

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

"APLICACION DE UN PLC EN EL CONTROL
DE MAQUINAS DE C. D."

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
(AREA ELECTRICA Y ELECTRONICA)

P R E S E N T A:

RAFAEL ALCOCER CALDERA

DIRECTOR DE TESIS

ING. JUAN MANUEL ROJAS GOMEZ

MEXICO, D. F.

1995.

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.

AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis, Ing. Juan Manuel Rojas Gomez, por su constante asesoría en el desarrollo de este trabajo.

Al personal del Laboratorio de Electrica (Facultad de Ingenieria) por las facilidades y apoyo que me brindaron.

A mis profesores que me proporcionaron los conocimientos a lo largo de estos años de estudio.

A mis compañeros y amigos que me motivaron y confiaron en la realizacion de este trabajo.

A mis padres.

A mi hermano.

A mis tías y parientes.

INDICE DE CONTENIDO

	pag.
CAPITULO 1. BREVE DESCRIPCION DE LOS MOTORES DE C.D.	1
1.1 INTRODUCCION	2
1.2 CARACTERISTICAS DE LOS MOTORES DE C.D.	3
1.3 TIPOS DE MOTORES DE C.D.	7
1.4 CARACTERISTICAS DEL PAR VELOCIDAD	15
1.5 CONTROL DE VELOCIDAD	17
1.6 REGULACION DE VELOCIDAD	18
1.7 CONCLUSIONES	21
CAPITULO 2. FORMAS DE CONTROLAR LA VELOCIDAD EN UN MOTOR DE C.D.	23
2.1 ARRANQUE DE MOTORES DE C.D.	24
2.1.1 ARRANCADORES MANUALES	24
2.1.2 ARRANCADORES AUTOMATICOS	33
2.2 CONTROL DE MOTORES DE C.D.	60
2.2.1 INTRODUCCION	60
2.2.2 CONTROL MANUAL Y AUTOMATICO DE MOTORES DE C.D.	61
2.2.3 CONTROL ELECTRONICO	64
2.3 FRENADO DE MOTORES DE C.D.	66
2.3.1 FRENADO POR INVERSION	66
2.3.2 FRENADO REGENERATIVO	67
2.3.3 FRENADO DINAMICO	68
CAPITULO 3. ANALISIS DE RESPUESTA DE LAS VARIABLES A CONTROLAR	69
3.1 ANALISIS DE RESPUESTA	70
3.2 CIRCUITO MAGNETICO	71
3.3 MAGNETIZACION E HISTERESIS	73
3.4 CURVA DE MAGNETIZACION	76
3.5 FUNCION DE FROELICH	80

	pag.
3.6 FURZA ELECTROMOTRIZ ENTRE LAS ESCOBILAS DE UNA MAQUINA REAL ..	83
3.7 CURVA DE SATURACION EN VACIO	85
3.8 CONVERSION DE ENERGIA	88
3.9 REACCION DE ARMADURA	89
3.10 PERDIDAS	90
3.10.1 PERDIDAS ELECTRICAS	90
3.10.2 PERDIDAS MECANICAS	93
3.10.3 PERDIDAS MAGNETICAS	94
3.10.4 PERDIDAS ROTACIONALES	95

CAPITULO 4. DESCRIPCION Y FUNCIONAMIENTO

DEL PLC	97
4.1 INTRODUCCION	98
4.2 CARACTERISTICAS DEL PLC	100
4.3 PARTES DEL SISTEMA	101
4.3.1 UNIDAD CENTRAL DE PROCESAMIENTO (CPU)	103
4.3.2 MONITOR DE PROGRAMA (PM) O PROGRAMADOR	104
4.3.4 MODULO DE ENTRADA Y SALIDA	106
4.3.5 IMPRESOR	108
4.3.6 GRABADOR-TOCADOR DE CINTA O DISCO	109
4.3.7 INTERCONEXION OPCIONAL DE LOCALIZACION-REMOTA	109
4.4 PROCEDIMIENTOS OPERACIONALES	110
4.5 CONTROL DE BOBINAS Y CONTACTOS: DIRECTO Y LOGICA DIGITAL	115
4.6 DIRECCIONES Y REGISTROS	125
4.7 TIMERS Y CONTADORES	127
4.8 FUNCIONES DISCRETAS	130
4.8.1 SUMA	130
4.8.2 RESTA	131
4.8.3 MULTIPLICACION	132
4.8.4 DIVISION	133
4.8.5 COMPARACION	134

	pag.
CAPITULO 5. APLICACION DEL PLC PARA EL CONTROL DE LA VELOCIDAD EN MOTORES DE C.D.	136
5.1 INTRODUCCION	137
5.2 CONFIGURACION	138
5.3 PROGRAMACION	139
5.3.1 INSTRUCCIONES	139
5.3.2 COMANDOS	145
5.4 PROCEDIMIENTOS OPERACIONALES	154
5.4.1 GUIA DE OPERACION	154
5.4.2 BORRAR MEMORIA	155
5.4.3 INICIAR UN PROGRAMA NUEVO	156
5.4.4 ADICION DE NUEVAS SECUENCIAS A UN PROGRAMA	157
5.4.5 BORRAR ELEMENTOS DE UN PROGRAMA	158
5.4.6 DESPLEGADO DE UN PROGRAMA	159
5.4.7 CAMBIO DE UN ELEMENTO EN UN PROGRAMA Y MODIFICACION DEL VALOR DEL TIMER	160
5.4.8 INSERTAR UN ELEMENTO A UN PROGRAMA	161
5.4.9 CHEQUEO DE LA SINTAXIS	162
5.5 DESCRIPCION FISICA DEL PLC JUNTO CON EL PANEL DE CONTROL ..	163
5.6 PROGRAMAS	166
5.6.1 PARA EL CONTROLADOR PROGRAMABLE SERIE X	166
5.6.2 PARA EL CONTROLADOR PROGRAMABLE SERIE XL	169
5.6.3 PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE C.D.	171
 CAPITULO 6. CONCLUSIONES	 174
 APENDICE A	 188
 APENDICE B	 189

CAPITULO 1

BREVE DESCRIPCION DE LOS MOTORES DE C.D.

- 1.1 INTRODUCCION
- 1.2 CARACTERISTICAS DE LOS MOTORES DE C.D.
- 1.3 TIPOS DE MOTORES DE C.D.
- 1.4 CARACTERISTICAS DEL PAF: VELOCIDAD
- 1.5 CONTROL DE VELOCIDAD
- 1.6 REGULACION DE VELOCIDAD
- 1.7 CONCLUSIONES

1.1 INTRODUCCION

Se denominan "maquinas electricas" a los motores y generadores eléctricos, o sea, una maquina eléctrica puede trabajar como motor o generador.

