



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**



35
24

**"Diseño. Puesta en Marcha, Control y Mantenimiento de
Motores de Corriente Directa. Curvas Características de las
Diferentes Excitaciones de los Motores de Corriente Continua"**

**Trabajo de Seminario
Que para obtener el título de
Ingeniera Mecánica Eléctrica
P r e s e n t a**

Sandra Fernández Galicia

ASESOR: ING. ANSELMO ANGOA TORRES

Cuautitlán Izcalli, Edo. de México

1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

FAGU.
SOFES.

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
PRESENTE.



AT'N: ING. RAFAEL RODRIGUEZ CEBALLOS
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES-C.

Con base en el art. 51 del Reglamento de Exámenes Profesionales de la FES-Cuautitlán, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el Trabajo de Seminario:

Diseño, Puesta en Marcha, Control y Mantenimiento de
Motores de Corriente Directa. Curvas Características de las
Diferentes Excitaciones de los Motores de Corriente Directa.

que presenta la pasante: Sandra Fernández Galicia,
con número de cuenta: 8330406-6 para obtener el Título de:
Ingeniera Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VISTO BUENO.

ATENTAMENTE.

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de México, a 20 de Marzo de 19 96

MODULO:	PROFESOR:	FIRMA:
<u>2</u>	Ing. Anselmo Angoa Torres	<u>[Firma]</u>
<u>3</u>	Ing. Sabás Flores Ascencio	<u>[Firma]</u>
<u>4</u>	Ing. Victor Hugo Landa Orozco	<u>[Firma]</u>

DEP/VOBOSEN

Dedico este sencillo, pero importante trabajo a:

Mis Padres.

*Gracias por su esfuerzo, su apoyo y sobre todo
por su gran amor hacia mí.*

A Tere.

Por ser siempre mi ejemplo más cercano.

A Arell.

Por motivar mi vida estos 6 años.

A ti Gerardo.

Por que tú cambiaste el sentido de mi vida.

AGRADECIMIENTOS:

**Ing. Anselmo Angoa
Ing. Victor Landa.**

**Por los consejos y ayuda desinteresados para la
elaboración de este trabajo.**

**Mis compañeros de Seminario
Compañeros de trabajo.**

Por la ayuda que me brindaron.

A mis Amigos.

Por su aliento.

Índice

Introducción	pág 1
1. Fundamentos de los Motores Eléctricos	2
1.a Principio de la Energía	2
1.b Principios Fundamentales de los Motores de cc.	3
1.c Reacción de Inducido	10
1.d Estado Estable y Ecuaciones de los Motores de cc.	12
1.e Partes de los Motores de cc.	14
2. Diferentes Tipos de Conexión de los Motores de cc.	17
2.a Motor Shunt.	18
a) Circuito Equivalente	18
b) Curva Par - Corriente de Armadura	19
c) Curva Velocidad - Corriente de Armadura	20
d) Curva Par - Velocidad	20
2.b Motor Serie	21
a) Circuito Equivalente	21
b) Curva Par - Corriente de Armadura	23
c) Curva Velocidad - Corriente de Armadura	24
d) Curva Par - Velocidad	25
2.c Motor Compuesto	26
a) Circuitos Equivalentes	26
1. Conexión Larga	
2. Conexión Corta	
b) Curvas Velocidad - Corriente de Armadura	28
c) Curvas Par - Corriente de Armadura	28
d) Curvas Par - Velocidad	29
3. Curvas Experimentales vs Curvas Ideales	30
Notas Importantes	30
3.a Motor Serie	31
3.b Motor Shunt	34
3.c Motor Compuesto Acumulativo Largo	37
3.d Tablas de Datos	40
4. Conclusiones	43
5. Bibliografía	44

Introducción

Las primeras fuentes artificiales de corriente eléctrica fueron las baterías, y por lo tanto, las primeras máquinas electromagnéticas que se desarrollaron fueron las máquinas de cc. Thomas A. Edison estableció la primera Planta Central de Energía Eléctrica para el suministro de una parte de la Ciudad de Nueva York, empleando generadores de cc. Cuando la corriente alterna reemplazó a la corriente directa en la Generación y Transmisión de la Energía Eléctrica, las máquinas de inducción y las síncronas sustituyeron en gran medida a los motores de cc. A pesar de esto, aún actualmente las máquinas de cc. representan del 20 al 25% del total de ventas a nivel mundial tanto en piezas como en dinero. Esto es debido a que la mayoría de los vehículos que transitan usan baterías de plomo-ácido para almacenar la energía eléctrica. Los motores de arranque, y los que controlan los limpiadores de los parabrisas, ventiladores y otros accesorios, son motores de cc. Literalmente, millones de estos motores son fabricados para estos fines. Los motores de cc. tienen características particulares, dependiendo de su tipo de conexión. Debido a lo anterior es de suma importancia conocer las curvas características de dichos motores, para poder aprovechar de la forma más adecuada las características de par y velocidad, de acuerdo con la aplicación que tendrá el motor. En segundo lugar, en aplicaciones en donde se requiere un control preciso de la velocidad, del par ó de ambos, el motor de cc. es insuperable. A pesar de su costo, relativamente elevado, y de sus exigencias de mantenimiento, los motores de cc. se siguen eligiendo para mover máquinas excavadoras de gran potencia, los talleres de laminación de acero y de aluminio, algunos elevadores eléctricos, locomotoras y grandes equipos de movimiento de tierra. Todas estas aplicaciones requieren las características de control preciso de los motores de cc.

1. Fundamentos de los Motores Eléctricos.

Las máquinas eléctricas pueden ser clasificadas de acuerdo a la transformación que realicen con respecto a la energía. Es generador si convierten la energía mecánica a energía eléctrica y es motor si la transformación es inversa.

Todas las máquinas eléctricas operan bajo el principio de inducción electromagnética, dada a conocer por el físico danés Oersted al encontrar la relación existente entre los fenómenos eléctricos y magnéticos, mencionó la existencia de un campo magnético producido por una corriente eléctrica que posteriormente Ampere desarrolló una fórmula matemática conocida como la Ley de Ampere. En 1831 Faraday descubrió que se podía obtener energía eléctrica a partir de campos magnéticos variantes, este hecho se conoce como la Ley de inducción de Faraday.

1.a Principio de la Energía

"La energía no se crea ni se destruye, únicamente se transforma", este principio de la conservación de la energía tan elemental, nos permite entender las diferentes energías existentes en la conversión de energía electromecánica.

$$\boxed{\text{Energía Eléctrica de entrada}} = \boxed{\text{Energía Mecánica de salida}} + \boxed{\Delta \text{ Energía Acumulada}} + \boxed{\text{Energía disipada en forma de calor}}$$

Este esquema es aplicable a todos los dispositivos de conversión, de manera que la energía eléctrica y la energía mecánica son positivas cuando se tiene la función motora, para la función generadora estos elementos son negativos.

Durante el proceso de conversión de la energía se tiene la presencia inevitable de pérdidas por calor debido a:

- a) La fricción provocada por los electrones al fluir por el conductor generan calor.
- b) La energía mecánica desarrollada dentro del dispositivo se observa en forma de fricción y ventilación y finalmente es convertida en calor.
- c) Parte de la energía absorbida en el campo magnético de acoplamiento se convierte en calor por pérdidas en el núcleo magnético.

Considerando las pérdidas mencionadas, el esquema anterior puede expresarse de la siguiente manera:

Cuando se tiene la función motora:

$$\boxed{\begin{array}{l} \text{Energía Mecánica} \\ \text{de Entrada -} \\ \text{Pérdidas Eléctricas} \end{array}} = \boxed{\begin{array}{l} \text{Energía Mecánica} \\ \text{de Salida +} \\ \text{Pérdidas Mecánicas} \end{array}} + \boxed{\begin{array}{l} \Delta \text{ Energía} \\ \text{Magnética} \\ \text{Acumulada +} \end{array}}$$

Y si se tiene la función generadora:

$$\boxed{\begin{array}{l} \text{Energía Mecánica} \\ \text{de Entrada -} \\ \text{Pérdidas Mecánicas} \end{array}} = \boxed{\begin{array}{l} \text{Energía Eléctrica de} \\ \text{Salida + Pérdidas} \\ \text{Eléctricas} \end{array}} + \boxed{\begin{array}{l} \Delta \text{ Energía} \\ \text{Magnética} \\ \text{Acumulada +} \end{array}}$$

1.b Principios Fundamentales de los Motores de cc.

En un Campo Magnético se considera a las líneas de fuerza magnética ó mejor conocidas como líneas de flujo ó flujo como saliendo del polo Norte y entrando por el polo sur. La fuerza magnética es proporcional a la densidad de flujo. Un campo electromagnético es creado cuando un conductor conduzca corriente. La corriente eléctrica del conductor está rodeada por las líneas de flujo (Ver figura 1). La fuerza del campo es proporcional a la corriente y el de mayor intensidad es el que se encuentra más cerca del conductor.

