



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Estudios Superiores  
"Cuautitlán"



**DISEÑO, PUESTA EN MARCHA, CONTROL Y  
MANTENIMIENTO DE MOTORES DE CORRIENTE  
DIRECTA. CONTROL MANUAL DE VELOCIDAD POR  
RESISTENCIAS EN INDUCIDO EN SERIE Y SHUNT DE  
UN MOTOR DE CORRIENTE DIRECTA.**

**TRABAJO DE SEMINARIO**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

P R E S E N T A :

**DAVID ARTURO ORTIZ PERALTA**

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



**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.



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

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 Resistencias en Inducido en Serie y Shunt de un Motor de Corriente Directa.

que presenta el pasante: David Arturo Ortiz Peralta  
con número de cuenta: 8031975-9 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 21 de Febrero de 1996.

MODULO:	PROFESOR:	FIRMA:
<u>II</u>	<u>Ing. Anselmo Angoa Torres</u>	<u>[Signature]</u>
<u>III</u>	<u>Ing. Sabás Flores Ascencio</u>	<u>[Signature]</u>
<u>IV</u>	<u>Ing. Victor Hugo Landa Orozco</u>	<u>[Signature]</u>

DEP/VOB05EN

## **AGRADECIMIENTOS**

**Dedico este trabajo:**

**A mis Padres,  
Lorenzo y Consuelo.  
Gracias por la gran oportunidad  
que me han dado para poder  
realizar este sueño, ser profesionista.  
No los defraudaré.**

**A mis hermanos,  
Teresa, Jorge, Guillermo, Víctor.  
Gracias por el apoyo brindado  
de una o de otra manera para  
terminar esta carrera.**

**A mis sobrinos.  
Gracias, porque con sus risas y travesuras  
me motivan para seguir adelante  
y formar mi propia familia y  
alcanzar otra de mis metas.**

**A mis amigos y familiares.  
Gracias por sus consejos y amistad.  
los tendré presente siempre.**

**A tí, Ana.  
Gracias por la paciencia, cariño y comprensión  
que me has brindado siempre y  
por estar conmigo en todo momento.**

**A mi gran amigo Moisés.  
Gracias por todo el apoyo técnico  
para la culminación de este trabajo.**

**A la Universidad Nacional Autónoma de México.  
Gracias por la estancia dentro de sus aulas  
todo este tiempo. Así como a la  
Facultad de Estudios Superiores de Cuautitlán, por  
formarme como persona y profesionista.**

**A todos ustedes con cariño.**

**ARTURO.**

**CONTROL MANUAL DE  
VELOCIDAD POR  
RESISTENCIAS EN  
INDUCIDO EN SERIE Y  
SHUNT DE UN MOTOR  
DE CORRIENTE  
DIRECTA.**

## **CONTENIDO**

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>1.- DESCRIPCIÓN DEL MOTOR DE C.D.</b>	
1.1.- Definición del motor de corriente directa	2
1.2.- Componentes básicos del motor de corriente directa	2
1.3.- Construcción del motor de corriente directa	4
1.4.- Funcionamiento básico del motor de corriente directa	5
<b>2.- CONEXIÓN DE LOS MOTORES DE C.D.</b>	
2.1.- Conexión serie	10
2.2.- Conexión en paralelo (derivado)	12
2.3.- Conexión compuesto	13
2.4.- Curvas características.	15
<b>3.- DESCRIPCIÓN DE CONTROL</b>	
3.1.- Definición de control	17
3.2.- Tipos de control	17

<b>4.- MÉTODOS DE CONTROL MANUAL DE VELOCIDAD</b>	
4.1.- Control de campo	<b>22</b>
4.2.- Control por resistencia en inducido	<b>23</b>
4.3.- Control de tensión de inducido	<b>24</b>
4.4.- Control por resistencia en inducido en serie y shunt	<b>25</b>
<b>4.5.- EXPLICACIÓN DE CONTROL POR RESISTENCIA EN INDUCIDO EN SERIE Y SHUNT</b>	<b>26</b>
4.6.- Ventajas del control de velocidad de resistencia en inducido en serie y shunt	<b>28</b>
4.7.- Desventajas del control de velocidad de resistencia en inducido en serie y shunt	<b>28</b>
<b>5.- CONCLUSIONES</b>	<b>29</b>
<b>APÉNDICE</b>	<b>30</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>32</b>

## **INTRODUCCIÓN**

**En la industria moderna se utilizan en gran cantidad el motor eléctrico dentro de los mecanismos de producción que trabajan a velocidades variables. A este grupo se refieren las máquinas-herramientas, trenes de laminado, grúas y aparatos de transporte, así como distintos mecanismos de la industria papelera, hulera, textil, y otras ramas industriales.**

**En todos estos mecanismos, lo mismo que en muchos otros, a fin de conseguir elevada productividad y debida calidad de trabajo, es necesario aplicar la regulación de la velocidad.**

**Debido a esto el motor de corriente continua tiene la característica de variar su velocidad más fácilmente que el motor de corriente alterna esto es desde cero hasta velocidad nominal y por encima de dicha velocidad nominal por esta razón este tipo de motores es más práctico para cuando la carga es muy variada constantemente esto es porque poseen un alto par de arranque.**

**Es muy importante que se mencione las distintas formas de control de velocidad para los motores de corriente continua, pero en este trabajo se enfocara principalmente al método de resistencias en el inducido en serie y en shunt (paralelo).**

## **1.- DESCRIPCIÓN DEL MOTOR DE CORRIENTE DIRECTA.**

### **1.1.- Definición del motor de corriente directa.**

La máquina de corriente directa es un dispositivo que transforma energía mecánica en energía eléctrica, o energía eléctrica en mecánica. En el primer caso trabaja en la modalidad de generador y en segundo en la modalidad de motor.