Cuando la maquina electrica transforma energia eléctrica a mecanica se denomina MOTOR.

Cuando la maquina electrica transforma energia mecánica a electrica se denomina GENERADOR.

Las baterias fueron las primeras fuentes artificiales de corriente electrica, y por lo tanto, las primeras maquinas electromagnéticas que se desarrollaron fueron las maquinas de C.D.

Los motores de arranque y los que accionan limpiadores de parabrisas, ventiladores y otros accesorios en los vehiculos son motores de C.D. En las aplicaciones que requieren un control preciso de la velocidad, del par, o de ambos, el motor de C.D. es insuperable. A pesar de su costo relativamente alto, y de sus exigencias de mantenimiento, los motores de C.D. se eligen casi universalmente para mover las maquinas excavadoras de gran potencia, los talleres de laminación de acero y de aluminio, elevadores electricos, locomotoras y grandes equipos para movimiento de tierra.

1.2 CARACTERISTICAS DE LOS MOTORES DE C.D.

El motor de C.D. consta de dos partes principales:

- 1) ESTATOR
- 2) ROTOR

La figura 1-1, muestra un esquema de una máquina de C.D.

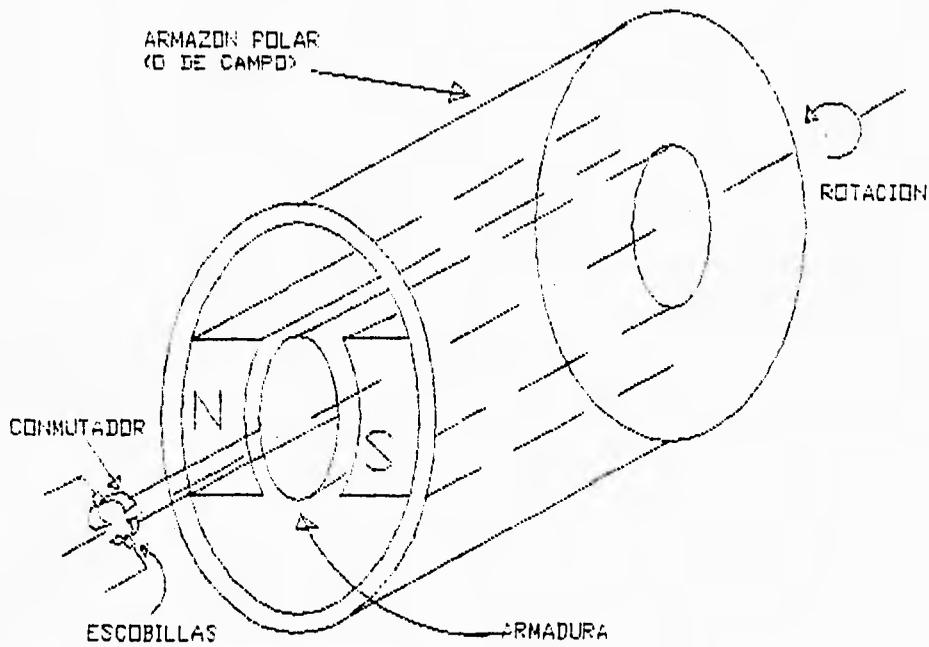


FIGURA 1-1
ESQUEMA DE UNA MAQUINA DE C. D.

ESTATOR

Se le llama tambien armazon polar o yugo, y contiene los polos y los devanados de campo.

Es una estructura cilindrica hecha normalmente de una aleación de acero de alta permeabilidad magnetica a la cual se fijan los polos o piezas polares.

Los polos y sus bobinas estan dispuestos alternadamente como norte y sur, el yugo, ademas de constituir parte esencial del circuito magnetico, es tambien el soporte mecanico de los polos, cojinetes o rodamientos y portaescobillas.

La figura 1-2, muestra el estator y sus elementos.

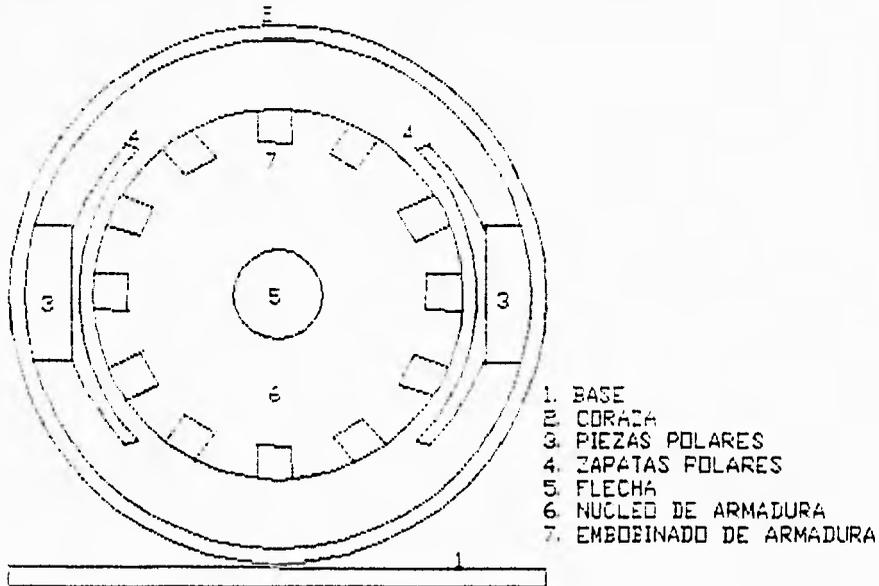


FIGURA 1-2

ESTATOR Y ELEMENTOS QUE LO COMPONEN

ROTOR

Se le llama también armadura, y es el órgano en el que se inducen las fuerzas contraelectromotrices.

Está formado esencialmente por el eje (o flecha) con el núcleo de laminaciones de acero al silicio en cuyas ranuras se alojan bobinas que constituyen el devanado, y sobre el eje, en un extremo del núcleo, va el conmutador. El conmutador está formado por segmentos radiales de cobre, separados unos de otros por un material aislante, generalmente mica.

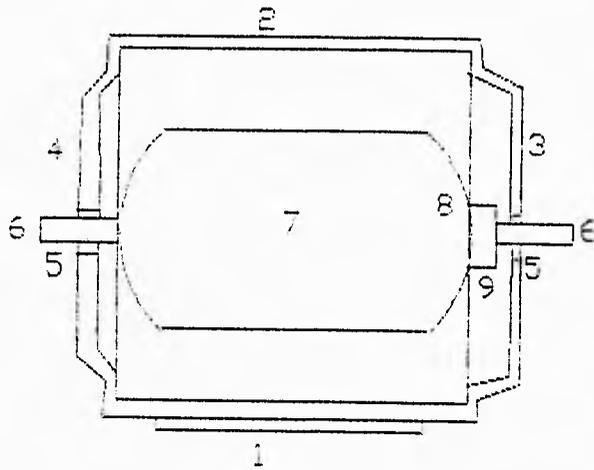
Los extremos de las bobinas se conectan a los segmentos del conmutador, que a su vez se conectan sucesivamente a la alimentación a través de las escobillas.