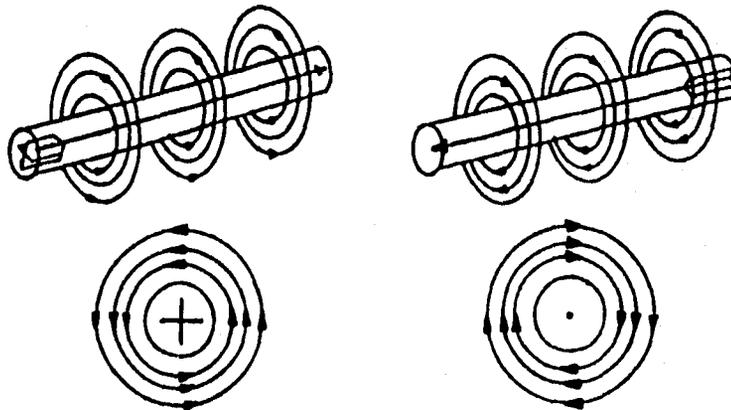


Figura 1. Campo magnético al rededor de conductores por los que circula corriente.

Suponiendo que se dispone de un imán donde el polo norte y el polo sur forman un campo magnético dentro del cual se tiene un conductor y existe una variación o un movimiento se creará una Fuerza Electromotriz (F.E.M.).

$$E = \beta l v \times 10^{-8} \quad \text{Volts} \quad (1)$$

donde: E = Fuerza Electromotriz (FEM Inducida).
 β = Densidad de campo.
 l = Longitud del conductor
 v = Velocidad con la cual se mueve el conductor.

Considerando que para entender el funcionamiento del motor se necesita comprender como se relacionan las variables que interactúan en el principio electromagnético, se establecen las siguientes reglas para los motores:

Regla de la mano izquierda; indica la dirección de las líneas de flujo que hay alrededor de un conductor que lleva corriente. El pulgar indica el flujo de la corriente eléctrica y los demás dedos señalan la dirección de las líneas de fuerza magnéticas. (Ver figura 2).

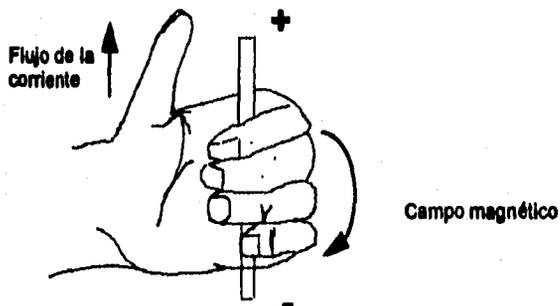


Figura 2. Regla de la Mano Izquierda

Regla de la mano derecha; para motores indica la dirección en que un conductor con corriente se moverá en un campo magnético. Cuando el índice señala en dirección de las líneas de campo magnético y el dedo medio se alinea en la misma dirección que la corriente del conductor, el pulgar señala hacia donde se moverá el conductor. (Ver figura 3)

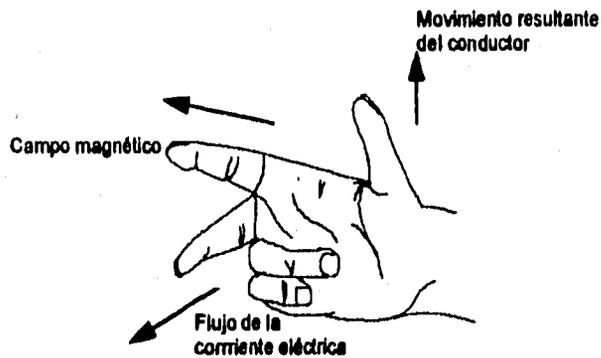


Figura 3. Regla de la Mano Derecha

Si se tuviera un conductor en un campo magnético se tendría un movimiento lineal y dejaría de efectuarse al salirse del campo magnético, esto sería impráctico ya que para una máquina debe existir un movimiento giratorio para esto es necesario tener una fuerza de torsión llamada par.

Si un conductor por el que pasa corriente se coloca en ángulo recto con respecto a un campo magnético, el flujo que envuelve a este conductor se suma al flujo principal en un lado y se resta en el otro lado (Ver figura 4). Entonces se ejerce una fuerza en la dirección en la que el flujo se está restando.

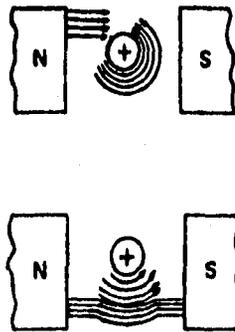


Figura 4. Producción del Par

Si el conductor se doblara de tal manera que formara una espira, entonces tendríamos la figura 5.

Al ser alimentada por una fuente de voltaje, por ejemplo una pila, la corriente fluye en un sentido en una parte de la espira y en otro sentido en la otra parte.

Teniendo los dos lados de la espira recorridos por corriente directa en sentidos opuestos, en estas aparecen fuerzas en el sentido contrario por lo que la resultante es un par que hace que la espira gire perpendicularmente a las líneas de flujo.

La fuerza que produce el par de giro se obtiene de:

$$F = \beta l \cos \theta \quad \text{Newtons} \quad (2)$$

Donde:

F= Fuerza (Newtons)

β = Densidad de flujo magnético (Weber/m²)

l = Longitud de un lado de la espira (m)

i = Corriente (A)

θ = Ángulo que forma el eje transversal de la espira con la dirección del flujo magnético

De lo anterior se puede afirmar que el momento del par es directamente proporcional a la cantidad de flujo magnético que atraviesa la espira y a la corriente que conduce.

Bajo este principio se basan los motores eléctricos, es decir alimentando la espira con una corriente eléctrica se obtiene un par mecánico, entendiéndose por par a la acción de dos fuerzas iguales F_1 y F_2 que son paralelas pero de sentido contrario aplicadas a un cuerpo, el cual tiende a girar alrededor de un eje perpendicular al plano del par.

Para obtener una rotación continua es necesario que la espira se mantenga girando en la misma dirección al pasar por el plano neutro, esto se logra mediante la inversión del campo magnético, o bien la dirección del flujo de corriente que circula a través de la espira en el instante en que éste pasa por el plano neutro.

La fuerza giratoria total está en función de la intensidad de corriente de la espira (corriente de inducido) de la intensidad de campo, de la estructura física de la armadura y particularmente la distancia que existe entre los lados de la espira, como el par se define como: $T = f \cdot d$ entonces el par de giro se puede calcular de la siguiente forma:

$$T = \beta i l d \cos \alpha$$

Siendo d la distancia entre los dos conductores.

La ecuación anterior puede expresarse en términos del área de la espira:

$$A_{\text{ESPIRA}} = l \cdot d$$

y tomando en cuenta que el flujo magnético (ϕ) se calcula como:

$$\phi = BA \Rightarrow T = \beta I l d \cos\theta = BIA \cos\theta = \phi i \cos\theta \quad \text{Nw-m} \quad (3)$$

Como se mencionó anteriormente la espira gira cuando se produce un par y que este se produce mientras interactúan los campos del imán y la espira. Cuando la espira está perpendicular al campo, la interacción entre los campos cesa. Esta posición se conoce como plano neutro, en este momento no existe par.

Como se requiere que exista un movimiento continuo para obtener una máquina giratoria, se necesita invertir la dirección del campo polar o del campo inducido, éste tipo de inversión se realiza por medio de un dispositivo llamado conmutador. Ver figura 5.

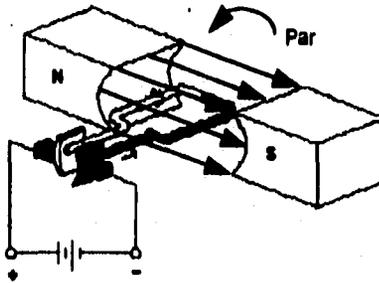


Figura 5. Conmutador de dos segmentos.

El conmutador es un anillo conductor que se divide en segmentos, para nuestro estudio utilizamos un anillo con dos segmentos de los cuales están conectados a los extremos de una espira respectivamente, la excitación llega por medio de escobillas como se muestra en la figura 6 donde se puede observar que la corriente entra por un lado que queda cerca del polo sur y sale por el otro lado cerca del polo norte, la interacción de ambos campos produce un par en la dirección indicada y la espira gira en esa dirección hasta llegar en la posición de la figura 6b, esta se encuentra en el plano neutro pero debido a la inercia de la espira, esta comienza a interactuar con el flujo del campo de excitación y así de esa manera continúa girando. Como se aprecia en la figura 7.

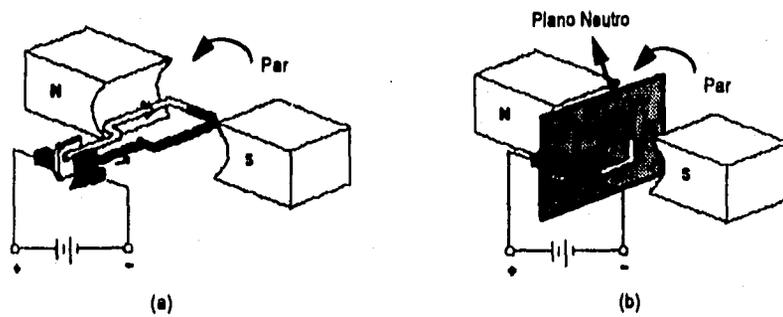


Figura 6. (a) Corriente a través de una espira que crea un par. (b) Plano Neutro.

