

Construcción de las máquinas de CD

Maricela Liduvina Rivera Rodríguez
Ingeniería Electrónica, Universidad Politécnica Salesiana
Cuenca, Ecuador
mriverar@est.ups.edu.ec

Abstract.- In this report I will focus on the study of the construction of the CD machine, to do find out, and will analyze the principle of operation of machinery, parts, and all the details necessary to study the construction of the machines CD. The report's main purpose is to present brief information about the fundamental characteristics of electric machines. This is from a more general classification, to a more particular, and according to his classification, providing information on the operating principle of these, the characteristic parameters must be known for better management and proper exploitation on an industrial scale machines and some basic applications. The understanding of such machines, allow the engineer an effective choice plus the ability to avoid situations in which accidents occur because of improper use or operation of equipment associated with this type of energy. Previous knowledge of basic electrical circuit theory, be of great help in understanding the functions of each of the components of DC machine

I. INTRODUCCION

Para empezar el estudio de la construcción de las máquinas de CD voy a empezar principalmente con el estudio general de lo son las máquinas de CD su funcionamiento



FIG 1. Máquinas de CD.

Una máquina eléctrica es un dispositivo que transforma la energía eléctrica en otra energía, o bien, en energía eléctrica pero con una presentación distinta, pasando esta energía por una etapa de almacenamiento en un campo magnético Se clasifican en tres grandes grupos:

- a) **Generadores.** es alimentar de electricidad el motor de cd. En esencia, Produce corriente libre de rizo y un voltaje fijo de manera muy precisa a cualquier valor deseado desde cero hasta el valor máximo nominal; esta es en realidad una corriente eléctrica de cd que permite la mejor conmutación posible en el motor, porque carece de las formas de ondas bruscas de energía de cd de los rectificadores. El

generador tiene una respuesta excelente y es particularmente apropiado para el control preciso de salida por reguladores de retroalimentación de control, además de estar bien adaptado para producir corriente de excitación de respuesta y controlada en forma precisa tanto para máquinas de ca como de cd.

- b) **Motores.** El motor de cd juega un papel de importancia creciente en la industria moderna porque puede operar a cualquier velocidad desde cero hasta su máxima de régimen y mantenerla hay de forma muy precisa
- c) **Transformadores.-** o convertidores conservan la forma de la energía pero transforman sus características.

Una máquina eléctrica tiene un circuito magnético y dos circuitos eléctricos. Normalmente uno de los circuitos eléctricos se llama excitación, porque al ser recorrido por una corriente eléctrica produce las ampervueltas necesarias para crear el flujo establecido en el conjunto de la máquina.

Desde una visión mecánica, las máquinas eléctricas se pueden clasificar en:

- Rotativas (Generadores y Motores).
- Estáticas (Transformadores).

Las máquinas rotativas están provistas de partes giratorias, como las dinamos, alternadores, motores. Las máquinas estáticas no disponen de partes móviles, como los transformadores. Para el estudio a realizar a continuación se clasificaran las máquinas como lo anteriormente visto: rotativas y estáticas.

Potencia de las máquinas eléctricas.- es la energía desarrollada en la unidad de tiempo. La potencia de un motor es la que se suministra por su eje. Una dinamo absorbe energía mecánica y suministra energía eléctrica, y un motor absorbe energía eléctrica y suministra energía mecánica.

La potencia que da una máquina en un instante determinado depende de las condiciones externas a ella; en una dinamo del circuito exterior de utilización y en un motor de la resistencia mecánica de los mecanismos que mueve. Entre todos los valores de potencia posibles hay uno que da las características de la máquina, es la potencia nominal, que se define como la que puede suministrar sin que la temperatura llegue a los límites admitidos por los materiales aislantes empleados. Cuando la máquina trabaja en esta potencia se dice que está a plena carga. Cuando una máquina trabaja durante breves instantes a una potencia superior a la nominal se dice que está trabajando en sobrecarga.

Clasificación según el servicio.

Servicio continuo: Corresponde a una carga constante durante un tiempo suficientemente largo como para que la temperatura llegue a estabilizarse.

Servicio continuo variable: Se da en máquinas que trabajan constantemente pero en las que el régimen de carga varía de un momento a otro.

Servicio intermitente: Los tiempos de trabajo están separados por tiempos de reposo. Factor de marcha es la relación entre el tiempo de trabajo y la duración total del ciclo de trabajo.

Servicio unihorario: La máquina está una hora en marcha a un régimen constante superior al continuo, pero no llega a alcanzar la temperatura que ponga en peligro los materiales aislantes. La temperatura no llega a estabilizarse.

II. DESARROLLO

1. PRINCIPIO DE GENERACIÓN

La corriente continua presenta grandes ventajas, entre las cuales está su capacidad para ser almacenada de una forma relativamente sencilla. Esto, junto a una serie de características peculiares de los motores de corriente continua, y de aplicaciones de procesos electrolíticos, tracción eléctrica, entre otros, hacen que existen diversas instalaciones que trabajan basándose en la corriente continua.

Los generadores de corriente continua son las mismas máquinas que transforman la energía mecánica en eléctrica. No existe diferencia real entre un generador y un motor, a excepción del sentido de flujo de potencia. Los generadores se clasifican de acuerdo con la forma en que se provee el flujo de campo, y éstos son de excitación independiente, derivación, serie, excitación compuesta acumulativa y compuesta diferencial, y además difieren de sus características terminales (voltaje, corriente) y por lo tanto en el tipo de utilización.

Fundamentos de las Máquinas de Corriente Continua

Las máquinas de corriente continua son generadores que convierten energía mecánica en energía eléctrica de corriente continua, y motores que convierten energía eléctrica de corriente continua en energía mecánica. La mayoría las máquinas de corriente continua son semejantes a las máquinas de corriente alterna ya que en su interior tienen corrientes y voltajes de corriente alterna. Las máquinas de corriente continua tienen corriente continua sólo en su circuito exterior debido a la existencia de un mecanismo que convierte los voltajes internos de corriente alterna en voltajes corriente continua en los terminales. Este mecanismo se llama colector, y por ello las máquinas de corriente continua se conocen también como máquinas con colector.

Partes básicas de las máquinas de corriente continua reales

La máquina de corriente continua consta básicamente de las partes siguientes:

- a) **Inductor:** Es la parte de la máquina destinada a producir un campo magnético, necesario para que se produzcan corrientes inducidas, que se desarrollan en el inducido.

El inductor consta de las partes siguientes:

- o **Pieza polar:** Es la parte del circuito magnético situada entre la culata y el entrehierro, incluyendo el núcleo y la expansión polar.
 - o **Núcleo:** Es la parte del circuito magnético rodeada por el devanado inductor.
 - o **Devanado inductor:** es el conjunto de espiras destinado a producir el flujo magnético, al ser recorrido por la corriente eléctrica.
 - o **Expansión polar:** es la parte de la pieza polar próxima al inducido y que bordea al entrehierro.
 - o **Polo auxiliar o de conmutación:** Es un polo magnético suplementario, provisto o no, de devanados y destinado a mejorar la conmutación. Suelen emplearse en las máquinas de mediana y gran potencia.
 - o **Culata:** Es una pieza de sustancia ferromagnética, no rodeada por devanados, y destinada a unir los polos de la máquina.
- b) **Inducido:** Es la parte giratoria de la máquina, también llamado rotor.

El inducido consta de las siguientes partes:

- o **Devanado inducido:** es el devanado conectado al circuito exterior de la máquina y en el que tiene lugar la conversión principal de la energía.
 - o **Colector:** es el conjunto de láminas conductoras (delgas), aisladas unas de otras, pero conectadas a las secciones de corriente continua del devanado y sobre las cuales frotan las escobillas.
 - o **Núcleo del inducido:** Es una pieza cilíndrica montada sobre el cuerpo (o estrella) fijado al eje, formada por núcleo de chapas magnéticas. Las chapas disponen de unas ranuras para alojar el devanado inducido.
- c) **Escobillas:** Son piezas conductoras destinadas a asegurar, por contacto deslizante, la conexión eléctrica de un órgano móvil con un órgano fijo.
 - d) **Entrehierro:** Es el espacio comprendido entre las expansiones polares y el inducido; suele ser normalmente de 1 a 3 mm, lo imprescindible para evitar el rozamiento entre la parte fija y la móvil.
 - e) **Cojinetes:** Son las piezas que sirven de apoyo y fijación del eje del inducido.

Diagrama de una máquina de corriente continua:

1. Culata
2. Núcleo polar
3. Pieza polar
4. Núcleo de polo auxiliar
5. Pieza polar de polo auxiliar
6. Inducido
7. Arrollado del inducido
8. Arrollado de excitación
9. Arrollado de conmutación
10. Colector
11. Escobillas positivas
12. Escobillas negativas

La parte de 1 a la 5 forma el inductor. En conjunto las partes 2 y 3 se designan por polo inductor.

La parte 6 constituye el inducido, al que va arrollado un conductor de cobre formando el arrollamiento del inducido.

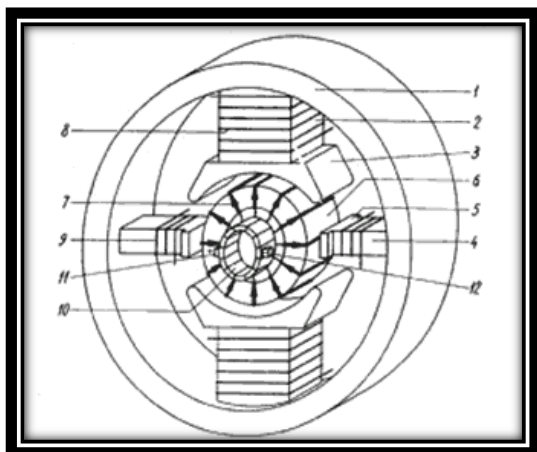


FIG 2. Partes de la máquina de CD

Alrededor de los núcleos polares, va arrollando, en forma de hélice, el arrollamiento de excitación (8). Análogamente cada núcleo de los polos de conmutación lleva un arrollamiento de conmutación (9). La parte 10 representa el conmutador o colector, que está constituido por varias láminas aisladas entre sí, formando un cuerpo cilíndrico.

El arrollamiento del inducido está unido por conductores con las láminas del colector; inducido y colector giran conjuntamente. Sobre la superficie del colector rozan unos contactos a presión mediante unos muelles. Dichas piezas de contacto se llaman escobillas. El espacio libre entre las piezas polares y el inducido se llama entrehierro.

❖ Generadores de Corriente Continua.

Los generadores de corriente continua son las mismas máquinas de corriente continua cuando funcionan como generadores. Son máquinas que producen energía eléctrica por transformación de la energía mecánica.

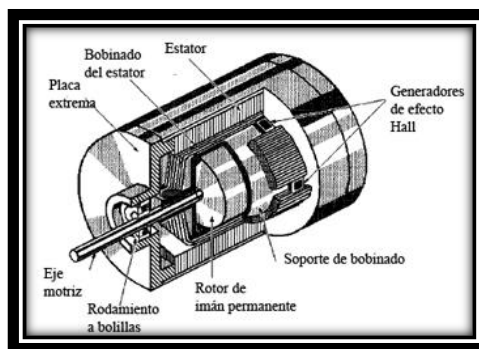


FIG 3. Partes del generador

A su vez los generadores se clasifican en dinamos y alternadores, según que produzcan corriente continua o alterna, respectivamente.

Posteriormente, cabe destacar otro tipo de generadores (no son máquinas) que transforman la energía química en la eléctrica como son pilas y acumuladores.

Clasificación de Generadores de Corriente Continua

a) Generador con excitación independiente

En este tipo de generador, la tensión en los bornes es casi independiente de la carga de la máquina y de su velocidad, ya que la tensión se puede regular por medio del reóstato de campo, aunque naturalmente, dentro de ciertos límites, porque la excitación del campo inductor no puede aumentar más allá de lo que permite la saturación.

En la figura se representa el esquema de conexiones completo de un generador de corriente continua con excitación independiente; se supone que el sentido de giro de la máquina es a derechas lo que, por otro lado, es el que corresponde a casi todas las máquinas motrices. Si hubiere que cambiar el sentido de giro, bastará con cambiar, las conexiones del circuito principal.

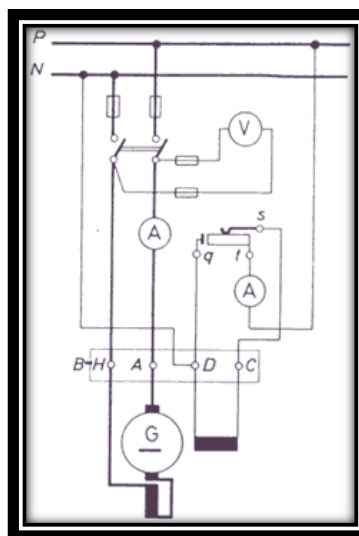


FIG 4. Esquema de conexiones de un generador con excitación independiente

En el circuito de excitación no deben instalarse fusibles porque si llegaran a fundirse, se produciría una extracorrente de ruptura muy elevada que pondría en peligro la instalación.

En caso de elevadas intensidades, conviene sustituir el interruptor principal y los fusibles por un interruptor automático de máxima intensidad, que sustituye ventajosamente a dichos elementos, con la ventaja adicional de reducir la duración de las interrupciones del servicio, ya que resulta mucho más rápido volver a cerrar el interruptor que se ha disparado que sustituir uno o los dos fusibles fundidos.

Para la puesta en marcha, antes que nada se excita el generador, para lo cual, se realizarán las siguientes maniobras:

- Se intercala todo el reóstato de campo, pero sin llegar a tocar el borne de cortocircuito.
- Se cierran los interruptores unipolares del circuito de excitación

b) Generador con excitación en paralelo (shunt)

El generador con excitación shunt suministra energía eléctrica a una tensión aproximadamente constante, cualquiera que sea la carga, aunque no tan constante como en el caso del generador con excitación independiente. Cuando el circuito exterior está abierto, la máquina tiene excitación máxima porque toda la corriente producida se destina a la alimentación del circuito de excitación; por lo tanto, la tensión en bornes es máxima. Cuando el circuito exterior está cortocircuitado, casi toda la corriente producida pasa por el circuito del inducido y la excitación es mínima, la tensión disminuye rápidamente y la carga se anula. Por lo tanto, un cortocircuito en la línea no compromete la máquina, que se desexcita automáticamente, dejando de producir corriente. Esto es una ventaja sobre el generador de excitación independiente en donde un cortocircuito en línea puede producir graves averías en la máquina al no existir éste efecto de desexcitación automática.

