

55
24



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"CUAUTITLAN"

DISEÑO, PUESTA EN MARCHA, CONTROL Y
MANTENIMIENTO DE MOTORES DE
CORRIENTE DIRECTA. CONTROL MANUAL
DE VELOCIDAD POR CAMPO EN MOTORES
DE CORRIENTE DIRECTA.

TRABAJO DE SEMINARIO
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A :
PEDRO GUZMAN TINAJERO

ASESOR: ING. SABAS FLORES ASCENCIO

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

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

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES-CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE
EXAMENES PROFESIONALES

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, Control Manual de
Velocidad por Gancho en Motores de Corriente Directa,

que presenta el pasante: Guzmán Tinajero Pedro.
con número de cuenta: 8806807-3 para obtener el Título de:
Ingeniero 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 9 de febrero de 19 96

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

DEP/VOBOSEN

AGRADECIMIENTO

**DOY GRACIAS A DIOS, POR DARME LA VIDA
Y POR CONDUCIRME HASTA EL DÍA DE HOY,
POR ESTA CARRERA QUE ES YA CONCLUIDA
Y EN POCAS PALABRAS POR SER LO QUE SOY.**

**GRACIAS A MIS PADRES QUE ME PERMITIERON
CON TODO SU APOYO EL SER INGENIERO,
MI MÁS GRANDE ORGULLO NO ES LLAMARME PEDRO,
SINO APELLIDARME GUZMÁN TINAJERO.**

**A MIS CUATRO HERMANOS LAS GRACIAS LES DOY
PUES SIEMPRE ALENTARON MI VIDA ACADÉMICA,
SÉ QUE EN EL CAMINO POR DONDE AHORA VOY
CONMIGO ESTARÁN SIN NINGUNA RÉPLICA.**

**Y AL DAR ESTAS GRACIAS NO OLVIDO A LA UNAM,
EN DONDE HE APRENDIDO MUCHO DE SU GENTE
ESTUDIÉ CINCO AÑOS EN FES CUAUTITLÁN,
DONDE TUVE AMIGOS QUE LLEVO EN MI MENTE.**

**ASÍ FINALMENTE AGRADECER QUIERO
A TODOS AQUELLOS QUE ME PERMITIERON,
CUMPLIR ESTE SUEÑO, QUE ES SÓLO EL PRIMERO
MAESTROS Y AMIGOS QUE APOYO ME DIERON:
ESTO NO ES UN SUEÑO, ¡YA SOY INGENIERO!**

PEDRO GUZMÁN TINAJERO.

INDICE

	PAG.
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULOS:	
CAPITULO 1 EL MOTOR DE CORRIENTE DIRECTA.	
1.1 DEFINICIÓN DEL MOTOR DE CORRIENTE DIRECTA.....	2
1.2 PRINCIPALES COMPONENTES DE UN MOTOR DE CD.....	2
1.3 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR DE CD.....	4
CAPITULO 2 CONEXIÓN DE MOTORES DE CD.	
2.1 CONEXIÓN SERIE.....	8
2.2 CONEXIÓN SHUNT O PARALELO.....	9
2.3 CONEXIÓN COMPUESTA.....	10
2.4 CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LOS MOTORES DE CD.....	12
CAPITULO 3 CONTROL DE MOTORES DE CD.	
3.1 EL CONTROL Y SUS FUNCIONES.....	14
3.2 APLICACIONES DEL CONTROL DE CORRIENTE DIRECTA.....	15
3.2.1 APLICACIONES PARA PAR CONSTANTE.....	15
3.2.2 APLICACIONES PARA POTENCIA CONSTANTE.....	16
3.2.3 SELECCIÓN DE UN CONTROL DE VELOCIDAD ADECUADO.....	17

	PAG.
3.3 ECUACIÓN DE VELOCIDAD EN MOTORES DE CD.....	21
3.4 TIPOS MANUALES DE CONTROL DE VELOCIDAD.....	24
3.5 CONTROL DE VELOCIDAD POR CAMPO DE EXCITACIÓN.....	24
3.5.1 CARACTERÍSTICAS DEL CONTROL DE VELOCIDAD POR CAMPO.....	26
3.5.2 APLICACIONES DEL CONTROL DE VELOCIDAD POR CAMPO.....	27
APENDICE A. ELEMENTOS PARA UN CONTROL AUTOMÁTICO.....	28
CONCLUSIONES.....	30
BIBLIOGRAFÍA.....	31

• INTRODUCCIÓN.

El motor eléctrico juega un papel muy importante en el progreso y transformación industrial, ya que constituye la fuerza principal que impulsa las máquinas y procesos en las fábricas, instalaciones industriales, transporte y servicios.

Particularmente el motor de corriente continua, tiene la peculiaridad de poder cambiar su velocidad de una manera más sencilla que el motor de corriente alterna y esto puede lograrse desde cero, hasta velocidad nominal y por encima de la velocidad nominal, por esta razón dichos motores son muy útiles en trabajos en los cuales la carga varía constantemente, además poseen un excelente par de arranque que llega a superar hasta cuatro veces el par normal.

Debido a las condiciones expuestas anteriormente, resulta de suma importancia hablar del control del motor de corriente directa, particularmente este trabajo se enfoca al control manual de velocidad a través de la modificación de la corriente de campo.

El control expuesto dentro de este trabajo es una de tantas aplicaciones prácticas para poder manipular la velocidad del motor de cd, en este caso concreto más allá de las condiciones nominales. Sin embargo, es conveniente mencionar que existen diversos métodos para variar la velocidad del motor. Y que todos ellos pueden ser manuales, semiautomáticos o automáticos.

CAPITULO 1

1. - EL MOTOR DE CORRIENTE DIRECTA.

1.1 DEFINICIÓN DEL MOTOR DE CORRIENTE DIRECTA.

El motor de corriente directa es una máquina eléctrica que transforma la energía eléctrica de corriente directa en energía mecánica rotatoria.

1.2 PRINCIPALES COMPONENTES DE UN MOTOR DE CD.

La constitución física de un motor de corriente directa se puede apreciar en la figura 1.

Básicamente está formado por un rotor que contiene el devanado inducido y un estator en donde se instala el devanado inductor.

El rotor o armadura se construye de láminas de material ferromagnético (hierro o acero) aisladas una de otra parte por una capa de barniz o papel fino, para evitar cortocircuitos en las mismas.