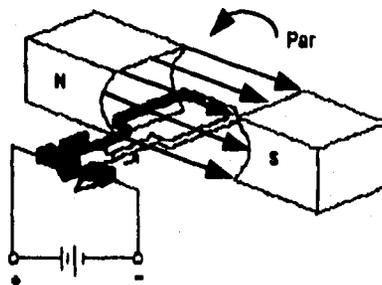


Figura 7. La espira invierte la dirección de la corriente.

Como se mencionó anteriormente, para producir una rotación constante se necesita invertir el flujo de la corriente. En un colector de dos segmentos y una espira realmente es ineficiente debido, en primer lugar a que la inercia de la espira no es suficiente para que pueda rebasar el plano neutro y aunponiendo que así fuera la rotación de la espira sería irregular, por lo tanto seguiría siendo deficiente, para lograr un buen funcionamiento se realiza lo siguiente:

Para un motor práctico, cuando se diseña se tiene un conjunto de espiras que están conectadas en varias disposiciones en serie-paralelo y un par de escobillas como se muestra en la figura 8.

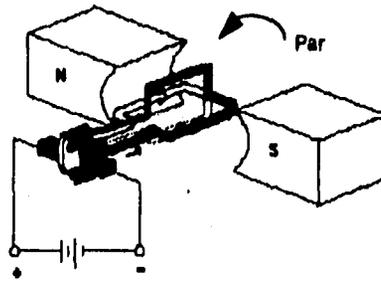


Figura 8. Efecto de varias espiras.

Analizando la figura vemos que no hay alguna espira que se encuentre en el plano neutro, así que todas las espiras contribuyen al par del motor, claro está que todas las espiras necesitan estar alimentadas simultáneamente, observando la dirección de la corriente, está pasando por la terminal negativa para después seguir el camino por las dos espiras en paralelo en serie, luego sale por la terminal positiva de la fuente, así cuando se produce un par, las espiras empiezan a girar y no tarda en que una de las espiras queda en el plano neutro donde precisamente se realiza la conmutación (recuérdese que la conmutación se lleva a cabo haciendo que las escobillas conecten en corto segmentos contiguos del conmutador para interrumpir el flujo de corriente en una espira asociada, cuando ésta pasa por el plano neutro).

Para que no exista un chisporroteo se necesita que exista una buena conmutación, por consiguiente se tendrá una máxima velocidad.

De lo anteriormente expuesto se dijo que para que exista un mínimo de chisporroteo, esto se realiza cuando una espira se encuentra en el plano neutro, el plano neutro debe encontrarse en el eje que forma el ángulo recto con las líneas de flujo del campo y debe estar a la mitad de las piezas polares, este recibe el nombre de plano neutro geométrico. Cada espira atraviesa al plano neutro dos veces por cada revolución completa de las espiras. Por lo tanto para lograr la conmutación perfecta el eje de las escobillas debe coincidir con el plano neutro, mas sin embargo debido a las cargas que se conectan al motor el plano neutro tiende a desplazarse, la causa que produce que se realice este desplazamiento es conocido como reacción de inducido. Como se muestra en la figura 9.

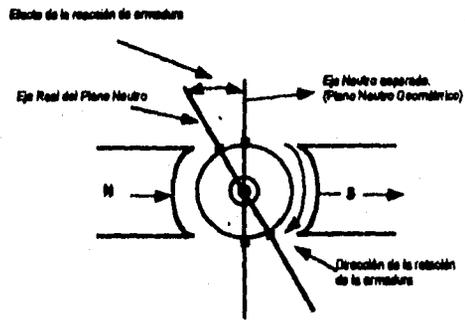


Figura 9. Desplazamiento del Eje Neutro.

1.c Reacción de Inducido

Para el estudio que realizaremos, en el caso de la Reacción de Inducido abordaremos una máquina de dos polos, considerando que tenemos la máquina en vacío se tiene la curva a, las líneas de flujo se distribuyen en el circuito magnético figura 10a.

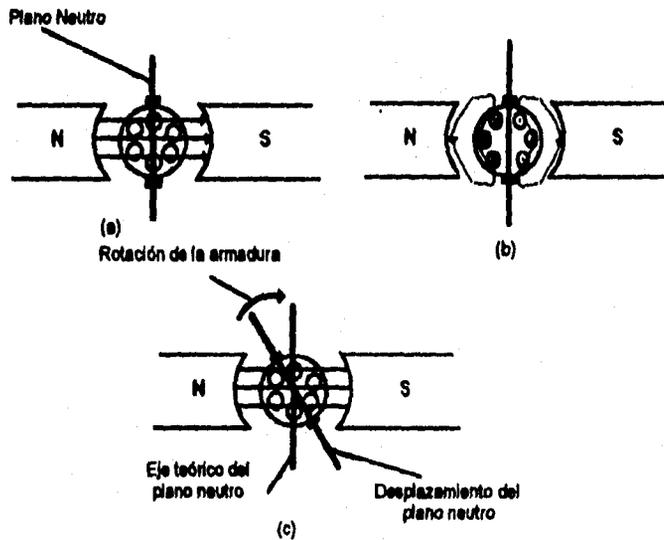


Figura 10. Reacción de inducido. (a) Campo principal sin paso de corriente. (b) Campo de armadura suponiendo que no hay campo principal. (c) Desplazamiento del eje neutro.

Pues bien, si ahora consideramos que la máquina opera con carga, por el inducido circulará una corriente, por lo que ésta desarrolla una fuerza magnetomotriz (Fmm) de donde se obtendrá la figura 10b que es como si fuera debido a dos polos de sentido opuesto (polos de reacción, norte y sur) que están intermedio con los polos inductores, por lo que las líneas de fuerza debidas a los polos de reacción presentan la forma que aparece en la figura 10b.

El flujo de inducido es un flujo transversal respecto al flujo principal de excitación.

Puede verse además que la Fmm del inducido refuerza una mitad de un polo y debilita la otra mitad. Cuando el hierro está saturado, el efecto de las Fmm del inducido de debilitar medio polo es mayor que el efecto de esta Fmm de reforzar la otra mitad del polo. El resultado es una reducción en el flujo principal. Por otra parte, las Fmm del inducido no solo debilita el flujo polar y el flujo en el entrehierro, sino que también los distorsiona y provoca un desplazamiento de la zona neutra, esto se ve en figura 10c. En un generador, la zona neutra está desplazada en el sentido de rotación, mientras en un motor está desplazada en sentido opuesto al de rotación.

En una máquina sin polos auxiliares, el eje neutro de la excitación sólo coincide con la perpendicular al eje polar en vacío.

La reacción del inducido es mayor cuando las escobillas están desplazadas del eje neutro, así si las escobillas están desplazadas del eje neutro, una parte de los conductores del inducido produce una magnetización transversal y el resto de conductores produce una Fmm que actúa a lo largo del eje polar.

En general si las escobillas de un generador están desplazadas en el sentido de rotación o si las escobillas de un motor están desplazadas en sentido opuesto al de rotación, el flujo se debilita. Desplazando las escobillas de un generador en sentido opuesto al de rotación y desplazando las de un motor en el sentido de rotación el flujo se refuerza.

Concluyendo, si el motor ha de funcionar a varias velocidades, direcciones con cambios de carga, la corriente en el inducido variará y como consecuencia el plano neutro, lo que se deduce que, para una conmutación efectiva, la escobilla debe de cambiar de posición cada vez que cambie el plano neutro. En la práctica, el tener que estar desplazando las escobillas, es un proceso complicado debido a esto, existen diferentes métodos que suelen usarse para mejorar la conmutación y que básicamente son: actuando sobre la posición de las escobillas, instalando en una máquina polos auxiliares o bien mediante devanados "compensadores".

1.d Estado Estable y Ecuaciones de los Motores de cc.

Asumamos que el flujo por polo p en una máquina sea Φ . La intensidad de flujo (B) en los polos es entonces, para un rotor de longitud l y radio r :

$$B = \Phi / A \quad \text{Nw-m} \quad (4)$$

donde :

$$A = (2 \pi r l) / p \quad (5)$$

esta es el área en un sólo polo. Si el motor está girando a una velocidad n rev / min, la velocidad angular de un conductor en el rotor es entonces:

$$\omega = (2 \pi n) / 60 \quad \text{rad / seg} \quad (6)$$

El voltaje inducido en un sólo conductor del rotor es entonces:

$$e = B / r \omega \quad \text{volts} \quad (7)$$

Combinando las ecuaciones 4 y 7

$$e = (p \Phi \omega) / 2\pi \quad \text{volts / cond} \quad (8)$$

ó

$$e = (p \Phi n) / 60 \quad \text{volts / cond} \quad (8)$$

Para un total de Z conductores en la armadura conectados en a caminos paralelos el total del voltaje inducido en la armadura (Voltaje de armadura E_a) es:

$$E_a = (p \Phi \omega Z) / (2 \pi a) \quad \text{volts} \quad (9)$$

ó

$$E_a = (p \Phi n Z) / (60 a) \quad \text{volts} \quad (9)$$

donde n es la velocidad en rev/min.

Los tipos de arrollamientos que se encuentran comúnmente en la armadura de las máquinas de cc son el ondulado que proporciona 2 caminos paralelos independientemente del número de polos ($a=2$), y el devanado imbricado, en el cual, el número de caminos paralelos es igual al número de polos ($a=p$).