Respecto a los generadores de excitación independiente, los generadores shunt presentan el inconveniente de que no pueden excitarse si no están en movimiento, ya que la excitación procede de la misma máquina.

El circuito de excitación no lleva fusibles por las razones ya indicadas en el caso del generador de excitación independiente; en este circuito no es necesario un interruptor porque para excitar la máquina simplemente hay que ponerla en marcha y para desexcitarla no hay más que pararla. El amperímetro en el circuito de excitación puede también suprimirse, aunque resulta conveniente su instalación para comprobar si, por alguna avería, el generador absorbe una corriente de excitación distinta de la normal.

Cuando se dispone permanentemente de tensión en las barras especiales generales, muchas veces se prefiere tomar

la corriente de excitación de éstas barras y no de las escobillas del generador, es decir, si al poner en marcha el generador hay tensión en las barras generales, la máquina se comporta como generador de excitación independiente; si no hay tensión, como generador shunt.

Para la puesta en marcha, debe cuidarse de que el interruptor general esté abierto y que el reóstato de campo tiene todas las resistencias intercaladas en el circuito. En estas condiciones, se pone en marcha la máquina motriz, aumentando paulatinamente su velocidad hasta que éste alcance su valor nominal, al mismo tiempo, aumenta la corriente de excitación y, por lo tanto, la tensión en los bornes del generador lo que indicará el voltímetro.

Si en la red no existen baterías de acumuladores, se acopla a ella el generador a una tensión algo inferior a la nominal; para conseguir esta tensión, se maniobra el reóstato de campo paulatinamente, quitando resistencias.

No resulta conveniente acoplar el generador a la red antes de excitarlo o a una tensión muy baja, porque si la resistencia exterior fuese muy baja (es decir, que la red estuviese en condiciones próximas al cortocircuito), la corriente de excitación sería muy pequeña e insuficiente para excitar la máquina.

De la misma forma que para el caso del generador con excitación independiente, si en la red hubiese baterías de acumuladores, se cerrará el interruptor general, solamente cuando la tensión en los bornes de la máquina sea igual a la tensión de la red.

Conviene atender a que las baterías de acumuladores no descarguen sobre la máquina, para lo cual es conveniente que el circuito del generador esté provisto de un interruptor de mínima tensión, que debe montarse tal como se indica en la siguiente figura.

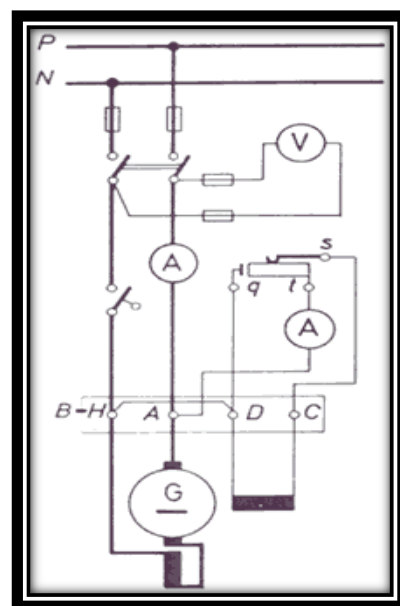


FIG 5. Esquema de conexiones de un generador con excitación shunt e interruptor de mínima tensión.

Cuando se necesite detener el generador, se descargará, disminuyendo la excitación por medio del reóstato de campo teniendo cuidado de que las baterías no se descarguen sobre el generador y, por lo tanto, manteniendo siempre la tensión nominal. Si no hay baterías acopladas a la red, puede disminuirse la velocidad de la máquina motriz. En cuanto el amperímetro indique una intensidad de corriente nula o casi nula, se abre el interruptor principal, y se detiene la máquina motriz. Por efecto de la inercia, el gobernador seguirá girando durante algún tiempo y se desexcitará gradualmente; si hubiera necesidad de desexcitarlo rápidamente, se abrirá el circuito de excitación con las debidas precauciones y se frenará el volante de la máquina motriz.

Los generadores shunt se recomiendan cuando no haya cambios frecuentes y considerables de carga o bien cuando haya elementos compensadores, tales como generadores auxiliares, baterías de acumuladores, entre otros.

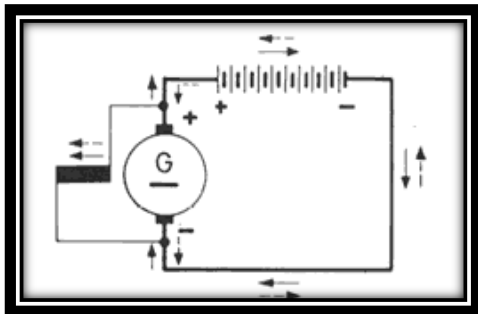


FIG 6. Carga de una batería de acumuladores con un generador de excitación shunt

En lo que se refiere al cambio de sentido de giro, es necesario cambiar las conexiones del circuito del inducido, porque haciéndolo así se invierte solamente la polaridad del circuito del inducido pero no la del circuito de excitación, con lo que se evita que la máquina se descebe. No deben tocarse las conexiones de los polos de conmutación, pero sí el ángulo de descalado de las escobillas.

c) Generador con excitación en serie

La excitación de un generador en serie se lleva a cabo cuando los devanados de excitación y del inducido se conectan en serie y, por lo tanto la corriente que atraviesa el inducido en este tipo de generador es la misma que la que atraviesa la excitación. Este último devanado, está constituido por pocas espiras con hilo conductor de gran sección, pues la f.e.m. necesaria para producir el campo principal se consigue con fuertes corrientes y pocas espiras.

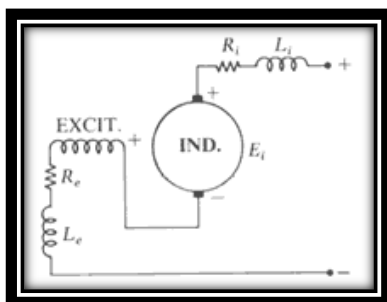


FIG 7. Conexión con excitación en serie

La intensidad es la misma para el inducido, la carga y el devanado de excitación. Por tanto:

$$I_i = I_c = I_e = I$$

La ecuación para el inducido y excitación será:

$$V_c = E_i - (R_i + R_e)I = kn\phi - (R_i + R_e)I$$

La curva de magnetización se podrá expresar como:

$$\phi = f(I)$$

Teniendo en cuenta la Ec. 1 y la Ec. 2 se obtiene:

$$V_c = knf(I) - (R_i + R_e)I$$

La representación de V_c frente a I , dada por la Ec. 3, es la característica de carga del generador para una velocidad de giro del rotor constante. Se observa que, en vacío la intensidad será nula y la pequeña tensión se deberá al magnetismo remanente. A medida que aumenta la intensidad, como consecuencia de la disminución de la resistencia de carga R_c , la tensión aumenta por aumento de $f(I)$ y por no ser muy grande la caída de tensión $(R_i + R_e)I$.

d) Generador con excitación compound

El generador con excitación compound tiene la propiedad de que puede trabajar a una tensión prácticamente constante, es decir, casi independiente de la carga conectada a la red, debido a que por la acción del arrollamiento shunt la corriente de excitación tiende a disminuir al aumentar la carga, mientras que la acción del arrollamiento serie es contraria, o sea, que la corriente de excitación tiende a aumentar cuando aumente la carga. Eligiendo convenientemente ambos arrollamientos puede conseguirse que se equilibren sus efectos siendo la acción conjunta una tensión constante cualquiera que sea la carga. Incluso, se puede obtener dimensionando convenientemente el arrollamiento serie, que la tensión en bornes aumente si aumenta la carga, conexión que se denomina hipercompound y que permite compensar la pérdida de tensión en la red, de forma que la tensión permanezca constante en los puntos de consumo.

El generador compound tiene la ventaja, respecto al generador shunt, de que no disminuye su tensión con la carga, y, además, que puede excitarse aunque no esté acoplado al circuito exterior, tal como vimos que sucedía en el generador shunt. Durante la puesta en marcha, funciona como un generador shunt una vez conectado a la red, la tensión en bornes del generador shunt, tendería a disminuir si no fuera por la acción del arrollamiento serie, que compensa esta tendencia. Es decir, que el arrollamiento serie sirve para regular la tensión del generador, en el caso de que la resistencia exterior descienda más allá de cierto límite.

En la figura se expresan las conexiones completas de un generador compound. Las maniobras relativas a la puesta en marcha, parada y regulación de un generador compound, son idénticas a las estudiadas para un generador shunt.

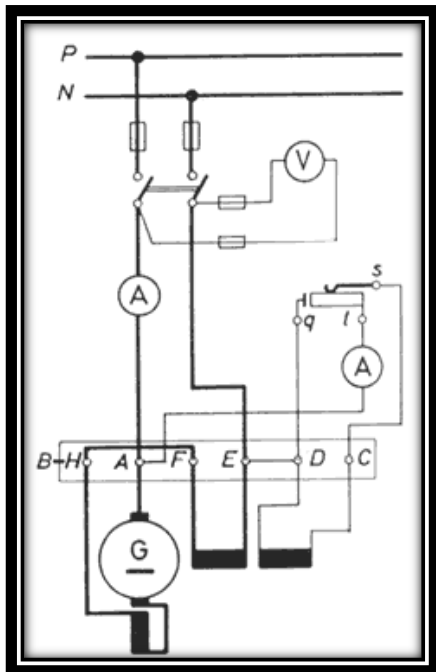


FIG8. Esquema de conexiones de un generador con excitación compound

Un generador compound no puede utilizarse para cargar baterías de acumuladores.

Si la contra tensión de la batería es mayor que la tensión en bornes del generador, la corriente en el circuito pasa en sentido contrario por la excitación en serie; si esta corriente es mayor que la correspondiente al arrollamiento shunt, estando también invertida la polaridad del inducido, mientras que el sentido de rotación permanece invariable, el generador está en serie con la batería lo que facilita la descarga peligrosa.

Para invertir el sentido de giro, sin suprimir el magnetismo remanente, es necesario invertir las conexiones de los dos circuitos de excitación; de esta forma, queda invertida solamente la polaridad de las escobillas.

El generador compound (igual que sucedía con el generador de excitación independiente), no puede funcionar en cortocircuito porque entonces, la acción del arrollamiento serie puede llegar a ser superior al efecto del arrollamiento shunt, y como consecuencia la corriente en el inducido puede alcanzar un valor de dos a tres veces mayor del normal, con el consiguiente peligro para los arrollamientos de la máquina.

Aplicaciones de los Generadores

Alimenta la electricidad al motor de corriente continua. En esencia produce corriente libre de rizo y un voltaje fijo de manera muy precisa a cualquier valor deseado desde cero hasta la máxima nominal; ésta es en realidad corriente

eléctrica de corriente continua que permite la mejor conmutación posible en el motor, porque carece de la forma de las ondas bruscas de energía de corriente continua de los rectificadores. El generador tiene una respuesta excelente y es particularmente apropiado para el control preciso de salida por reguladores de retroalimentación de control además de estar bien adaptado para producir corriente de excitación de respuesta y controlada en forma precisa tanto para máquinas de corriente alterna como para máquinas de corriente continua.

El campo de aplicación del generador con excitación independiente, es general, siempre que se disponga de una línea independiente de corriente continua. Sin embargo, debe hacerse la advertencia de que estas máquinas “nunca deben trabajar en cortocircuito”, pues existe el peligro de quemarlas; esto procede, según puede comprenderse fácilmente de la independencia entre el circuito inducido y el circuito de excitación. Básicamente, los generadores con excitación independiente tienen, dos aplicaciones típicas: una, como amplificador-multiplicador; y la otra, como tacómetro.

Los generadores con excitación serie ya no se emplean en las centrales. Se emplearon hace ya algún tiempo para la alimentación de grandes circuitos de lámparas de arco, pero estas lámparas han sido sustituidas por otros tipos más modernos, como por ejemplo, las lámparas de xenón. Los generadores con excitación en serie tienen aplicación en aquellas actividades en las que se precise una intensidad prácticamente constante, como puede ser en equipos de soldaduras y en determinados sistemas de alumbrados.

Los generadores compound, tienen aplicación en las centrales para tracción eléctrica que precisan de una tensión constante y en todos aquellos casos en que se haya de contar con variaciones bruscas de carga, como sucede en los talleres con grúas de gran potencia, laminadores, etcétera; suponiendo que no se disponga de sistemas compensadores, y que se desee la mayor constancia posible para la tensión en las barras colectoras. También puede emplearse en pequeñas instalaciones que precisen de tensión constante, sustituyendo al generador shunt, para evitar una vigilancia continua a causa de las variaciones de carga; sin embargo, hay que tener en cuenta que, en este caso, la autorregulación no es perfecta por lo que, en instalaciones de mayor importancia en que se desee una tensión constante sin vigilancia, debe sustituirse el generador compound por otros procedimientos.

Los generadores con excitación mixta (compound) son utilizados en el sistema de generación de energía eléctrica de cc en aviones polimotores, en los que existe un generador para cada motor y se realiza un acoplamiento en paralelo de los mismos para atender a toda la energía eléctrica necesaria.

❖ Motores de Corriente Continua

Los motores de corriente continua se usan en una amplia variedad de aplicaciones industriales en virtud de la facilidad con la que se puede controlar la velocidad. La

característica velocidad-par se puede hacer variar para casi cualquier forma útil. Es posible la operación continua sobre un rango de velocidades de 8:1. En tanto que los motores de corriente alterna tienden a pararse, los motores de corriente continua pueden entregar más de cinco veces el par nominal (si lo permite la alimentación de energía eléctrica). Se puede realizar la operación en reversa sin conmutar la energía eléctrica.