Por los conductores del devanado de la armadura circula corriente alterna formada por la conmutación, de una frecuencia que depende de la velocidad de rotación y del número de polos del estator.

La estructura laminar del rotor (armadura) reduce las pérdidas magnéticas producidas por dicha corriente alterna.

La corriente directa solo circula por los circuitos externos a la armadura (bobinas del estator), ya que el conmutador conecta continuamente los conductores de esta a dichos circuitos y los desconecta de ellos.

La figura 1-3, muestra el rotor de un motor de C.D.



1. BASE
2. CORAZA
3. TAPA POSTERIOR
4. TAPA ANTERIOR
5. COJINETES
6. FLECHA
7. NUCLEO DE ARMADURA
8. ENBOBINADO DE ARMADURA
9. CONMUTADOR

FIGURA 1-9

ROTOR O ARMADURA DE UN MOTOR DE C. D.

1.3 TIPOS DE MOTORES DE C.D.

Podemos tener los siguientes tipos de acuerdo a su forma de excitación:

- 1) Con excitación independiente
- 2) Con excitación en derivación
- 3) Con excitación en serie
- 4) Con excitación compuesta
 - Compuesta acumulativa
 - Compuesta diferencial

MOTOR CON EXCITACION INDEPENDIENTE

Este motor es el mismo que se fabrica para excitarse en derivación, solo que en este caso se usa una fuente de pequeña capacidad y voltaje constante para suministrar una corriente de excitación constante, y una fuente de la capacidad de la armadura y de voltaje controlado para alimentar a esta otra parte.

La figura 1-4, muestra el diagrama de conexiones.

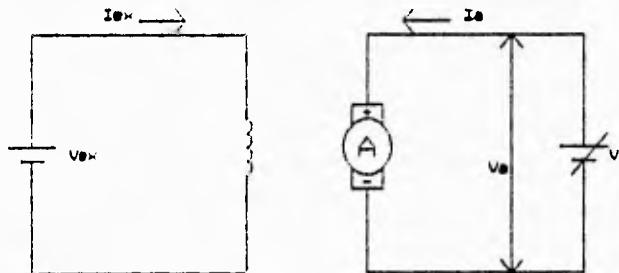


FIGURA 1-4
DIAGRAMA DE CONEXIONES DE UN MOTOR CON EXCITACION INDEPENDIENTE

Tenemos cuatro ecuaciones con las que podemos determinar la ecuación básica de la velocidad (son la ecuación de la curva de saturación en vacío, la de conversión de energía, la de pérdidas eléctricas y la de pérdidas rotacionales):

$$E = \frac{a i_{ex}}{b + i_{ex}} \omega ; \quad E i_a = T_e \omega ; \quad V_a = E + r_a i_a ; \quad T_e = T_m + T_r$$

donde:

- E → es la fuerza contraelectromotriz
- i_{ex} → es la corriente de excitación
- ω → es la velocidad
- i_a → es la corriente de la armadura
- T_e → es el par electromagnético
- r_a → es la resistencia de la armadura
- V_a → es el voltaje de línea aplicado a la armadura
- T_r → es el par de pérdidas rotacionales
- T_m → es el par mecánico
- a y b → son constantes (se analizarán con mayor detalle en el capítulo 3)

Si consideramos que la corriente de excitación es constante, hacemos:

$$k_e = \frac{a i_{ex}}{b + i_{ex}}$$

Por lo tanto obtenemos lo siguiente:

$$E = k_e \omega ; \quad T_e = k_e i_a ; \quad V_a = k_e \omega + r_a i_a$$

De la última ecuación despejamos la velocidad:

$$\omega = \frac{V_a - r_a i_a}{k_e}$$

Esta es la ecuación básica de velocidad para este motor.

MOTOR CON EXCITACION EN DERIVACION

También se le llama SHUNT.

Este es el motor de C.D. de uso más frecuente. Su nombre proviene de la forma original de la conexión interna de estas máquinas, en la que la armadura y la armazón polar (o de campo) se conectan en paralelo o derivación a una fuente de voltaje constante. Por lo general, el circuito de campo es alimentado con una fuente diferente de la alimentación del circuito de armadura. Los voltajes de ambos circuitos suelen ser del mismo nivel. Este tipo de motor tiene la característica de que su velocidad varía muy poco respecto a la carga, rara vez decrece más del 5%.

La figura 1-5, muestra el diagrama de conexión para este tipo de motor.

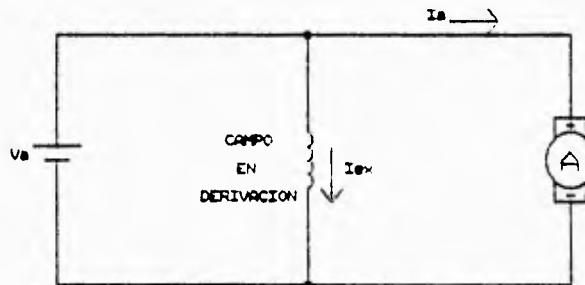


FIGURA 1-5
DIAGRAMA DE CONEXIONES DE UN MOTOR CON EXCITACION EN DERIVACION

Nuevamente utilizamos las cuatro ecuaciones anteriores:

$$E = \frac{aI_a}{b+I_a} \omega ; \quad E I_a = T \omega ; \quad V_a = E + r_a I_a ; \quad T_e = I_m + T_r$$

Sustituyendo la curva de saturación en vacío en la ecuación de pérdidas eléctricas y despejando la velocidad, obtenemos:

$$\omega = \frac{V_a - r_a I_a (b + I_a)}{a I_a}$$

Esta es la ecuación básica de velocidad para este motor.

Este tipo de motor se usa en sistemas de voltaje constante, donde se requiere una velocidad prácticamente invariable y el motor puede mantenerse dentro de la región de operación estable.

Debe tenerse precaución de que no se desconecte el circuito de campo de un motor de este tipo cuando funciona sin carga. La pérdida del flujo principal (de campo) ocasionará que el motor se acelere hasta límites peligrosos.

