



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 N° 25 – DICIEMBRE DE 2009

“FUNDAMENTOS Y PARTES DE LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS”

AUTORIA ANDRÉS ANTONIO GIL MARTÍN
TEMÁTICA TECNOLOGÍA
ETAPA BACHILLERATO

Resumen

Dentro de la asignatura de física se estudian los principios básicos que constituyen la base teórica del funcionamiento de las máquinas eléctricas, que posteriormente son aplicados y desarrollados en la asignatura de tecnología para el estudio de las mismas. En este artículo se detallan los elementos básicos que las componen y que al mismo tiempo puede llegar a diferenciarlas unas de otras. Siendo por tanto, la base mínima que todo el alumnado debe de entender y conocer de estas máquinas que determinan nuestra forma de vida actual.

Palabras clave

Máquinas, cc, ca, motor, bobina, etc..

1. INTRODUCCIÓN A LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS.

Las máquinas eléctricas tanto de c.c como las de c.a se basan para su funcionamiento en los principios de electromagnetismo y sobre todo en la ley de inducción de Faraday, que tiene por expresión

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \frac{d}{dt} \oint \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

que relaciona el voltaje inducido de un circuito cerrado con la variación del flujo magnético variable en el tiempo y la superficie que atraviesa.

Las máquinas eléctricas se clasifican en tres tipos. Dependiendo del cambio (transformación) de energía que se realiza así tendremos:

1. **Generador:** Es aquella máquina eléctrica capaz de transformar la energía mecánica en eléctrica. Esto se consigue a través del movimiento de una bobina en un campo magnético,

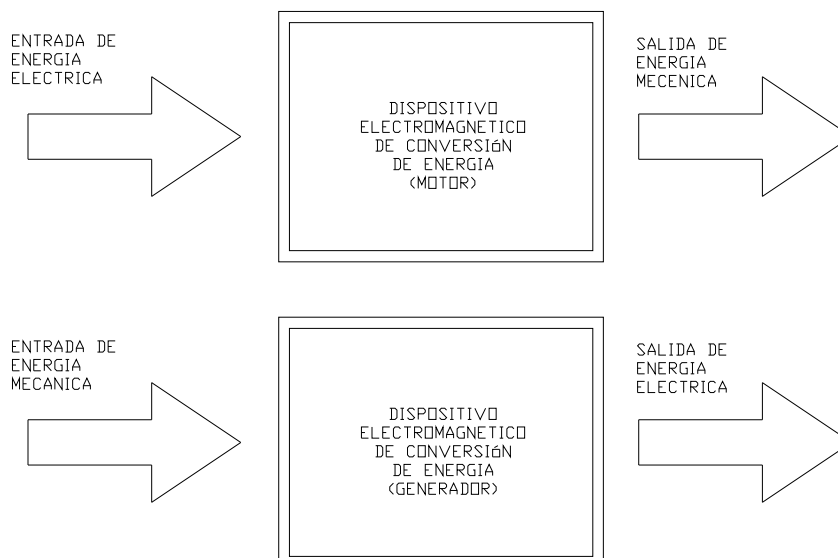
como resultando de esto se consigue una f.e.m. inducida que al aplicarla a un circuito externo, produce una corriente que interacciona con el campo y desarrolla una fuerza mecánica que se opone al movimiento. En resumen todo generador para producir energía eléctrica necesita la aplicación de una energía mecánica de entrada.

2. **Motor:** Es la máquina eléctrica capaz de transformar la energía eléctrica en mecánica. Esto se consigue introduciendo en la máquina una corriente eléctrica a través de una fuente externa, que al interaccionar con el campo magnético de la máquina produciendo una f.e.m. inducida que se opone a la corriente, de ahí su nombre de fuerza contraelectromotriz. En resumen todo motor transforma la energía eléctrica de entrada en energía mecánica.
3. **Transformadores:** son las máquinas eléctricas de c.a que no producen una transformación de energía como tal, ya que solo trabajan con energía eléctrica, pero si varían la tensión y corriente de esta. En resumen un transformador convierte la energía eléctrica de entrada, con una tensión y corriente determinada, en energía eléctrica con tensión y corriente distinta de la inicial.