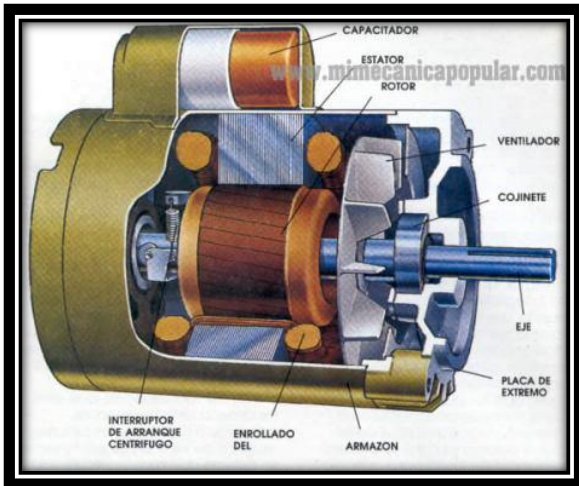


FIG 9. Motor de cc

Clases de motores de corriente continua:

Se pueden dividir dentro de dos grandes tipos:

1. Motores de imán permanente, entre ellos

- Motores de corriente continua sin escobilla.
- Servomotores.

Existen motores de imán permanente (PM, permanent magnet), en tamaños de fracciones de caballo y de números pequeños enteros de caballos. Tienen varias ventajas respecto a los del tipo de campo devanado. No se necesitan las alimentaciones de energía eléctrica para excitación ni el devanado asociado. Se mejora la confiabilidad, ya que no existen bobinas excitadoras del campo que fallen y no hay probabilidad de que se presente una sobre velocidad debida a pérdida del campo. Se mejoran la eficiencia y el enfriamiento por la eliminación de pérdida de potencia en un campo excitador. Así mismo, la característica par contra corriente se aproxima más a lo lineal. Un motor de imán permanente (PM) se puede usar en donde se requiere un motor por completo encerrado para un ciclo de servicio de excitación continua.

Los efectos de la temperatura dependen de la clase de material que se use en el imán. Los motores de número entero de caballos de potencia con imanes del tipo Álnico resultan menos afectados por la temperatura que los que tienen imanes de cerámica, porque el flujo magnético es constante. Por lo común, los imanes de cerámica que se utilizan en los motores de fracción de caballo tienen características que varían con la temperatura muy aproximadamente como varían los campos en derivación de las máquinas excitadas.

Las desventajas son la falta de control del campo y de características especiales velocidad-par. Las sobrecargas pueden causar desmagnetización parcial que cambia las características de velocidad y de par del motor, hasta que se restablece por completo la magnetización. En general, un motor PM de número entero de caballos es un poco más grande y más caro que un motor equivalente con devanado en derivación, pero el costo total del sistema puede ser menor.

Un motor PM es un término medio entre los motores de devanado compound y los devanados en serie. Tiene mejor par de arranque, pero alrededor de la mitad de la velocidad en vacío de un motor devanado en serie.

1.1. Motores de corriente continua sin escobillas

Los motores de corriente continua sin escobillas tienen una armadura estacionaria y una estructura rotatoria del campo, exactamente en forma opuesta a como están dispuestos esos elementos en los motores convencionales de corriente directa. Esta construcción aumenta la rapidez de disipación del calor y reduce la inercia del rotor. Imanes permanentes suministran el flujo magnético para el campo. La corriente directa hacia la armadura se conmuta con transistores, en vez de las escobillas y las delgas del colector de los motores convencionales de corriente directa.

Es normal que las armaduras de los motores de corriente continua sin escobillas contengan de dos a seis bobinas, en tanto que las armaduras de los motores convencionales de corriente continua contienen de 10 a 50. Los motores sin escobillas tienen menos bobinas porque se requieren dos o cuatro transistores para conmutar cada bobina del motor. Esta disposición se vuelve cada vez más costosa e ineficiente a medida que aumenta el número de devanados.

Los transistores que controlan cada devanado de un motor sin escobillas de corriente continua se activan y desactivan a ángulos específicos del rotor. Los transistores suministran pulsos de corriente a los devanados de la armadura, los cuales son semejantes a los que suministra un conmutador. La secuencia de conmutación se dispone para producir un flujo magnético rotatorio en el entrehierro, que permanece formando un ángulo fijo con el flujo magnético producido por los imanes permanentes del rotor. El par producido por un motor sin escobillas de corriente continua es directamente proporcional a la corriente de la armadura.

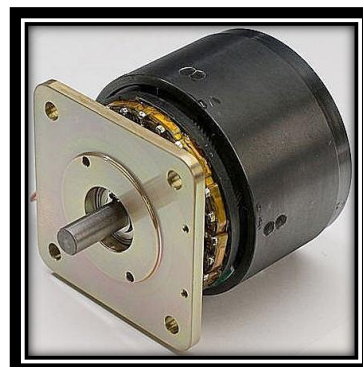


FIG 10. Motor sin escobillas

1.2. Servomotores de corriente directa

Los servomotores de corriente continua son motores de alto rendimiento que por lo general se usan como motores primarios en computadoras, maquinaria controlada numéricamente u otras aplicaciones en donde el arranque y la detención se deben hacer con rapidez y exactitud. Los servomotores son de peso ligero, y tienen armaduras de baja inercia que responden con rapidez a los cambios en el voltaje de excitación. Además, la inductancia muy baja de la armadura en estos motores da lugar a una baja constante eléctrica de tiempo (lo normal entre 0.05 y 1.5 ms) que agudiza todavía más la respuesta del motor a las señales de comando. Los servomotores incluyen motores de imán permanente, circuito impreso y bobina (o coraza) móvil. El rotor de un motor acorazado consta de una coraza cilíndrica de bobinas de alambre de cobre o de aluminio. El alambre gira en un campo magnético en el espacio anular entre las piezas polares magnéticas y un núcleo estacionario de hierro. El campo es producido por imanes de fundición de Álnico cuyo eje magnético es radial. El motor puede tener dos, cuatro o seis polos.

Cada uno de estos tipos básicos tiene sus propias características, como son la inercia, forma física, costos, resonancia de la flecha, configuración de ésta, velocidad y peso. Aun cuando estos motores tienen capacidades nominales similares de par, sus constantes físicas y eléctricas varían en forma considerable. La selección de un motor puede ser tan sencilla como ajustar uno al espacio del que se disponga. Sin embargo, en general éste no es el caso, ya que la mayor parte de los servosistemas son muy complejos.

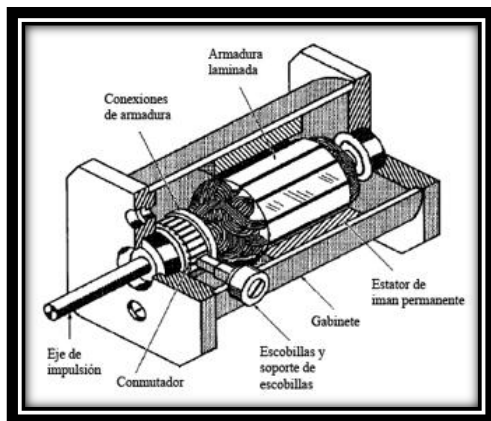


FIG 11. Servomotor.

2. Motores de corriente continua con campo devanado

➤ Y en capacidades nominales de fracciones de caballo de potencia y los motores de corriente continua de campo devanado, los que a su vez se clasifican como:

- Motor en derivación, en el que el devanado del campo está conectado en paralelo con la armadura.

- Motor devanado en serie, en el que el devanado del campo está conectado en serie con la armadura.
- Motor en compound, en el que se tiene un devanado del campo en serie y otro en paralelo.

La construcción de esta categoría de motores es prácticamente idéntica a la de los generadores de corriente directa; con un pequeño ajuste, la misma máquina de corriente continua se puede operar como generador o como motor de corriente directa.

Los motores de corriente continua de imán permanente tienen campos alimentados por imanes permanentes que crean dos o más polos en la armadura, al pasar flujo magnético a través de ella. El flujo magnético hace que se cree un par en la armadura que conduce corriente. Este flujo permanece básicamente constante a todas las velocidades del motor: las curvas velocidad-par y corriente-par son lineales.

2.1. Motores en derivación

Es el tipo de motor de corriente continua cuya velocidad no disminuye más que ligeramente cuando el par aumenta.

En los motores de corriente continua y especialmente los de velocidad prácticamente constante, como los shunt, la variación de velocidad producida cuando funciona en carga y en vacío da una base de criterio para definir sus características de funcionamiento.

Excepcionalmente, la reacción del inducido debería ser suficientemente grande para que la característica de velocidad fuera ascendente al aumentar la carga.

Los polos de conmutación han mejorado la conmutación de los dinamos de tal manera que es posible usar un entrehierro mucho más estrecho que antiguamente.

Como la armadura de un motor gira en un campo magnético, se genera una f.e.m. en los conductores que se opone a la dirección de la corriente y se le conoce como fuerza contraelectromotriz. La f.e.m. aplicada debe ser bastante grande como para vencer la fuerza contraelectromotriz y también para enviar la corriente I_a de la armadura a través de R_m , la resistencia del devanado de la armadura y las escobillas.

$$E_a = E_b + I_a R_m \text{ Volts}$$

La E_a = f.e.m. aplicada y E_b = fuerza contraelectromotriz. Puesto que la fuerza contraelectromotriz a la velocidad cero, es decir, en el arranque, es idénticamente cero y como por lo general la resistencia de la armadura es pequeña, es obvio, en vista de la ecuación anterior, que, a menos que se tomen medidas para reducir el voltaje aplicado, circulará una corriente excesiva en el motor durante ese arranque. Lo normal es que se usen dispositivos de arranque que

consisten en resistores variables en serie, para limitar la corriente de arranque de los motores.



FIG 12. Motor en derivación.

2.2. Motor devanado en serie:

Es el motor cuya velocidad disminuye sensiblemente cuando el par aumenta y cuya velocidad en vacío no tiene límite teóricamente.

Los motores con excitación en serie son aquellos en los que el inductor está conectado en serie con el inducido. El inductor tiene un número relativamente pequeño de espiras de hilo, que debe ser de sección suficiente para que se pase por él la corriente de régimen que requiere el inducido.

En los motores serie, el flujo depende totalmente de la intensidad de la corriente del inducido. Si el hierro del motor se mantiene a saturación moderada, el flujo será casi directamente proporcional a dicha intensidad.

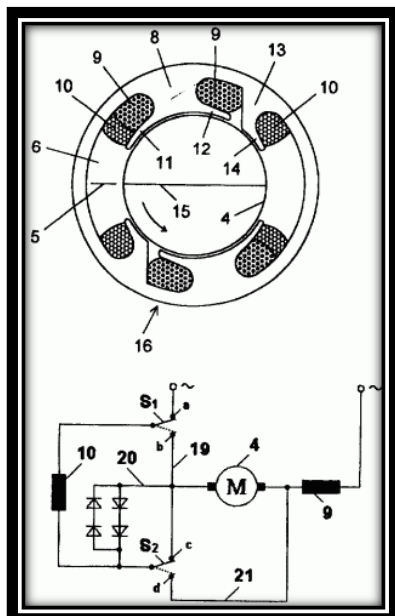


FIG 13. Estructura del motor devanado en serie

Velocidad y par de los motores devanados en serie:

En este caso, de los motores devanados en serie, el flujo aumenta en proporción a la corriente en la armadura; el par sería proporcional a I_a^2 , si no fuera porque el circuito

magnético se satura al aumentar la corriente. Con el aumento de carga, la velocidad cae a medida que aumenta esa carga. Si la carga en un motor devanado en serie se hace pequeña, la velocidad aumenta mucho, de modo que un motor de este tipo siempre debe conectarse a la carga a través de un engranaje reductor o directamente. Si se conectara mediante banda y ésta se rompiera, la velocidad del motor se dispararía y el motor probablemente estallaría.

Para una carga dada y, por lo tanto, para una corriente dada, la velocidad de un motor devanado en serie se puede incrementar al poner en derivación el devanado en serie, o bien, al poner en cortocircuito algunas de las vueltas en serie, de modo que se reduzca el flujo magnético. La velocidad se puede reducir al introducir una resistencia en serie con la armadura.

2.3. Motor compound

Es el motor cuya velocidad disminuye cuando el par aumenta y cuya velocidad en vacío es limitada. Las características del motor compound están comprendidas entre las del motor de derivación y las del motor en serie. Los tipos de motor compound son los mismo que para los generadores, resumiéndose el aditivo y el diferencial.

Conexiones del motor en compound:

El motor en compound es un término medio entre los motores devanados en serie y los de en derivación. En virtud de la existencia del devanado en serie, que ayuda al devanado en derivación, el flujo magnético por polo aumenta con la carga, de modo que el par se incrementa con mayor rapidez y la velocidad disminuye más rápidamente que si no estuviera conectado el devanado en serie; pero el motor no se puede desbocar con cargas ligeras, por la presencia de la excitación en derivación.

La velocidad de un motor en compound se puede ajustar por medio de reóstatos en la armadura y el campo, como en el caso de la máquina en derivación.

Las compound indirectas se usan en algunos motores de corriente directa. En este caso, el campo en serie con devanado de cinta gruesa se reemplaza con un campo con devanado de alambre, similar a un campo pequeño en derivación. Este campo se excita por medio de un excitador de corriente continua no saturada, por lo general accionada por separado a velocidad constante. Este excitador, a su vez, es excitado por la corriente de línea del motor, por la cual se alimenta la excitación en serie. El voltaje de salida y la corriente del excitador son proporcionales a la corriente principal del motor; de modo que existe una proporcionalidad dada entre la corriente de carga del motor y la intensidad de su campo en serie con devanado de alambre. El uso de un conmutador de polos y un reóstato en el circuito de la armadura del excitador en serie permite hacer variar la intensidad e incluso la polaridad del campo en serie. Esto da lugar a un método fácil para cambiar, si se desea, la condición de composición del motor, para diversas velocidades, con el fin de mantener la regulación de velocidad constante sobre cierto rango de velocidades. Si se

desearse, se puede conectar mecánicamente el reóstato del excitador en serie al reóstato del campo en derivación, para realizar en forma automática lo anterior.



FIG 14. Motor compound

Aplicaciones de los motores de corriente continua.

Los motores de corriente continua en derivación son adecuados para aplicaciones en donde se necesita velocidad constante a cualquier ajuste del control o en los casos en que es necesario un rango apreciable de velocidades (por medio del control del campo).