La ecuación para E_a Voltaje de armadura, es más conocido en términos del flujo por polo y de la velocidad del rotor:

$$E_a = k' \Phi \omega = k \Phi n \quad \text{volts} \quad (10)$$

donde $k = k' (60 \omega) / 2 \pi$

Bajo condiciones de estado estable cuando la máquina de cc opera como motor el voltaje (V) aplicado a la armadura, es igual a la suma de la f.e.m. E_a y de la caída de voltaje a través de la resistencia de la armadura ($I_a R_a$). Entonces:

$$V_t = E_a + I_a R_a \quad \text{volts} \quad (11)$$

donde I_a es la corriente de armadura.

La potencia en la armadura de la máquina también tiene dos componentes, las pérdidas en el cobre de los conductores de la armadura ($I_a^2 R_a$) y la potencia generada mecánicamente en la flecha de las máquinas. Haciendo referencia a la ecuación (8) potencia alimentado al rotor es:

$$V_t I_a = E_a I_a + I_a^2 R_a \quad \text{volts} \quad (12)$$

La potencia mecánica desarrollada en la flecha de la máquina (P) es entonces:

$$P = E_a I_a \quad \text{Watts} \quad (13)$$

ó en términos del Par en la flecha (T) y de la velocidad de la flecha (ω)

$$P = T \omega = E_a I_a \quad \text{Watts} \quad (14)$$

Combinando las ecuaciones (7) y (11) nos da la expresión para el Par en la flecha en términos del flujo por polo y de la corriente de la armadura:

$$T = k \Phi I_a \quad \text{N - m} \quad (15)$$

Es importante en este punto aclarar que la potencia mecánica y el Par a los que se hace referencia en las ecuaciones: 13, 14 y 15 son el Par y la Potencia desarrollados por el motor, y estos difieren de la potencia mecánica y del Par útiles a la salida de la flecha debidas a pérdidas mecánicas y eléctricas de la máquina. Estas pérdidas son

debidas a factores como la fricción en los rodamientos de la flecha y la resistencia del aire, ó a la rotación de la armadura.

La potencia útil a la salida de la máquina puede entonces ser expresada como:

Potencia mecánica útil = Potencia mecánica desarrollada - Pérdidas rotacionales

De la ecuaciones 10 y 11 podemos deducir la ecuación de la velocidad para los motores de cc:

$$n = (Vt - IaRa) / (k \Phi) \quad \text{rev / min} \quad (16)$$

1.e Partes de los Motores de cc.

Las partes principales de la máquina de cc se muestran en la figura 11.

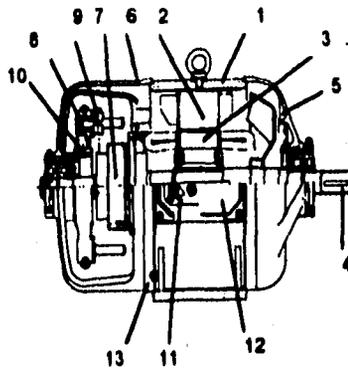
Los motores de cc se componen de las siguientes partes:

Flecha

La flecha del motor está fabricada de una barra de acero recta de dimensiones dentro de una tolerancia rígida. El conmutador (final de la flecha) es sostenido por una tuerca usada para fijar los cojinetes localizados en ese extremo de la flecha. Es aquí en donde es acoplada la carga del motor.

Núcleo de la armadura

El Núcleo de la armadura esta compuesto de laminaciones que son apiladas. Se ensamblan bajo presión, y son soldadas con placas de terminación. No se usan remaches. Existen algunos agujeros en las laminaciones y los anillos de terminación que proporcionan el paso del aire con fines de ventilación. El núcleo de la armadura es ensamblado a la flecha con la ayuda de una llave.



- 1.- Yugo o carcaza
- 2.- Núcleo polar y Bobina del devanado inductor
- 3.- Rotor y devanado de la armadura
- 4.- Árbol o flecha
- 5.- Tapa del lado de apoyo del árbol
- 6.- Tapa del lado del colector
- 7.- Colector
- 8.- Árbol de portaescobillas
- 9.- Conductor de paso de corriente de las escobillas al circuito externo
- 10.- Anillo portaescobillas
- 11.- Tornillo de sujeción
- 12.- Tapa de la caja de conexiones
- 13.- Terminal para conexión a tierra

Figura 11. Estructura de la máquina de cc

Conmutador

El conmutador de un motor de cc consiste de dos anillos de acero en forma de V, barras de cobre del conmutador, barras de mica en V que tienen la función de separar las barras. Los anillos tienen terminaciones que ajustan con la flecha del motor. Se dejan espacios de aire a través del mismo conmutador ó entre los anillos en V y la flecha para ventilación. El anillo en V está maquinado para ensamblar con la terminación del núcleo de la armadura. Esto hace posible que la flecha pueda ser removida sin dañar los devanados de la armadura. El conmutador de una máquina de cc es la parte más crítica, su diseño y fabricación son hechos con mucho cuidado para asegurar una superficie con circunferencia perfecta, concéntrica y estable, para que las escobillas puedan hacer contacto de una forma adecuada.

Al final el conmutador es presionado en la flecha con una llave en su lugar.

Devanados de armadura

Los conductores de la armadura que han sido enrollados, aislados y formados, se colocan en las ranuras del núcleo de la armadura. Una celda aislante en las ranuras protege a los devanados. Es colocada una cuña a todo lo largo de la ranura para mantener fijas y en su lugar a las bobinas. Los finales de las bobinas son conectadas y soldadas a las barras del conmutador. El núcleo de la armadura y sus devanados son barnizados y horneados. Un ventilador interno de aluminio es presionado en la flecha y asegurado.

Carcasa

La Carcasa es básicamente un cilindro de acero ó de laminaciones; su sección es de forma variable y no se encuentra sujeta a variaciones de flujo, su trabajo es más bien

mecánico, ya que tiene la función de soportar los polos y con las tapas que se localizan en ambos extremos por medio de las chumaceras soportar a la parte giratoria ó armadura.

Polos y devenados de campo

Los polos principales del campo están compuestos de laminaciones epiladas y remachadas. Las laminaciones deben de ser lo más delgadas posible para reducir el efecto de corrientes inducidas el mínimo y estar aisladas entre sí para evitar lo más posible las corrientes de Eddy, que se reducan en corrientes que nos son utilizadas en la máquina y por lo tanto son pérdidas dentro de la misma.

La forme del polo, cuando es laminado, es rectangular o cuadrada, mientras que el cuerpo del polo para los polos fundidos con zapata peler laminada, es usualmente circular para obtener la longitud mínima de la espere medie de la bobine de campo.

El gran problema de los polos fundidos es la dificultad que se encuentra para obtener fundiciones uniformes y libres de defectos.

Los devenados del campo pueden enrollarse directamente al polo con el aislamiento necesario, o bien pueden devanarse en forma completamente aislada y colocarse posteriormente en el polo. Se utilizan normalmente las bobinas prefabricadas (sobre todo en motores de grandes capacidades) por la facilidad que presentan para realizar las reparaciones.

Los polos de conmutación se hacen por lo general de acero fundido para las máquinas de alta velocidad; y para las máquinas sujetas a grandes fluctuaciones de carga, se usan los polos laminados.

Yugo de Campo

El yugo es el emazón el cual se ramachan los polos del campo. La sección de yugo deberá tener suficiente área para llevar el flujo y deberá tener la rigidez mecánica necesaria para soportar a la máquina. Debido a la dificultad para obtener acero fundido libre de esfuerzos internos, grietas, burbujas, etc., los yugos de las grandes máquinas se hacen con placas de acero. En las máquinas de diámetro pequeño se están construyendo de acero roledo. La base se solda o remechada el emazón.

Escobillas y porta escobillas

Las escobillas son utilizadas para permitir el paso de la corriente del colector y se ajustan sobre el mismo por medio del portaescobillas. Se fabrican de materiales donde uno de los componente es siempre el grafito.

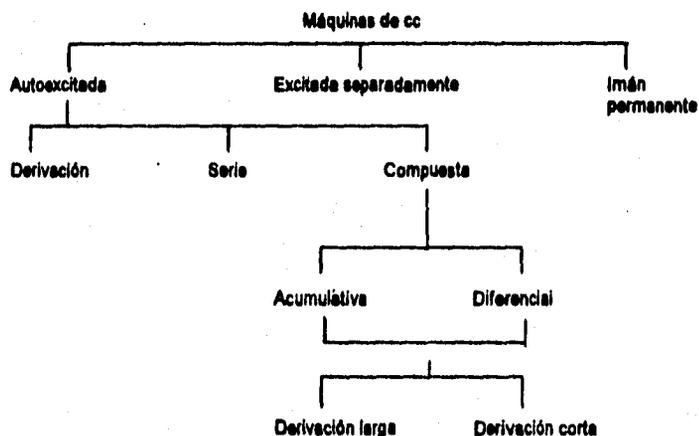
Sobre la carcasa ó el yugo del motor ó sobre las tapas se encuentra fijo un anillo que puede girar parcialmente con respecto a la parte fija de la máquina, sobre tal anillo se tienen elementos de sujeción para el soporte de las escobillas. Existe también un resorte que ejerce la presión sobre las escobillas para hacer contacto con el colector.