Son por tanto los transformadores dentro de la clasificación de las máquinas eléctricas un caso especial, ya que a diferencia de los generadores y motores no se ve implicada energía mecánica alguna y por tanto carecen de movimiento.

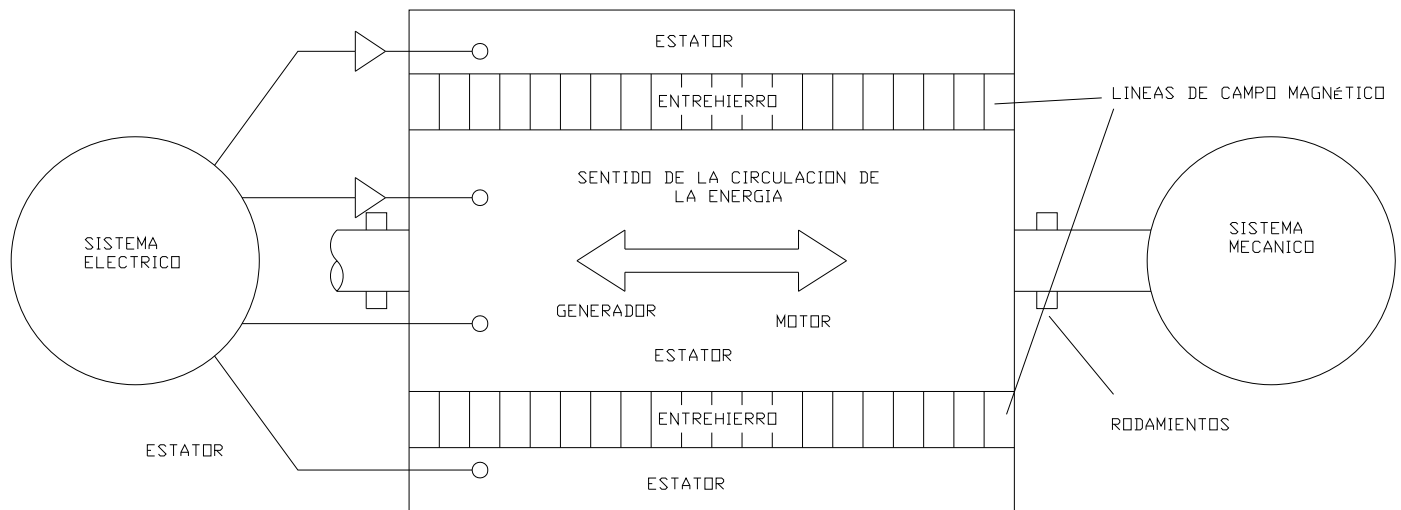
Una de las particularidades de las máquinas eléctricas es que pueden ser reversibles en su funcionamiento, esto es, que un motor puede actuar como generador y viceversa. Este concepto denominado principio de reciprocidad electromagnético es actualmente más bien algo simbólico que real, ya que aunque es posible, hoy en día existen diferencias constructivas significativas entre las distintas máquinas lo que hace inviable en la práctica este funcionamiento reversible.

Así tenemos el siguiente esquema resumen de los casos 1 y 2:



2. ELEMENTOS BÁSICOS DE LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS.

Son aquellas que como anteriormente se ha descrito reciben o producen energía mecánica, y por tanto, están dotadas de movimiento que normalmente es de rotación. Observemos el esquema básico:



En términos generales se puede distinguir dos partes muy diferenciadas dentro de estas máquinas:

- **El estator.-** es un cilindro hueco. En el caso de máquinas de gran velocidad, el cilindro es largo en comparación con su diámetro, mientras que para las de pequeña velocidad este es relativamente corto.
- **El rotor.-** es un cilindro con un orificio central para introducir el eje sobre el que va montado y su consiguiente chavetero, de ahí su nombre ya que es la parte móvil de la máquina. El eje solidario del rotor descansa en dos rodamientos o cojinetes, que estos a su vez pueden estar montados en sendos pedestales que descansan sobre la bancada de la máquina, o bien, formar parte de las culatas o tapas que están sujetas a la carcasa de la misma.