El motor en derivación se utiliza en aplicaciones de velocidad constante, como en los accionamientos para los generadores de corriente continua en los grupos moto generadores de corriente directa. El motor devanado en serie se usa en aplicaciones en las que se requiere un alto par de arranque, como en la tracción eléctrica, grúas, malacates, etcétera. En los motores en compound, la caída de la característica velocidad-par se puede ajustar para que se adecue a la carga.

En aplicaciones en las que tradicionalmente se emplean motores en compound, podría considerarse el motor PM en los casos en que se necesiten una eficiencia un poco más alta y una mayor capacidad de sobrecarga. En las aplicaciones de motores devanados en serie, la consideración del costo puede influir en la decisión de hacer el cambio. Por ejemplo, en tamaños de armazón menores de 5 pulgadas de diámetro, el motor devanado en serie es más económico; pero en tamaños de más de 5 pulgadas, este motor cuesta más en volúmenes grandes, y el motor PM en estos tamaños más grandes desafía al motor devanado en serie con sus pares altos y su baja velocidad en vacío.

Los motores de excitación independiente tienen como aplicaciones industriales el torneado y taladrado de materiales, trefilación, extrusión de materiales plásticos y goma, ventilación de horno, retroceso rápido en vacío de ganchos de grúas, desenrollado de bobinas y retroceso de útiles para serrar. Los motores de excitación en derivación tienen aplicaciones como ventiladores, bombas, máquinas. Herramientas además de los citados para el motor de excitación independiente. Entre las aplicaciones del motor serie cabe destacar tracción eléctrica, grúas, bombas

hidráulicas de pistón y en general en aquellos procesos donde lo importante sea vencer un par de gran precisión en la velocidad. El mayor uso del motor compound aditivo es en estrujadoras, grúas tracción, calandras, ventiladores, prensas, limadores, etcétera. El motor compound diferencial presenta el peligro de embalsarse para fuertes cargas, por lo que su empleo es muy limitado.

Los motores de imán permanente se emplean para el movimiento de maquinaria (tornos) en procesos de fabricación automática, arrastres de cintas de audio y video, movimiento de cámaras, etc.

Sistemas utilizados para la regulación de la velocidad

La regulación de la tensión aplicada al inducido puede hacerse por:

Control reostático en el inducido:

La regulación de la tensión se consigue disponiendo de una resistencia regulable en serie con el inducido, pudiendo servir para ello el reóstato de arranque.

La introducción de resistencias tiene una desventaja, ya que se pierde por efecto Joule una potencia $R \cdot I^2$, tanto más importante cuanto más haya de variarse la velocidad.

Regulación por acoplamiento de motores:

Este sistema es apropiado para los servicios que necesiten de varios motores como ocurre en tracción eléctrica.

Así, una locomotora que dispone de seis motores serie emplea las conexiones siguientes:

Serie: En la que permanecen los 6 motores acoplados en serie, por lo que a cada motor se aplicará $1/6$ de la tensión de red, y los motores girarán a la velocidad más reducida.

Serie-paralelo: Formada por dos ramas de 3 motores en serie, y éstas a su vez en paralelo. La tensión aplicada a cada motor será de $1/3$ de la tensión de red, por lo que el motor girará a mayor velocidad que en el caso anterior.

Paralelo: Formada por 3 ramas de 2 motores en serie. y éstas a su vez en paralelo. La tensión que se aplica a cada motor es $1/2$ de la tensión de red.

Grupo Ward-Leonard:

Es un sistema para regular la velocidad, por variación de tensión. Muy utilizado principalmente para trabajos duros, que consume potencias elevadas.

El grupo Ward-Leonard, está compuesto por las siguientes máquinas:

Grupo convertidor corriente alterna/continua, compuesto por un motor trifásico de corriente alterna y un generador de corriente continua de excitación independiente.

El motor de corriente continua o de trabajo, de excitación independiente.

Una excitatriz para alimentar los circuitos de excitación, si bien puede ser sustituido por un rectificador, por ser este último el que ha reemplazado ventajosamente a la excitatriz.

La regulación del flujo inductor puede conseguirse por:

Control reostático en el circuito inductor:

Según la expresión de la velocidad, ésta puede variar en razón inversa al flujo, de forma que otro procedimiento de regular la velocidad de un motor es variando la corriente de excitación.

La variación de corriente de excitación se logra intercalando un reóstato en serie con el devanado de campo en el motor derivación, y en paralelo en el motor serie.

Este sistema de regulación presenta las ventajas de sencillez de realización y de reducido consumo, ya que las pérdidas por efecto Joule son:

En el motor existe una derivación muy reducida la corriente I_{ex} , y en el motor serie, mínima la resistencia desviadora R_r .

Sin embargo, este sistema no es muy utilizado, por ofrecer una gama de control de velocidad reducida (de 1 a 2,5). Este inconveniente surge, tanto al disminuir la velocidad, por la limitación de la saturación del circuito magnético, como en el aumento, por el excesivo valor de corriente y la consiguiente reacción de inducido.

Comparación de sistemas de regulación:

La regulación de velocidad conseguida al actuar sobre el flujo inductor se denomina a potencia constante, ya que la potencia cedida por el motor viene dada por la expresión:

$$P_{m\acute{a}x.} = M \cdot N = K \cdot \phi \cdot I \cdot N$$

La tensión como la intensidad, se mantienen constantes, para no aumentar por encima del valor fijado por el constructor. De esta forma, un aumento de velocidad estará compensado por una disminución de flujo y viceversa.

La regulación de velocidad conseguida al actuar sobre la tensión del inducido se denomina a par constante, ya que la expresión del par es:

$$M = K \cdot \phi \cdot I$$

Permanecen constantes la corriente absorbida I y el flujo. La variable será la potencia cedida, y su variación será según una recta, por ser:

$$P = I \cdot V = K \cdot V$$

$$I = \text{ctte.}$$

El motor de excitación independiente es el más adecuado para cualquier tipo de regulación, por la independencia entre el control por el inductor y el control por el inducido, pudiendo incluso disponer de los dos sistemas de regulación.

El motor derivación no es muy adecuado para la regulación de la velocidad, si bien se utiliza la regulación a par constante en un margen reducido (de 1 a 4). También en alguna ocasión se utiliza la regulación por control del inducido, siendo el funcionamiento entonces similar al del motor de excitación independiente.

El motor serie permite las regulaciones sobre el campo y sobre la tensión del inducido, aunque de por sí, el motor se ajusta automáticamente a las necesidades del momento en cuanto a par y velocidad, manteniendo la potencia prácticamente constante.

Finalmente, del motor compound cabe añadir que su control de velocidad será el resultante de actuar sobre los circuitos derivación y serie.

Sistemas de Excitación de las Máquinas Eléctricas de Corriente Continua

Los distintos sistemas de conectar los arrollamientos de excitación de las máquinas de corriente continua, constituyen la base para poder modificar ampliamente las formas de funcionamiento de estas máquinas. Según sea la conexión elegida, los generadores y los motores reciben nombres especiales. A continuación, se presentan los sistemas de excitación más empleados en la práctica:

- Excitación independiente
- Autoexcitación
- Excitación mixta
- Excitación propia

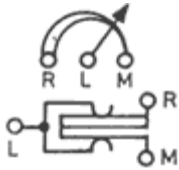
Para poder determinar los sistemas de excitación o inducción que posean las máquinas de corriente continua, es necesario conocer la designación de bornes.

Al abrir la caja de bornes de una máquina de corriente continua, se encuentra que cada borne está señalado con una letra. Aprendiendo bien las letras que designan cada uno de los bornes, se pueden conocer datos interesantes, tales como las conexiones entre bornes, la clase de excitación de la máquina, su sentido de giro, etc., así como las posibilidades y limitaciones para cambiar el funcionamiento de la máquina (sentido de giro, excitación, servicio, entre otros).

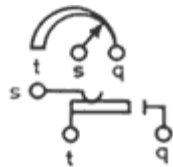
De esta manera, se expresan a continuación las más importantes designaciones de los bornes de las máquinas de corriente continua.

Designación de Bornes en Generadores y Motores

- Arrollamiento de inducido. A-B
- Arrollamiento inductor en derivación o shunt C-D
- Arrollamiento inductor en serie. E-F
- Arrollamiento de polos de conmutación o compensador G-H
- Arrollamiento inductor de excitación independiente J-K



Arrancador L-M-R



Regulador de tensión s-t-q

En corriente continua, los bornes generales están designados de la siguiente forma:

- Polo positivo P
- Polo negativo N
- Neutro (en líneas trifilares) O

Al igual, es necesario tomar en cuenta que:

a) En el arrollamiento de polos de conmutación

- El borne G se conecta siempre al borne B.

b) En el arrancador

- El borne L puede conectarse al borne N o al borne P.
- El borne M puede conectarse al borne C o al borne D (o bien, al borne t; .si hay regulación de tensión)
- El borne R puede conectarse a los bornes A, B, E, F, G, H, según sea el esquema utilizado.

c) En el regulador de tensión

El borne s puede conectarse a los bornes C o D; o bien a los bornes J o K, según sea el esquema utilizado.

El borne M es el que corresponde a la máxima resistencia en el arrancador, es decir que corresponde a la posición inicial de marcha y, que el borne R es de mínima resistencia que corresponde a la posición final de marcha.

Máquinas con Excitación Independiente

El sistema de excitación más fácil de entender es el que supone una fuente exterior de alimentación para el arrollamiento inductor. Los sentidos de giro, de la corriente principal y de la corriente de excitación, se determinan siempre, utilizando la regla de la mano derecha si se trata de generadores, o la regla de la mano izquierda si se trata de motores.

De acuerdo con la designación de bornes, en la placa de bornes de una máquina con excitación independiente, sea ésta generador o motor, estarán marcados los siguientes bornes:

- Bornes
- Arrollamiento del inducido
- Arrollamiento de excitación independiente (sin polos de conmutación)
- Arrollamiento de excitación independiente (con polos de conmutación)

Con la sola observación de la placa de bornes de una máquina de corriente continua se puede decir, inmediatamente, qué clase de excitación lleva la máquina y si lleva o no polos de conmutación. Además, conectando los bornes de una u otra forma, se puede conseguir que la corriente suministrada por un generador tenga uno u otro sentido o bien, que el sentido de giro de un motor sea a derechas o a izquierdas.

Para el conexionado de los polos de conmutación, deben tenerse en cuenta las siguientes indicaciones, válidas para todas las máquinas de corriente continua:

En generadores, si se sigue el sentido de giro, a cada polo inductor o principal, corresponde un polo de conmutación de distinto nombre (a un polo N principal corresponde un polo S de conmutación, entre otros).

En motores, si se sigue el sentido de giro, a cada polo inductor o principal, corresponde un polo de conmutación del mismo nombre (a un polo N principal corresponde un polo N de conmutación, entre otros).

Autoexcitación

El sistema de excitación independiente, solamente se emplea en la práctica en casos especiales debido, sobre todo, al inconveniente de necesitar una fuente independiente de energía eléctrica.

Este inconveniente puede eliminarse con el denominado principio dinamoeléctrico o principio de autoexcitación, que ha hecho posible el gran desarrollo alcanzado por las

máquinas eléctricas de corriente continua en el presente siglo.

En las máquinas que utilizan este principio, la corriente de excitación procede del inducido de la propia máquina; por eso se denominan máquinas autoexcitadas.

Para comprender bien el principio de autoexcitación, recordemos que en los materiales magnéticos, la inducción magnética no se anula cuando el campo magnético se hace nulo, sino que el material magnético en cuestión conserva una pequeña inducción residual, que se denomina magnetismo remanente. También se debe recordar que en una bobina ya construida, el campo magnético solamente depende de la corriente que atraviesa dicha bobina; por lo tanto, variando esta corriente se puede variar a voluntad el campo magnético de la bobina y, por consiguiente, la inducción en el núcleo magnético de dicha bobina. Conocido esto se puede explicar el principio de la autoexcitación.

En 2 generadores con giro a derecha supongamos que la máquina en reposo conserva un magnetismo remanente en sus polos inductores que, como ya sabemos, están contruidos de materiales magnéticos; la polaridad de los polos inductores debida a este magnetismo remanente, se designa por Nrem y Srem. El arrollamiento de excitación está conectado directamente a los bornes del inducido; las conexiones están realizadas de tal manera que la corriente de excitación que se produzca cuando la máquina esté en movimiento, refuerce las polaridades Nrem y Srem.

Al activar la máquina, el pequeño campo magnético creado por Nrem y Srem produce, en el inducido, una fuerza electromotriz muy débil; es decir, que en los primeros instantes el funcionamiento de la máquina es idéntico al de una magneto. A consecuencia de esta débil fuerza electromotriz inducida, circulará una pequeñísima corriente por el arrollamiento de excitación; esta corriente produce un flujo magnético del mismo sentido que el producido por el magnetismo remanente y que, por lo tanto, lo refuerza. Esto trae como consecuencia un aumento de la fuerza electromotriz inducida, un nuevo aumento de la corriente de excitación y un nuevo refuerzo del campo magnético inductor. Los efectos se van acumulando hasta que, al cabo de cierto tiempo, se alcanza el valor de la fuerza electromotriz nominal de la máquina lo que representa, en el circuito magnético, que el material que lo constituye ha llegado a la saturación magnética.

El tiempo que precisan las máquinas autoexcitadas para alcanzar la fuerza electromotriz nominal, oscila entre unos segundos para las máquinas de pequeña potencia y algunos minutos para las máquinas de gran potencia.

Se pueden presentar casos diferentes en el giro a la derecha de una máquina; las conexiones del circuito de excitación a los bornes del inducido son las mismas y el resultado, es correcto puesto que el sentido de la corriente de excitación es tal, que el flujo magnético por ella producido, refuerza el flujo de los polos inductores.

Se puede concluir que:

- La polaridad de los bornes del inducido depende de la polaridad que tengan los polos con magnetismo remanente.
- Solamente puede existir autoexcitación, si para cada sentido de giro, se adopta la conexión apropiada para el arrollamiento de excitación.

Exteriormente, no se puede apreciar en una máquina de corriente continua, cuál es el sentido de rotación con el que se autoexcitará, ni cuál será la consiguiente polaridad de las escobillas.