El estator está formado por una carcasa construida en muchas ocasiones de una sola pieza, sobre la que se colocan los núcleos polares. Estos últimos son laminados como la armadura y a su alrededor se instalan las bobinas inductoras.

Sobre el eje de la armadura se instala el colector, éste está compuesto por delgas de cobre, aisladas entre sí, sobre las cuales se soldan las terminales del devanado de armadura. La misión del colector es dar paso a la corriente que alimenta al inducido, desde las escobillas que lo conectan al circuito exterior.

Las escobillas se construyen de cobre o de carbón grafitado, se instalan en los portaescobillas, cuya función es soportarlas y mantenerlas en la posición adecuada sobre el colector. Los portaescobillas se montan a su vez en un puente, que permite cambiar la posición de las escobillas, adaptándose a las condiciones de operación del motor.

Las bobinas de campo que se colocan en los núcleos polares, son construidas con diferentes características y esto aunado a la manera de conectarse con la armadura, definen varios tipos de motores, como se mencionará posteriormente.

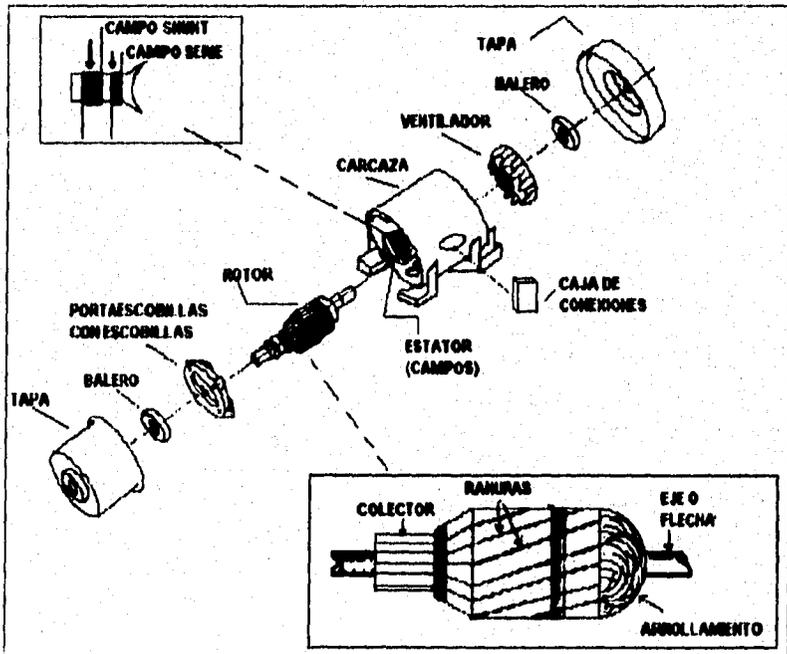


FIGURA 1

1.3 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR DE CD.

La función de un motor es producir una fuerza giratoria llamada par, la cual produce rotación mecánica.

Para determinar la dirección de rotación de los conductores de la armadura se utiliza la regla de la mano izquierda. La regla de la mano izquierda para los motores es la siguiente: colóquense los dedos índice, medio y pulgar mutuamente perpendiculares, apúntese con el índice en la dirección del campo y con el dedo medio en la dirección de la corriente del conductor; el pulgar apuntará en la dirección en la que el conductor trata de moverse, esta regla se puede apreciar más claramente en el siguiente gráfico (FIGURA.2):

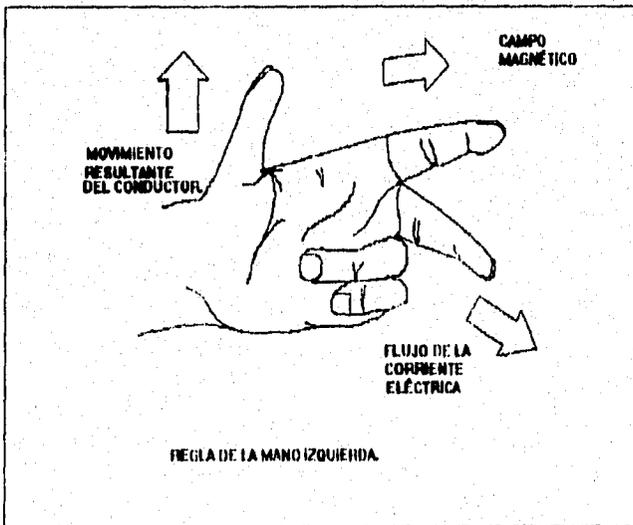


FIGURA 2

En una bobina rectangular de una sola espira colocada paralela a un campo magnético, como muestra la siguiente figura, la dirección de la corriente en el conductor de la izquierda es hacia afuera del papel, mientras que en el conductor de la derecha es hacia adentro del papel; por consiguiente el conductor de la izquierda tiende a moverse hacia arriba con una fuerza F_1 y el conductor de la derecha tiende a moverse hacia abajo con una fuerza igual F_2 . Ambas fuerzas actúan ejerciendo un par que hace girar a la bobina en el sentido de las manecillas del reloj. Como se aprecia en la siguiente figura (FIG. 3):

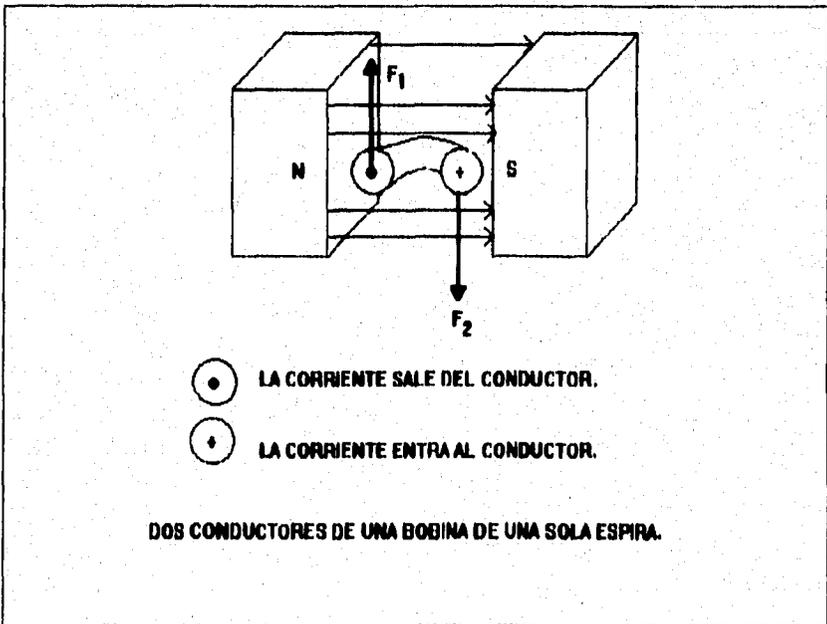


FIGURA 3

Es decir, si el conductor se doblara de tal manera que formara una espira, 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 sentido contrario por lo que la resultante es un par que hace que la espira gire perpendicularmente a las líneas de flujo.