Tanto el estator como el rotor se construyen con materiales ferromagnéticos, para evitar lo mas posible las pérdidas en el hierro suelen realizarse con chapas magnéticas de acero al silicio, convenientemente ranuradas para alojar en su interior los devanados correspondientes que más tarde se describirán.

Las chapas que se utilizan para construir el rotor de máquinas grandes tienen agujeros practicados en toda su superficie que hacen de conductos de ventilación, para que penetre por



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 N° 25 – DICIEMBRE DE 2009

ellos el aire que produce un ventilador que suele estar acoplado al mismo eje de la máquina, disminuyendo en la medida de lo posible, las altas temperaturas que podrían llegar a alcanzarse en el interior de la misma a consecuencia de las pérdidas que se producen en el hierro.

A parte de estos elementos existen otros complementan a los anteriores y que son lógicamente necesarios para que la máquina funcione. Estos son:

- **El entrehierro.**- es el espacio que queda libre entre el estator y el rotor. En este espacio de aire es donde se produce el campo magnético que hace posible el acoplamiento entre los sistemas eléctrico y mecánico de la máquina.
- **El sistema eléctrico.**- está formado por:

a) Los devanados.- Son hilos de cobre (conductores) enrollados (a modo de bobinas) sobre el estator y el rotor, por los que circula corrientes eléctricas, que son suministradas o cedidas a un circuito exterior, según se trate de un motor o generador respectivamente. Los hilos de cobre se construyen en forma de hilo esmaltado (se utiliza el aislante para crear una separación eléctrica entre las distintas espiras (conductores)) en máquinas de pequeñas dimensiones, y en forma de pletina para máquinas de gran potencia, cuyo aislamiento se realiza recubriéndolas con cinta de algodón. También se puede emplear en lugar de cobre el aluminio, pero este se limita a la fabricación de rotores en jaula de ardilla de los motores asíncronos.

Uno de estos devanados es el encargado de crear el flujo en el entrehierro y por ello se denomina inductor, este suele ser el devanado del estator. El otro devanado, que lógicamente se encuentra en el rotor es el que recibe el flujo por ello se llama inducido. La situación tanto del inductor como la del inducido no tiene porque ser la expuesta, sino que puede intercambiarse, esto es, el inductor en el rotor y el inducido en el estator. Esto último más bien estará condicionado por las condiciones tecnológicas de facilidad de construcción, aislamiento, refrigeración, etc... Lo importante es saber, que lo que realmente cuenta es el movimiento relativo entre ambos devanados.

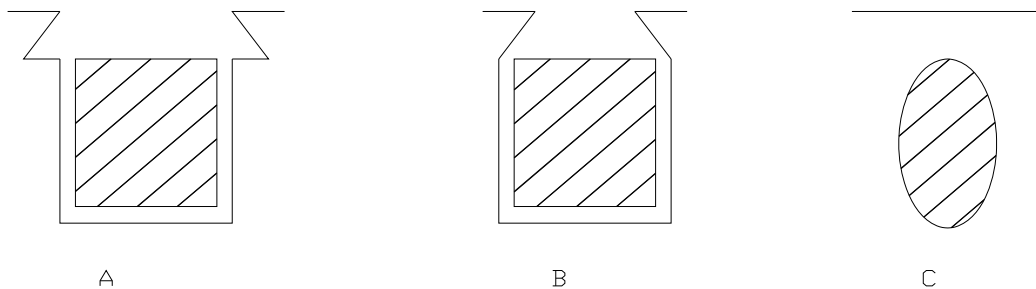
Los inductores de las máquinas asíncronas y de las de c.c. se construyen en lo que se denomina en el argot arrollamiento concentrado, esto es, devanando una bobina alrededor de los polos. Este sistema constructivo también se utiliza en la fabricación de los transformadores.