Máquinas con excitación mixta

Estas máquinas llevan un arrollamiento de excitación independiente y un arrollamiento de excitación serie; los efectos de ambos arrollamientos se suman en la máquina. El efecto del arrollamiento de excitación independiente es muy superior al efecto del arrollamiento de excitación serie. Las máquinas con excitación mixta pueden ser también adicionales si se suman los efectos de ambos arrollamientos, o diferenciales cuando dichos efectos son opuestos; en este último caso, el efecto del arrollamiento de excitación independiente, resulta determinante para decidir sobre el sentido de giro de la máquina.

En la placa de bornes de una máquina con excitación mixta, estarán indicados los siguientes bornes:

- Bornes
- Arrollamiento del inducido
- Arrollamiento en serie
- Arrollamiento de excitación independiente (sin polos de conmutación)
- Arrollamiento de excitación independiente (con polos de conmutación)

Este sistema de excitación se emplea, sobre todo para generadores, por lo que solamente se tendrá en cuenta esta aplicación.

Máquinas con excitación propia

Este sistema de excitación se emplea casi exclusivamente para generadores. En las máquinas con excitación propia, la corriente inductora o de excitación es suministrada por una máquina excitatriz acoplada directa o indirectamente a la máquina principal y que se utiliza solamente para este objeto, es decir, que exceptuando el arrollamiento inductor de la máquina principal, la excitatriz no alimenta ningún otro punto de consumo.

En las máquinas con excitación propia, la máquina principal es de excitación independiente puesto que su corriente de excitación procede de una fuente exterior; la máquina excitatriz es, casi siempre, de excitación shunt.

La gran ventaja de este tipo de excitación es que la regulación de tensión se efectúa sobre la máquina excitatriz; por lo tanto, el regulador de tensión será de menor tamaño que si la regulación se efectuara sobre la máquina principal y la regulación puede ser mucho más fina. Por lo tanto, cuando la potencia de excitación ha de ser grande y no se disponga de otra fuente de corriente continua, este sistema de excitación resulta muy apropiado.

Bobinados

Definición: Recibe el nombre de bobinado el conjunto formado por las bobinas, comprendiendo en esta expresión tanto los lados activos que están colocados en el interior de las ranuras y las cabezas que sirven para unir los lados activos, como los hilos de conexión que unen las bobinas entre sí como los que unen estas bobinas con el colector o con la placa de bornas.

Bobinado en anillo y en tambor: La fuerza electromotriz generada en el bobinado inducido depende sólo del número de hilos activos, o sea, los exteriores paralelos al eje de rotación.

Puede hacerse una primera clasificación de los bobinados según la manera de unir entre sí los hilos activos:

- **Bobinado en anillo.-** Es aquel en el cual las espiras son arrolladas sobre el anillo que constituye la armadura del inducido. Las bobinas solo poseen un lado activo, que es el que se encuentra en el lado exterior y es paralelo al eje de rotación, ya que únicamente éste corta líneas de fuerza al girar la armadura.

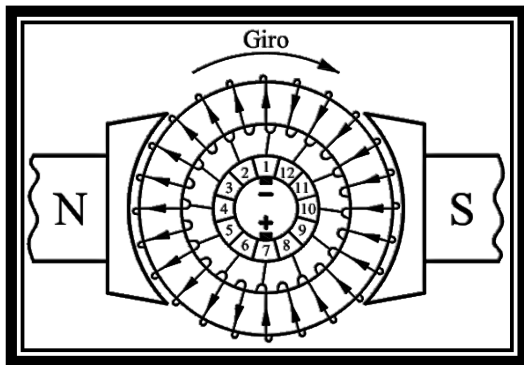


FIG 15. Bobinado en anillo

Bobinado en tambor.- Es aquel en el que los dos lados activos de cada bobina están colocados en la superficie exterior de la armadura. De esta forma, cada espira dispone de dos conductores activos.

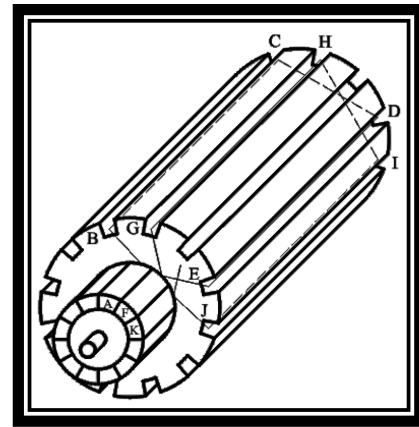


FIG 16. Bobinado en tambor

Actualmente, los bobinados en anillo están totalmente abandonados, siendo los únicos empleados los bobinados en tambor por poseer las siguientes ventajas:

- Conducen a una mayor economía de cobre, derivada del hecho de que los bobinados en tambor disponen de dos conductores activos por espira contra uno solo en los bobinados en anillo. La menor cantidad de cobre trae como consecuencia que los bobinados en tambor tengan menos resistencia y, por consiguiente, menos pérdidas eléctricas y menor calentamiento, así como mejor rendimiento.
- Las bobinas del bobinado en tambor pueden ser preparadas previamente sobre un molde adecuado, dándoles la forma conveniente, incluso haciendo uso de máquinas automáticas.
- El proceso de fabricación, representa una importante reducción de la mano de obra a emplear con el consiguiente abaratamiento del proceso.

Bobinados de una y dos capas por ranura.- Los bobinados en tambor pueden ser de una y dos capas por ranura, según que en una misma ranura haya uno o dos lados activos de bobinas distintas.

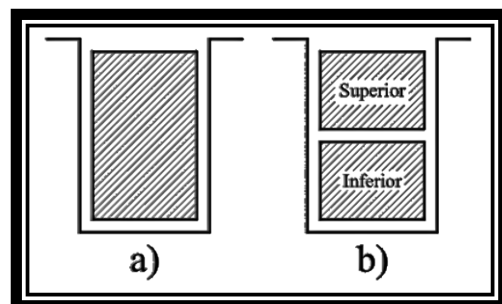


FIG 17. Ranuras de armadura

- a) Ocupada por un solo lado activo. Bobinado de una capa.
- b) Ocupada por dos lados activos. Bobinado de dos capas.

Cuando el bobinado es de dos capas, la capa que está en el fondo de la ranura se llama capa inferior, baja o interior y la que se encuentra junto al entrehierro es llamada capa superior, alta o exterior.

Los bobinados de máquinas de corriente continua se construyen modernamente en dos capas, mientras que los de corriente alterna son ejecutados tanto en una como en dos capas.

Bobinados abiertos y cerrados: Otra clasificación de los bobinados resulta de dividirlos en abiertos y cerrados.

- **Bobinados abiertos:** Son aquellos en los cuales el conjunto de las bobinas presenta dos o más extremos libres que se llevan a la placa de bornas o al colector de anillos. Es el bobinado típico de las máquinas de corriente alterna, en las que existe una o más fases, cada una de las cuales tienen un principio y un final libres.
- **Bobinados cerrados:** Son aquellos en los cuales el conjunto de las bobinas forman uno o más circuitos cerrados. Es el bobinado típico de las máquinas de corriente continua, en las que para su funcionamiento, se precisa colocar un colector de delgas sobre las que frotan las escobillas y entre las cuales debe existir siempre continuidad en el bobinado.

Representación gráfica de los bobinados: Para el estudio y cálculo de los bobinados de máquinas eléctricas es preciso representarlos gráficamente. Para tal fin se emplean los esquemas rectangular y circular. También se utiliza el esquema simplificado.

- **Representación rectangular:** Para ejecutar gráficamente el esquema rectangular de un bobinado de máquina de corriente continua, debe imaginarse que el colector aumenta de diámetro hasta hacerse igual al del paquete chapas del inducido. Igualmente que las cabezas de bobinas del lado contrario al colector se abren en abanico, con lo que el colector, el paquete y las cabezas de las bobinas forman una sola superficie cilíndrica. Luego daremos un corte imaginario a este cilindro, según una de sus generatrices, y abriendo la superficie lateral de ese cilindro lo desarrollaremos sobre el plano.

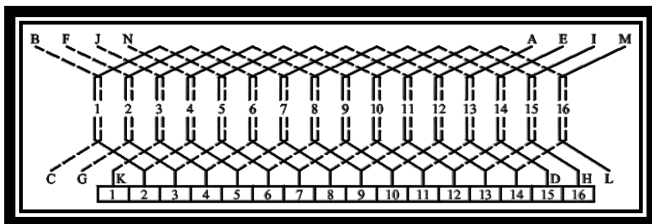


FIG 18. Representación rectangular

- **Representación circular:** Para ejecutar gráficamente el esquema circular de un bobinado

de c. c., admitiremos que lo vemos desde el lado del colector y supondremos que las generatrices del cilindro que forma el paquete de chapas y, con ellas, los conductores, se abren hasta colocarse en el mismo plano que la cara anterior del colector. Finalmente, para poder representar las cabezas del lado contrario al colector, haremos la simple unión de los lados activos correspondientes.

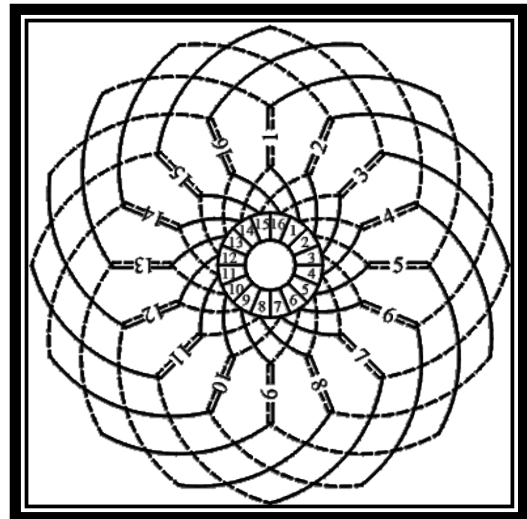


FIG 19. Representación circular

- **Representación simplificada:** Normalmente, en los talleres de bobinado no es necesario disponer del esquema completo, sino que es suficiente conocer los datos y condiciones del bobinado y un esquema simplificado de su ejecución.

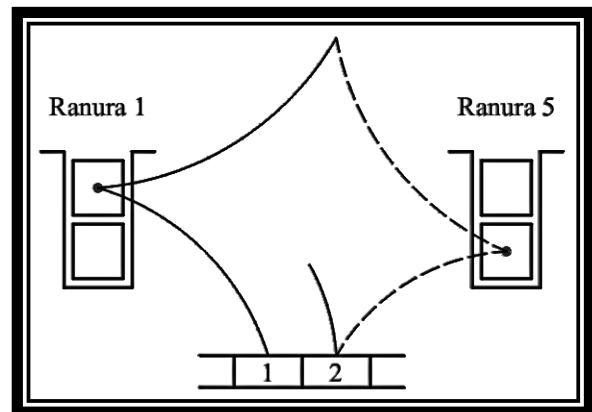


FIG 21. Representación simplificada

Generadores de c. c.: Se denominan “dinamos” y son máquinas que transforman la energía mecánica (que recibe por su eje) en energía eléctrica (que suministra por sus bornas), teniendo en cuenta que esta energía eléctrica debe manifestarse en forma de corriente continua.

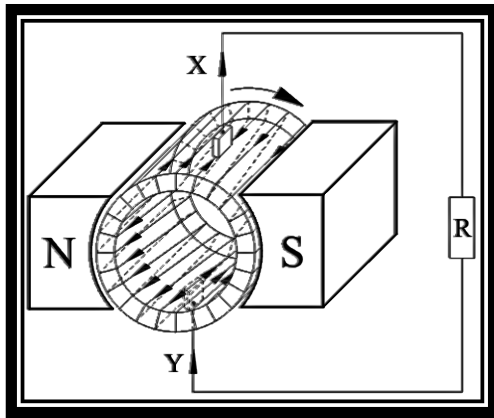


FIG 22. Principio de funcionamiento de las dinamos

2. COLECTOR DE DELGAS

Los bobinados de c. c. son todos cerrados, es decir, que no presentan ningún extremo libre por el que se le pueda suministrar corriente (caso de los motores), o por el que se pueda alimentar uno o varios receptores (caso de las dinamos). Por ello van provistas las máquinas de c. c. de un colector de delgas, que está constituido por un número determinado de láminas de cobre llamadas delgas, las cuales quedan aisladas entre sí mediante láminas de mica. Sobre estas delgas frotan las escobillas que hacen la función de extremos libres del bobinado, y a su vez van conmutando los distintos circuitos del bobinado.

Al mismo tiempo el colector permite rectificar las tensiones alternas que se generan en los conductores del inducido de tal forma que merced a la presencia del mismo se obtiene una tensión continua.

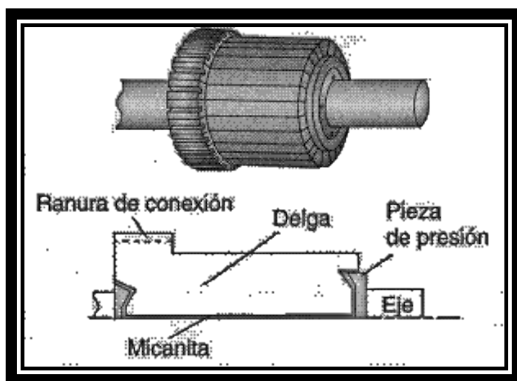


FIG 23. Colector de delgas

Número de polos de las dinamos: Las máquinas grandes exigen para su funcionamiento un flujo magnético de considerable valor. Si dichas máquinas fueran bipolares, la culata, polos y demás partes del conjunto magnético tendrían que ser de secciones excesivamente grandes para que la inducción se mantuviera dentro de límites aceptables, lo que daría, como consecuencia, máquinas pesadas y caras.

Se evita este inconveniente construyendo máquinas con más de dos polos, con el fin de que el flujo total de la máquina se subdivida en varios flujos parciales.

