

# Máquinas eléctricas de corriente continua: constitución, funcionamiento y aplicaciones características.

## 1. Introducción

Tradicionalmente se ha dividido las máquinas eléctricas en dos grandes grupos: las que funcionan con corriente alterna y las que lo hacen con corriente continua. De estas últimas es de las que nos ocuparemos en este tema. Las máquinas de corriente continua son reversibles pudiendo funcionar como motor, si transforma energía eléctrica en mecánica o como generador o dinamo, si transforma energía mecánica en eléctrica.

Se podrían clasificar las máquinas eléctricas de corriente continua en:

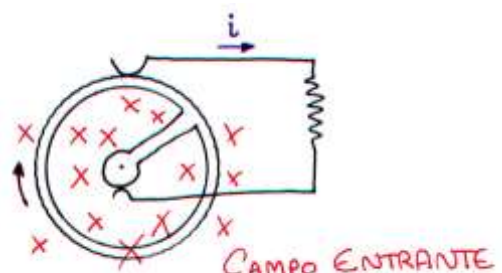
- Acíclicas u homopolares
- Cíclicas o heteropolares
  - o Máquinas de imanes permanentes
  - o Máquinas con electroimanes
    - Electroimanes de excitación independiente
    - Electroimanes autoexcitados
      - De excitación serie
      - De excitación paralelo
      - De excitación compuesta
        - Corta
        - Larga

## 2. Dinamos

Las dinamos son unas máquinas eléctricas a las que le suministramos energía mecánica y nos la transforman en eléctrica.

### 2.1. Dinamos acíclicas u homopolares

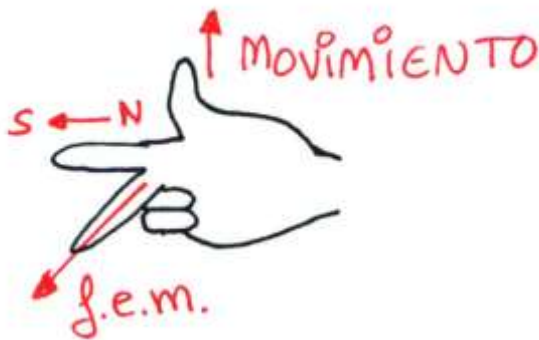
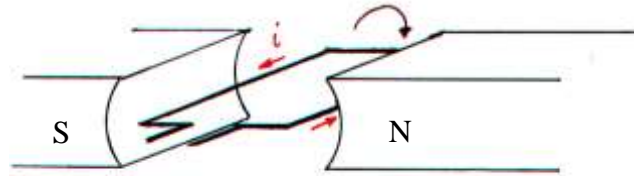
Fueron muy utilizadas antiguamente pero en la actualidad están en desuso. Un ejemplo de este tipo de máquinas es la rueda de Barlow o disco de Faraday



## 2.2. Cíclicas o heteropolares

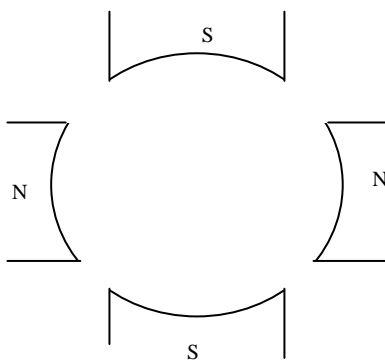
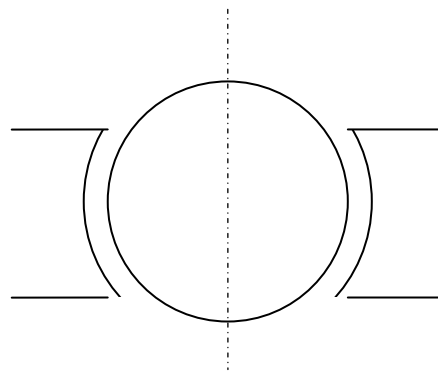
Son las que se usan en la actualidad y en ellas centraremos nuestro estudio.

Estas máquinas están constituidas fundamentalmente por una parte móvil a donde se aplica la energía mecánica en forma de giro y que se denomina inducido, porque en ella se induce la corriente, y una parte fija que se denomina inductor porque en ella están las zonas magnéticas que inducen la corriente en el inducido.