Los inducidos tanto de las máquinas de c.a. y de c.c se realizan en forma de arrollamiento distribuidos para cubrir toda la periferia de la máquina situando las bobinas en las ranuras practicadas para tal efecto. Antiguamente se utilizaban lo que se conoce como devanado en anillo, que no es mas que, arrollar el hilo conductor sobre un anillo cilíndrico a todo lo largo de la periferia del inducido. Hoy en día este sistema se ha sustituido por el devanado en tambor, donde la totalidad de los conductores están colocados en la superficie del exterior. A diferencia del anterior en este ultimo sistema no se desaprovechan los conductores interiores del bobinado, debido a que en el devanado en anillo el campo magnético después de atravesar el entrehierro este se encauza por dentro del anillo ferromagnético, en lugar de seguir recto, cruzando el cilindro interior del anillo el cual presenta una mayor reluctancia magnética. En definitiva el devanado en tambor podemos decir que ha desplazado al devanado en anillo, ya que se consigue que a excepción de las dos partes frontales, todo el cobre del inducido es activo, es decir, corta o es atravesado por la inducción y actúa, por lo tanto, como generador de f.e.m.

Existen tres formas de ranuras para alojar los conductores de los devanados, estas son:

- a) Abiertas.- suelen utilizarse en máquinas grandes, el devanado se prepara con sus bobinas totalmente acabadas en una bobinadora o torno de baja velocidad, de tal forma que se puede colocar la bobina entera en la ranura, cerrando esta por medio de un calzo aislante.
- b) Semicerrado. Suelen utilizarse en máquinas pequeñas, donde el devanado se introduce, haciendo deslizar los hilos conductores de la bobina, uno por uno a través de la garganta de entrada.
- c) Cerrado. Suelen utilizarse casi exclusivamente en la construcción del devanado del rotor de los motores de inducción (asincrónicos) en jaula de ardilla.

Tanto las ranuras abiertas como las semicerradas suelen tener una sección rectangular, veámoslo en la siguiente figura:



Los devanados se pueden clasificar en función de:

- 1) Del número de ramas de bobina (devanado) existentes en cada ranura:
 - Devanado con arrollamiento de una capa.- en el que en cada ranura se sitúa un solo lado de bobina.
 - Devanado con arrollamiento de dos capas.- en el que se sitúa dos lados de bobina por ranura; en este caso, un lado de la bobina se coloca en la parte superior de una ranura y el otro en la parte inferior de la otra ranura.
- 2) Su longitud; así podemos distinguir:
 - Devanados abiertos.- son aquellos que tienen un principio y un final. Estos son los que se emplean en las máquinas de c.a.
 - Devanados cerrados. Son aquellos que no tienen ni principio ni fin. Estos son los que se utilizan en las máquinas de c.c. En este caso deben hacerse tomas intermedias para sacar la corriente al circuito exterior.
- 3) Dentro de las máquinas eléctricas podemos distinguir dos tipos de devanados en función de la forma de este; así podemos encontrar:



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 25 – DICIEMBRE DE 2009

-Devanados concéntricos.- son aquellos que están formados por bobinas de diferente anchura o paso, siempre con un mismo eje común.

-Devanados excéntricos.- son aquellos que están constituidos por bobinas de igual paso pero desfasadas en entre sí en el espacio.

Como norma general para el buen funcionamiento del devanado demos de seguir estas dos recomendaciones:

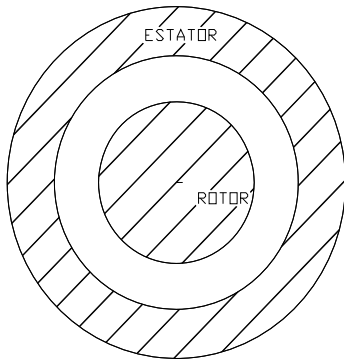
-La anchura, esto es, el paso de cada bobina debe hacerse lo más cercana posible a un paso polar con objeto de que los dos lados de la bobina queden frente a dos polos adyacentes N y S, para así obtener la máxima f.e.m. inducida en cada una de las bobinas y aprovechar de este modo, lo más posible, el cobre del devanado.