La energía mecánica entra a la máquina o sale de ella por conducto de una flecha de movimiento rotatorio.

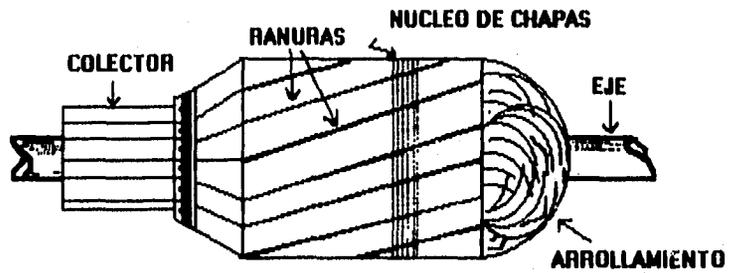
Usualmente esta energía se mide por unidad de tiempo, o sea con base en el concepto de potencia.

### **1.2.- Componentes básicos del motor de C.D.**

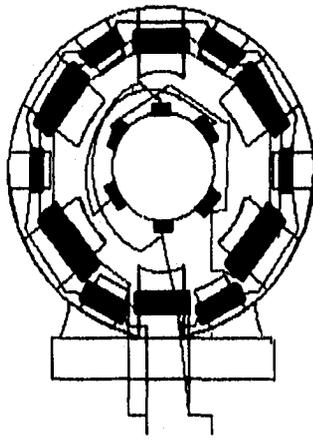
Los motores de corriente directa desde un punto de vista mecánico esta constituido por dos grandes grupos de partes:

a) Estator. Abarca el conjunto de piezas inmóviles (o estáticas, de donde toma su nombre) como lo muestra la figura 1. A menudo, cuando nos referimos al estator hablamos solamente de los órganos electromagnéticos fijos en el interior de la coraza pero en rigor son todas las piezas que aparecen en la figura 1.

b) Rotor. Abarca el conjunto de piezas giratorias (o rotatorias, de donde toma su nombre) que también se ilustran en la misma figura 1.

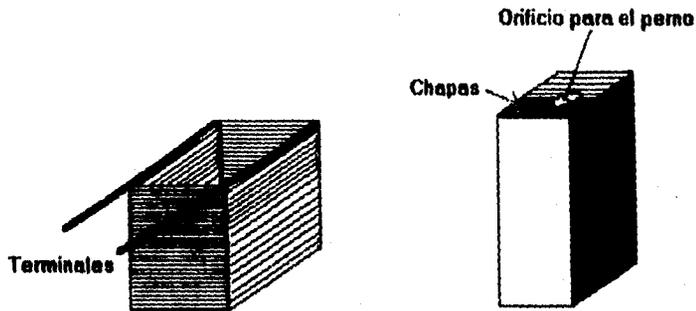


**INDUCIDO DE MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA CON RANURAS  
OBLICUAS Y PROVISTO DE BOBINADO**



**ESTATOR DE MOTOR DE C.D. PROVISTO DE ZAPATAS  
POLARES CON BOBINAS Y POLOS AUXILIARES**

Fig. 1.



**BOBINA DE POLO AUXILIAR Y NÚCLEO DE CHAPA  
SOBRE EL QUE VA MONTADA**

Fig. 1.

### 1.3.- Construcción del motor de C.D.

El estator esta compuesto por la carcaza donde se colocan los polos y las zapatas polares laminadas donde van colocadas las bobinas inductoras, las tapas reciben los cojinetes, el portaescobillas y escobillas todo esto se sujeta a la base.

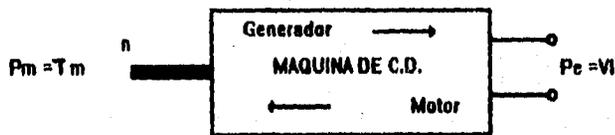
El rotor esta construido por la flecha donde se montan las laminaciones de material ferromagnético (hierro o acero) aisladas por medio de una capa de barniz, donde se colocan las bobinas de armadura y posteriormente recibe el colector que esta compuesto de delgas de cobre aisladas entre si por medio de papel o mica.

#### 1.4.- Funcionamiento básico del motor de C.D.

La función principal del motor de corriente directa es la de transformar la energía eléctrica en energía mecánica rotatoria.

La energía eléctrica sale o entra a la máquina, por conducto de cables y conexiones eléctricas.

El proceso de conversión de energía se representa de la forma más elemental, como lo muestra el diagrama de bloque de la figura 2



Conversión de energía en una máquina de corriente directa.