MOTOR CON EXCITACION EN SERIE

En los motores de esta clase, el flujo principal es producido por el circuito de campo conectado en serie con el de la armadura. De esta forma, cuando el motor arranca, la corriente (y por tanto el campo magnético) está en su valor máximo y produce un alto par de arranque. A medida que la velocidad del motor aumenta se reducen la corriente y el flujo. El par y la velocidad del motor tipo serie son muy sensibles a los cambios en la intensidad de la corriente de armadura (o en la de campo que es la misma) debido a la notable variación que produce en el flujo.

La figura 1-6, muestra el diagrama de conexión para este tipo de motor.

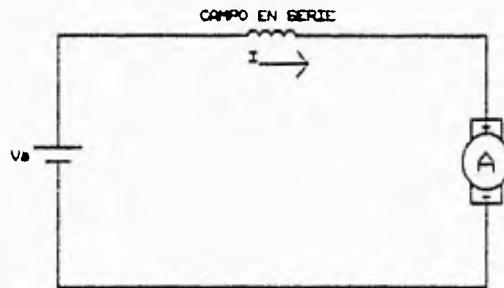


FIGURA 1-6
DIAGRAMA DE CONEXIONES DE UN MOTOR CON EXCITACION EN SERIE

Utilizamos las cuatro ecuaciones anteriores.

Para mayor facilidad, hacemos $I_{ex} = I_a = I$.

$$E = \frac{aI}{b+1} \omega ; \quad E I = T_e \omega ; \quad V_a = E + r_a I ; \quad T_e = T_m + T_r$$

Sustituyendo la curva de saturación en vacío en la ecuación de pérdidas eléctricas, y despejando la velocidad, obtenemos:

$$\omega = \frac{(V_a - r_a I) (b+1)}{a I}$$

Esta es la ecuación básica de velocidad para este motor.

El motor tipo serie tiene la desventaja de que tiende a "desbocarse" (sobrealimentarse) con cargas bajas.

La sobrevelocidad puede provocar la destrucción del motor si se le suprime la carga repentinamente. Por esta razón, un motor tipo serie sólo debe usarse donde la carga está acoplada o conectada por engranaje al eje del motor.

Este tipo de motor se adapta perfectamente a la impulsión de vagones locomotores o locomotoras de tracción y otros vehículos eléctricos, donde además se tiene un acoplamiento permanente y no existe el riesgo de que el motor quede sin carga y rebase su velocidad crítica.

Utilizamos las cuatro ecuaciones anteriores.

Para mayor facilidad, hacemos $I_{ex} = I_a = I$.

$$E = \frac{aI}{b+1} \omega ; \quad E I = T_e \omega ; \quad V_a = E + r_a I ; \quad T_e = T_m + T_r$$

Sustituyendo la curva de saturación en vacío en la ecuación de pérdidas eléctricas, y despejando la velocidad, obtenemos:

$$\omega = \frac{(V_a - r_a I)(b+1)}{aI}$$

Esta es la ecuación básica de velocidad para este motor.

El motor tipo serie tiene la desventaja de que tiende a "desbocarse" (sobreacelerarse) con cargas bajas.

La sobrevelocidad puede provocar la destrucción del motor si se le suprime la carga repentinamente. Por esta razón, un motor tipo serie sólo debe usarse donde la carga esta acoplada o conectada por engranaje al eje del motor.

Este tipo de motor se adapta perfectamente a la impulsión de vagones locomotores o locomotoras de tracción y otros vehículos eléctricos, donde además se tiene un acoplamiento permanente y no existe el riesgo de que el motor quede sin carga y rebase su velocidad crítica.

MOTOR CON EXCITACION COMPUESTA

También se le llama COMPOUND.

Un motor con circuitos de campo conectados en paralelo y en serie con la armadura se denomina de tipo compuesto. La proporción entre los dos circuitos determinará si la característica del motor tiende más hacia la del tipo serie o hacia la del tipo derivación.

Cada devanado tiene los números de espiras y el calibre de los conductores similares a los de los motores de tipo derivación y serie. La proporción del flujo total producida por el campo en serie determina el "grado de combinación", el cual puede variarse a fin de obtener la característica deseada. Un campo en serie "fuerte" hará que la característica de la máquina se asemeje a la del motor tipo serie, mientras que un campo en serie "débil" hará que se asemeje a un motor tipo derivación.

La figura 1-7, muestra el diagrama de conexión para este tipo de motor.

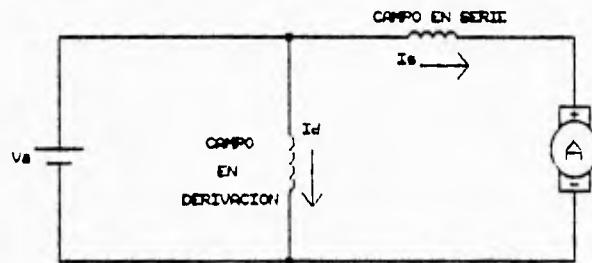


FIGURA 1-7
DIAGRAMA DE CONEXIONES DE UN MOTOR CON EXCITACION COMPUESTA

Igualmente tenemos cuatro ecuaciones:

$$E = a \frac{d\phi}{dt} = \omega \phi_m \sin \omega t ; \quad E_{la} = I_e \omega ; \quad V_a = E + r_a I_a ; \quad I_e = I_m + I_r$$

$$b + I_e$$

La curva de saturación se obtiene para el campo en derivación, aunque al aplicar la función al análisis de respuesta se usará una corriente de excitación hipotética, con una componente igual a la corriente de excitación en derivación y otra que es una fracción de la corriente de excitación en serie o corriente de armadura.

Tenemos: $I_{ex} = I_d \pm u I_s$

El doble signo se debe a la posibilidad de conectar el campo serie de tal forma, que su fuerza magnetomotriz se sume a la del campo derivado (excitación compuesta acumulativa) o bien, que la fuerza magnetomotriz serie se oponga a la derivada (excitación compuesta diferencial).

Para el modo acumulativo se usa el signo positivo:

$$I_{ex} = I_d + u I_s$$

Y el efecto es acercar la respuesta de este motor a la del motor serie, aunque con menor par de arranque y sin el peligro de desbocamiento.

Para el modo diferencial se usa el signo negativo:

$$I_{ex} = I_d - u I_s$$

Y el efecto es que al debilitar el flujo se recupere la velocidad que normalmente se perdería con la sola excitación en derivación. La tendencia es hacia un motor de velocidad constante, aunque no es exactamente así en la realidad debido a la saturación.

Si en el motor compuesto diferencial ocurre sobrecarga, predomina el campo serie, se invierte el flujo y aparece una inversión súbita de velocidad con los consiguientes sobreesfuerzos eléctricos y mecánicos. En la actualidad ya no se usa.