Chumaceras

Los cojinetes ó chumaceras pueden ser de dos tipos, de rozamiento ó de rodamientos. Estos últimos son los más utilizados debido a que requieren menos mantenimiento y disipan menos potencia por fricción.

2. Diferentes Tipos de Conexión de los Motores de cc.

Las máquinas de cc convencionales que tienen un grupo de devanados de campo y de armadura pueden clasificarse, sobre la base de las conexiones eléctricas mutuas entre ambos devanados como sigue:



Estas interconexiones de los devanados de campo y de la armadura determinan esencialmente las características de operación de la máquina. Así las características de operación de los motores se expresan por medio de curvas, que determinan las condiciones de operación en estado permanente. Las curvas más importantes de los motores son las siguientes:

- La Curva Par - Velocidad.
Es conocida como la curva mecánica del motor
- La Curva Par - Corriente de armadura.
Es conocida también como la característica eléctrica de los motores.
- La Curva Velocidad - Corriente de armadura.
Por medio de esta se da la relación entre la velocidad y la corriente de armadura del motor.

2.a. Características Básicas del Motor Shunt (Derivado)

La conexión del motor Shunt y del motor con Excitación Separada se muestran en la figura 12. El motor con Excitación Separada cuenta con una fuente de voltaje independiente para la alimentación del devanado de campo. El motor Shunt es excitado en las terminales del motor. Si suponemos que el voltaje en las terminales es constante, no existe diferencia significativa entre la funcionalidad de los dos tipos de motores (Shunt y de Excitación Separada).

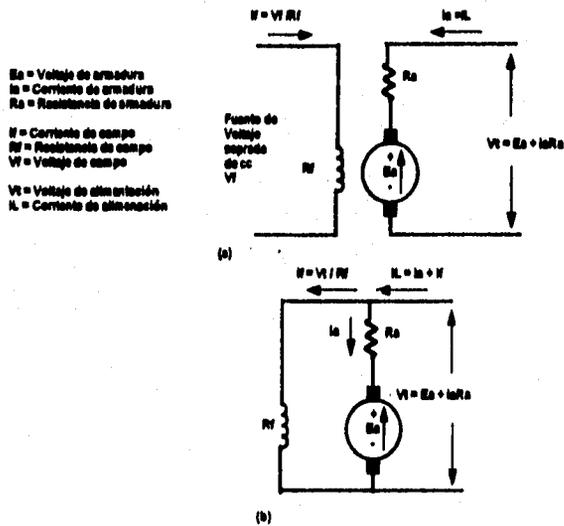


Figura 12. Circuitos equivalentes. (a) Motor con Excitación Separada. (b) Motor Shunt Autoexcitado.

Aplicando las Leyes de Kirchoff en los campos del motor, tenemos :

$$V_t = E_a + I_a R_a \quad \text{volts} \quad (17)$$

Para el motor Shunt:

$$I_L = I_a + I_f \quad \text{A} \quad (18)$$

La corriente del campo depende del voltaje de la alimentación, si esta tensión es constante y la corriente del campo I_f también lo es, entonces el flujo será constante.

El par desarrollado en la armadura es:

$$T = k \Phi I_a \quad \text{N-m} \quad (19)$$

Se puede observar que el par desarrollado T por la armadura, operando el motor a velocidad constante, es proporcional a la corriente de armadura I_a y entonces la curva característica par - corriente de armadura $T = f(I_a)$ es la que se muestra en la figura 4. En este punto cabe mencionar que el par útil ó en la flecha se obtiene restando al par desarrollado por la armadura, el par de pérdidas. (Ver fogura 13).

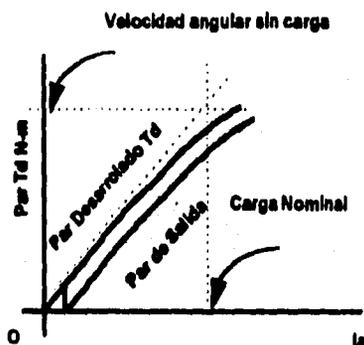


Figura 13. Curva Par - Corriente de Armadura del Motor Shunt

La ecuación de la velocidad es la siguiente:

$$n = ((V - R_a I_a) / (\Phi Z)) \times (60 \times a) / p \quad \text{rpm} \quad (20)$$

Si la velocidad es constante, el voltaje y el flujo dependen únicamente de la corriente en la armadura I_a , entonces cuando aumenta el par, la corriente también aumenta, por lo que aumenta la caída de voltaje $R_a I_a$ y disminuye la velocidad, pero debido a que el valor de R_a es muy pequeño (y por lo tanto el valor $R_a I_a$), la velocidad también disminuye, pero en proporción muy pequeña al aumentar la carga. De hecho, la variación de la velocidad cuando pasa de su funcionamiento en vacío a plena carga es del 2 al 10%.

La curva característica Velocidad - Corriente de armadura del motor Shunt se muestra en la figura 14.

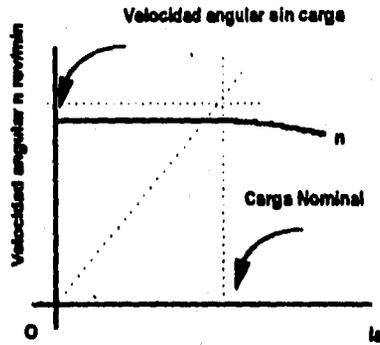


Figura 14. Curva Velocidad - Corriente de Armadura del Motor Shunt

La característica electromecánica de la velocidad en el motor Shunt, es una recta casi horizontal. En la velocidad en vacío n_0 , es despreciable la caída de tensión $R_a I_a$, entonces n alcanza su valor máximo.

$$n_0 = v / (k \Phi) \text{ rpm} \tag{21}$$

en donde :

$$k = (Z p) / (60 \times a) \tag{22}$$

De la ecuación (17) la fuerza contra electromotriz E_a es igual a la tensión aplicada V_t . La curva característica Par - Velocidad ó característica mecánica del motor Shunt, resulta de una combinación de las curvas Par - Corriente de Armadura y Velocidad - Corriente de Armadura y es una expresión del Par en función de la velocidad $T = f(n)$ y está representada en la curva de la figura 15.

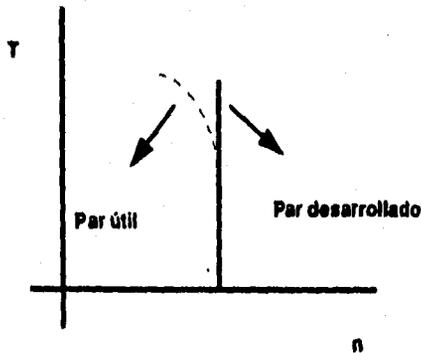


Figura 15. Curva Par - Velocidad ó característica Mecánica del motor Shunt.

De la curva anterior se puede observar que sólo para valores muy pequeños de velocidad, y por lo tanto para corrientes muy elevadas, la parte lineal de la curva se dirige hacia el eje de las Y's al punto T_a , que corresponde al Par máximo que se obtiene realizando el arranque del motor a plena tensión sin reóstato.

El funcionamiento normal del motor corresponde a la parte lineal de la curva.

Hablando en general se puede decir que el motor Shunt es un motor de velocidad constante.

2.b Motor Serie

Para el motor en conexión Serie las corrientes que circulan por los devanados tanto de campo como serie corresponden al mismo valor y también a la corriente de alimentación.

El circuito equivalente del motor Serie se muestra en la figura 16.

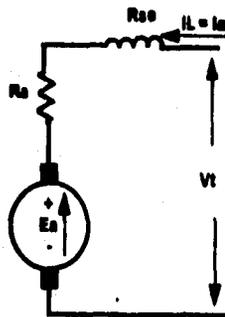


Figura 16. Circuito equivalente del motor Serie

Aplicando las Leyes de Kirchhoff tenemos:

$$I_L = I_s = I_f \quad A \quad (23)$$

donde :

I_L = Corriente de alimentación
 I_a = Corriente de armadura
 I_f = Corriente de campo

El Voltaje de alimentación es:

$$V_t = E_a - I_a (R_a + R_{se}) \quad \text{volts} \quad (24)$$

En donde:

R_a = Resistencia del circuito de armadura
 R_{se} = Resistencia en serie del campo derivación

Las relaciones de Par y de Velocidad son las siguientes:

$$T = k \Phi I_a \quad \text{N - m} \quad (25)$$

El flujo es directamente proporcional a la corriente I_a de armadura sino hasta que se alcanza la saturación, por lo que podemos establecer la siguiente ecuación:

entonces:

$$k \Phi = k_f I_a$$
$$k = (k_f I_a) / \Phi \quad (26)$$

donde k y k_f son constantes de proporcionalidad

sustituyendo (26) en (25)

$$T = k \Phi I_a = ((k_f I_a) (\Phi I_a)) / \Phi \quad \text{N - m} \quad (27)$$

factorizando:

$$T = k_f I_a^2 \quad \text{N - m} \quad (28)$$

en este intervalo y dado que la corriente absorbida es relativamente pequeña, el par es proporcional el cuadrado de la corriente.