Cuando la espira está perpendicular al campo, la interacción entre los campos del imán y el propio de la espira cesan. Esta posición se conoce con el nombre de plano neutro, en este momento no existe par. Esta relación se puede apreciar mejor en la siguiente figura (FIG. 4):

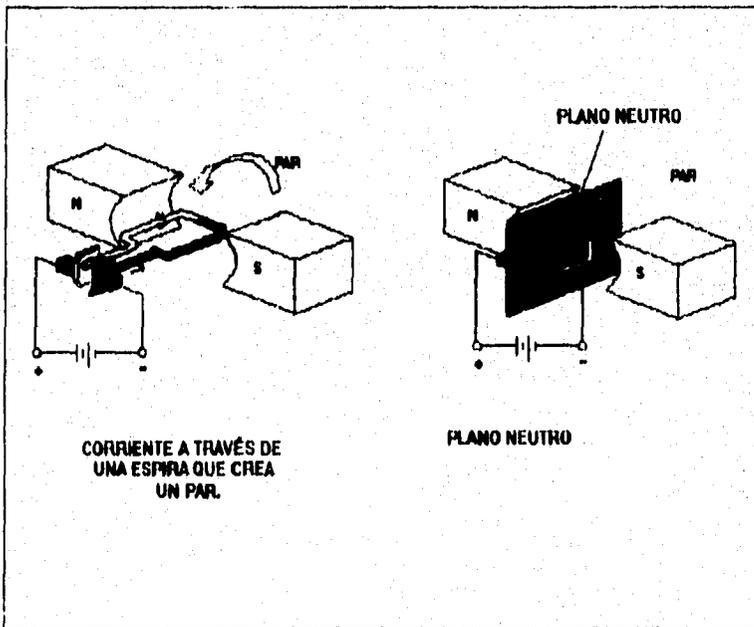


FIGURA 4

Un motor con una sola bobina es impráctico por tener puntos muertos y porque el par ejercido es pulsante. Se obtienen buenos resultados al usar un número grande de bobinas.

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 puede lograr mediante la inversión del campo magnético, o bien, mediante la inversión de la dirección del flujo de corriente que circula a través de la espira en el instante en que éste pasa por el plano neutro.

Al girar la armadura y alejarse los conductores de un polo hacia el plano neutro, la corriente se invierte por la acción del conmutador. De esta manera, los conductores bajo un polo dado llevan corriente en la misma dirección todo el tiempo.

CAPITULO 2

2.- CONEXIÓN DE MOTORES DE CD.

2.1 CONEXIÓN SERIE.

En esta conexión, la bobina de campo se encuentra en serie con el devanado de armadura (Ver figura 5). Debido a su conexión, la corriente de la armadura fluye también por la bobina de campo. Por tanto, ésta se hace de alambre grueso para conducir con seguridad la corriente fuerte de la armadura, y tiene relativamente pocas vueltas, para no presentar demasiada resistencia. Como la corriente que fluye por ella es alta, la bobina a pesar de sus pocas vueltas, puede establecer un campo magnético potente.

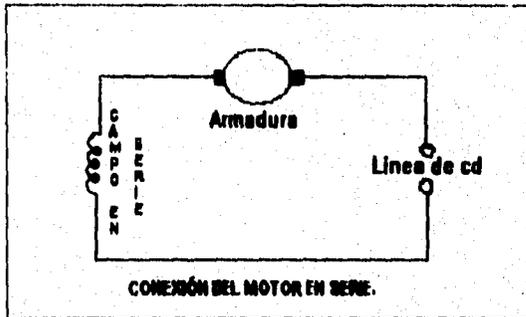


FIGURA 5

Quando se arranca un motor en serie, como no existe fuerza contraelectromotriz, fluye una corriente alta por los devanados del inducido y del campo. Esto produce un gran par de torsión al arranque.

Si se retira la carga del motor mientras está funcionando, la armadura girará a grandes velocidades, suficientes para dañar el motor debido al efecto de la fuerza centrífuga, entre otras razones.

El alto par de torsión de arranque del motor en serie lo hace valioso en aplicaciones en las que hay que vencer la inercia de una carga pesada. Tales casos incluyen tranvías, locomotoras eléctricas, grúas y similares.

2.2 CONEXIÓN SHUNT O PARALELO.

Para este tipo de arreglo, la bobina de campo se conecta en paralelo o en derivación con el embobinado de la armadura (Ver figura 6). Con el fin de que pueda fluir la mayor cantidad posible de corriente de la línea a través de la armadura, el campo en derivación tiene una resistencia bastante alta. Por lo tanto se devana con muchas vueltas de alambre relativamente delgado. Aunque fluye poca corriente a través de ella, se mantiene la fuerza de campo correcta a causa del gran número de vueltas de la bobina.

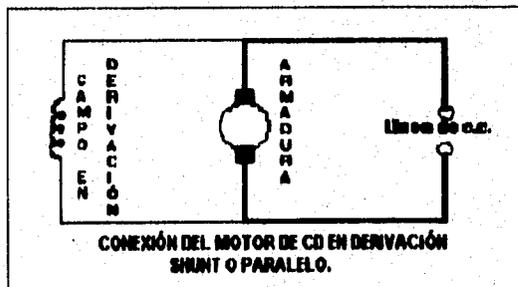


FIGURA 6

Cuando se arranca un motor en derivación, a causa de la falta de fuerza contraelectromotriz, fluye una corriente alta de la línea a través de la armadura, como en el motor en serie. Sin embargo, como el campo en derivación tiene una resistencia alta, circula por él una corriente de línea comparativamente pequeña.

Por lo tanto el par de torsión de arranque en un motor en derivación es menor que el de un motor en serie equivalente.

En este arreglo, dado que el campo permanece relativamente constante, la velocidad de rotación tiende a permanecer constante bajo todas las condiciones de carga.

