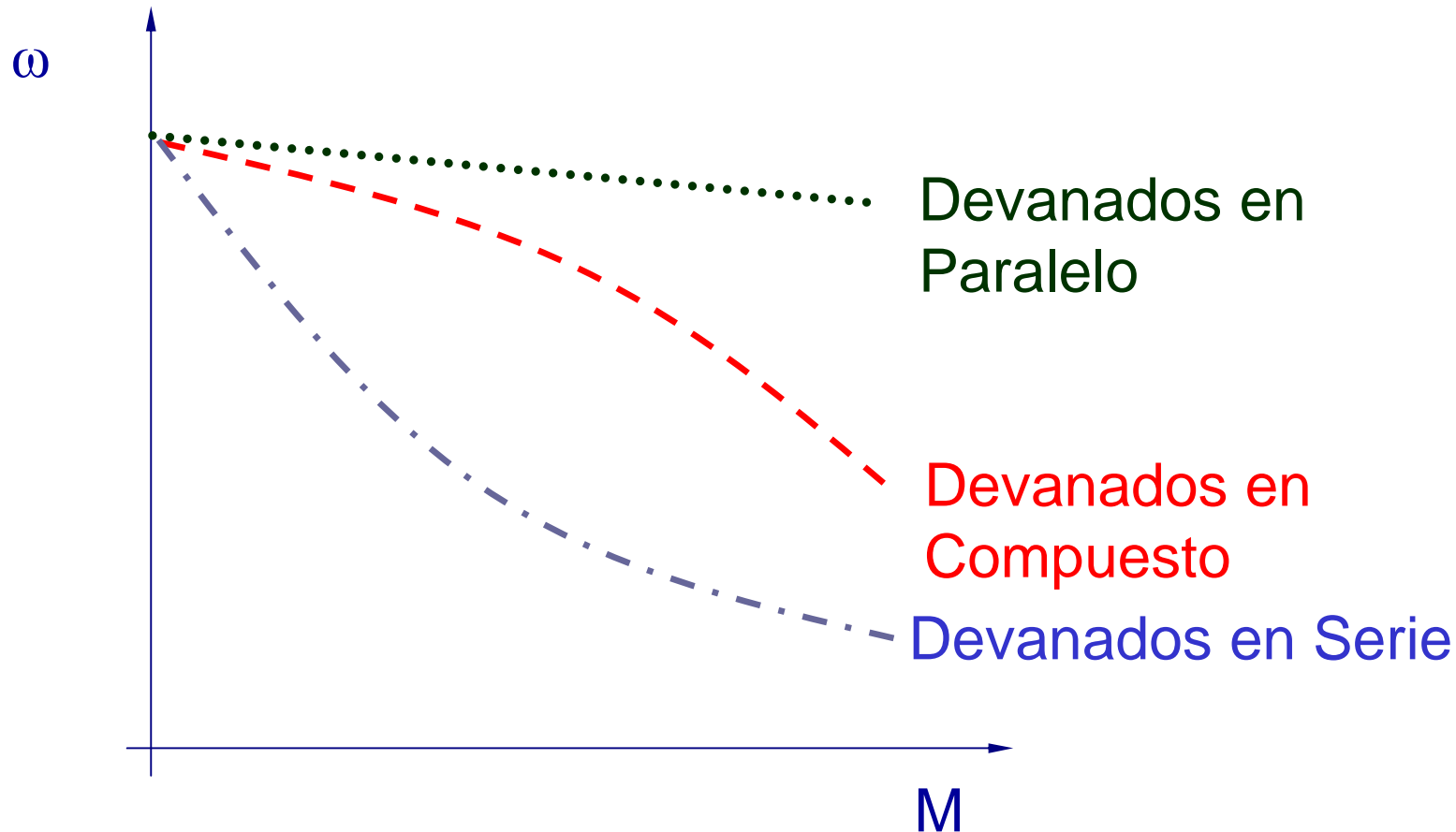
Para conseguir la aplicación idónea con este tipo de motores, se juega variando la relación de esfuerzos sobre los dos bobinados de campo. Así, se consiguen las características de velocidad y par motor adecuadas a cada aplicación particular

APLICACIÓN DE LOS MOTORES DC EN CONFIGURACION COMPUESTA

Se utilizan en las aplicaciones que requieren cargas repentinas durante un determinado tiempo y posteriormente operan sin cargas mecánicas.

En aeronáutica, un ejemplo típico es el motor de arranque de los motores principales de la aeronave, ya que al principio tienen que superar un gran esfuerzo de arrastre, pero al final tienen que alcanzar una cierta velocidad de giro en la que el momento resistivo disminuye mucho.

COMPARATIVA DE LOS TRES TIPOS DE MOTORES



ω : velocidad angular de rotación (rad / s).

M : momento de arrastre (Kg · m).