Su principio de funcionamiento es el siguiente: Si miramos por la cara izquierda de la espira y aplicamos la regla de la mano derecha, teniendo en cuenta que el sentido de giro es el indicado por la flecha, se inducirá una corriente en ese conductor que será de sentido contrario a la del otro lado de la espira.

Como  $f.e.m. = - d\phi/dt$  la máxima fuerza electromotriz inducida será en el eje que une los polos mientras que la menor será en el eje normal a este que se denomina línea neutra.

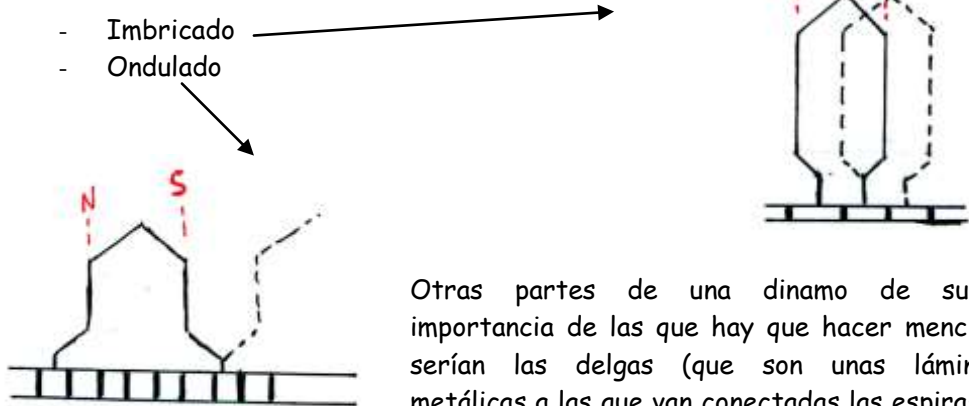


Como las máquinas eléctricas pueden tener más de un par de polos (por ejemplo 4 como se muestra en la figura) se define el ángulo eléctrico  $\theta_e = p\theta$  siendo  $p$  el número de pares de polos y  $\theta$  el ángulo mecánico.

Las espiras que forman el inducido se encuentran arrolladas sobre un cilindro en dos tipos de configuraciones:

- **De anillo.** En ellas el cilindro es hueco de manera que un lado de la espira está en el exterior y otro en el interior. Esto hace que cada espira tenga un solo lado activo porque el que está en el interior del cilindro está apantallado magnéticamente.
- **De tambor.** El cilindro es macizo. En este caso siendo activos ambos lados de la espira. Se pueden subclasificar según el tipo de devanado en:
  - o **Diametral.** El paso de espira es de  $180^\circ$  eléctricos.
  - o **Acortado.** El paso de espira es menor de  $180^\circ$  eléctricos
  - o **Alargado.** El paso de espira es mayor de  $180^\circ$  eléctricos

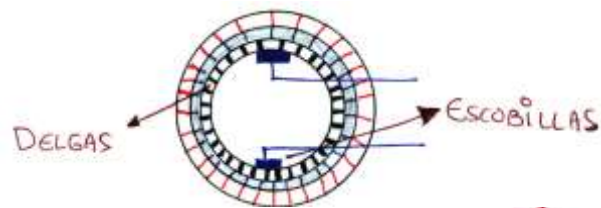
Una forma clásica de clasificar las dinamos es por su tipo de devanado. Según esta clasificación tendríamos:



Otras partes de una dinamo de suma importancia de las que hay que hacer mención serían las delgas (que son unas láminas metálicas a las que van conectadas las espiras y que están separadas por láminas de mica) y las

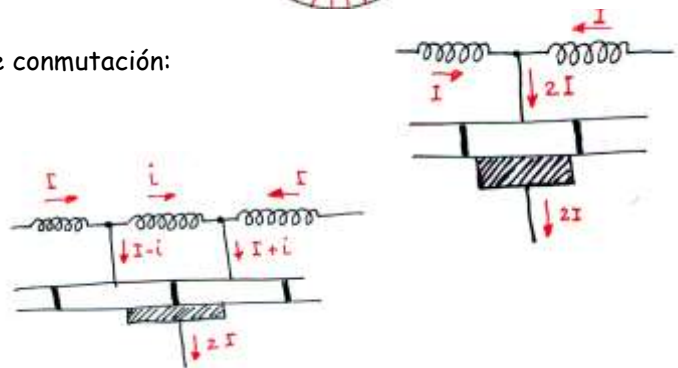
escobillas (que son unas piezas de carbón que frotan sobre las delgas recogiendo la corriente generada en las espiras).