Si se abre el devanado de campo de un motor en derivación, el campo y por consiguiente la fuerza contraelectromotriz, bajarán a cero. Como resultado, la corriente de la armadura y la velocidad, aumentarán de golpe y el motor se puede estropear. Esto se podrá entender mejor en el análisis de la ecuación de la velocidad. (Sección 3.3).

Los motores en derivación tienen pares de torsión moderados de arranque y funcionamiento. Su ventaja principal es una velocidad constante bajo condiciones de carga variable. Por tanto se emplea para accionar máquinas herramientas, sopladores y similares, en los que se desea una velocidad constante.

2.3 CONEXIÓN COMPUESTA.

En este tipo de motores, se tienen dos devanados de campo, uno conectado en serie con el inducido y otro en paralelo, de manera que se aprovechan las ventajas de los motores de excitación en derivación y en serie. Estas ventajas son: una velocidad constante y un gran par de arranque inicial.

El arrollamiento serie puede conectarse, de tal forma que una su acción a la del arrollamiento en derivación, o bien que se oponga a ésta. En el primero de los casos, se dice que el motor es compuesto acumulativo y el segundo compuesto diferencial.

Al aplicar una carga al motor compuesto acumulativo, el flujo producido por el campo serie experimenta un aumento, que al sumarse con el del campo en derivación, da lugar a un aumento del par para una intensidad dada, en mayor proporción que en un motor en derivación. Su aplicación se encuentra, en el accionamiento de máquinas destinadas a soportar cargas bruscas e intensas, como en el caso de laminadores, prensas, etc.

En el motor compuesto diferencial un aumento de carga trae consigo un aumento en el flujo del campo serie, que provoca una disminución del flujo total, de tal manera que la máquina tiende a acelerarse cuando la carga se aumenta. Debido a su inestabilidad este tipo de conexión no tiene aplicación práctica.

Si la conexión del campo en derivación se hace sólo con la armadura se tiene un arreglo compuesto corto, si se hace en paralelo con la armadura y el campo serie, se tendrá un compuesto largo (Ver figuras 7 y 8).

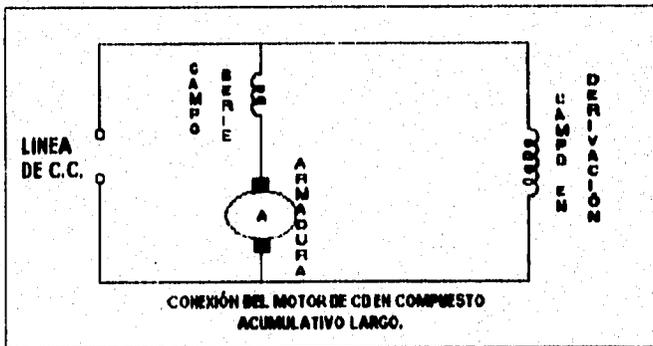


FIGURA 7

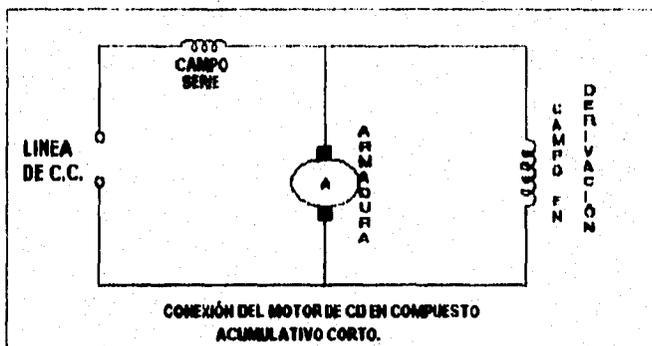


FIGURA 8

Es importante mencionar que las curvas características de un motor compuesto acumulativo (corto o largo) no presentan grandes diferencias, por lo que no afecta en la práctica el tipo de conexión.

2.4 CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LOS MOTORES DE CD.

Las características de carga del motor de corriente directa son de suma importancia, dependiendo del tipo de conexión del campo y de la armadura se tendrán diversos comportamientos.

En las curvas siguientes se pueden apreciar los comportamientos comparativos de los diferentes tipos de conexiones, del motor de cd, en la curva 9a se aprecia además la interrelación de las variables con la corriente.

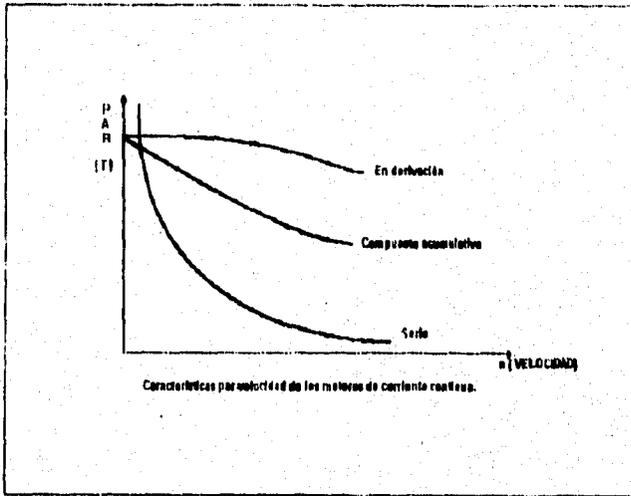


FIGURA 9

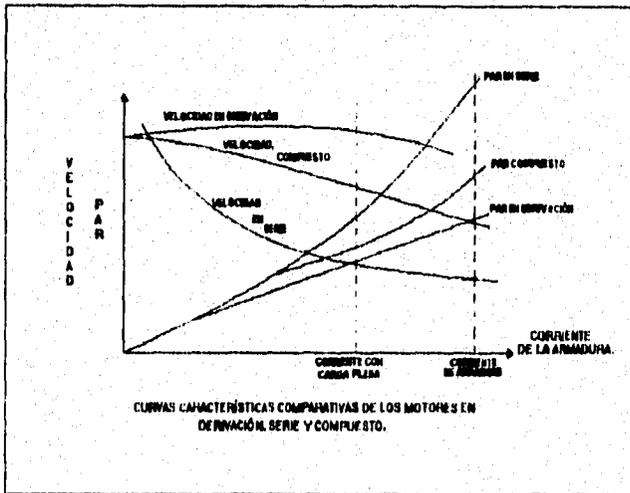


FIGURA 9a

CAPITULO 3

3.- CONTROL DE MOTORES DE CD.

3.1 EL CONTROL Y SUS FUNCIONES.

Un sistema de control o controlador para un motor eléctrico, es un dispositivo o conjunto de éstos que sirve para gobernar de alguna manera predeterminada la operación del motor.