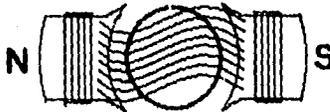
Fig. 2

A continuación se dará una breve explicación del funcionamiento básico del motor:

Para inducir una fuerza electromotriz se requieren tres componentes:

- a) Un flujo magnético
- b) Un conductor con dirección perpendicular al flujo
- c) Un movimiento relativo entre conductor y flujo cuya dirección es mutuamente perpendicular a ellos.

El flujo magnético en la máquina lo proporciona una fuente de fuerza magnetomotriz, y las líneas de flujo recorren las diferentes piezas que constituyen el circuito magnético como lo ilustra la figura 3.1.



**Corte transversal del circuito magnético  
de la máquina de C.D.**

FIG. 3.1

El recorrido de toda línea de flujo podría comenzar en cualquier punto, por ejemplo, en la pieza polar norte, y continuar por la zapata polar norte, entre hierro norte, núcleo de armadura, entre hierro sur, zapata polar sur, pieza polar sur, coraza y cerrar nuevamente en la pieza polar norte.

Las líneas de flujo se rechazan entre sí, de modo que en piezas como las zapatas polares ocupan todo el lugar disponible, atravesando así el núcleo de armadura con la mayor extensión posible.

Otra propiedad de las líneas es que son elásticas, por lo que ante un obstáculo como el entre hierro buscan el camino más corto, o sea la dirección radial.

En la misma figura se observa alrededor de la pieza polar norte y sur, el corte de la bobina de excitación que constituyen la fuente de fuerza magnetomotriz.

Si se hace circular una corriente  $i$  por la bobina de  $N$  vueltas, se establece la fuerza magnetomotriz que es producto de estas dos cantidades.

$$F_{mm} = NI.$$

Al dividir la fuerza magnetomotriz entre la longitud media del circuito representada por la línea magnética que se ilustra en el dibujo se obtiene la fuerza magnetizante.

$$H = \frac{NI}{L}$$

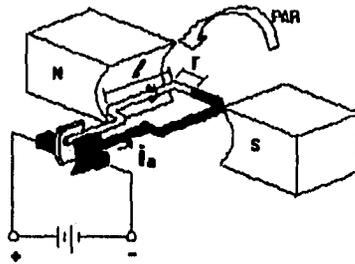
La fuerza magnetizante establece un flujo  $\Phi$  en el circuito. Dividiendo el flujo entre el área de la sección transversal se obtiene la densidad de flujo

$$B = \frac{\Phi}{A}$$

Para iniciar el razonamiento de como se produce el par en un motor de C.D. recurrimos a la armadura más simple, como es la de una sola espira mostrada en la figura 3.2. Si colocamos la espira en el campo magnético y hacemos pasar una corriente por ella, el campo magnético así creado interactúa con el campo existente y esto produce una fuerza en los conductores cuyo valor es:

$$f = Bli.$$

El sentido de la fuerza se puede deducir por la regla práctica de la mano derecha, resultando como lo muestra la figura 3.2. Las fuerzas producidas son de sentido opuesto en cada costado y forman entre las dos un par, a este par se le da el nombre de Par Electromagnético.



**CORRIENTE A TRAVÉS DE UNA ESPIRA QUE CREA UN PAR.**

**FIG. 3.2**

El par es una fuerza de torsión que se ejerce sobre cada costado de la espira y la hace girar sobre su propio eje. El valor del par es el producto de la fuerza por su radio de acción.

$$T = fr$$

Al sustituir el valor de la fuerza en la expresión anterior se obtiene:

$$T = Bli_r$$

Cuando el plano de la espira es perpendicular al campo, la armadura se encuentra en el plano neutro. Si la armadura se encuentra en el plano neutro la interacción magnética está en equilibrio y no se desarrolla par. Si se aplicará potencia a una armadura en reposo en el plano neutro, no se desarrollaría par y la armadura no giraría, pero la inercia hace que la espira se mueva hacia el siguiente polo.

Al continuar girando la espira, el conmutador invierte la dirección de la corriente de manera que el campo magnético interactúa con la espira para producir un par, que mantiene a la espira girando en la misma dirección.

En el plano neutro la inercia lleva a la espira hacia la posición inicial y el ciclo se repite. Lo anterior se muestra en la figura 3.3.

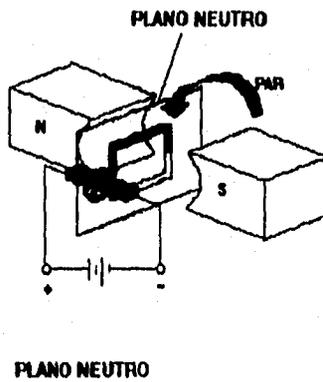


FIG. 3.3

## 2.- CONEXIONES DE LOS MOTORES DE CORRIENTE DIRECTA.

### 2.1.- Conexión serie.

El motor con conexión serie esta constituido por los devanados de campo se conectan en serie con el devanado de armadura. La corriente de la linea es igual a la corriente de armadura y también a la corriente del campo por el tipo de conexión.