Veamos pues como se recoge esta corriente que es lo que se llama conmutación.



Hay dos tipos fundamentales de conmutación:

- **Simple.** La escobilla es de anchura igual o menor que una delga.

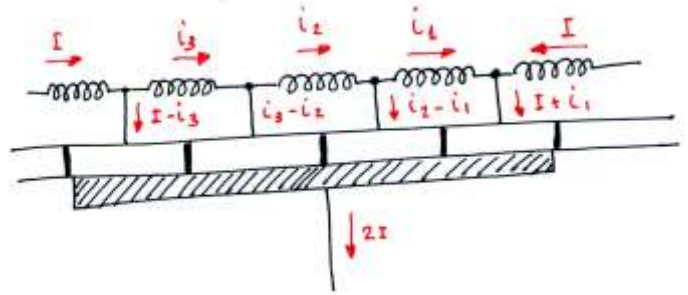


- **Múltiple.** La escobilla abarca dos o más delgas.

En definitiva se puede afirmar que la f.e.m. que genera una dinamo es:

$$E = pnN\phi/a$$

- p nº de pares de polos
- 2a nº de ramas en paralelo
- N velocidad de giro en r.p.s.
- $\phi$  flujo por polo
- n número de conductores
- p = a en el devanado imbricado
- 2a = 2 en el devanado ondulado

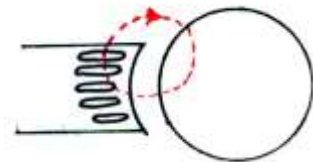
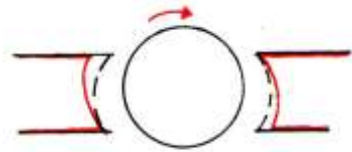


En carga disminuye la f.e.m. de salida fundamentalmente por:

- **Caídas ohmicas en los devanados del inducido.**
- **Reacción del inducido.** Provoca que el flujo se refuerza a la salida de los polos y se debilita a la entrada por lo cual la línea neutra se desplaza en el sentido del movimiento.

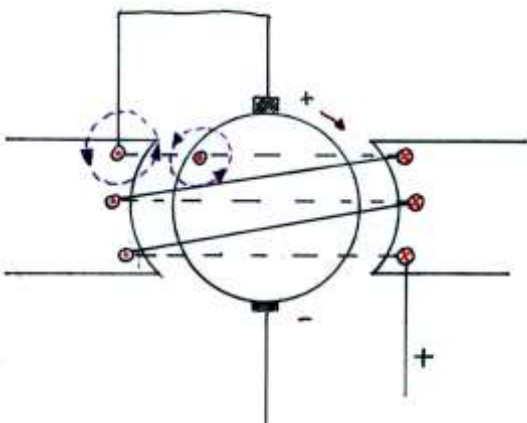
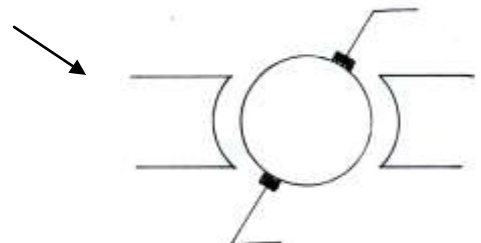
Las caídas ohmicas no se pueden paliar pero la reacción si. Para esto se utilizan varios métodos:

1. Hacer que el entrehierro sea mayor a la salida que a la entrada de los polos.
2. Crear orificios transversales en el inductor que dificulten la aparición del flujo de reacción del inducido.
3. Arrollamientos de compensación. Estos conductores crean unas líneas de flujo que

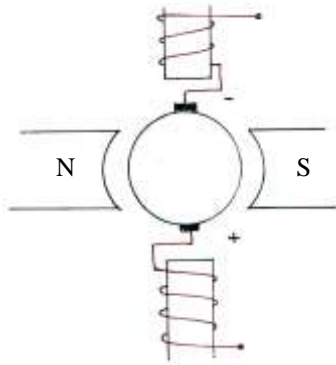


se oponen al de reacción del inducido. Este flujo será el mismo por circular la misma corriente en cada conductor.