Cuando la corriente adquiere valores de saturación, en el circuito magnético de la máquina, el par es simplemente proporcional a la corriente, debido a que el flujo tiende a permanecer constante.

La curva característica Par - Corriente para el motor Serie se muestra en la figura 17, la cual representa al Par como una función de la corriente de armadura. El Par útil se muestra con línea punteada $T_u = f(I_a)$, que es una imagen del Par desarrollado que se ve afectado por las pérdidas en el motor.

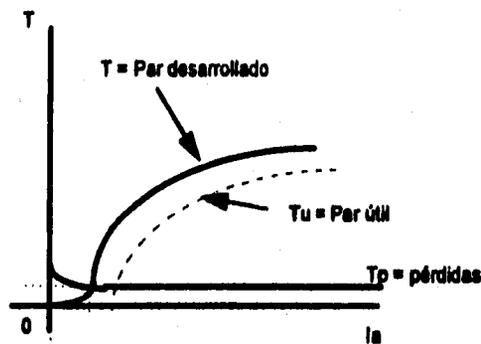


Figura 18. Curva Par - Corriente de armadura Motor Serie

La ecuación de la velocidad para el motor serie es:

$$n = E_a / (k \Phi) = (V_t - I_a (R_a + R_{se})) / (k \Phi) \text{ rpm} \quad (29)$$

donde $k = (Z p) / (60 a)$

Si se considera despreciable el término $I_a (R_a + R_{se})$ la ecuación es prácticamente una hipérbola, en donde la velocidad es inversamente proporcional a la corriente que demanda el motor.

$$n = (V_t 60 a) / (\Phi Z p) \text{ rpm}$$

$$n = V_t / (\Phi k) \text{ rpm} \quad (31)$$

Para valores elevados, el flujo a causa de la saturación permanece constante y entonces, el término $I_a (R_a + R_{se})$ no es despreciable, y la velocidad tiende a disminuir más rápidamente, y la hipérbola se convierte en una línea recta hasta llegar a la velocidad cero ($n = 0$), a la que le corresponde una corriente :

$$I_a = V_t / (R_a + R_{se} + R_{arr}) \text{ A} \quad (28)$$

donde R_{arr} es la resistencia del reóstato de arranque.

Una vez que el motor ha arrancado y acelera, la corriente absorbida se va limitando debido a la acción de la fuerza contraelectromotriz, en la armadura y que es generalmente creciente.

El reóstato de arranque se puede quitar cuando el motor ha alcanzado su velocidad nominal.

La figura 18 muestra la curva Velocidad - Corriente de armadura del motor Serie.

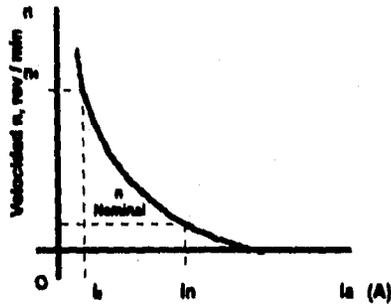


Figura 18. Curva Velocidad - Corriente de armadura Motor Serie

La curva de la figura 18 muestra la corriente en vacío I_0 . Aquí la caída de voltaje interna

$$(R_a + R_{se}) I_0 \text{ volts} \quad (32)$$

es prácticamente cero y entonces la velocidad de vacío adquiere valores muy elevados, cuyo valor se puede obtener con la siguiente fórmula:

$$n_0 = V / (k \Phi_0) \text{ rpm} \quad (33)$$

donde Φ_0 es el flujo en vacío.

Sustituyendo la ecuación (25) en la ecuación de la velocidad tenemos:

$$k \Phi = k_f I_a \quad (25)$$

entonces

$$k = (k_f I_a) / \Phi$$

k_f es una constante de proporcionalidad

$$n_0 = E_a / (\Phi_0 k) = (V - I_a (R_a + R_{se})) / (k \Phi_0) \quad \text{rpm}$$

$$n_0 = (V - I_a (R_a + R_{se})) / (k \Phi_0) \quad \text{rpm} \quad (34)$$

como en la ecuación (29), el término $I_a (R_a + R_{se})$ es despreciable, la ecuación (31) muestra que cuando I_a se acerca a cero la velocidad se aproxima al infinito, esto es, la velocidad sin carga es extremadamente grande y solamente puede ser limitada por la fricción en la máquina, las pérdidas magnéticas ó por la fricción del aire. La precaución en este tipo de máquinas resulta obvia. No se debe permitir que el motor Serie funcione sin carga ó el motor será dañado severamente.

La curva característica Par - Velocidad también conocida como característica mecánica del motor Serie resulta de una combinación de las dos curvas explicadas con anterioridad, es decir la curva Par - Corriente de armadura $T = f(I_a)$ y la curva Velocidad - Corriente de armadura $n = f(I_a)$. La curva Par - Velocidad para el motor Serie se muestra en la figura 19.

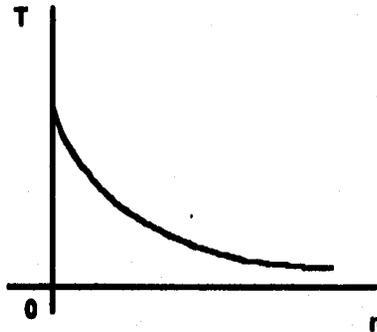


Figura 19. Curva Par - Velocidad del motor Serie

De la curva anterior se puede deducir que, en el motor Serie, a cada aumento en el Par le corresponde una disminución importante en la Velocidad y viceversa, a cada aumento de la velocidad le corresponde una disminución en el par.

Por otra parte el flujo es proporcional a la corriente y esta a su vez es inversamente proporcional a la velocidad.

2.c Motor Compuesto

El circuito equivalente de la máquina en conexión compuesta se muestra en la figura 20. Existen dos métodos de conexión del campo de los motores compuestos, la corta figura 20a y la larga figura 20b. Las diferencias en el desempeño de los dos tipos de conexión es casi imperceptible.

El flujo Φ en estos motores es la combinación de los flujos tanto del campo serie ϕ_{se} y del campo derivado ϕ_{sh} , es decir $\Phi = \phi_{sh} \pm \phi_{se}$.

El factor que afecta más el funcionamiento de un motor compuesto es la dirección relativa del flujo del campo serie ϕ_{se} con respecto a la dirección del campo en derivación ϕ_{sh} . Debe de recordarse que la mayor parte de flujo en el motor es producida por el campo derivado. La contribución del campo serie como resultado, no será proporcional a la corriente de armadura. El flujo del campo serie puede ser aditivo al flujo del campo derivado, esto es $\phi_{sh} + \phi_{se}$ en cuyo caso el motor es compuesto acumulativo, ó también puede ser compuesto diferencial, esto es, $\phi_{sh} - \phi_{se}$.

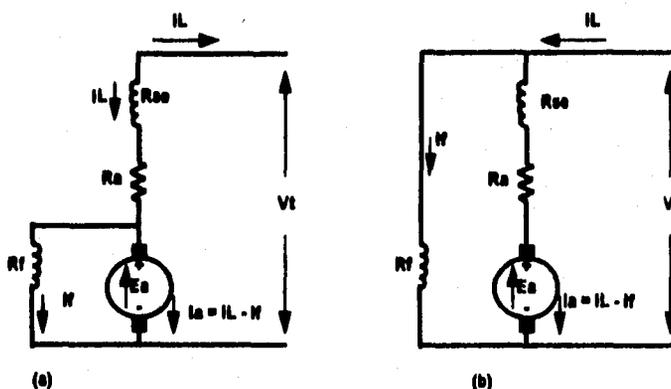


Figura 20. Circuito equivalente para un motor compuesto, (a) Conexión Corta (b) Conexión Larga.

Las relaciones de acuerdo con las leyes de Kirchoff para la conexión larga son :

$$E_a = V_t - I_a(R_a + R_{se}) \quad \text{Volts} \quad (35)$$

La potencia de entrada es:

$$P_{in} = V_t I \quad \text{Watts} \quad (36)$$

La corriente del campo derivación es :

$$I_f = V_t / R_f \quad A \quad (37)$$

La corriente de armadura es:

$$I_a = I_L - I_f \quad A \quad (38)$$

La característica de los motores de cc en conexión compuesta son de hecho una combinación de las características de los motores en conexión serie y las de los motores en conexión Shunt. En el caso del motor Compound acumulativo, en la medida que la carga aumenta, el flujo debido al campo serie aumenta y entonces el par es mejor que aquel que resultaría para un motor en conexión Shunt para un valor determinado de la corriente. Esto se puede observar en la siguiente ecuación de par para el motor compuesto:

$$T = k I_a \Phi \quad N \cdot m$$

pero,

$$\Phi = \phi_{sh} + \phi_{se}$$

entonces:

$$T = k I_a (\phi_{sh} + \phi_{se}) \quad N \cdot m \quad (39)$$

La característica Par - Corriente de armadura para el motor Compuesto Acumulativo se muestra en la figura 21a

El incremento en el flujo debido a la acción del devanado del campo Serie, toma en cuenta el efecto que el incremento en la carga produce, haciendo disminuir la velocidad más rápidamente que si el motor estuviera en conexión Shunt. Esto se puede observar en la ecuación de la velocidad para el motor Compuesto:

$$n = E_a / (k \Phi) = (V_t - I_a (R_a + R_{se})) / (k \Phi) \quad \text{rpm}$$

pero,

$$\Phi = \phi_{sh} + \phi_{se}$$

entonces:

$$n = (Vt - Ia (Ra - Rse)) / k (\phi_{sh} + \phi_{se}) \text{ rpm} \quad (40)$$

Como se puede ver en esta ecuación, cuando se considera un motor compuesto acumulativo, el numerador disminuirá más rápidamente que el denominador cuando la corriente de armadura se incremente, con el resultado de que al motor compuesto acumulativo mostrará una caída mayor en su velocidad entre el estado sin carga y a plena carga, que el que presenta el motor en conexión Shunt.