EL voltaje total es igual a la suma del voltaje de armadura más la caída de voltaje a través de la resistencia del campo serie.

La figura 4 muestra un esquema simplificado de este tipo de conexión.

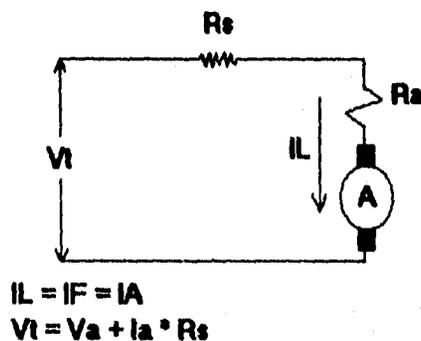


DIAGRAMA DE CONEXIÓN SERIE

Fig. 4

Las bobinas del campo se devanan con alambre de grueso calibre y un numero pequeño de vueltas, debido a que la corriente que circula por la armadura y por la bobinas del campo es muy elevada esta bobina aunque tiene pocas vueltas si puede establecer un campo magnético fuerte.

Como se hace de alambre grueso y pocas vueltas es muy confiable para conducir la corriente sin presentar demasiada resistencia.

Cuando se arranca un motor en serie, como no existe fuerza contraelectromotriz, fluye una gran corriente por las bobinas de la armadura y el campo. Esto hace que se produzca un gran par de torsión de arranque.

Este tipo de motor no se debe de arrancar sin carga (en vacío) o con acoplamiento peligroso como bandas, cadenas, etc., para evitar sobrevelocidades peligrosas que pueden dañar al motor y provocar algún accidente en el usuario.

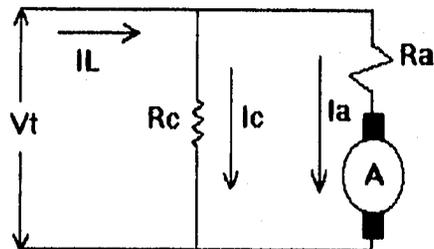
Sabemos que la velocidad va en función de la corriente de armadura por lo que la forma para limitar esta velocidad es poniendo un carga constante.

Se emplea en el accionamiento de cargas que requieren un par de torsión elevado, con velocidad variable. Algunas aplicaciones se encuentran en grúas montacargas, transportadores, puentes, locomotoras eléctricas, tranvías.

## 2.2.- Conexión en paralelo (shunt) de un motor de C.D.

En este tipo de conexión la bobina del campo se conecta en paralelo (o derivación) con la armadura, y de ahí el nombre que toma este tipo de excitación.

La figura 5. muestra un esquema simplificado de este tipo de conexión.



$$V_t = V_c = V_a$$

DIAGRAMA DE CONEXIÓN EN PARALELO (SHUNT)

Fig. 5.

Las bobinas se devanan con alambre delgado y un alto número de vueltas. La fuerza magnetomotriz se produce por la gran cantidad de vueltas, y una corriente de excitación pequeña.

El voltaje total  $V_t$ . es igual a los voltajes de campo  $V_c$ . y de armadura  $V_a$ . La corriente de la línea es la suma de las corrientes de armadura y de campo.

Para este tipo de conexión la corriente de excitación es de pequeña intensidad y se deriva del circuito de armadura.

La necesidad de mantener la corriente de excitación impide que se le pueda aplicar voltaje variable. La fuente debe de ser de voltaje constante.

Cuando arrancamos un motor en derivación, fluye una corriente alta de la línea a través de la armadura esto debido a la falta de fuerza contraelectromotriz, pero como el campo tiene una resistencia alta, circula por el, una corriente de línea comparativamente pequeña. Debido a esto el par de torsión de arranque es menor que en el motor serie.

El campo permanece constante, por lo que la velocidad varía muy poco bajo cualquier variación en la carga.

Los motores en derivación tienen un par moderado de arranque por lo que se emplean en accionamientos donde se requiere una velocidad constante. Se puede usar en velocidades ajustables, algunas de sus aplicaciones se encuentran en ventiladores, máquinas para papel, máquinas de impresión, sopladores etc.

### **2.3.- Conexión compuesta de un motor de C.D.**

En un motor compuesto existe la combinación de un campo en derivación y un campo serie. El flujo del campo resultante es la suma o la resta de la combinación de ambos devanados.

El campo en derivación contribuye en mayor medida que el campo serie en este tipo de motores. Cuando el campo serie se suma al campo en derivación el motor es compuesto acumulativo. Cuando el campo serie está en oposición al campo en derivación el motor es compuesto diferencial.

Este tipo de procesos exhiben las dos características de los dos modelos expuestos anteriormente que son una velocidad constante y un punto de avance inicial.

Los procesos ocurren en aplicaciones en laminadores, cristales, puentes y cargas. En el primer caso, el avance diferencial en aumento de la carga, el segundo caso que produce una distribución del flujo total, con un sistema muy alta velocidad desde el momento de comenzar.