Dentro de las funciones más comunes en los sistemas de control para motores eléctricos, se tienen:

- a) Arranque. Porque en muchas ocasiones es necesario arrancar el motor gradualmente para proteger, no solo la carga, sino también el mismo motor de una corriente de arranque excesiva.
- b) Paro. Debido a que en diversas aplicaciones no basta con desconectar el motor de la línea de alimentación, sino que el controlador debe ser capaz de accionar un dispositivo de freno.
- c) Inversión de rotación. Ya que para algunos efectos industriales, es necesario disponer de éste.
- d) Control de velocidad. Simplemente porque existen procesos dentro de los cuales se requiere una velocidad muy precisa o variada en rangos ajustables.

Dependiendo de su operación los controladores se clasifican en:

- a) Manuales. Este tipo de controlador es el más simple y en él interviene el elemento humano durante toda la operación.

b) Semiautomáticos. Dentro de éste controlador, el operador interviene al inicializar un cambio en la condición de operación.

c) Automáticos. El controlador automático, cambia por sí mismo su estado de operación sin la intervención del elemento humano.

3.2 APLICACIONES DEL CONTROL DE CORRIENTE DIRECTA.

3.2.1 APLICACIONES PARA PAR CONSTANTE.

Los controles de cd para par constante son controlados por voltaje de armadura. Son capaces de proveer un par desde 0 hasta la velocidad nominal del motor. El cabalaje varía en proporción directa a la velocidad, y el 100% de potencia se desarrolla al 100% de la velocidad del motor en su rango de par, (idealmente). Esta relación se aprecia en la siguiente gráfica (Ver figura 10) :

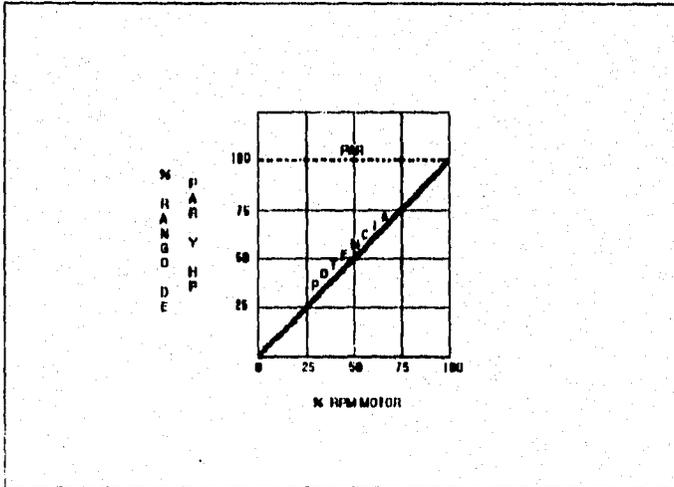


FIGURA 10

3.2.2 APLICACIONES PARA POTENCIA CONSTANTE.

Si un control requiere entregar una potencia constante en un rango de velocidad de 2 a 1 deberá tener el doble de potencia del caballaje requerido y sólo desarrollará el 50% de este caballaje a la mitad de la velocidad. Esta relación se observa más claramente en la Figura 11 :

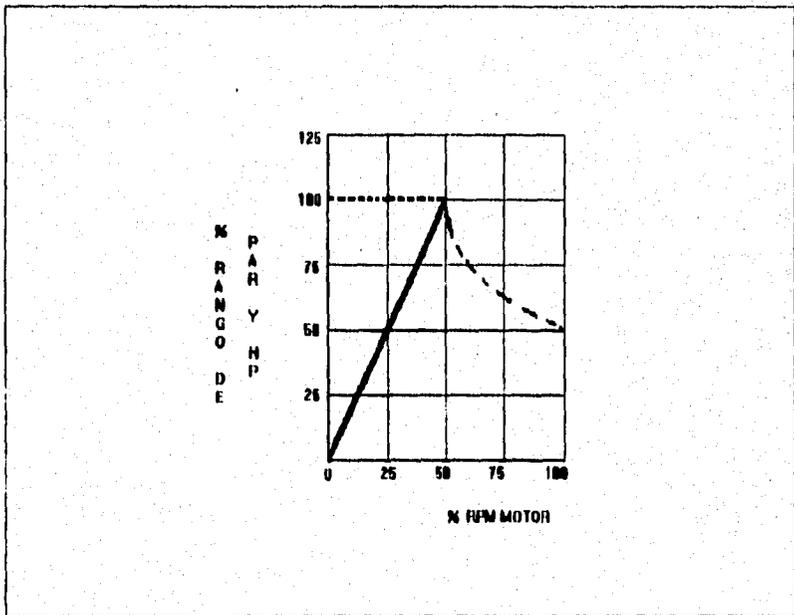


FIGURA 11

Una buena opción para poder disponer de una potencia constante , a velocidad máxima y con un par variable es mediante la utilización de un control por debilitamiento de campo, el cual se describirá posteriormente.

3.2.3 SELECCIÓN DE UN CONTROL DE VELOCIDAD ADECUADO.

La selección de un control de velocidad ajustable a una máquina es más bien problema mecánico que eléctrico. Al seleccionar el control las características de velocidad, par, y la potencia (caballaje), desarrolladas en la flecha del motor deben ser consideradas, y el control igualar o exceder a las de la máquina a mover.

Los requerimientos de par en una máquina caen dentro en tres grandes categorías:

- 1.- Par de arranque.
- 2.- Par de aceleración.
- 3.- Par de trabajo.

Par de arranque.- El par requerido para arrancar una máquina es casi siempre mucho mayor que el requerido para mantener la máquina en movimiento (par nominal).

En algunas aplicaciones el par de arranque es un parámetro muy importante que no puede ser despreciado.

Par de aceleración.- El par requerido para llevar la máquina a la velocidad de operación dentro de un determinado tiempo, se llama par de aceleración. Sin embargo algunas máquinas clasificadas como de "Alta inercia" con volantes, y grandes partes rotativas pueden requerir una selección basada en esta característica.

Par de trabajo.- El par requerido para mantener la máquina en movimiento después de que acelera a la velocidad deseada de operación es llamado par de trabajo. El par de

trabajo es normalmente una combinación del par requerido para empujar, jalar, comprimir, adelgazar o procesar el material, más el par para compensar las pérdidas por fricción. El par de trabajo puede variar como una función compleja de la velocidad de operación y es muy importante entender los requerimientos de par antes de seleccionar un control. La mayoría de las aplicaciones caen dentro de las siguientes categorías:

- 1.- Par constante.
- 2.- Potencia (Caballaje) constante.
- 3.- Par variable.