-Es conveniente en los devanados, sobre todo de los generadores de c.a. que el bobinado (arrollamiento) se coloque de forma que la f.e.m. senoidal que genere quede exento lo más posible de armónicos. Para ello se aconseja que los devanados estén bien distribuidos dentro de las ranuras y emplear acortamientos de paso en las bobinas.

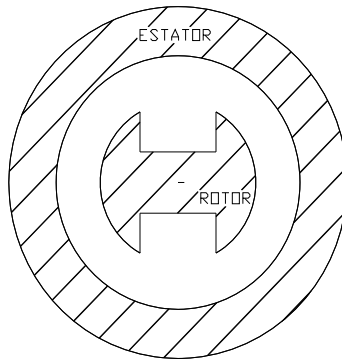
Las máquinas eléctricas de c.a desde el punto de vista físico pueden adoptar tres formas básicas:

- a) máquinas con las superficies tanto del rotor como la del estator, totalmente cilíndricas. Presentan por tanto un entrehierro uniforme y se utiliza esta disposición sobre todo en la fabricación de máquinas asíncronas y los turboalternadores de las centrales térmicas.
- b) y c) máquinas que presentan salientes en la superficie del rotor o del estator. Estos salientes se denominan polos, en estos polos va situado siempre el devanado inductor. Esta configuración física corresponde tanto a máquinas de c.a síncronas como a máquinas de c.c, con la salvedad que en las de c.a los polos están situados en el rotor y en las de c.c en el estator (estas máquinas no serán objeto de estudio en este trabajo, pero se ha creído conveniente su inclusión en este apartado solamente con carácter didáctico).

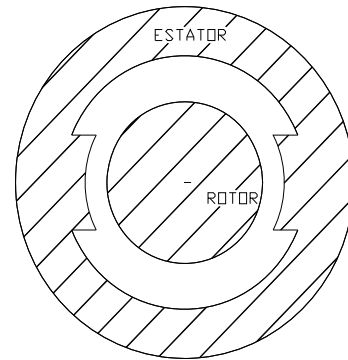
Podemos observarlo en la siguiente figura:



MAQUINAS ASINCRONAS



MAQUINAS SINCRONAS



MAQUINAS DE C.C

Algo de especial importancia para entender el funcionamiento de las máquinas eléctricas es comprender la forma de relacionar los ángulos geométricos entre los polos de la máquina con los grados magnéticos o grados eléctricos que ella entiende, ya que las f.e.m.s. inducidas en las bobinas dependerá de la variación entre las posiciones magnéticas. Por ello vamos a primeramente a distinguir los siguientes conceptos que nos serán de gran ayuda:

- una máquina que presenta un circuito magnético que está formado por dos polos se dice que es bipolar. Si tuviera más de dos polos sería multipolar; así podríamos decir que una con cuatro es tetrapolar, una con seis hexapolar, ya así sucesivamente.
 - Línea neutra- se define como la línea media entre dos polos consecutivos.
 - Paso polar- es la distancia entre dos polos consecutivos.

Así en una máquina bipolar, por ejemplo se consigue un ciclo magnético en una vuelta completa del rotor; sin embargo si la máquina fuese una multipolar con p pares de polos, en una revolución completa del rotor se recorren p ciclos magnéticos completos.