Al considerar procesos similares, esta puede ser una buena medida el tiempo que se consume en un proceso de este tipo, así la línea se dice que es del

A la hora de analizar los dos tipos de comportamiento del



ANÁLISIS DE LA CONDICIÓN DEL CEMENTO EN EL  
MOMENTO DE LA CURA  
[Illegible text]

Este tipo de motores combina las dos características de los dos motores expuestos anteriormente que son una velocidad constante y un gran par de arranque inicial.

Este tipo de motores tiene su aplicación en laminadoras, cizallas, prensas y cargas intermitentes etc. En el motor compuesto diferencial un aumento de la carga, aumenta el flujo en el campo serie que provoca una disminución del flujo total, esto ocasiona que el motor presente mucha inestabilidad dejado fuera de cualquier aplicación práctica.

Existe otra diferencia en cuanto a la conexión compuesta acumulativa, esta puede ser corta o larga. Se dice que es de tipo largo cuando el campo serie se conecta en serie con la armadura y en el caso de conectarlo en serie con la línea se dice que es del tipo corto.

A continuación las figuras 6.1 y 6.2 nos muestran los dos tipos de conexiones del compuesto acumulativo.

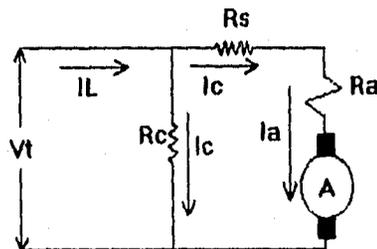


DIAGRAMA DE CONEXIÓN DEL COMPUESTO  
ACUMULATIVO LARGO

FIG. 6.1

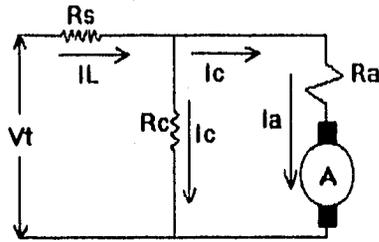
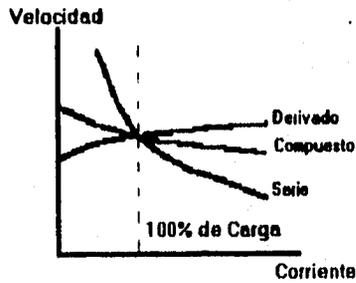


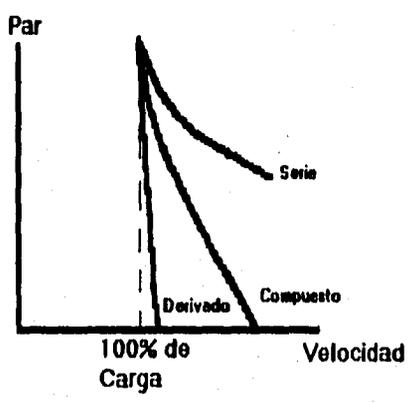
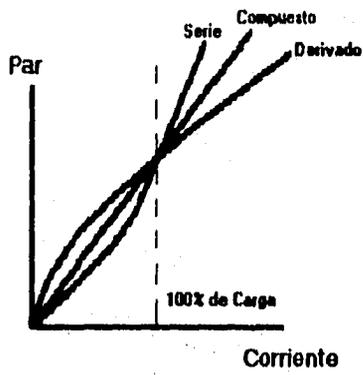
DIAGRAMA DE CONEXIÓN DEL COMPUESTO  
ACUMULATIVO CORTO

Fig. 6.2

**2.4.- Curvas características de los motores de C.D.**

A continuación, en la figura 7, se muestran las comparaciones del comportamiento de los diferentes tipos de motores por medio de sus curvas características





COMPARACIÓN DE LOS DIFERENTES  
TIPOS DE MOTORES DE C.D.

Fig. 7

### **3.- DESCRIPCIÓN DE CONTROL DE MOTORES DE C.D.**

#### **3.1.- Definición de control.**

Control es un conjunto de dispositivos que sirven para dominar o mandar de alguna forma las operaciones o acciones que realiza el motor.

#### **3.2.- Tipos de control.**

a) Manuales. Este tipo de control como su nombre lo dice interviene el elemento humano para estarlo operando durante todo el proceso que dure la operación del motor.

b) Automáticos. Este tipo de control, tiene una retroalimentación por si mismo durante todo el ciclo de la operación del motor, esto sin la intervención del elemento humano.

Dentro de estos tipos de control existen diversas clasificaciones según la función que se desee controlar es decir podemos tener:

- Arranque. Que generalmente se usa para proteger al motor de una corriente de arranque muy elevada y para arrancar el motor gradualmente, para proteger la carga.

- **Frenado.** Esto es con el fin de frenar la inercia del motor por medio de un dispositivo, ya que no basta con la desconexión de la línea de alimentación, debido a que en diversas aplicaciones es necesario que el controlador sea capaz de accionarlo.
- **Inversión.** Es posible invertir el sentido de rotación del motor, mediante la inversión de su flujo de campo o bien de su corriente de inducido de acuerdo con la regla de la mano derecha, como se muestra en la figura 8. Esto por medio de la inversión de las conexiones del circuito de inducido o en los campos.