1.4 CARACTERISTICAS DEL PAR-VELOCIDAD

Las características de par y velocidad de un motor de C.D. son muy diferentes de las de un motor de c.a., debido a que su operación no es a velocidad constante y a las diversas variables que afectan al par de rotación.

Si se muestran en forma conjunta las curvas correspondientes a los distintos tipos de motores mencionados, y todas se refieren a un punto común de par nominal y velocidad nominal, podrán apreciarse mejor las diferencias. La figura 1-8, muestra estas curvas.

Puede apreciarse de inmediato que la velocidad de un motor tipo derivación es prácticamente constante en toda la gama de pares de operación de uso común.

En teoría no existe un límite para el par que puede desarrollar un motor de C.D.: dicho par es proporcional al producto del flujo (densidad de flujo) por la corriente de armadura, por lo que el límite real queda determinado por la CONMUTACION, o sea por la máxima corriente que las escobillas puedan manejar sin dañarse.

Para el motor tipo derivación, este límite puede establecerse en un 200% de la corriente nominal.

Lo anterior podría indicar que un motor tipo derivación es capaz de desarrollar un par en el arranque del 200% del nominal, lo cual es cierto en teoría pero difícil de alcanzar en la práctica por las limitaciones impuestas por el control.

Si se observa la gráfica correspondiente al motor tipo serie, es claro que con carga menor que la nominal, la velocidad aumentará rápidamente, lo que podría dañar la máquina si no se protege adecuadamente.

En cuanto a la curva correspondiente al motor de tipo compuesto, puede verse que su comportamiento es intermedio entre los dos anteriores. Este motor posee algo de la capacidad de desarrollar un alto par de arranque como el motor tipo serie, y algo de las características de velocidad constante del motor tipo derivación.

La figura 1-9, muestra las características del par-corriente.

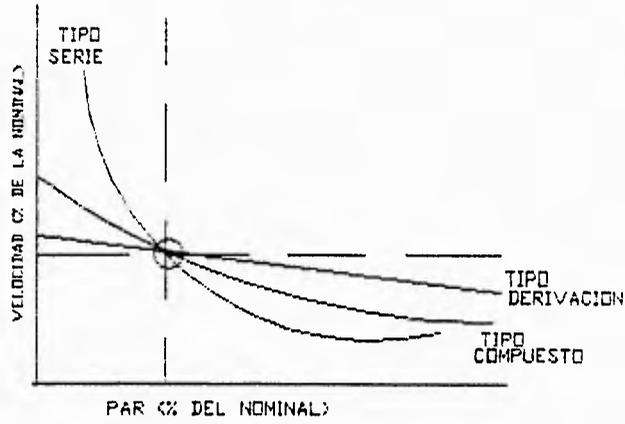


FIGURA 1-8
CURVAS PAR-VELOCIDAD EN MOTORES DE C. D.

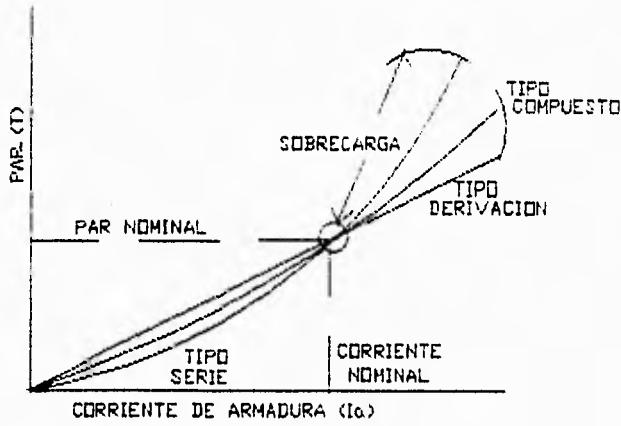


FIGURA 1-9
CURVAS PAR-CORRIENTE DE ARMADURA EN MOTORES DE C. D.

1.5 CONTROL DE VELOCIDAD

La gran flexibilidad posible para controlar la velocidad es una de las ventajas primordiales del motor de C.D.

La gama de variación de velocidad es sumamente amplia, y el número de pasos dentro de este intervalo puede considerarse infinito.

La velocidad de rotación de un motor de C.D. está dada por la expresión:

$$\omega = \frac{V_a - I_a r_a}{k \phi}$$

donde:

- ϕ → es el flujo magnético
- k → es una constante
- V_a → es el voltaje de línea aplicado a la armadura
- I_a → es la corriente de la armadura
- r_a → es la resistencia de la armadura

De la expresión anterior, es posible observar que la velocidad del motor puede alterarse de dos formas básicas:

- 1) cambiando la corriente de campo (para cambiar ϕ)
- 2) cambiando el voltaje de armadura (V_a)

Como ya se mencionó, al hablar de velocidad de motores de C.D. el punto de referencia es la velocidad nominal, cuyo valor corresponde a la velocidad que tendría el motor a plena carga, con la corriente de campo nominal y el voltaje nominal aplicado a la armadura.

En el siguiente capítulo, se verá con mayor detalle el control de motores.

1.5 CONTROL DE VELOCIDAD

La gran flexibilidad posible para controlar la velocidad es una de las ventajas primordiales del motor de C.D.

La gama de variación de velocidad es sumamente amplia, y el número de pasos dentro de este intervalo puede considerarse infinito.

La velocidad de rotación de un motor de C.D. esta dada por la expresión:

$$\omega = \frac{V_a - I_a r_a}{K\phi}$$

donde:

- ϕ → es el flujo magnético
- K → es una constante
- V_a → es el voltaje de línea aplicado a la armadura
- I_a → es la corriente de la armadura
- r_a → es la resistencia de la armadura

De la expresión anterior, es posible observar que la velocidad del motor puede alterarse de dos formas básicas:

- 1) cambiando la corriente de campo (para cambiar ϕ)
- 2) cambiando el voltaje de armadura (V_a)

Como ya se mencionó, al hablar de velocidad de motores de C.D. el punto de referencia es la velocidad nominal, cuyo valor corresponde a la velocidad que tendría el motor a plena carga, con la corriente de campo nominal y el voltaje nominal aplicado a la armadura.

En el siguiente capítulo, se verá con mayor detalle el control de motores.

1.6 REGULACION DE VELOCIDAD

A primera vista, los terminos "control de velocidad" y "regulación de velocidad" parecen equivalentes; sin embargo, CONTROL DE VELOCIDAD es un ajuste que obtiene el operador por medio de un sistema externo al motor, mientras que la REGULACION DE VELOCIDAD se define como el cambio de la velocidad de un motor debido a sus características intrínsecas cuando se modifican su temperatura de operación o la carga aplicada a la máquina.