- c) El colector de anillos y de delgas.- los colectores son sistemas (en definitiva artilugios) que sirven para introducir o sacar (según sea inductor o inducido) corrientes de los bobinados (devanado) del rotor. Este sistema de conexión del rotor al sistema eléctrico exterior no es necesario en el caso del estator, ya que estas son conexiones fijas (recordemos que el que se mueve (gira) es el rotor y no el estator).

c.1) El colector de anillos son dos anillos de bronce (anillos colectores) situados sobre la espira del inducido (rotor en este caso), sobre los que rozan unas escobillas de grafito electrolítico, que es un buen conductor eléctrico y al mismo tiempo no desgasta excesivamente los anillos (aunque pueden ser metalográficas), a las cuales se la conecta el circuito exterior (que lleva un receptor de energía). Con las escobillas se consigue que la



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 N° 25 – DICIEMBRE DE 2009

corriente que circula por el circuito exterior, sea de la misma forma que la que se obtiene en la espira del inducido. Para que la conexión entre los anillos colectores y las escobillas de grafito, se suele utilizar un muelle que ejerce presión entre ambos, para evitar falsos contactos.

Para estudiar su funcionamiento vamos a considerar un generador elemental, esto es, un campo magnético creado por un inductor bipolar y un inducido formado por una sola espira. Si la velocidad de la espira es ω_m rad/s dentro del campo magnético creado por el imán permanente (bipolo inductor). Los vectores B, inductor magnética, y S, superficie de la espira, forman un momento determinando un ángulo eléctrico $p\alpha$, donde como ya sabemos p es el número de pares de polos de la máquina y α es el ángulo geométrico correspondiente. De acuerdo con la ley de Faraday, la f.e.m. inducida en la espira al girar dentro del campo magnético del imán será:

$$e = -d\theta/dt = d (B S \cos p\alpha)/dt$$

como sabemos que se cumple que:

$$\omega_m = d\alpha/dt = 2\pi n/60$$

donde n es el número de r.p.m. de la espira.

Tomando como referencia $\theta = 0$ ($p\alpha = 0$) en $t = 0$, obtenemos la siguiente expresión:

$$e = B S \omega_m \sin (p \sin \omega_m t)$$

que si la comparamos con la expresión general de una f.e.m. alterna de pulsación $\omega = 2\pi f$, que recordemos es:

$$e = E_m \sin \omega t$$

podemos entonces deducir que la relación entre las r.p.m. de la máquina y la frecuencia de la f.e.m. alterna es:

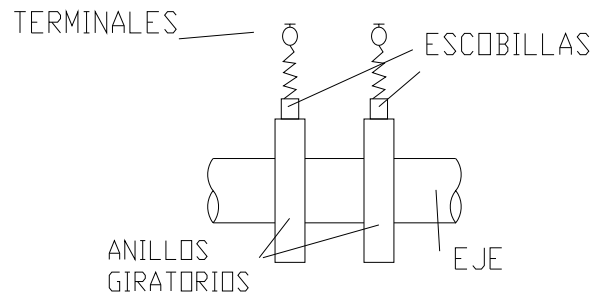
$$\omega = 2\pi f = p \omega_m = p 2\pi n/60$$

por lo que podemos llegar a la conclusión que:

$$f = np/60$$

Esta expresión nos permite obtener la frecuencia de la f.e.m. alterna, producida en la espira; esta frecuencia como se puede observar es directamente proporcional a la velocidad de giro y al número de polos de la máquina.

SISTEMA DE CONEXION DE ANILLOS



c.2) El colector de delgas es otro mecanismo para enviar la f.e.m. inducida en la espira al circuito exterior. Con el colector de delgas se consigue transformar la forma de la onda obtenida en el inducido a su paso al circuito exterior, de forma que la señal bidireccional (c.a) del inducido se transforma en unidireccional (c.c) en el circuito exterior, a esta operación se denomina rectificación.