FIG. 8

- **Velocidad.** La idea de variar la velocidad es debido a que en la industria se requiere de velocidades diferentes a la velocidad nominal, ya sea por encima o por abajo de esta en rangos muy precisos o variados en diversos rangos que se designen.

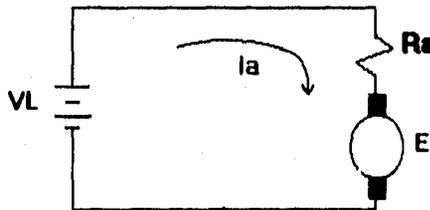
A continuación mostraremos cuatro tipos de métodos para variar la velocidad por lo que se analizarán algunas características del control de motores de C.D.

Realizando leyes de voltaje de Kirchoff en un motor de C.D. en estado estable, obtenemos:

$$V_a = I_a R_a + E + \Delta V$$

Donde  $\Delta V$  tiende a CERO.

Se suponen pérdidas pequeñas en escobillas.



La velocidad esta dada en revoluciones por minuto (r.p.m.) pero dicha velocidad esta en función del flujo del campo por lo que se deduce:

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

Donde:  $V_a$  = Voltaje de armadura.

$E$  = Fuerza contraelectromotriz.

$I_a$  = Corriente de armadura.

$R_a$  = Resistencia de armadura.

$\Delta V$  = Perdidas en las escobillas.

La caída de tensión en las escobillas se considera despreciable por lo que la ecuación queda de la siguiente manera:

$$V_a = E + I_a R_a \quad (v).$$

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

$$E = V_a - I_a R_a \quad (v). \quad \text{----- (1)}$$

Pero sabemos que la fuerza contraelectromotriz en un motor esta definida por la siguiente expresión:

$$E = \frac{Z p n \Phi * 10^{-4}}{a * 60} \quad (v)$$

donde:

$E$  = Fuerza contraelectromotriz.

$z$  = Numero de conductores en la armadura.

$p$  = Numero de polos.

$\Phi$  = Flujo por polo en lineas

$a$  = Numero de trayectorias paralelas en la armadura.

$n$  = Velocidad en r.p.m..

Pero como las variables de  $z$ ,  $p$ ,  $a$ , dependen de la constitución de la máquina, se puede formar una constante  $K$  de la siguiente manera:

$$K = \frac{Z p * 10^{-4}}{a * 60}$$

El resultado de esto se da en la siguiente expresión:

$$E = K_1 \Phi$$

Si la expresión anterior la reescribimos en función de la velocidad, tenemos la siguiente ecuación:

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

Sustituyendo el valor de (E) de la ecuación 1 en la ecuación de la velocidad, (ecuación 2) obtenemos:

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

Esta ecuación (3) es la ecuación fundamental de la velocidad de los motores de C.D.

La velocidad de un motor de C.D. puede variarse mediante el cambio de una de las variables de la ecuación fundamental de la velocidad:  $n = K_1 \frac{V_a - I_a R_a}{\Phi}$ . Además dependiendo del cambio de las variables podemos ver el desempeño de los motores.

#### 4.- MÉTODOS DE CONTROL MANUAL DE VELOCIDAD.

4.1.- Control de campo. Este método consiste en la modificación del flujo de excitación, por medio de un reóstato variable serie o shunt.

La figura 9 muestra el diagrama de conexión de este método.

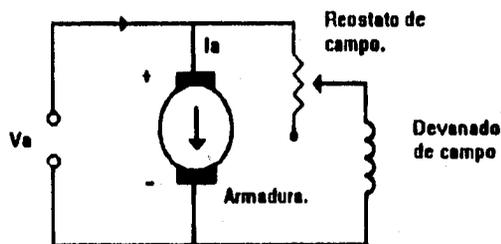


FIG. 9

Algunas de las características de este control son:

- Variación de velocidad suave y continua
- Es económico y sencillo de implementar
- Si el flujo desciende demasiado la velocidad crece indefinidamente
- El control es de sólo el 50% arriba de la velocidad básica
- Las pérdidas son apenas del 3 al 5% de la potencia absorbida por el motor, por lo que tiene buen rendimiento.
- El motor debe arrancarse a plena corriente de excitación.

**4.2.- Control de la resistencia del inducido.** Variación de la tensión  $V_a$  en bornes de inducido mediante el empleo de una resistencia variable en serie con el inducido.

La figura 10 muestra el diagrama de conexión de este método.

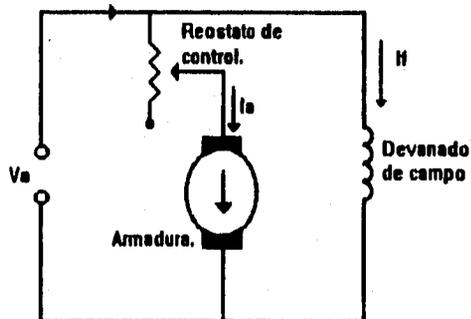


FIG. 10

Algunas de las características de este control son:

- Presenta facilidad de conexión
- Combina arranque con control de velocidad
- Sus velocidades son por debajo de la básica o nominal
- Muy pobre regulación
- Rendimiento bajo y por tanto un costo grande de funcionamiento
- Costo muy elevado de las resistencias para disipar la energía.