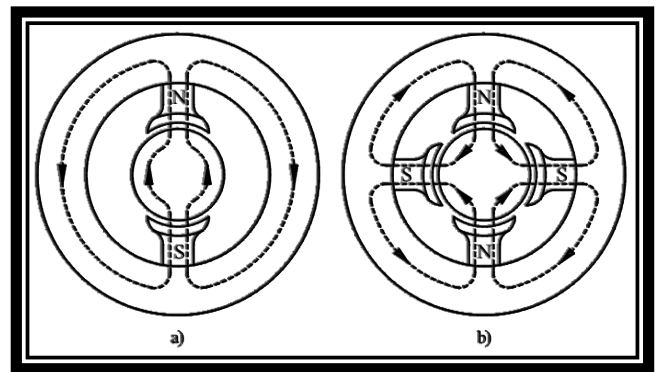


FIG 24. Circuito magnético de las dinamos
a) Bipolar, b) tetrapolar

Número de líneas de escobillas: La f.e.m. inducida en cada conductor del inducido cambia de sentido cuando éste pasa por la línea neutra.

Ahora bien, en una máquina multipolar habrá tantas líneas neutras como polos, ya que entre cada dos polos existirá una zona en la que se compensen las acciones de ambos polos.

Según lo dicho en los dos párrafos anteriores, las escobillas deben ser colocadas sobre delgas conectadas con conductores situados sobre una línea neutra, luego podremos colocar tantas líneas de escobillas como número de polos tiene la máquina. Como estas líneas de escobillas deben ser equidistantes, ya que también lo están las líneas neutras, se deduce que el ángulo geométrico de separación entre líneas de escobillas " α_{esc} " debe ser igual a

$$\alpha_{esc} = \frac{360}{2p}$$

Por otra parte, en los dibujos de esquemas se suelen representar las líneas de escobillas, por lo que conviene calcular su distancia en delgas.

Siendo "D" el número total de delgas del colector, la distancia en delgas entre dos líneas de escobillas consecutivas o "paso de escobillas (Y_{esc})", será igual a

$$Y_{esc} = \frac{D}{2p}$$

3. REACCIÓN DE INDUCIDO

El inducido de la máquina de corriente continua, tal como se ha visto anteriormente, puede considerarse constituido por una serie de pilas eléctricas elementales, que son conductores activos, caracterizados por una f.e.m. y por una resistencia óhmica. El inducido "visto" desde las escobillas

será entonces una suma de f.e.m. total y una resistencia total.

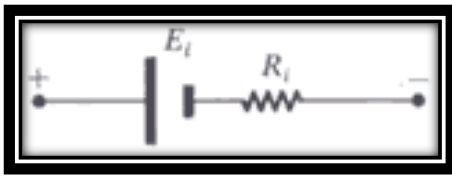


FIG 25. Circuito equivalente del inducido

El circuito es válido únicamente en condiciones estacionarias, ya que cuando la máquina funciona en régimen transitorio es necesario incluir una inductancia del bobinado del rotor para tener en cuenta el efecto de variación temporal de la intensidad.

En el caso de que la máquina sea un generador, la corriente por el inducido I_i saldrá por el borne positivo y entrará por el negativo, de modo que la tensión entre ambos bornes (V_c) será:

$$V_c = E_i - R_i * I_i$$

La tensión de un generador disminuirá cuando aumente I_i , o sea, el consumo, a igualdad de velocidad y flujo por polo. También disminuirá si la velocidad de giro disminuye, y aumentará en caso contrario. Para mantener la tensión constante en un margen de velocidades de giro y de carga, será necesario actuar sobre ϕ , esto es, sobre la intensidad de excitación.

En el caso de que la máquina sea motor, la corriente por el inducido I_i entrará por el borne positivo y saldrá por el negativo, y así la tensión aplicada al motor V_L será:

$$V_L = E_i + R_i * I_i$$

La velocidad de un motor disminuirá cuando aumente I_i , o sea, la carga mecánica que deba arrastrar, siempre que se mantengan la tensión aplicada y el flujo por polo. Si se deseara regular la velocidad de un motor de corriente continua, habrán de variarse la tensión aplicada o el flujo por polo; esto es, la intensidad de excitación, o incluso ambas.

Todo lo explicado hasta ahora se refiere al circuito equivalente del inducido. Ahora bien, el inductor, o sea, el devanado de excitación, está constituido por una serie de espiras que tendrán una resistencia óhmica R_e , y en el caso más general, este devanado presentará también una inductancia L_e , debido al número de espiras con su circuito magnético correspondiente. En condiciones estacionarias sólo se tendrá en cuenta R_e .

En el caso más general, la máquina de corriente continua tendrá el circuito equivalente de la figura:

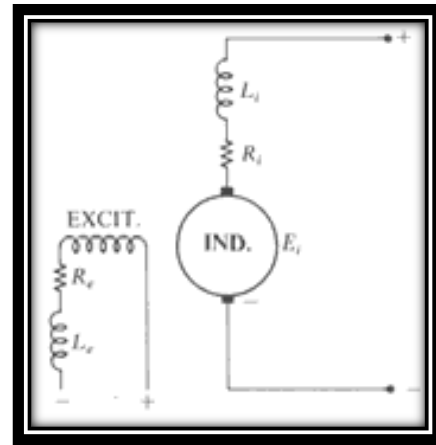


FIG 26. Representación del inducido (rotor) y del inductor (estator) de una máquina de corriente continua.

Circuitos eléctricos: Los dos circuitos eléctricos de una dinamo se conocen con los nombres de inducido e inductor.

- **Circuito inducido:** Está constituido por el conjunto de bobinas colocadas en las ranuras de la armadura del rotor.
- **Circuito inductor:** Está constituido por las bobinas que rodean a los núcleos de los polos. Se distinguen los circuitos inductores principal y auxiliar, según los polos sobre los que van colocados.

Condiciones de los bobinados inducidos de c. c.: Los bobinados modernos de máquinas de c. c. son todos de tambor y en dos capas por ranura. Las condiciones generales que deben cumplir son las siguientes:

- Deben ser cerrados. Como quiera que las escobillas se apoyan sucesivamente sobre delgas diferentes, es necesario que el bobinado sea cerrado, para que siempre exista continuidad.
- Las f.e.ms. totales generadas en los distintos circuitos paralelos deben ser iguales.
- Las resistencias interiores de los distintos circuitos paralelos deben ser iguales.

Para que se cumplan exactamente las condiciones 2ª y 3ª, es preciso que dichas ramas dispongan de igual número de espiras y que éstas tengan igual longitud de conductor.

Para que así sea, es preciso:

- Que todas las ramas en paralelo tengan el mismo número de lados activos de bobinas.
- Que todas las bobinas tengan el mismo número de secciones inducidas.
- Que todas las secciones inducidas tengan el mismo número de espiras.
- Que todas las bobinas sean ejecutadas sobre el mismo modelo de molde.

Secciones inducidas: Recibe este nombre el conjunto de espiras comprendidas entre dos delgas del colector que se encuentran sucesivamente recorriendo el bobinado.

La sección inducida puede estar formada por una sola espira o de varias en serie, pero únicamente dispone de dos extremos libres los cuales se conectan a las dos delgas, entre las cuales está comprendida.

En los bobinados de tambor, cada sección inducida comprende dos haces activos; uno, colocado en la capa superior de una ranura, y el otro, situado en la capa inferior de la otra ranura que le corresponde.

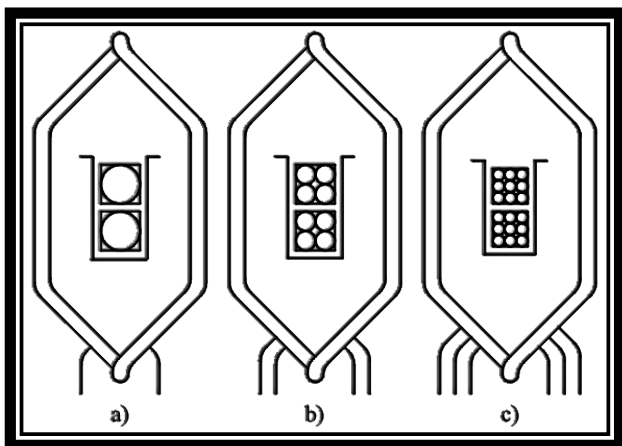


FIG 27. Bobinas de inducido de c. c. y su disposición en las ranuras
a) Con una sección inducida, b) con dos secciones inducidas, c) con tres secciones inducidas

Número de secciones inducidas: En un bobinado de dos capas por ranura, el número de bobinas “B” es igual al número de ranuras “K”.

$$B = K$$

Designando por “U” al número de secciones inducidas que constituye una bobina, el número total de secciones inducidas “S” del bobinado será igual al producto del número de bobinas por el de secciones inducidas de cada bobina.

$$S = B \cdot U = K \cdot U$$

Por otra parte, el número de delgas del colector debe ser igual al número total de secciones inducidas.

$$D = S$$

Numeración de ranuras y de secciones inducidas:

Reglas:

- Para numerar las ranuras de la armadura se da a una cualquiera de ellas el número 1 y a las

siguientes los números sucesivos, hasta recorrer la periferia completa de la armadura.

- Para numerar las secciones inducidas, se empieza por dar el número 1 a la que está situada más a la izquierda en la ranura 1, luego se van dando los números sucesivos a las siguientes secciones, siguiendo la periferia de la armadura en el mismo sentido que se siguió al numerar las ranuras.

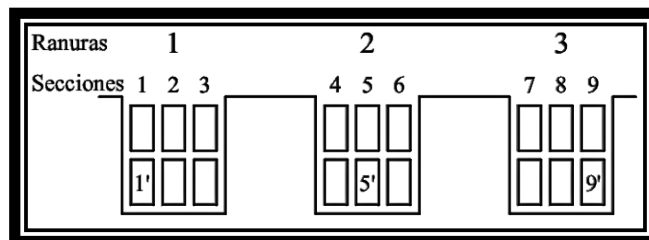


FIG 28. Numeración de las secciones inducidas

OBSERVACIÓN. Si se deseara hacer notar más exactamente un haz activo de la capa inferior, podrá determinarse con el mismo número que tiene el haz activo superior colocado sobre aquél y señalarlo con el apóstrofo. Así están señalados en la fig. los haces activos 1', 5' y 9'.

Ancho de sección: Se le da el nombre a la distancia, medida en secciones inducidas, existente entre los dos haces activos de una misma sección. El ancho de sección tiene que tener, forzosamente, un valor entero y se representa por “Y₁”.

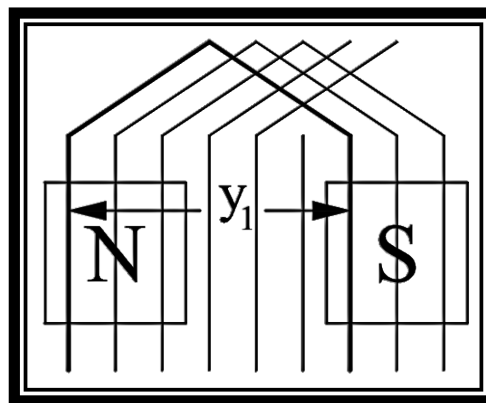


FIG 29. Ancho de sección

Se calcula el ancho de sección, después de elegido el paso de ranura “Y_k”.

Así, siendo “U” el número de secciones inducidas por bobina, resulta que el ancho de sección tendrá por valor

$$Y_1 = Y_k \cdot U$$

Bobinados imbricados y ondulados: En un bobinado de corriente continua, la conexión entre secciones sucesivas puede ser efectuada de dos formas diferentes:

- **Bobinado imbricado.** Después de haber recorrido la sección 1 se retrocede por la parte anterior para buscar el principio de la sección inmediata, es decir la 2. Este tipo de bobinado se distingue porque el bobinado avanza por su cara posterior y retrocede por la anterior.

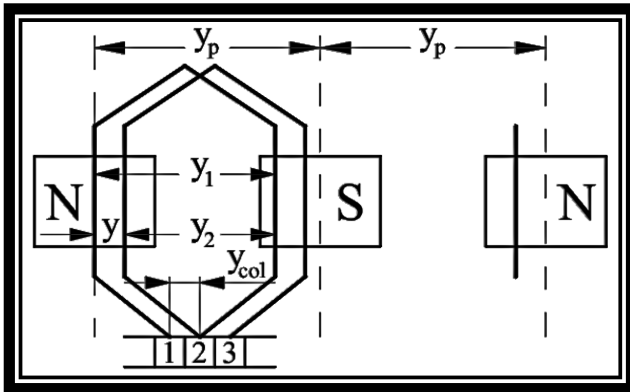


FIG 30. Bobinado imbricado

- **Bobinado ondulado.** Después de haber recorrido la sección 1, se avanza por la cara anterior para buscar el principio de la otra sección inducida que se halle colocada bajo el campo magnético del siguiente polo, aunque con posición similar a la sección 2. Este tipo de bobinado avanza en la periferia del inducido tanto por la cara posterior como por la anterior.

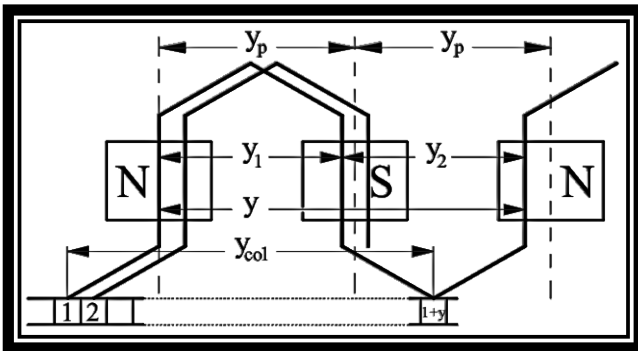


FIG 31 Bobinado ondulado

Paso de conexión: Recibe el nombre de paso de conexión la distancia, medida en secciones inducidas, existente entre el haz activo que constituye el final de una sección y el haz activo principio de la siguiente, siguiendo el curso del bobinado. Se designa por “ Y_2 ”. Una vez calculado si el signo del resultado es negativo, el bobinado será imbricado, mientras que si es positivo, el bobinado será ondulado.

$$Y_2 = Y_1 - Y_{col} \quad \text{si el bobinado es imbricado.}$$

$$y_2 = Y_{col} - Y_1 \quad \text{si el bobinado es ondulado.}$$

Paso resultante: Es la distancia medida en secciones inducidas, existente entre los haces superiores o principios de dos secciones consecutivas siguiendo el curso del bobinado. Se designa por “ Y ”.

$$Y = Y_1 - Y_2 \quad \text{si el bobinado es imbricado.}$$

$$Y = Y_1 + Y_2 \quad \text{si el bobinado es ondulado.}$$

Paso de colector: Recibe el nombre de paso de colector el número de delgas que es necesario saltar para ir desde la delga de partida de una sección hasta la delga de partida de la sección siguiente, recorriendo el bobinado. Se designa por “ Y_{col} ”.