La regulación puede expresarse como un porcentaje de la caída de velocidad entre la marcha sin carga y a plena carga, o como el porcentaje de decrecimiento de la velocidad a plena carga con el motor frío y a su temperatura normal de operación.

Debe recordarse que las características intrínsecas que ocasionan el cambio de velocidad del motor están relacionadas principalmente con la resistencia óhmica de los devanados, y con el efecto de la carga aplicada y de la temperatura sobre el flujo magnético producido.

REGULACION DE VELOCIDAD PARA UN MOTOR CON EXCITACION INDEPENDIENTE

La regulación de velocidad se evalúa como la relación entre la velocidad que se pierde al dar carga a la máquina y su velocidad nominal:

$$REG = (\omega_0 - \omega_{pc}) / (\omega_{nom})$$

donde:

- ω_0 + es la velocidad en vacío
- ω_{pc} + es la velocidad a plena carga
- ω_{nom} + es la velocidad nominal

La regulación de velocidad significa que fracción de la velocidad pierde la máquina al darle carga, lo que puede interpretarse como un indicador de la calidad de servicio que da el motor.

También se expresa en porcentaje:

$$\%REG = (\omega_0 - \omega_{pc}) / (\omega_{nom}) \times 100$$

REGULACION DE VELOCIDAD PARA UN MOTOR CON EXCITACION EN DERIVACION

La regulación de velocidad analiza la variación de la velocidad desde la condición de vacío hasta la de plena carga, mientras el voltaje y la corriente de excitación permanecen constantes.

La variable independiente en la fórmula de velocidad sería la corriente de armadura, y la máquina trabajaría en circunstancias idénticas a cuando se estudió con excitación independiente.

También se puede establecer la regulación de velocidad según la curva par-velocidad, considerando que:

$$I_a = I_m + I_r$$

$$T_e = \frac{a I_a}{b + I_a} I_a$$

Sustituyendo en la fórmula de velocidad se obtiene:

$$\omega = \frac{b + I_a}{a I_a} V_a - \left[\frac{b + I_a}{a I_a} \right]^2 r_a (I_m + I_r)$$

que es una expresión más complicada que cuando se usaba la constante de excitación.

REGULACION DE VELOCIDAD PARA UN MOTOR CON EXCITACION EN SERIE

De la ecuación de velocidad para este tipo de motor, se puede considerar que $(b+1)$ es solamente un factor de saturación, y (raI) tiene una magnitud pequeña, entonces la fórmula de velocidad se aproxima a una curva siempre que el voltaje permanezca constante.

Se puede decir por tanto, que la curva de regulación de velocidad es una pseudohiperbola.

La velocidad de este tipo de motor es poco estable.

Si la máquina se queda sin carga, la velocidad parece tender a un valor infinito. Estrictamente hablando, esto no sucede debido a las pérdidas rotacionales, sin embargo llega a adquirir valores que las hacen entrar en una zona peligrosa de trabajo, conocida como desbocamiento.

En el otro extremo la velocidad baja hasta cero haciendo crecer considerablemente la corriente. Esta condición no es fácil de provocarse en la práctica, pues el par aumenta aproximadamente en función del cuadrado de la corriente.

El concepto de regulación de velocidad:

$$REG = (\omega_0 - \omega_{pc}) / (\omega_{nom})$$

no es aplicable a este motor, puesto que la velocidad ω_0 (en vacío) es una condición de desbocamiento.

REGULACION DE VELOCIDAD PARA UN MOTOR CON EXCITACION COMPUESTA

Los motores de tipo compuesto pueden tener una curva de regulación similar a la del motor tipo serie o a la del motor tipo derivación.

Su regulación desde marcha en vacío hasta plena carga a temperatura normal varía del 15 al 25%.

1.7 CONCLUSIONES

Los motores de C.D. se emplean en forma extensa en la industria gracias a su capacidad para satisfacer una gran variedad de requisitos de par y velocidad.

Estos motores son especialmente adecuados para aplicaciones que requieren aceleración gradual dentro de un intervalo muy amplio, ajuste preciso de velocidad, sincronización de velocidades (o ambas cosas) y control preciso del par de rotación o de voltaje.

Un motor de C.D. puede proporcionar un par tres veces mayor que el nominal durante periodos cortos, y durante lapsos muy breves, por ejemplo de 3 a 4 segundos es capaz de proporcionar un par hasta de cinco veces el par nominal.

MOTOR CON EXCITACION INDEPENDIENTE:

- La regulación de velocidad es muy pequeña, lo que da idea de la gran estabilidad del motor.
- El motor puede responder a un control continuo de su velocidad dentro de todo el rango permisible, solamente se requiere de una fuente con amplio control de su voltaje.
- La limitante en el control de velocidad es el par mecánico, pues no se debe exceder la corriente nominal de armadura para evitar sobrecalentamiento.

MOTOR CON EXCITACION EN DERIVACION:

- El motor en derivacion tiene la ventaja sobre el independiente de requerir solamente una fuente de alimentacion de voltaje constante.
- Su comportamiento en cuanto a regulacion de velocidad es igual al del motor independiente.
- El control de velocidad es muy simple y se realiza con el reostato de campo, pero el rango de velocidades es muy limitado y esta alrededor del valor nominal.
- Con poca carga y con mas razon en vacio, si no se tiene cuidado con el control se puede desbocar el motor.

MOTOR CON EXCITACION EN SERIE:

- El motor serie tiene la ventaja de su alto par de arranque. Cuando se arranca en frio se permiten corrientes mayores a la nominal, ya que su duracion es muy corta y es factible superar el par nominal.
- Tiene la desventaja de que por si solo se desboca cuando queda sin carga.
- Por otra parte, su curva par-velocidad es de la misma forma que las que requieren los vehiculos para un transito fluido, por lo que es muy usado en metro, trolebuses, tranvias, etc.

CAPITULO 2.

FORMAS DE CONTROLAR LA VELOCIDAD EN UN MOTOR DE C.D.

- 2.1 ARRANQUE DE MOTORES DE C.D.
 - 2.1.1 ARRANCADORES MANUALES
 - 2.1.2 ARRANCADORES AUTOMATICOS

- 2.2 CONTROL DE MOTORES DE C.D.
 - 2.2.1 INTRODUCCION
 - 2.2.2 CONTROL MANUAL Y AUTOMATICO DE MOTORES DE C.D.
 - 2.2.3 CONTROL ELECTRONICO

- 2.3 FRENADO DE MOTORES DE C.D.
 - 2.3.1 FRENADO POR INVERSION
 - 2.3.2 FRENADO REGENERATIVO
 - 2.3.3 FRENADO DINAMICO

2.1 ARRANQUE DE MOTORES DE C.D

2.1.1 ARRANCADORES MANUALES

Un arrancador electrico es definido como un controlador cuya función primaria es poner en marcha y acelerar un motor.