**4.3.- Control de tensión de inducido.** Este método emplea una fuente controlada de tensión de C.D. variable para modificar la tensión  $V_a$  en bornes del inducido de un motor de excitación independiente.

La figura 11 muestra el diagrama de conexión de este método.

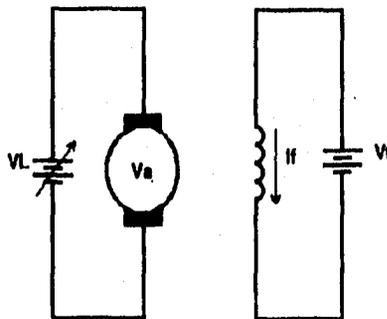


FIG. 11

Algunas de las características de este tipo de control son:

- Alcanza velocidades desde cero hasta la nominal
- Aceleración muy suave
- Invertiendo la polaridad de la fuente se invierte el sentido de giro.
- No hace falta un arrancador
- Es muy conveniente para motores pequeños
- No puede lograr velocidades arriba de la nominal.

**4.4.- Control de la resistencia de inducido en serie y shunt. Variación de la tensión  $V_a$  en bornes de inducido, y la corriente  $I_a$  en el mismo, mediante la combinación de dos resistencias variables en paralelo y en serie con el inducido.**

La figura 12 muestra el diagrama de conexión de este método.

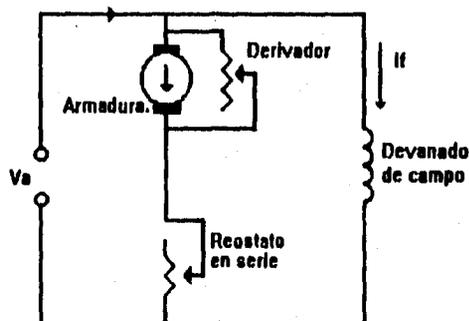


FIG. 12

A continuación se dará una explicación más detallada de este tipo de control, debido que es el tema principal de este trabajo.

Se mencionarán características principales, así como sus ventajas y desventajas y se comparará con los controles mencionados anteriormente. Con esto se pretende explicar más acerca del control por resistencia en inducido en serie y shunt.

#### 4.5.- EXPLICACIÓN DEL CONTROL DE RESISTENCIA EN INDUCIDO EN SERIE Y SHUNT.

La figura 13 muestra el esquema simplificado de un control de la velocidad por reóstato que emplea resistencias combinadas en serie y en paralelo con el inducido. Rsh. es una resistencia variable que deriva el inducido, y Rs es una resistencia variable en serie con el inducido.

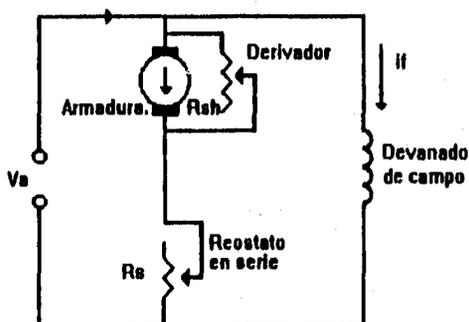


Fig. 13

La primera actúa como un desviador que tiende a reducir la corriente de inducido a medida que se reduce la resistencia (Rsh). La última,  $R_s$ , actúa de la misma forma que el control sencillo de la resistencia de inducido mencionado anteriormente.

De forma que, en la ecuación fundamental de la velocidad,  $n = K_1 \frac{V_a - I_a R_a}{\Phi}$  para un flujo de campo constante, a una carga determinada, un aumento de  $R_s$  producirá una disminución de  $V_a$  y una caída de la velocidad.

Un aumento de  $R_{sh}$  producirá un aumento en la caída  $I_a R_a$  y también una disminución de la velocidad. La velocidad puede aumentarse, por tanto disminuyendo conjuntamente  $R_s$  y  $R_{sh}$ , (esta última dentro de ciertos límites). Como en el caso del control de campo, existe un límite máximo permisible al efecto shunt producido por  $R_{sh}$  a velocidades muy elevadas. Si el valor de  $R_{sh}$  se aproxima al de un cortocircuito en los bornes del inducido, se origina una extrema inestabilidad del par como resultado de la tendencia hacia velocidades elevadas y un aumento de carga.

El par motor se produce como resultado de la interacción entre el campo y el flujo de inducido. Una disminución de la corriente y el flujo de inducido se traduce en una disminución del par. El efecto neto de la resistencia shunt,  $R_{sh}$ , reside en hacer la velocidad de funcionamiento menos susceptible a los cambios del par resistente de la carga y como resultado, mejora la regulación de la velocidad del motor. El control por resistencias shunt en bornes de inducido, junto con la resistencia de inducido, se empleará, por tanto, donde se desee mantener aproximadamente la misma velocidad de funcionamiento y cuando el par resistente tienda a variar. Esta resistencia puede emplearse cuando se quiera proporcionar el frenado dinámico (se completa la explicación del Frenado Dinámico en el Apéndice).