El paso de colector tiene el mismo valor que el paso resultante.

$$Y_{col} = Y$$

4. CONMUTACIÓN

En una máquina de corriente continua en funcionamiento se van cortocircuitando momentáneamente las bobinas de inducido situadas bajo las escobillas. Cuando por el devanado del inducido pasa una corriente, en las bobinas cortocircuitadas se producen dos tensiones que deben ser contrarrestadas por una tercera resultante del campo principal, si la conmutación de corriente tiene lugar de forma perfecta.

Tras el cortocircuito de las escobillas, la corriente I de cada una de las espiras toma el sentido opuesto, es decir, que se ha producido la conmutación de la corriente. Cada bobina de corriente tiene una cierta dispersión de inductancia L . Esto da lugar durante la conmutación de corriente a la aparición de la llamada tensión reactiva

$$E_r = -L \cdot dl/dt.$$

Esta se opone a toda variación de corriente, y por tanto, dificulta la conmutación de corriente. Ahora bien, la bobina cortocircuitada se mueve también dentro del campo transversal de inducido, generando en él una f.e.m. E_q si no se han tomado medidas para su eliminación local en la zona de conmutación, como era normal en las máquinas antiguas E_q no sólo frena la conmutación de corriente, sino que, muy al contrario, permite un fuerte aumento de la corriente en el conductor.

Si por la variación de la posición de las escobillas se llevan ambos extremos de la bobina conmutada a la zona del campo principal, como consecuencia del movimiento del conductor, éste inducirá una tensión adicional, que se designará con E_H Mientras que E_r actúa de forma freno y E_q incluso contrarresta la conmutación de corriente, E_H puede influirse de tal forma mediante una variación de las

escobillas respecto a medida y dirección correctas, que por esta tensión se vea acelerada la conmutación de corriente. Si estas tres tensiones se contrarrestan tendrá lugar una buena conmutación.

Antes toda variación de carga ocasionaba según esto una modificación de la posición de las escobillas, que en el generador tenían que desplazarse en el sentido de giro y en el motor en sentido contrario. Por esta razón, era preferible emplear escobillas fijas y conseguir un campo dependiente de la carga en la zona de conmutación, al igual que ocurre casi sin excepción en todas las máquinas actuales.

Estas máquinas llevan entre los polos principales otros auxiliares, por cuyo devanado pasa la corriente de inducido. El número de espiras se elige de forma tal que el campo transversal de inducido primitivo bajo estos polos auxiliares no sólo desaparezca, sino que se produzca el llamado campo auxiliar de sentido inverso. Por consiguiente, el devanado de polos auxiliares debe actuar en forma sobre compensadora. Así, pues, en máquinas con polos auxiliares bajo los que se deslizan los extremos de las bobinas de inducido cortocircuitadas, las escobillas no precisan ya desplazarse en uno u otro sentido con vistas a mejorar la conmutación en carga. En la bobina cortocircuitada de conmutación sólo se producen dos tensiones, con independencia del efecto inductivo opuesto de las bobinas de conmutación simultánea, a saber, la ya citada tensión reactiva E_r , que es atribuible a la variación del flujo disperso de las ranuras y el cual intenta frenar la conmutación de corriente, y la tensión E_H , producida por el movimiento dentro del campo auxiliar, que acelera el proceso de conmutación. La tensión reactiva E_r y la de conmutación E_w son de sentido opuesto y se contrarrestan en su mayor parte.

Pero en la zona de carga nominal se tiende a hacer la tensión de conmutación algo superior a la reactiva, a fin de que en caso de sobrecarga los polos auxiliares garanticen una perfecta conmutación sin retardo, a pesar de la curvatura de la característica de magnetización.

Hay que tener en cuenta la necesidad de una proporcionalidad lo mejor posible y sin retardo entre la corriente de inducido y el flujo de los polos auxiliares. A continuación se hará referencia a algunas medidas necesarias para ello. En el banco de pruebas se determinará exactamente la intensidad necesaria del campo auxiliar. Generalmente la adaptación óptima a este valor tiene lugar mediante la variación del entrehierro de los polos auxiliares: esta adaptación es uno de los cometidos principales del banco de pruebas, especialmente en máquinas de fabricación individual.

Suplementos de chapa convenientemente preparados y que una vez retirados los tornillos de fijación de los polos pueden introducirse o retirarse fácilmente, permiten en un tiempo breve la variación necesaria del entrehierro, a menudo sin desmontar el inducido.

Para un primer enjuiciamiento de la calidad de la conmutación el ingeniero del banco de pruebas observa las

escobillas, en las que en determinados casos podrán observarse chisporroteos. El curso de la tensión de transición registrada en los ensayos de conmutación, es decir, el llamado potencial de las escobillas medido entre el canto de entrada y el de salida de la escobilla, generalmente indica la necesidad de un refuerzo del campo de polos auxiliares en caso de una tendencia creciente y de un debilitamiento del mismo si esta tendencia es decreciente. Otras conclusiones cuantitativas pueden obtenerse de las llamadas curvas límite de la conmutación de corriente. Para su registro, mediante variación de la corriente de polos auxiliares I_W , por suma o resta de una corriente auxiliar, se determina para distintos valores de la corriente de inducido I_A el límite superior e inferior del margen exento de chisporroteo, que luego se representa por dos curvas

$$I_W / I_A = f(I_A) \text{ o bien } (I_W - I_A) / I_A = f(I_A).$$

En máquinas de corriente continua grandes, que trabajan con debilitamiento de campo para elevar sus revoluciones, en ocasiones son necesarias medidas adicionales especiales, a fin de lograr una conmutación satisfactoria incluso a la máxima velocidad.

Desde la introducción de los polos auxiliares ya no es decisiva básicamente la tensión reactiva E_r en sí, en lo que respecta a la conmutación, sino la diferencia entre la tensión E_w y E_r producida por el campo auxiliar y conocido como tensión residual. Por este motivo, tiene especial influencia sobre la calidad de la conmutación la distribución local adecuada del campo auxiliar bajo sus zapatas polares, adaptada al devanado del inducido.

Mediante la determinación del paso más conveniente del devanado se logra que los conductores de la chapa superior o inferior de una ranura no participen al mismo tiempo en la conmutación.

Condiciones particularmente favorables se tienen en los llamados devanados de inducido escalonados, que van dotados con bobinas de distinta amplitud. El tipo y escalonamiento del devanado tiene una cierta influencia sobre la anchura de la zona de conmutación y, por tanto, sobre el margen de cortocircuito de cada una de las bobinas de inducido.

Además es de capital importancia la anchura de las escobillas, para cuya determinación es preciso tener en cuenta determinadas leyes, en las que también entran en consideración las dimensiones de la máquina. Ocasionalmente se acude a un escalonamiento de las escobillas para poder elegir a voluntad, dentro de ciertos límites, la anchura de solapamiento de las delgas, a pesar del empleo de escobillas con dimensiones normalizadas. Una reducción de la superficie de contacto de la escobilla da lugar a un aumento de la tensión reactiva, por el contrario, un ensanchamiento de su superficie de contacto reduce esta tensión. Por consiguiente, la eficacia de un campo auxiliar invariable puede debilitarse en el primer caso y reforzarse en el segundo. Por esta razón, dentro de estrechos márgenes es posible y también usual realizar un escalonamiento de las escobillas en lugar de introducir pequeñas correcciones del

entrehierro debajo del polo auxiliar. Para evitar en lo posible, incluso en el margen de sobrecargas, una saturación del circuito magnético del flujo auxiliar, del que una gran parte es el flujo disperso, los núcleos de los polos auxiliares llevan un segundo entrehierro entre el núcleo y el yugo con el cual se prevén, particularmente las grandes máquinas, actúa también de forma favorable, ya que reduce el flujo disperso auxiliar. Este entrehierro se rellena con cartón o con otro material antimagnético y en ningún caso debe puentearse magnéticamente mediante tornillos de hierro.

La necesaria proporcionalidad entre la corriente de inducido y el campo auxiliar puede verse perturbada por corrientes parásitas que pueden producirse en el hierro como consecuencia de variaciones rápidas de la intensidad. Las actuales máquinas de continua se ven sometidas a menudo a estos choques de corriente. Los tiempos cortos de inversión en accionamientos reversibles, la alta velocidad de regulación o la tensión con armónicos producen frecuentemente variaciones sensibles y rápidas en el tiempo de la corriente, en contra de lo que antiguamente se entendía bajo el concepto de corriente continua. Un oscilograma que fue tomado durante un proceso de laminación normal, servirá como ejemplo para caracterizar las condiciones de servicio de un motor reversible grande. Es consecuencia de este desarrollo el hecho de que en la construcción de su estator se adopten medidas y consideraciones, que antes sólo se consideraban necesarias en las máquinas de alterna y en el inducido de las máquinas de corriente continua. Dentro de estas medidas está, además de la ya citada construcción de los polos auxiliares en forma de chapas apiladas, emplear el mismo tipo de construcción para el yugo. Mediante el aislamiento de los remaches se trata de lograr una desamortiguación de todos los circuitos del flujo y por medio de un ranurado de las placas finales y medidas similares evitar la aparición de vías internas de cortocircuito. Una buena coordinación de medidas especiales en el cálculo y construcción de la máquina de acuerdo con las exigencias del lado de regulación y control garantizan un perfecto comportamiento posterior en servicio. Esto hay que considerarlo cuando ocasionalmente se piense en el empleo de máquinas antiguas en instalaciones modernas.

Puesto que el campo auxiliar sólo existe dentro de la zona de conmutación y únicamente en ella influye el campo transversal de inducido, en caso de una fuerte distorsión del campo principal por parte de la corriente que pasa por el inducido, habrá que temer otras medidas, o de lo contrario, el aumento de la tensión máxima alcanzara un valor crítico e, incluso, se sobrepasará éste.

En este caso la mejor ayuda es el devanado de compensación, que resulta de introducir en las ranuras de la zapata polar principal una parte de espiras del polo auxiliar convenientemente bobinadas. El flujo específico del devanado de compensación se hace casi igual al del inducido, con lo cual se ve aumentada su acción magnética en la zona de los polos principales. La figura 2 muestra el arreglo para ese bobinado de compensación.

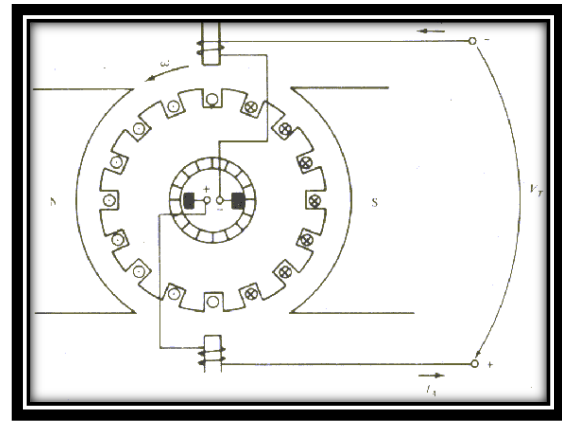


FIG 32. . Máquina de CD con polos de compensación

En el caso de máquinas pequeñas y medias a menudo es suficiente con reducir la distorsión del campo mediante un aumento del entrehierro que se extiende desde el centro del polo a los puntos del mismo.

El ascenso de la tensión de delgas debajo de uno de los cantos polares puede reducirse a base de permitir la saturación anticipada a voluntad del mismo, por ejemplo, mediante la correspondiente configuración o estratificado de las chapas polares.

Si en máquinas pequeñas sin compensar no son suficientes estas medidas, habrá que elegir una máquina mayor con flujo específico de inducido bajo. De todos modos, convendrá analizar si no resulta más económica la máquina pequeña compensada. Si el accionamiento ha de acelerarse y decelerarse frecuentemente, siempre es preferible la ejecución compensada, debido a que en ella el motor tiene el menor diámetro de inducido y momento de inercia.

Las máquinas grandes llevan un devanado de compensación desplazado en sentido contrario al giro, que al mismo tiempo tiene el efecto de un devanado de compensación, dependiendo del alternado de sus ranuras. La curva de revoluciones de tales motores tiene un trazado recto, que garantiza un régimen estable en todo el margen de carga. Este tipo de máquinas son particularmente idóneas para el funcionamiento en paralelo regulado con otros motores. Los colectores deben ser perfectamente cilíndricos y la distribución de delgas y escobillas debe concordar exactamente. Para un perfecto asiento, las escobillas deben tener la presión prescrita dentro del soporte. Deben apoyar sobre el colector con toda su superficie, por lo que se las lija. Esto hay que tenerla muy en cuenta al cambiar las escobillas. Bajo estas condiciones y con campo auxiliar correctamente calculado, las escobillas de carbón puro normales proporcionan una conmutación perfecta.

Ahora bien, en casos excepcionales son necesarias medidas especiales, por ejemplo, si el aire de ventilación contiene gases atacantes o si, como consecuencia de sobrecargas muy altas de choque, se produce un chisporroteo periférico momentáneo en los cantos de las escobillas.

En estos casos se han acreditado las escobillas de grafito, que por el solo hecho de su elevada resistencia interna se

mejora ya la conmutación y con su efecto limpiador elimina las posibles pequeñas manchas que puedan aparecer en la superficie del colector. En el caso de una velocidad periférica muy elevada del colector se utiliza con éxito el porta escobillas tándem, que llevan dos escobillas de frotación sucesiva en sentido periférico. Para ello se subdivide el bloque grande de carbón utilizado en otro caso, obteniendo una superficie de contacto en ambas escobillas individuales. Otra mejora del desplazamiento mecánico de las escobillas consiste en la colocación inclinada del porta escobillas, recurso al que se acude con frecuencia.

Las características físicas favorables de las escobillas de carbón son su elevada elasticidad, suficiente contenido en partículas duras de carbono y bajo rozamiento, que por otra parte decrece con el paso de la corriente. No es posible asociar en igual medida estas tres características de material; no se puede asociar simultáneamente una gran elasticidad y partes integrantes duras con un bajo desgaste, máxime debiendo tener en cuenta también el desgaste de escobillas y colector.