Par constante.- Un 90% de la maquinaria en la Industria (exceptuando bombas), son sistemas de par constante. Los requerimientos del par de la máquina son independientes de la velocidad. Si la velocidad de la máquina es duplicada sus requerimientos de potencia (caballaje) se duplican. Sin embargo el par puede permanecer constante. Esta relación se puede apreciar en la figura 12:

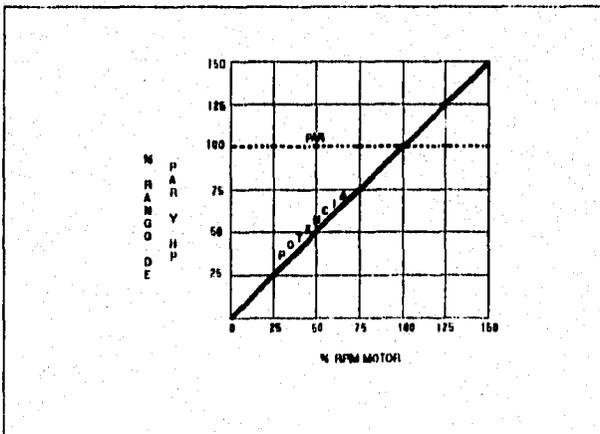


FIGURA 12

Potencia (caballaje) constante.- Para máquinas con carga de caballaje constante, la potencia demandada es independiente de la velocidad y el par varía inversamente con la velocidad. Este tipo de aplicaciones es generalmente encontrado en máquinas-herramientas industriales y en embobinadores con transmisión central. Cuando se taladra, pule, tornea o fresa un metal, las cargas tienden a ser de potencia (caballaje) constante. A baja velocidad hay un alto par, a una alta velocidad un par bajo. El control deberá escogerse para su condición de par más alto, el cual se dará a la velocidad más baja. La relación anterior se muestra a continuación (Figura 13) :

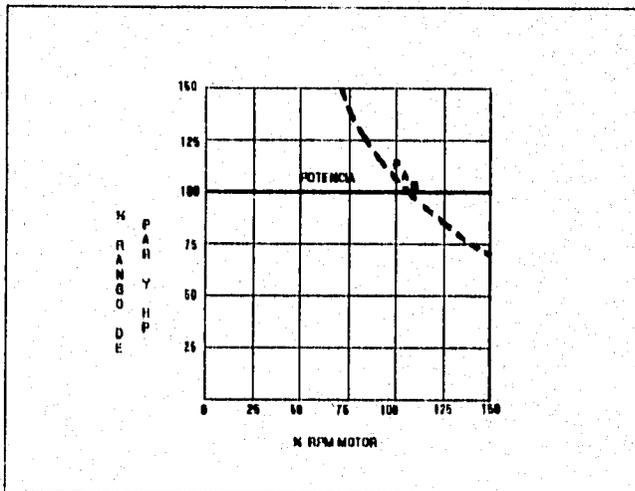


FIGURA 13

Par variable.- Este tipo de cargas es comúnmente encontrado en bombas centrífugas y en la mayoría de abánicos o ventiladores. El par y el caballaje, ambos varían con la velocidad (a baja velocidad baja potencia y par). Esta característica se puede apreciar en la siguiente gráfica (Figura 14):

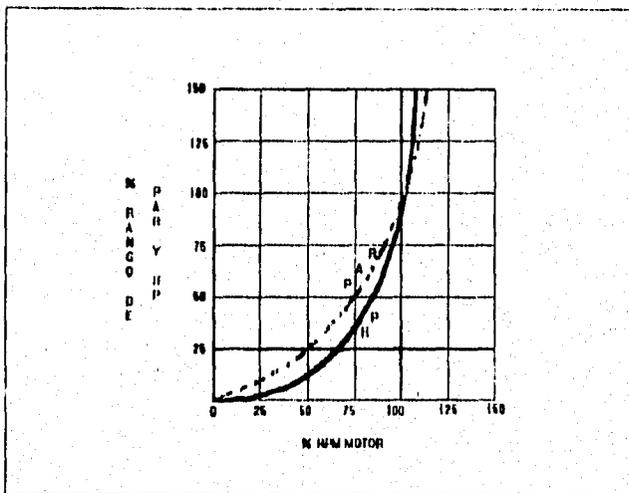
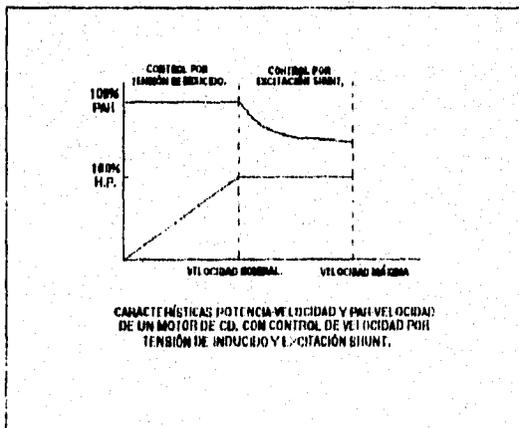


FIGURA 14

En resumen, la selección de un control adecuado nos la proporcionará el tipo de carga, y el funcionamiento mismo del motor ante ella, la siguiente gráfica nos muestra esta relación:



3.3 ECUACIÓN DE VELOCIDAD EN MOTORES DE CD.

La velocidad se especifica por el número de revoluciones del eje en cierto tiempo y se expresa en unidades de revoluciones por minuto (rpm). Es necesario, para los objetivos de esta tesina, describir el comportamiento de la velocidad en función del flujo del campo, para lo cual se utilizó el siguiente desarrollo.

En un motor la FEM inducida y la intensidad del inducido están en oposición, debido a ello el voltaje medido en las terminales de armadura será igual a la siguiente expresión:

$$V_a = E + I_a R_a + \Delta V \quad (\text{volts})$$

- donde:
- V_a = Voltaje en la armadura (Volts).
 - E = Fuerza contraelectromotriz (Volts).
 - I_a = Corriente de armadura (Amperes).
 - R_a = Resistencia de armadura (Ohms).
 - ΔV = Caída de voltaje en las escobillas (Volts).

La expresión anterior se obtiene al considerar la armadura en condiciones estacionarias, como muestra el siguiente diagrama (FIG.15), y resolviendo la malla por la ley de voltajes de Kirchoff.