Para un motor compuesto diferencial, al numerador de la ecuación, decrece, pero no tan rápido como el denominador. Como resultado, cuando la corriente de la armadura se incrementa, la velocidad rotacional también se incrementa. Esta característica hace a los motores compuestos diferenciales inestables. La característica Velocidad - Corriente de armadura se muestra en la figura 21b.

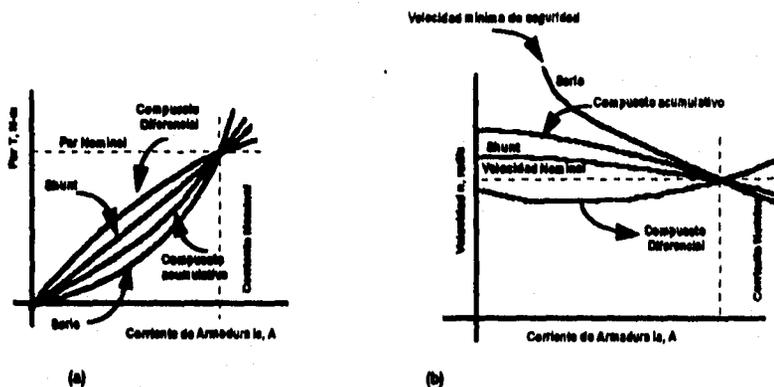


Figura 21. Comparaciones del motor de cc en conexión Serie, Shunt y compuestos para los mismos valores nominales. (a) Par - Corriente de armadura. (b) Velocidad - Corriente de armadura.

El motor Compound acumulativo presenta en parte la propiedad de los motores Serie, es decir, un considerable par de arranque y una considerable disminución de la velocidad al aumentar la carga, y por otra parte las características de los motores en conexión Shunt, de tener una velocidad de vacío definida. La característica mecánica del Par contra la Velocidad $T = f(n)$ corresponde a la propiedad que se ha descrito anteriormente y se muestra en la siguiente figura. (Figura 22).

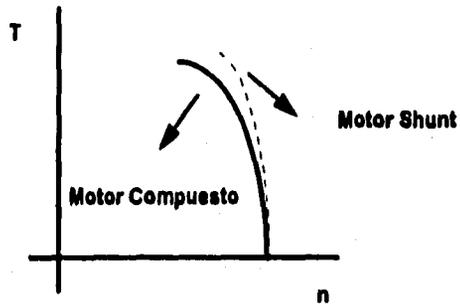


Figura 22. Característica Par - Velocidad del Motor Compuesto Acumulativo.

La característica Par - Velocidad, del motor Compuesto Diferencial, $T = f(n)$, tiene la forma de una recta casi normal al eje de las abscisas como se muestra en la figura 23 (curva a).

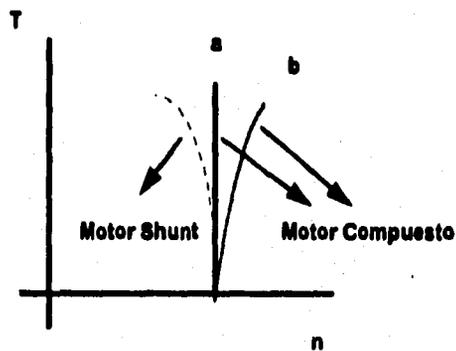


Figura 23. Característica Par - Velocidad del Motor Compuesto Diferencial.

Se puede dar el caso de que aumentando la carga se presente un aumento en la velocidad, en cuyo caso la curva $T = f(n)$ tiende a adoptar la forma de la curva b de la figura anterior.

3. Curvas Experimentales vs Curvas Ideales

Notas Importantes

- Las pruebas para la obtención de las curvas experimentales que se muestran a continuación fueron hechas en:

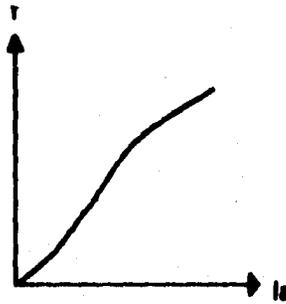
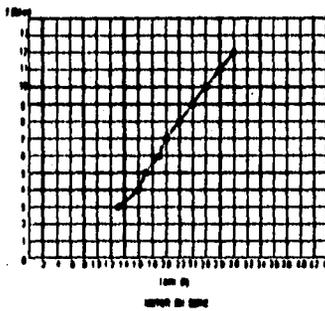
Laboratorio de Ingeniería Mecánica Eléctrica (area Eléctrica)

Instrumentos y equipo:

- 1.- Módulo de la fuente de Energía (0-120Vcd) clave: ems 8821
- 2.- Módulo de Motor Generador de cc clave: ems8811
- 3.- Módulo de electrodinamometro de cc. clave: ems8911
- 4.- Módulo de medición de cc 200 V, 5A. clave: ems8412
- 5.- Tacómetro de mano clave: ems8412
- 6.- Cables de conexión
- 7.- Banda
- 7.- Motor didáctico (marca LAB - VOLT) con las siguientes características
Motor de cc
1/4 hp
1800 rpm
2.8 A
120 Volts
Armadura: 120V - 3A
Serie: 3A
Derivado 120 - .4 A
Reostato: 300 ohms - 0.4 A

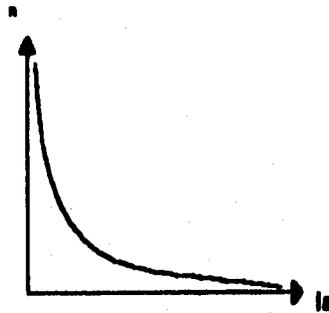
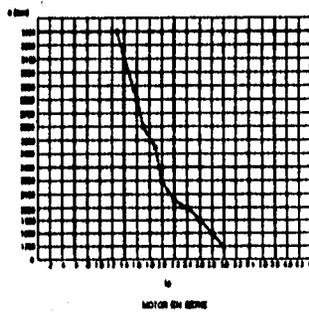
- Las Tablas correspondientes a cada una de las Curvas experimentales se muestran al final del documento, para poder hacer una comparación directa de las curvas (experimental v.s ideal).
- Las curvas que se muestran a la izquierda son las curvas obtenidas experimentalmente. Las curvas que se observan a la derecha son las ideales.

3a. Curva Par - Corriente Motor serie



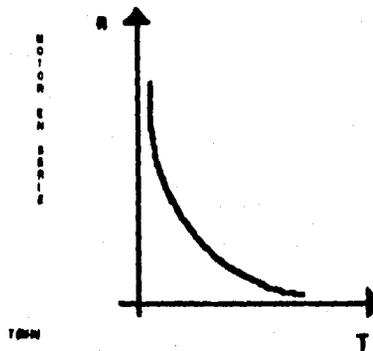
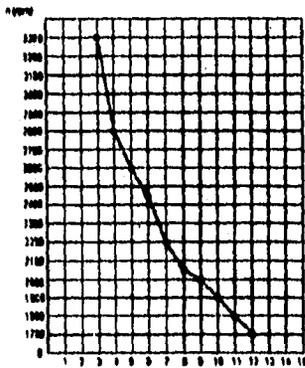
- Esta curva representa el par como una función de la corriente de armadura de un motor en conexión serie. El par varía casi en forma proporcional con el aumento en la corriente. (Ver Tabla 1).