El termino manual, implica la asociación de la mano del ser humano (o su equivalente) en combinación con un arrancador electrico. Esta combinación es, quizás, la mas sofisticada de todos los servomecanismos. Lleva con ello dos implicaciones:

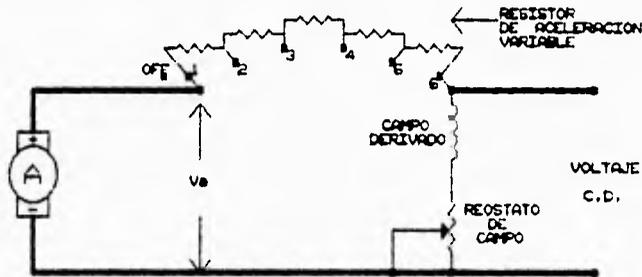
- 1) que el ser humano posee una inteligencia
- 2) esta inteligencia esta siendo direccionada en un camino útil para operar un arrancador manual para que un motor pueda ser arrancado apropiadamente (puesto en marcha) y acelerado bajo cualquier condicion de carga para alcanzar su velocidad nominal.

La figura 2-1. muestra en forma esquematica, la resistencia en serie con el circuito de armadura requerido para la aceleracion de motores serie, derivado y compuesto, respectivamente, con un dispositivo de arranque manual para cambiar la resistencia de armadura en serie, en seis pasos.

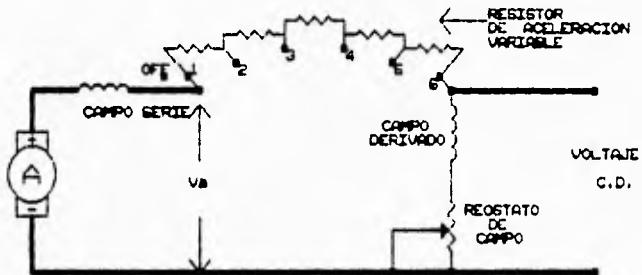
Debe notarse que los motores derivado y compuesto, son generalmente arrancados con corriente de campo plena, su resistencia de reostato de campo es cero, y el motor serie es siempre arrancado bajo carga.



a) MOTOR SERIE



b) MOTOR DERIVADO



c) MOTOR COMPUESTO

FIGURA 2-1
FORMA ESQUEMATICA DE LA RESISTENCIA EN SERIE CON EL CIRCUITO DE ARMADURA
REQUERIDA PARA ACELERAR LOS MOTORES SERIE, DERIVADO Y COMPUESTO

En el instante de aplicar un voltaje, V_a , a través de las terminales de armadura para que un motor gire, la armadura del motor no esta produciendo ninguna fuerza contraelectromotriz dado que la velocidad es cero. Los unicos factores que limitan la corriente son la caída de voltaje de la escobilla de la armadura y la resistencia del circuito de armadura, r_a . Ninguno de estos dos, bajo condiciones normales, alcanza mas que 10 ó 15 por ciento del voltaje aplicado, V_a , a través de la armadura. la sobrecarga es muchas veces la corriente nominal de armadura.

EJEMPLO: Un motor derivado de C.D. de 120 V, tiene una resistencia de armadura de 0.2 Ω y una caída de voltaje de escobillas de 2 V. La corriente nominal de armadura a plena carga es 75 A. Calcular la corriente al instante del arranque y el porcentaje de plena carga.

SOLUCIÓN:

$$I_a = \frac{V_a - E - BF}{r_a} = \frac{120 - 2}{0.2} = 590 \text{ A} \quad \begin{array}{l} \text{(fuerza contraelectromotriz} \\ \text{es cero)} \end{array}$$

$$\text{PORCENTAJE} = \frac{590 \text{ A}}{75 \text{ A}} \cdot 100 = 786 \text{ por ciento}$$

Una vez que la rotación ha comenzado, la fuerza contraelectromotriz es aumentada en proporción a la velocidad. Lo que se requiere entonces, es un dispositivo, generalmente un resistor variable, cuyo propósito es el de limitar la corriente durante el periodo de arranque y cuya resistencia es reducida progresivamente cuando el motor aumenta de velocidad. Dado un resistor externo, R_s , en serie con la armadura, la ecuación anterior debe ser modificada para calcular la corriente de armadura:

$$I_a = \frac{V_a - E - BF}{r_a + R_s}$$

donde: V_a + voltaje aplicado a través de la armadura
 E + fuerza contraelectromotriz generada en la armadura
 E_D + caída de voltaje a través de las escobillas
 r_a + resistencia de armadura

$$i_a = \frac{V_a - E - E_D - r_a}{l_a}$$

Los motores derivado y compuesto son arrancados con excitación de campo plena, para desarrollar máximo torque de arranque o par ($T = k\phi i_a$).

ARRANCADOR COMERCIAL DE TRES PUNTOS

La figura 2-2, muestra un arrancador comercial de tres puntos. El arrancador consiste en dos circuitos paralelos. Su ventaja de previa protección de campo abierto llega a ser una desventaja cuando el motor es cargado y se desean velocidades más altas.

Para obtener velocidades más altas, es necesario disminuir la corriente de campo y el flujo (por incremento de la resistencia de reostato de campo).

Cada vez que la corriente de campo es reducida, el arranque de armadura es disminuido y el motor se detiene.

La bobina de retención sirve para proveer protección de campo abierto o disminuido, y protección de bajo voltaje.