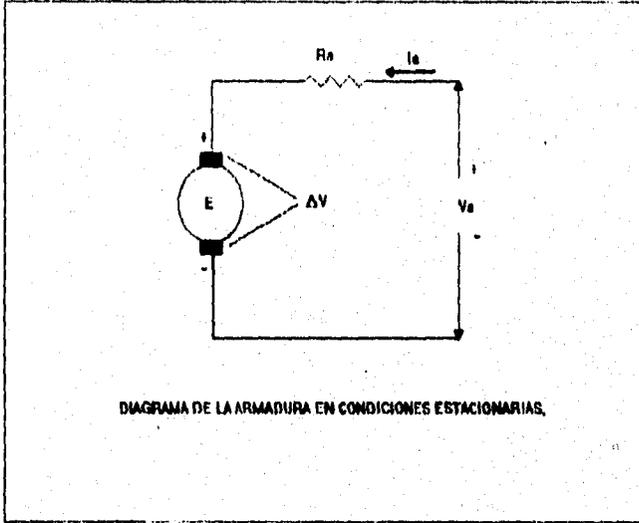


FIGURA 15

Si consideramos la caída de voltaje de las escobillas como despreciable, podemos escribir la ecuación como sigue:

$$V_a = E + I_a R_a \quad (\text{volts})$$

Despejando de esta última la fuerza contraelectromotriz (E), tenemos la siguiente expresión:

$$E = V_a - I_a R_a \quad (\text{volts}) \quad \dots\dots\dots(1)$$

Sin embargo, la fuerza contraelectromotriz en un motor se define como:

$$E = \frac{Z P n \phi}{a \times 60} \times 10^{-8} \quad (\text{volts})$$

- donde:
- E** = Fuerza contraelectromotriz.
 - z** = Número de conductores en la armadura.
 - p** = Número de polos.
 - ϕ** = Flujo por polo en líneas o maxwells.
 - a** = Número de trayectorias paralelas en la armadura.
 - n** = Velocidad en rpm.

Pero ya que **z**, **p**, y **a** dependen de la constitución de la máquina, se pueden juntar a los valores numéricos y formar una constante **K**, esto es:

$$K = \frac{z \cdot p \cdot 10^{-8}}{a \cdot 60}$$

Y el resultado de ello es la ecuación siguiente:

$$E = K \cdot n \cdot \phi$$

Si a la ecuación anterior, la reescribimos en función de la velocidad, aparecerá como sigue:

$$n = \frac{E}{K \phi} = K_1 \frac{E}{\phi} \quad (\text{rpm}) \dots\dots\dots(2)$$

Ahora, sustituyendo el valor de la FCEM, (ecuación 1), en la ecuación de la velocidad, (ecuación 2), tendremos:

$$n = K_1 \frac{V_a - I_a R_a}{\phi} \quad (\text{rpm}) \dots\dots\dots(3)$$

Esta última expresión (3), es la ecuación fundamental de la velocidad de los motores de cd, ya que permite predecir fácilmente el desempeño de los mismos. Solo es necesario agregar que el flujo de campo es directamente proporcional a la fuerza magnetomotriz del mismo (N I).

3.4 TIPOS MANUALES DE CONTROL DE VELOCIDAD.

De una forma general, existen cuatro métodos manuales con los que se puede variar la velocidad de un motor de corriente directa:

- a) Control de campo de excitación.
- b) Control de la resistencia de inducido.
- c) Control de la resistencia de inducido en serie y en shunt.
- d) Control de tensión de inducido.

3.5 CONTROL DE VELOCIDAD POR CAMPO DE EXCITACIÓN.

Se dice que existe el control de campo, cuando se aplica la tensión nominal al inducido (armadura), y se hace variar, por medio de un reóstato, la corriente de campo.

Observando la ecuación de velocidad (ecuación 3), se aprecia claramente que una reducción en el flujo de campo magnético de un motor produce un aumento en la velocidad; inversamente un aumento en el flujo del campo hace que la velocidad del motor disminuya.

El control por campo se efectúa por consiguiente como indica el siguiente diagrama (Figura 16) :

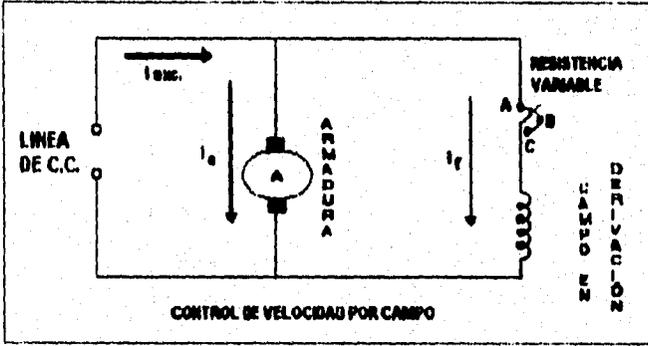


FIGURA 16

Como se mencionó anteriormente, si se toman diferentes posiciones en la resistencia variable, se logra hacer variar la corriente de campo y por consiguiente el flujo del mismo, que aparece en la ecuación de velocidad como denominador:

$$n = K_1 \frac{V_a - I_a R_a}{\phi} \quad (\text{rpm}) \dots\dots\dots (3)$$

Se puede apreciar, que si la resistencia se sitúa en el punto A ($R=0$), la corriente de campo I_f será la nominal, proporcionando a su vez el flujo nominal de campo, debido a que el voltaje de la armadura es constante y partiendo de que este es el nominal del motor, se tendrá la velocidad nominal. Sin embargo si llevamos la resistencia hasta el punto B, la corriente de campo disminuirá y por consiguiente el campo también lo hará, lo que ocasionará que la velocidad aumente en proporción inversa a esta disminución.

Ahora bien, si finalmente colocamos toda la resistencia en serie con el campo (punto C), esta limitará a su mínimo valor la corriente de campo, lo que nos dará la mayor velocidad del motor (50% arriba de la nominal), que se puede lograr por este tipo de control, sin poner en peligro el motor.

Por lo tanto, la velocidad variará en la proporción que varíe la corriente de campo. Es importante mencionar que este control es manual, debido a que los cambios en el reóstato son proporcionados por el usuario, aunque de ninguna manera queda limitado a ello, existiendo la posibilidad de automatizar este proceso.