El campo de conmutación deberá ser tanto más débil cuanto mayor sea el contenido en partículas duras, y, por tanto, la resistencia específica de las escobillas. Sin embargo, para colectores con alta velocidad periférica se tiende a emplear escobillas elásticas de grafito natural o electrolítico.

Para máquinas de baja tensión o con condiciones favorables de conmutación de corriente entran en consideración escobillas metálicas duras con reducida resistencia de paso, que permiten una alta densidad de corriente.

En casos especiales, para máquinas de continua alimentada con tensión de fuerte ondulación y en las que con frecuencia se produce un fuerte ascenso de la corriente, se eligen escobillas con alta resistencia transversal. Para ello, se hace uso de las experiencias con motores monofásicos de colector y se utilizan escobillas estratificadas, constituidas por dos o más capas pegadas y aisladas entre sí.

La corriente circula desde los bulones o paralelas de las escobillas a éstas, pasando por las trencillas de cobre, que van remachadas o adosadas por sintonización a un extremo de las escobillas, llevando en el otro extremo terminales o bridas. Para facilitar al usuario la sustitución de las escobillas se emplean éstas a veces sin trencilla. Debido a la caída de tensión entre la escobilla y el dedo de presión del soporte se producen unas pérdidas adicionales, que originan un aumento apreciable del calentamiento de las escobillas y del colector.

Por ello, en máquinas con colector que trabajan al límite del calentamiento admisible y en máquinas con fuertes golpes de carga o vibraciones, sólo se podrán utilizar escobillas sin trencilla, es decir, sin armadura después de detallados ensayos de servicio.

De todos modos, siempre se presentarán ocasiones en las máquinas que tengan que trabajar durante mucho tiempo con poca carga. Particularmente con aire húmedo pueden producirse en estos casos estrías en el colector. Estas cir-

cunstancias se presentan, entre otros,, en los accionamientos para la industria papelera. Una ayuda puede consistir en reducir el número de escobillas, con lo que aumenta la densidad específica de corriente, así como en la elección de una escobilla más blanda, que tiene trabazón más densa.

Las máquinas cerradas con aislamiento de silicona, cuyos componentes de bajo valor molecular desprendidos pueden depositarse sobre el colector, adhiriéndose a su superficie, se equipan con escobillas resistentes a la silicona, ya que escobillas normales sufrirían un desgaste excesivo.

Para máquinas que trabajan en ambiente conteniendo aceite se han desarrollado escobillas resistentes a la grasa.

En este caso habrá que deducir qué tipo y ejecución de escobilla es la más favorable, a fin de lograr el mejor resultado general respecto a la conmutación y desgaste. Al sustituir las escobillas hay que conservar básicamente la calidad. Seleccionada por el fabricante de la máquina tras muchas consideraciones. Ahora bien, en algunos casos, no es posible saber con suficiente exactitud las condiciones atmosféricas, etc., que van a reinar en el lugar de emplazamiento, por lo que un cambio de la calidad de las escobillas en el lugar del montaje puede dar un mejor resultado. Pero deberá haber máquinas con escobillas de distinta calidad, ya que esto daría lugar a dificultades en la mayoría de los casos.

5. EFICIENCIA DE LAS MÁQUINAS DE CD

Los generadores de CD se alimentan de potencia mecánica y producen potencia eléctrica, mientras que los motores de CD se alimentan de potencia eléctrica y producen potencia mecánica. En ambos casos no toda la potencia de entrada a la maquina aparece en forma útil en el otro extremo de la maquina; siempre hay pérdidas asociadas con el proceso.

La eficiencia de una máquina de cd se define por medio de la ecuación

$$\eta = \frac{P_{sal}}{P_{ent}} * 100\%$$

La diferencia entre la potencia de entrada y la potencia de salida de la maquina son pérdidas que suceden en su interior por lo tanto:

$$\eta = \frac{P_{sal} - P_{perd}}{P_{ent}} * 100\%$$

Pérdida de cobre de armadura:

A 75°C la resistividad de cobre es 8.25×10^{-7} /in³. Por lo tanto, para un devanado de armadura de Z conductores, cada uno con una longitud de MLT/2 (la mitad de una vuelta de longitud media de la bobina), cada uno con un área de sección transversal de A y dispuestos en varios circuitos paralelos, la resistencia es:

$R_a = Z$ ohms

La MLT (vuelta de longitud media) se encuentra mejor por diseño, pero un valor

aproximado es $MLT = 2[(1.35) (\text{paso polar}) + (\text{longitud de rotor}) \times 3]$.

También hay pérdidas de corriente parásita en las bobinas del rotor, pero éstas pueden mantenerse al mínimo por el entramado de conductor; en la pérdida de carga se incluye una tolerancia para estas pérdidas.

Pérdidas de campo de compensación, de conmutación y serie:

Estos cambios también transportan la corriente de línea, y las pérdidas I^2R se encuentran fácilmente cuando se conoce la resistencia de las bobinas. Su MLT se encuentra en diagramas. A 75°C.

$R = p$ ohms

En donde R es la resistencia de campo en ohms, T es el número de vueltas por bobina, p es el número de polos, MLT es la longitud media de vuelta y A es el área del conductor.

El total de estas pérdidas oscila entre 60 y 100% de la I^2R de armadura para máquinas compensadas y es menor que 50% para máquinas no compensadas.

Pérdidas de carbones:

Esta pérdida es ocasionada por la corriente de carga que pasa por la caída de voltaje de contacto entre los carbones y el conmutador. La caída de contacto se supone que es un voltio.

Pérdida I^2R del carbón = 2 (amperes de línea) watts

Pérdida de carga:

La presencia de corriente de carga en los conductores de armadura resulta en distorsiones de flujo alrededor de las ranuras, en el entrehierro y las caras polares. Estas distorsiones causan pérdidas en los conductores y en el hierro que son difíciles de calcular y medir. Se ha fijado un valor estándar en 1% de la salida de máquina.

Pérdida de campo en derivación:

Los cálculos de calentamiento se relacionan sólo con la pérdida I^2R cobre de campo. Se acostumbra, sin embargo, cargar la máquina con cualesquiera pérdidas de reóstato al determinar la eficiencia.

Pérdida de reóstato y campo en derivación = $I_f V_{ex}$ watts

En donde I_f es la corriente total de campo y V_{ex} es el voltaje de excitación.

Pérdida de núcleo:

El flujo en cualquier porción de la armadura pasa por $p/2.c/r$ (ciclos por revolución) o por $(p/2)[(r/\text{min})/60]$ Hz.

Las pérdidas de hierro están formadas por la pérdida de histéresis, que es igual a $K \cdot 1.6fw$ watts, y la pérdida de corriente de remolino, que es igual a $K_e \cdot (ft)^2 w$ watts. K es la constante de histéresis del hierro usado, K_e es una constante inversamente proporcional a la resistencia eléctrica del hierro, es la densidad máxima de flujo en líneas por pulgada cuadrada, f es la frecuencia en hertz, w es el peso en libras, y t es el grueso de las laminaciones del núcleo en pulgadas.

La pérdida de remolino se reduce al usar hierro con resistencia eléctrica tan alta como sea factible. El hierro de muy alta resistencia presenta una tendencia a tener baja permeabilidad de flujo y a ser mecánicamente quebradizo y costoso; raras veces se justifica su uso en máquinas de corriente continua. La pérdida se mantiene a un valor aceptable mediante el uso de laminaciones delgadas de núcleo, de 0.017 a 0.025 in de grueso.

Aun así, hay otras pérdidas en el núcleo que pueden diferir grandemente incluso en máquinas idénticas y que no se prestan a cálculos. Estas pérdidas son:

Pérdida debida al limado de ranuras: Cuando se han ensamblado las laminaciones, se encontrará en algunos casos que las ranuras son ásperas y deben limarse para evitar cortar el aislamiento de bobina. Esto introduce rebabas en las laminaciones y tiende a poner en cortocircuito la resistencia interlaminar.

Las pérdidas en el cepo (o manguito) sólido, placas de extremo de núcleo y soportes de bobina de flujos de fuga pueden ser considerables.

Las pérdidas debidas a distribución no uniforme de flujo en el núcleo de rotor son difíciles de anticipar. Al calcular la densidad de núcleo, se acostumbra suponer distribución uniforme sobre la sección del núcleo. Sin embargo, el flujo toma la trayectoria de menor resistencia y se concentra tras los dientes hasta que la saturación la obliga a pasar en las trayectorias más largas y menos usadas que se encuentran abajo. Como resultado de la concentración, la pérdida de núcleo, que es aproximadamente proporcional al cuadrado de la densidad, es mayor que lo calculado.

Por lo tanto, no es posible predeterminar la pérdida total del núcleo mediante el uso de fórmulas fundamentales. En consecuencia, los cálculos de pérdida de núcleo para nuevos diseños se basan por lo general en los resultados de pruebas en máquinas similares construidas bajo las mismas condiciones.

Pérdida por fricción de carbones:

Esta pérdida varía con la condición de la superficie del conmutador y el grado de cepillera de carbón utilizada. Una máquina típica tiene una pérdida de alrededor de 8 W/(in² de superficie de contacto de carbón)(1000 ft/min) de velocidad periférica cuando se usa una presión normal de carbón de 2 ½ lb/in².

Fricción de carbón = (8) (área de contacto) (velocidad periférica/1000)

Fricción y resistencia al viento:

La mayor parte de las máquinas de corriente continua grandes usan cojinetes de metal babbitt y muchas máquinas pequeñas utilizan cojinetes de bolas o rodamientos, aun cuando ambos tipos de cojinetes se pueden usar en máquinas de cualquier tamaño. Las pérdidas de fricción de cojinetes dependen de la velocidad, la carga del cojinete y la lubricación. Las pérdidas por resistencia al viento dependen de la construcción del rotor, su velocidad periférica y las restricciones de la máquina al movimiento del aire. Las dos pérdidas se concentran en la mayor parte de los cálculos debido a que no es práctico separarlas durante las pruebas de las máquinas.

ESPECIFICACIONES EN PLACA

Factores que afectan a los valores nominales de las máquinas

Las máquinas eléctricas se clasifican atendiendo a sus capacidades de salida. Para los regímenes nominales de los generadores y alternadores se atiende a su capacidad de salida en kilowatt (kW) o kilovoltampere (kVA) a la velocidad de régimen del motor primario y a la tensión nominal en los bornes.

La potencia nominal de los motores (de corriente continua y alterna) indica su capacidad de salida en CV al eje, a la velocidad nominal, corriente a plena carga y tensión aplicada. Cuando las máquinas eléctricas funcionan según estas características de la placa indicadora, se supone que la elevación de temperatura (calentamiento) no será excesiva y que no se sobrecalentarán. Si bien el constructor sabe que pueden mantenerse sobrecargas temporales, no espera que las máquinas rotativas soporten sobrecargas sostenidas durante períodos largos.

El consumidor que, por razones de economía, adquiere un motor de 10 CV para accionar una carga de 12 o 15 CV continuamente, corre el riesgo al comprar un producto que:

- Ofrecerá velocidad nominal a carga nominal, pero no velocidad nominal en sobrecarga.
- Se sobrecalentará demasiado, generalmente tendrá (como resultado) una vida más corta.
- Funcionará a menor rendimiento en sobrecarga durante el período de su vida. De esta forma, el costo inicial inferior se pierde por un

funcionamiento más pobre y más caro, teniendo la necesidad de un reemplazamiento anticipado.

Por esta razón, pues, en las placas indicadoras (de la maquinaria eléctrica rotativa) se determina el calentamiento admisible y el ciclo de trabajo, así como la tensión corriente, frecuencia y velocidad nominales.

DATOS NOMINALES DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS

- Potencia, kW ó HP
- Tensión de servicio, kV ó V
- Frecuencia, Hz
- Velocidad nominal, r.p.m.
- Corriente nominal, Amp.
- Corriente de arranque, Amp.
- Factor de potencia, cos φ
- Eficiencia, η %

III. CONCLUSIONES

En conclusión a este ensayo diría que la adquisición de los conocimientos adecuados y necesarios del funcionamiento de las diversas de máquinas de corriente continua, determinan la capacidad de un ingeniero de elegir el generador y/o motor ideal para la satisfacción de los requerimientos de cualquier proceso para los cuales sea necesario la participación de estos equipos.

Cada característica en particular, como el tipo de excitación de los distintos sistemas, puede ser el determinante para el uso futuro de los equipos. Además, con el aprendizaje de la decodificación de la información en placa de los distintos tipos de generadores se está en la capacidad de conocer los diferentes parámetros e informaciones de interés acerca de la máquina, involucrados en un proceso que requiera del uso de un motor de corriente continua, dada su versatilidad en la industria gracias a la facilidad del control de velocidad procedente del diseño de este equipo y, lo más importante, la capacidad de entregar hasta 5 veces el par nominal en comparación con un motor de corriente alterna.

Cada motor cuenta con características en cuanto a inercia, forma física, costo, velocidad y peso. Todos estos son factores estudiados minuciosamente para la óptima utilización de todos los recursos disponibles y para así diseñar el mejor motor.

Como resultado del estudio de los motores de corriente, se puede recomendar el uso de motores en derivación en el caso de necesitarse velocidades constantes a cualquier ajuste de control, a diferencia de los motores con devanado en serie. También, de la comprensión del funcionamiento del motor en compound, se considerará su elección debido a su velocidad ajustable, originada por reóstatos en la armadura y el campo.

Cuando se necesite de baja potencia y no se disponga de alimentación de energía para su funcionamiento, se recomienda el uso de motores de imán permanente. Éstos,

aunque ofrecen la mitad de la velocidad en vacío que un motor devanado en serie, poseen mayor par de arranque, omitiendo así su desventaja, ya que las sobrecargas pueden causar desmagnetización parcial y pérdida de la energía en él acumulada.

IV. BIBLIOGRAFIA

- Stephen J. Chapman, Maquinas Eléctricas, cuarta edición, editorial Mc Graw Hill.
- electronica.udea.edu.co/cursos/maquinaselectricas.htm
- www.portalplanetasedna.com.ar/motor_electrico.htm
- www.slideshare.net/eagle07/motores-de-cd
- www.pemex.com/files/content/NRF-095-PEMEX-2005-06-firmado.pdf