A diferencia del colector de anillos en el colector de delgas, estos (anillos) se forman por la unión de dos segmentos de cobre endurecido; a los que se denomina delgas. Los segmentos de cobre se aíslan entre sí, al igual que estos con respecto al eje sobre los que van montados (recordemos que es el eje del rotor) por medio de un cilindro de mica (dieléctrico). Sobre las delgas se colocan las escobillas, que al igual que en el colector de anillos van conectadas al circuito exterior. La manera de obtener una menor oscilación de la señal en el circuito exterior (recordemos c.c) es a través de un mayor número de delgas, esto es, aumentando las espiras (bobinas) del inducido. Así si el numero de delgas es lo suficientemente grande se puede conseguir una c.c. constante, con lo que al mismo tiempo se reduce una disminución en la d.d.p. entre las delgas por lo que se evita que se produzcan chispas en el colector. Esto es una de las bases, o mejor dicho de los porques estas máquinas están formadas por un gran número de delgas (conmutador).

La forma de construir el colector es la siguiente: las delgas (separadas por la lamina de dieléctrico) se montan sobre una estructura circular, estas se sueldan y remachan con un conductor a la bobina correspondiente, mediante un conductor vertical o en forma de talón (con el remache aseguramos la resistencia mecánica para la unión y con la soldadura se mantiene un buen contacto eléctrico entre la bobina y la delga). También hay que tener en cuenta la alta fuerza centrípeta que aparece a consecuencia de las velocidades a las que puede llegar a girar el rotor de la máquina, por lo que las delgas se suelen construir en forma de cola de milano (machihembrado).



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 N° 25 – DICIEMBRE DE 2009

A parte de los ya mencionados, que constituyen los elementos básicos que fundamentan su funcionamiento y características, las máquinas eléctricas constan de los siguientes componentes constructivos:

- **Carcasa o culata.**- Es la parte que protege y cubre al estator y al rotor, el tipo de material utilizado dependerá del tipo de máquina que sea, de su diseño y por supuesto de la finalidad de la misma, así podemos tener:
 - 1.- totalmente cerrada.
 - 2.- Abierta
 - 3.- A prueba de goteo
 - 4.- A prueba de explosiones
 - 5.- Sumergibles...
- **Base.**- Es el elemento de sujeción de la máquina y por tanto el que soporta la fuerza mecánica, cuando el conjunto está operando, existen dos tipos
 - 1.- Base frontal.
 - 2.- Base Lateral.
- **Caja de conexiones.**- Es el elemento que protege a los conductores que alimentan el motor, para que no se deterioren, así para evitar el contacto de los usuarios de la máquina de un contacto con ellos.
- **Cojinetes. o rodamientos.**- Se utilizan para acoplar los ejes mecánicos, permitiendo su movimiento y reduciendo las fricciones entre las partes móviles y fijas de la máquina. Logrando un aumento de la potencia de la misma y un mejor rendimiento. Los cojinetes se pueden clasificar en:
 - a) Cojinetes de deslizamiento.- Funcionan explicado de forma muy escueta, bajo el denominado principio de la película de aceite, que lubrica mediante una capa muy fina de este fluido viscoso la unión entre el eje (barra en movimiento) y la superficie de apoyo (parte fija)
 - b) Cojinetes de rodamiento.- son más utilizados que los anteriores por sus grandes ventajas con respecto a los anteriores y existen multitud de tipos: rígidos de bolas, de agujas, de rodillos cónicos, de bolas de rotula.... Los cuales podrían ser por si solos un artículo distinto a desarrollar, estos son conocidos por todos.



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 25 – DICIEMBRE DE 2009

Bibliografía:

- Fraile Mora, J. (2008) *Máquinas eléctricas*. Madrid: Mcgraw-Hill/ interamericana de España S.A
- Martínez Domínguez, F.(1996) *Tecnología eléctrica*. Madrid: Thomson Paraninfo, S.A.
- Alcalde San Miguel, P (2002) *Electrotecnia*. Madrid: Thomson Paraninfo, S.A.
- Augé, R. (1999) *Curso de electricidad general: tomo I y II*. Madrid: Thomson Paraninfo, S.A.
- Chapman, S. (1993) *Máquinas eléctricas*. Madrid: Mcgraw-Hill
- Wikipedia.

Autoría

-
- Andrés Antonio Gil Martín
 - Granada
 - aagm72@gmail.com