3.5.1 CARACTERÍSTICAS DEL CONTROL DE VELOCIDAD POR CAMPO.

El control de la velocidad de un motor a través de su excitación en el campo, nos permite obtener ciertas características como son:

- a) La variación de velocidad resulta suave y continua.
- b) Dentro de ciertos límites no afecta la regulación del motor.
- c) Las pérdidas del circuito de excitación son apenas de 3 a 5% de la potencia absorbida por el motor, es decir presenta un buen rendimiento.
- d) Este método resulta económico y fácil de implementar.
- e) La variación de la velocidad que se logra es a partir de la nominal hacia arriba.
- f) Si el flujo decrece demasiado, la velocidad crece indefinidamente.
- g) El motor se debe de arrancar a plena corriente de excitación, (corriente de campo I_f).

h) A elevadas velocidades en el conmutador se producen chisporroteos que pueden ocasionar desperfectos.

i) El control de la velocidad sólo se debe aplicar en un 50% arriba de la nominal, por razones de seguridad.

Es importante mencionar que la mayoría de las características antes mencionadas, podrían resultar ser para un tipo de control establecido ventajas o desventajas.

3.5.2 APLICACIONES DEL CONTROL DE VELOCIDAD POR CAMPO.

Las aplicaciones del control de velocidad por campo se encuentran donde se requiere que el motor tenga una velocidad mayor a la nominal, y que a su vez este efecto conlleve una potencia constante.

Básicamente el control por modificación de corriente de campo se puede encontrar en máquinas herramientas industriales y en embobinadores con transmisión central, cuando se taladra, pule, fresa o tornea un metal.

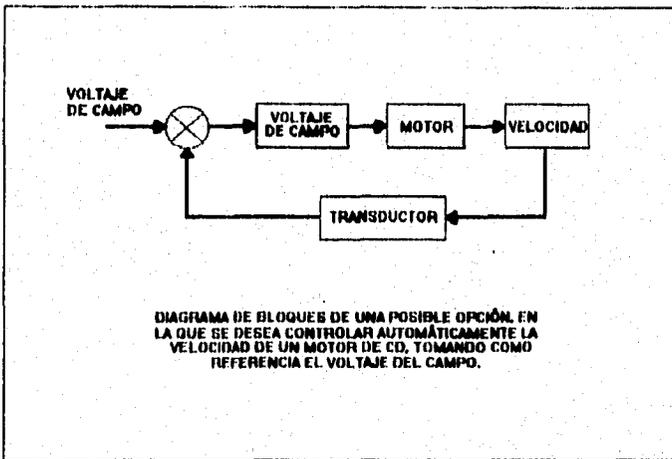
Es importante destacar, que como se hizo ya mención, el motor no debe llevarse a una velocidad que exceda más del 50% su condición nominal, ya que ello repercutiría en el buen funcionamiento del motor, además de que la velocidad que se obtiene es a razón del "sacrificio" del par.

La velocidad queda limitada por la máxima velocidad periférica que permite el inducido y por la buena conmutación del motor, por un lado y por otro, debido a las necesidades de par por cubrir.

APENDICE

APENDICE A. ELEMENTOS PARA UN CONTROL AUTOMÁTICO.

A pesar de que la finalidad de este trabajo no es la de explicar un control automático, podría realizarse el mismo, partiendo de algunos elementos que nos permitieran tener un registro de las entradas y salidas que intervienen directamente en el cambio de la velocidad del motor, concretamente voltaje, corriente o la velocidad misma. Así pues si se deseara obtener la condición de velocidad mayor a la nominal para un motor de corriente directa, podría partirse del siguiente diagrama de bloques:



Básicamente podría censarse la entrada del voltaje de campo, acto seguido iría hacia algún elemento que le sirviera para comparar este valor con uno preestablecido, (un amplificador diferencial por ejemplo), posteriormente en caso de existir diferencia entre estos dos valores se ajustaría el voltaje de campo a través de otro elemento (por ejemplo un potenciómetro), que permitiera las condiciones deseadas, las cuales alimentarían al motor que nos daría una salida (en velocidad).

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

En caso de que la velocidad no fuera la deseada, se tomaría una lectura de esta a través de un transductor, que la convirtiera en una señal de voltaje para poder retroalimentarla.

Resulta de importancia indicar que el anterior diagrama es uno de tantos que podrían utilizarse, para tener un punto de partida en el diseño de un control automático. No se pretende con el mismo desarrollar un control automático, sino solamente, dar la pauta para establecer el principio del mismo.

De la misma forma cabe resaltar que el control será tan "automático", como el diseñador del mismo lo requiera, obviamente que a una mayor automatización corresponderá una proporcional complejidad y un mayor número de elementos deberán ser tomados en cuenta.

CONCLUSIONES

4.- CONCLUSIONES.

La gama de aplicaciones que tiene el motor de corriente directa, así como su versatilidad en formas de conexión y control, lo hacen destacar en su utilización comercial. La facilidad con que se puede controlar su velocidad brinda al Ingeniero Mecánico Electricista, la oportunidad de utilizarlo como mejor le convenga. Aunque el motor de cd, por sí solo resulta costoso (\$), la forma de controlarlo puede ser bastante económica, además de que a diferencia de los motores de corriente alterna, posee un gran par de arranque.

Dentro del control del motor, podría hacerse una combinación de un control por armadura y un control por campo, para poder tener la ventaja de poder llevar la velocidad del motor desde cero, condición nominal y por encima de la condición nominal.

Las características de un control como el desarrollado en este trabajo son aplicables siempre que se requiera una velocidad superior a la nominal, con una potencia constante, sin importar la pérdida relativa del par.

Es importante establecer que el control manual aquí descrito también puede realizarse de forma automática, para ir regulando la velocidad a nuestra conveniencia sin necesidad de intervenir directamente, esto abre expectativas a otros estudiantes de ingeniería interesados en el tema.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFÍA.

*** Electricidad para técnicos.**

Abraham Marcus.

Ed. Diana.

*** Máquinas eléctricas y transformadores.**

Irving L. Kosow.

Ed. Prentice Hall.

*** Máquinas eléctricas y electromecánicas.**

Syed A. Nasar.

Serie Shaum, Ed. Mc Graw Hill.

*** Fundamentos de electricidad.**

Milton Gussow.

Serie Shaum, Ed. Mc Graw Hill.

*** Control de motores eléctricos.**

Walter N. Alerich.

Ed. Diana.

*** Motores eléctricos industriales y dispositivos de control.**

F. T. Bartho.

Ediciones URMO.