4. Decalado de la escobillas. Modificar la posición de las escobillas para ponerlas donde la f.e.m. es nula.



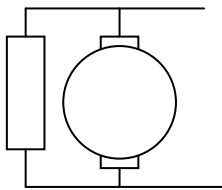
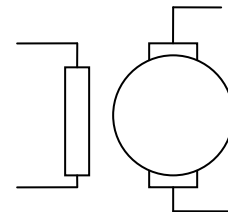
5. Polos de conmutación. Se disponen de tal forma que produzcan un campo magnético transversal del mismo valor y sentido contrario al flujo transversal de reacción del inducido. Para que esto sea así los polos de conmutación se conectan en serie con el inducido para que la corriente que pasa por ellos sea igual que la del inducido.



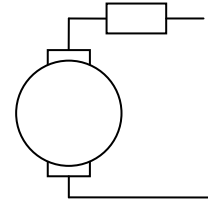
La f.e.m. en carga despreciando la reacción del inducido sería:  $E = U + R_i + 2U_e$  donde  $U$  es la f.e.m. en bornes,  $R_i$  las caídas ohmicas en los conductores y  $U_e$  la caída en las escobillas.

Normalmente en vez de imanes fijos se utilizan electroimanes y según la manera en que estos se excitan se pueden clasificar en:

- De excitación independiente. Las ventajas de estas dinamos es que dan una tensión de salida más estable que las demás pero el inconveniente es que necesitan una fuente de alimentación.
- Autoexcitadas. Se utiliza el magnetismo remanente para que comiencen a funcionar.

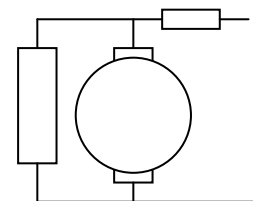
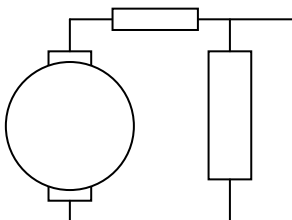


- o **Excitación en paralelo, derivación o suntu.** Los bobinados del electroimán tienen muchas espiras y poca sección para que la resistencia sea alta y consuma poco.
- o **Excitación en serie.** Los bobinados del electroimán tienen pocas espiras y de mucha sección para que la resistencia sea pequeña. Es poco utilizada. El inconveniente que tiene es que cuando trabaja en vacío no se excita y además si la intensidad de carga aumenta la tensión en bornes también lo hace llevando al equipo a un funcionamiento inestable.



- o **Excitación compuesta.** Es la más utilizada por su estabilidad. Hay dos tipos:

- Corta
- Larga



### 3. Motores de corriente continua

El motor de c.c. es una máquina que, basándose en los fenómenos electromagnéticos, transforma la energía eléctrica en mecánica. Los motores de c.c. han tomado un gran auge por sus características peculiares de admitir regulación de velocidad aún con grandes diferencias de carga.

Esencialmente un motor es análogo en cuanto a su estructura y principios de funcionamiento a una dinamo salvo que en vez de suministrarle energía mecánica y que nos de energía eléctrica le suministramos esta última y nos da mecánica. Teóricamente, por tanto la misma máquina valdría como dinamo y como motor.

Cuando se aplica a los bornes de un motor en reposo una diferencia de potencial  $U$ , la intensidad absorbida es:  $I = U/r$  siendo  $r$  la resistencia interior del motor.

Pero una vez en marcha se desarrolla en el una f.e.m. Como el sentido de la rotación del motor es inverso al que tendría como dinamo, la f.e.m. inducida será, por tanto, de sentido inverso a la que se aplica a los bornes. Por esto se le llama f.c.e.m. Esto hace que además de la caída ohmica  $rI$ , la tensión  $U$  deberá vencer esa fuerza contraelectromotriz  $E'$

$$U = E' + rI$$

$$E' = pnN\phi/a \rightarrow E' = K\phi N \rightarrow \phi = KI_{\text{excitación}}$$

En cuanto a la potencia decir que la potencia total será:  $P_t = UI = E'I + rI^2$