**4.6.- Ventajas del control de velocidad de la resistencia de inducido en serie y shunt.**

- Mejor regulación de la velocidad (superior a la que se obtiene por resistencia en inducido).
- Puede emplearse para frenado dinámico.
- El control es suave.
- No es necesario un arrancador
- No hay riesgo de perder el campo porque la corriente de campo es constante.
- Puede variar la velocidad por abajo y por arriba de la nominal.

**4.7.- Desventajas del control de velocidad de la resistencia de inducido en serie y shunt.**

- $R_s$  es muy costosa.
- Tiene pérdidas  $R_s$  por efecto joule.
- El par es reducido aumentando la desviación de corriente de inducido
- Rendimiento reducido debido a las pérdidas de potencia en las resistencias.

Las características señaladas en este tipo de control como ventajas o desventajas, dependiendo del tipo de aplicación, pueden tener un efecto diferente en otro tipo de controles, ya sea tensión en inducido, de campo, y resistencia en inducido.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

## **5.- CONCLUSIONES.**

El motor de corriente directa tiene un sin fin de aplicaciones en la industria ,debido a las múltiples formas de conectarlo y métodos para controlar su velocidad dependiendo de las características que tenga la aplicación en donde se utilice. La forma de controlarlo es, relativamente baja en costo compensando la inversión del costo del motor de C.D.

Si agregamos que una de las ventajas de este tipo de motor a diferencia de los de corriente alterna es que posee un alto par de arranque . Lo coloca como una herramienta muy valiosa para que el usuario lo utilice como más le convenga de acuerdo a sus necesidades de operación .

## APÉNDICE

### FRENADO DINÁMICO

Existen muchas situaciones donde se requiere que el motor de C.D. y su carga tengan una reducción controlada de velocidad. Se consideran aquellos caso en donde se requiera un par en sentido contrario al par de control; esto es para diferenciar del control de velocidad que resulta de un menor o mayor par en el mismo sentido. Esto se aplica a cargas que son remontadas, por ejemplo, un elevador o trenes de mina, en éstos casos si el motor se desconecta el motor seguirá su caída y se descarrilaría. Similarmente, si un vehículo controlado eléctricamente, tal como un tren, desciende una montaña pronunciada todo el vehículo ganará velocidad peligrosamente a menos que se aplique un par de frenado. El método obvio es aplicar un freno y disipar la energía en forma de calor. El problema se resuelve así mismo dentro la necesidad de controlar la reversa del par en el motor, si el motor se modifica para que opere como generador, la energía recibida en la flecha se convertirá en energía eléctrica, la energía eléctrica puede disiparse en un gran número de formas. Lo que significa que el motor puede absorber la mayor parte de energía que entra como generador, a la que podría desarrollar como motor. El problema de la reducción controlada de la velocidad, se resuelve por medio del frenado dinámico.

El control de frenado dinámico debe seguir la siguiente secuencia en su operación.

1. Se desconecta el circuito de armadura del suministro de energía abriendo su contactor principal. El circuito paralelo se deja conectado y energizado, o si originalmente es un motor serie, se conecta a la línea un campo derivado separado.

2. El motor opera ahora como si fuera un generador derivado con excitación separada y producirá voltaje de acuerdo a sus características de construcción, su velocidad de rotación y su flujo magnético de campo.
3. La armadura se conecta a las resistencias que son usualmente la resistencias de arranque. Esto origina una corriente circulante a través de las resistencias. La potencia desarrollada se relacionará a la corriente y a la resistencia por  $P = I^2 R$ . Esta potencia se relaciona al par requerido para mover el motor, que ahora es generador. El par requerido se puede ajustar por el flujo de campo o por las resistencias.
4. La carga de posición ajustará su velocidad hasta que alcance la potencia necesaria, esta potencia será la que desarrolle debido a las resistencias en el circuito de armadura. El descenso de la carga puede hacerse tan moderadamente como se requiera.

Con este tipo de control la carga no se puede detener si ésta es de naturaleza de poca inercia puesto que, como el motor gira lentamente, el voltaje que se genera decrece y así la corriente es menor, por tanto la potencia que se absorbe es menor. Para detener un motor frenándolo dinámicamente, se requiere ya sea, un freno mecánico o la operación de reversa del motor. Si la carga es de mayor inercia, el freno dinámico dará como resultado un paro rápido.

## **BIBLIOGRAFÍA.**

**CONTROL DE MOTORES**

**IRVING L. KOSOW**

**EDITORIAL REVERTE.**

**GENERADORES, MOTORES Y TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS**

**VÍCTOR PÉREZ AMADOR BARRÓN**

**DEPARTAMENTO DE PUBLICACIONES DE LA FACULTAD DE  
INGENIERÍA**

**CONTROL DE MOTORES ELÉCTRICOS**

**WALTER N. ALERICH**

**ED. DIANA**

**MAQUINAS ELÉCTRICAS Y TRANSFORMADORES**

**IRVING L. KOSOW**

**ED. PRENTICE HALL**

**MAQUINAS DE CORRIENTE DIRECTA**

**MICHAEL LIWSCHITZ GARIK**

**C.E.C.S.A.**