Curva Velocidad - Corriente Motor serie



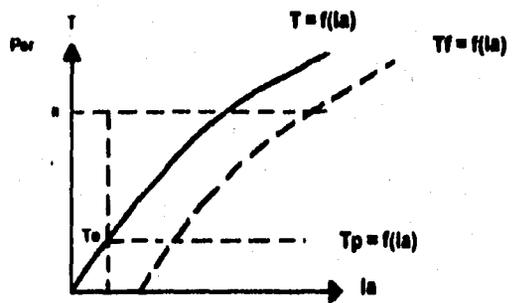
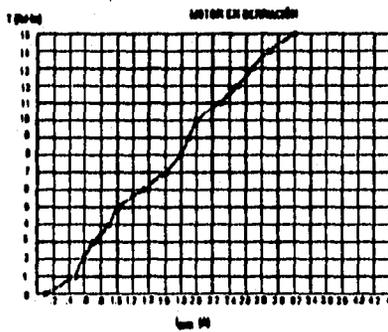
- Esta curva característica muestra a la velocidad como una función de la corriente de armadura. El flujo en el motor crece en forma proporcional a la corriente. Esta debe ser básicamente una curva hiperbólica, en donde la velocidad es inversamente proporcional a la corriente que demanda el motor. El motor serie tiene la desventaja de que tiende a desbocarse con cargas bajas. La sobre velocidad puede provocar la destrucción del motor si se le suprime la carga repentinamente. (Ver Table 1)

Curva Velocidad - Par Motor serie



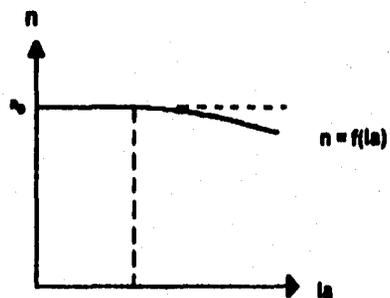
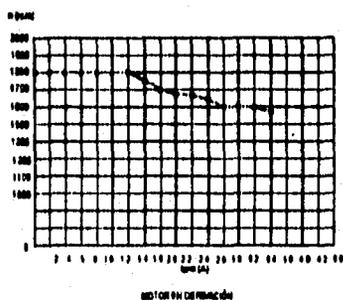
- Esta curva es conocida como la característica mecánica del motor y se puede observar en ella que, en los motores con excitación serie, a cada aumento de par le corresponde una disminución de la velocidad importante. (Ver Tabla 1)

3.b Curva Par-Corriente Motor Shunt o Paralelo



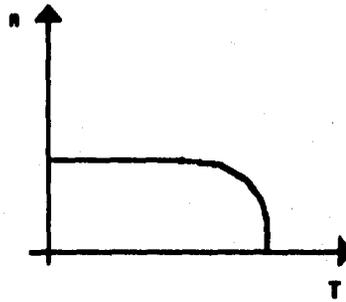
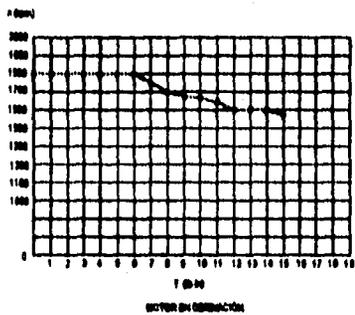
- Debido a que la velocidad es constante en este tipo de motor, el voltaje y el flujo dependen solo de la corriente de armadura. Al aumentar el par, aumenta también la corriente. (Ver Tabla 2).

Curva Velocidad - Corriente Motor Shunt o Paralelo



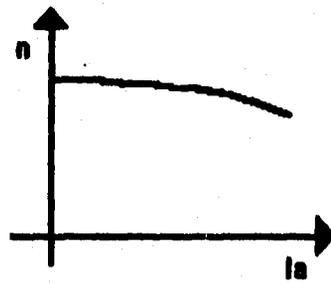
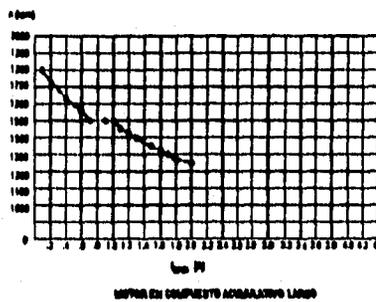
- Esta curva también es conocida como característica electromecánica de la velocidad, es una recta casi horizontal, que demuestra que el motor shunt mantendrá su velocidad constante a pesar de las variaciones en la corriente de la armadura (Ver Tabla 2).

Curva Velocidad - Par Motor Shunt o Paralelo



- La característica de par velocidad, también llamada curva de característica mecánica para el motor en derivación, se obtiene en forma similar que para el motor serie, como una combinación de las curvas par-corriente de armadura y velocidad contra corriente de armadura. Se puede observar en esta curva que el par se mantiene constante a pesar de las variaciones en la carga (Ver Tabla 2).

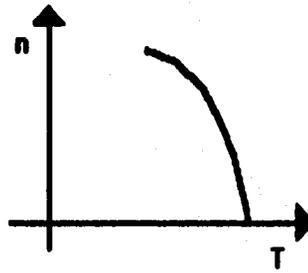
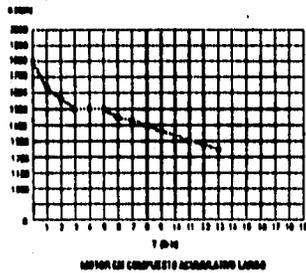
Curva Velocidad - Corriente Motor Compound Largo



- Este tipo de motores ofrecen la ventaja de que absorben rápidamente la caída de velocidad cuando se aplican cargas súbitamente, así en la curva ideal la velocidad se mantiene constante, a pesar del aumento en la corriente de armadura, pero tendrá una caída mayor a la que experimentaría un motor shunt. Además estos motores se caracterizan por tener una velocidad bien definida en vacío (Ver Tabla 3).

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Curva Velocidad - Par Motor Compund Largo



- Esta curva de los motores compuestos acumulativos demuestra que en parte presenta las características de los motores serie, es decir una disminución de la velocidad al aumentar la carga y por otra parte, las características de los motores de conexión derivación, de tener una velocidad en vacío bien definida (Ver Tabla 3).

**3.d Tabla de Datos
Motor en la Conexión Derivación**

I_a	I_{campo}	n	V	T
A	A	rpm	Volts	lb-in
0.12	0.1	1800	120	0
0.50	0.1	1800	120	1
0.59	0.1	1800	120	2
0.73	0.1	1800	120	3
0.90	0.1	1800	120	4
1.10	0.1	1800	120	5
1.35	0.1	1800	120	6
1.82	0.1	1850	120	7
1.80	0.1	1700	120	8
1.90	0.1	1680	120	9
2.00	0.1	1680	120	10
2.30	0.1	1850	120	11
2.50	0.1	1800	120	12
2.70	0.1	1800	120	13
2.90	0.1	1800	120	14
3.20	0.1	1580	120	15

Tabla 1

**Tabla de Datos
Motor en la Conexión Serie**

$I_a = I_{cam}$	n	V	T
A	rpm	Volts	lb-in
1.30	3300	120	3
1.60	2900	120	4
1.70	2600	120	5
1.90	2450	120	6
2.00	2200	120	7
2.20	2050	120	8
2.40	2000	120	9
2.60	1900	120	10
2.60	1800	120	11
3.00	1700	120	12

Tabla 2

Tabla de Datos
Motor en la Conexión Compound Largo

I_a	I_{campo}	n	V	T
A	A	rpm	Volts	lb-in
0.10	0.26	1800	120	0
0.40	0.26	1850	120	1
0.60	0.25	1570	120	2
0.70	0.24	1500	120	3
0.90	0.25	1500	120	4
1.00	0.25	1500	120	5
1.10	0.25	1450	120	6
1.20	0.25	1420	120	7
1.38	0.25	1400	120	8
1.50	0.25	1360	120	9
1.60	0.25	1320	120	10
1.70	0.25	1300	120	11
1.80	0.25	1280	120	12
2.00	0.25	1250	120	13

Tabla 3

4. Conclusiones

Los motores de cc tienen la ventaja de poderse conectar de diferentes formas, esto proporciona al usuario un mejor aprovechamiento de las características en general del motor, y en particular con cada una de las diferentes conexiones. Así el motor puede ser conectado de acuerdo al tipo de aplicación.

Los motores en conexión Serie presentan las siguientes características:

Ventajas / Desventajas

Reóstato de arranque
Riesgo de altas velocidades en vacío
Par de arranque muy elevado

Aplicaciones

Tracción (transporte)

Los motores en conexión Derivación presentan las siguientes características:

Ventajas / Desventajas

No utiliza reóstato de arranque
La diferencia de la velocidad en vacío hasta plena carga es del 2 al 10%, por lo que se dice que es un motor de velocidad constante.

Aplicaciones:

Velocidad constante: Ventiladores, bombas, máquinas-herramientas.

Los motores en conexión Compuesto Acumulativo, presentan las siguientes características:

Ventajas / Desventajas

Tienen un límite de velocidad en vacío
Desarrolla un par más elevado con el incremento de la carga que el motor Shunt, pero hace disminuir la velocidad más rápidamente también.

Aplicaciones:

Máquinas que están sujetas a la aplicación de cargas pesadas súbitamente, como molinos, perforadoras, fábricas de cartulinas, etc.

Cuando un motor de cc es comparado con un motor de inducción, el costo inicial y el costo del mantenimiento es muy alto, pero la flexibilidad y versatilidad del motor de cc son características que deben tomarse en cuenta en el momento de la toma de decisión.

5. Bibliografía

Basic Electrical Power and Machines
David Bradley
Chapman & Hall

Curso de Máquinas de Corriente Continua
Gilberto Enriquez Harper
Limusa

Curso Moderno de Máquinas Eléctricas Rotativas
Tomo II Máquinas de Corriente Continua
Manuel Cotes Chepta
Editores Técnicos Asociados S.A.

Electric Motors & Control Techniques 2nd Edition
Irving M. Gottlieb
TAB Books. Division of McGraw-Hill, Inc.

Electrical Machinery and Transformer Technology
Richard A. Perman. Emeritus, Sault College
Saunders College Publishing

Selección y Aplicación de Motores Eléctricos
Dr. Orlando Silvio Lobosco
José Luis Pereira da Costa Dias
Siemens Aktiengesellschaft
Marcombo S. A.