El termino  $rI^2$  representa las pérdidas por efecto Joule y el  $E'I$  la potencia eléctrica transformada en mecánica y que denominaremos potencia útil  $P_u$

$$P_u = E'I$$

El rendimiento sería:  $\eta = P_u/P_t$

Par motor. Se llama par motor al producto del esfuerzo tangencial  $F$  ejercido en la llanta de la polea del motor, por el radio de dicha polea ( $R$ ).

$$\varphi = C = T = FR$$

$$P_u = Fv = F2\pi RN = \varphi 2\pi N$$

En cuanto a las potencias que entran en juego en estos, motores decir que el motor absorbe una potencia de la red eléctrica  $P_{ab}$  y que parte de esta desaparece como pérdidas en el cobre  $P_{Cu}$  quedándonos una potencia eléctrica interna  $P_{ei}$  de la cual parte se disipará como pérdidas en el hierro ( $P_{Fe}$ ), parte como pérdidas mecánicas ( $P_m$ ) y el resto será la potencia útil ( $P_u$ ).

Para que estas máquinas sean estables tienen que reaccionar compensando los cambios de carga. Para ver cómo se adaptan el par motor y el par resistente, supongamos que el par resistente experimenta un aumento, entonces la velocidad disminuye, y como  $E'$  es directamente proporcional a la velocidad, también disminuirá. Este descenso de la fuerza

contraelectromotriz implica que la corriente inducida  $I_i$  aumenta. Por tanto, el par inducido aumenta hasta que se iguala con el par resistente.

Si el par resistente experimenta una variación en el sentido contrario, es decir, una disminución, el proceso que tiene lugar es similar, aunque todos los parámetros se modifican en el sentido contrario.

En cuanto al arranque decir que en un motor de corriente continua, en el momento del arranque, al ser la velocidad de giro nula, no se genera fuerza electromotriz. Por lo tanto, la corriente demandada por el motor en ese instante será muy elevada, ya que únicamente está limitada por la resistencia del devanado inducido.

Para limitar esta corriente se intercala en serie con el devanado inducido del motor un reóstato de arranque, cuyo valor disminuye a medida que aumenta la velocidad del motor. También se puede utilizar un conjunto de resistencias en serie que irán cortocircuitándose conforme la velocidad del motor aumenta.

#### 4. Aplicaciones de las máquinas de corriente continua.

Generadores con excitación independiente. Las aplicaciones de esta dinamo son generales, siempre que se disponga de alimentación de corriente continua independiente. No obstante, estas máquinas nunca deben trabajar en cortocircuito, pues existe el peligro de quemarlas.

##### 4.1. Generador de excitación serie

En estos la tensión en bornas aumenta al aumentar la carga, por consiguiente, es inestable y apenas se emplea industrialmente.

##### 4.2. Generador con excitación shunt o paralelo

Cuando no hay cambios frecuente y considerables de carga o bien cuando haya elementos compensadores, tales como generadores auxiliares, batería de acumuladores, etc.

##### 4.3. Generadores de excitación compuesta o compound

Se utiliza cuando se requiere tensión muy constante o cuando las variaciones de carga son bruscas, como sucede en talleres con laminadores, grúas de potencia, etc.

##### 4.4. Motor de excitación serie

Se emplea en aquellos casos en que se necesita un motor que deba efectuar el arranque con carga debido a su gran par de arranque, como locomotoras, grúas, bombas, etc. En cambio, cuando se necesite una velocidad sensiblemente constante, como en máquinas herramientas no se puede utilizar este motor.

#### 4.5. Motor de excitación suntuosa

Se emplea cuando se necesite una velocidad prácticamente constante y no sea necesario arrancar el motor a plena carga como en máquinas herramientas, hilaturas, etc.

#### 4.6. Motor con excitación compuesta

El motor compuesto adicional (los dos devanados producen f.e.m. en el mismo sentido) tiene un par excelente y una gran característica de velocidad constante. Se emplea mucho en tracción, laminadoras, máquinas herramientas, etc. El motor compuesto diferencial (las f.e.m. de los dos devanados son de sentido contrario), cuya velocidad se mantiene absolutamente constante, sea cual sea la carga, no se emplea casi nunca a causa del peligro de inversión de la marcha.