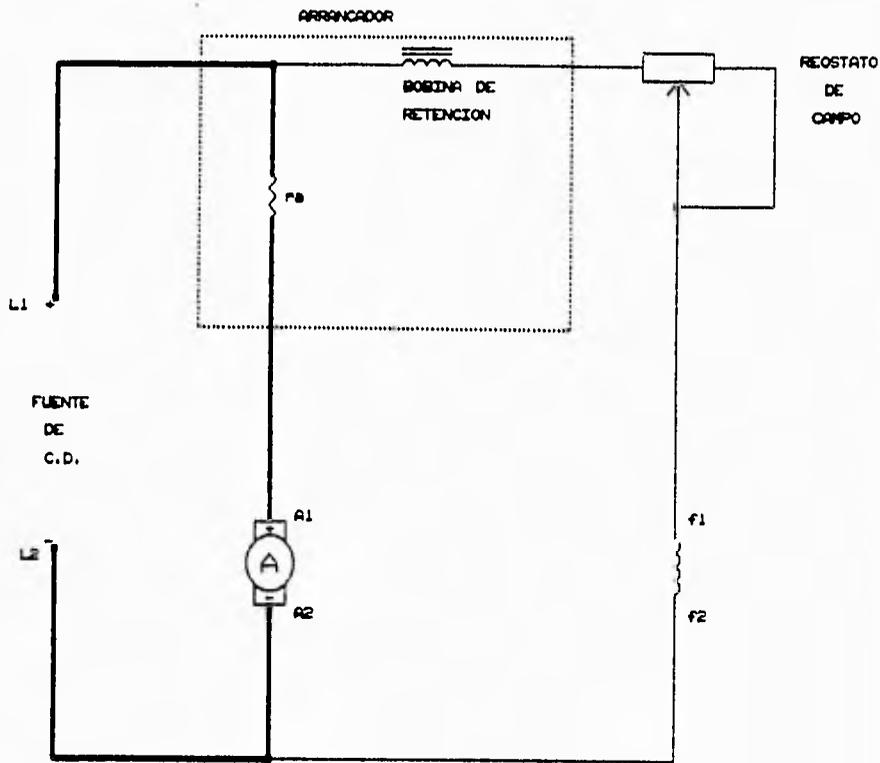


FIGURA 2-2
ARRANCADOR DE 3 PUNTOS

ARRANCADOR COMERCIAL DE CUATRO PUNTOS

La figura 2-3, muestra un arrancador de cuatro puntos. El arrancador de cuatro puntos difiere del arrancador de tres puntos en que el diseño del de cuatro puntos provee 3 caminos paralelos a través de la fuente, que son bastante más que 2.

El camino adicional a través de la línea, ha sido creado por los 2 circuitos de bobina separados en serie con el resistor protector R.

Es posible variar la corriente en el circuito de campo independientemente del circuito de bobinas. Esto es, de seguro, la mas grande ventaja del arrancador de cuatro puntos. Pero esta ventaja crea 3 desventajas:

1. Si el campo es disminuido considerablemente o abierto accidentalmente, el motor correrá a velocidades peligrosas; dispositivos protectores auxiliares, tales como circuitos de sobrevelocidad centrifugos, se usan con frecuencia en la industria.
2. Cuando se aumenta la velocidad y el motor está llevando carga pesada, la corriente de campo disminuye, rearrancando el motor, entonces causa que la carga sea acelerada demasiado rápido y peligroso (la corriente de armadura se incrementa para compensar el flujo de campo disminuido).
3. El incremento en la corriente de armadura puede continuar para disparar la sobrecarga, y aún los dispositivos protectores de circuito-corto, hasta que la resistencia de reóstato sea decrementada.

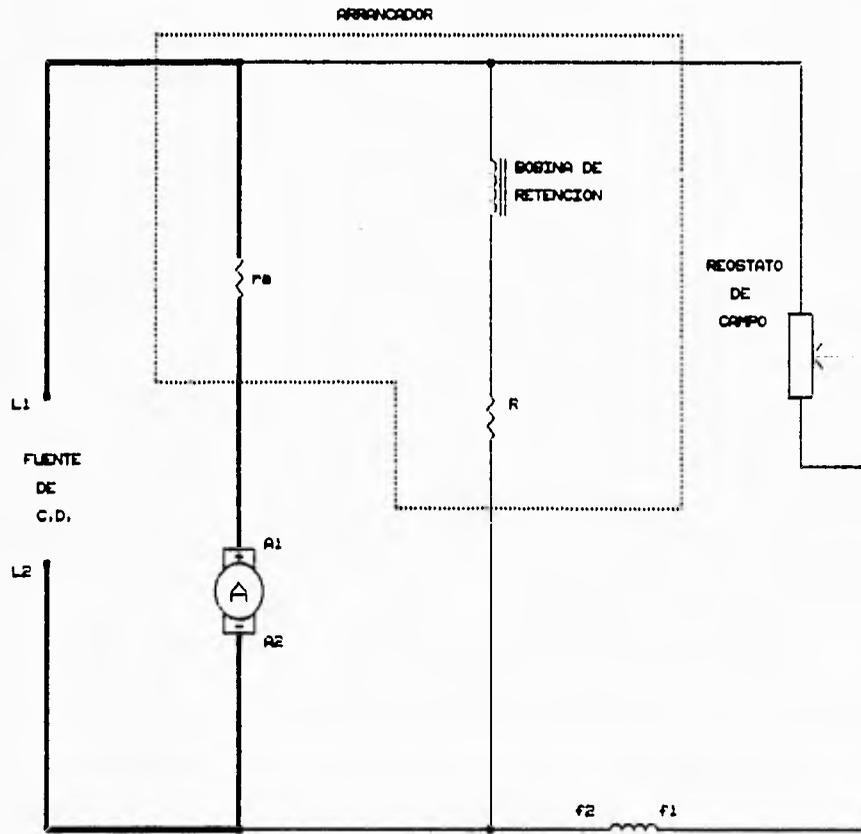


FIGURA 2-3
ARRANCADOR DE 4 PUNTOS

ARRANCADOR MANUAL PARA MOTOR SERIE

Un motor serie, es fundamentalmente un circuito de 2 terminales o 2 puntos. Los arrancadores comerciales de 3 y 4 puntos discutidos previamente son usados con motores derivado y compuesto. Se requieren modificaciones especiales para los arrancadores del motor serie.

La figura 2-4(a), muestra un arrancador manual de 2 puntos para motor serie, en el cual la bobina (un par de vueltas de alambre grueso) es conectada en serie con la armadura y el campo serie.

Durante el arranque y el periodo de marcha, el motor serie cargado tendrá una corriente de armadura suficientemente fuerte para excitar la bobina, para mantener el arrancador en la posición de MARCHA. En caso de pérdida de carga o reducción de carga, es el punto donde se desarrolla alta velocidad, y se vuelve peligrosa, la reducción en la corriente de armadura es suficiente para debilitar la bobina.

Las 2 ventajas del arrancador de 2 puntos para motor serie son:

- 1) protección de sobrevelocidad en reducción de carga
- 2) protección de bajo voltaje

El arrancador de la figura 2-4(b), el de 3 puntos para motor serie, es empleado donde no hay posibilidad de desbocamiento accidental debido a la pérdida de carga. Este arrancador es, para el motor serie lo que es el arrancador de 4 puntos para los motores derivado y compuesto. Se dispone de 3 terminales, L1, L2 y S1. Provee protección de bajo voltaje y no protege al motor en caso de pérdida de campo o de carga. Un resistor protector variable se conecta en serie con la bobina (muchas vueltas de alambre fino) a través de la línea, para ajustar el disparo del arranque de armadura.

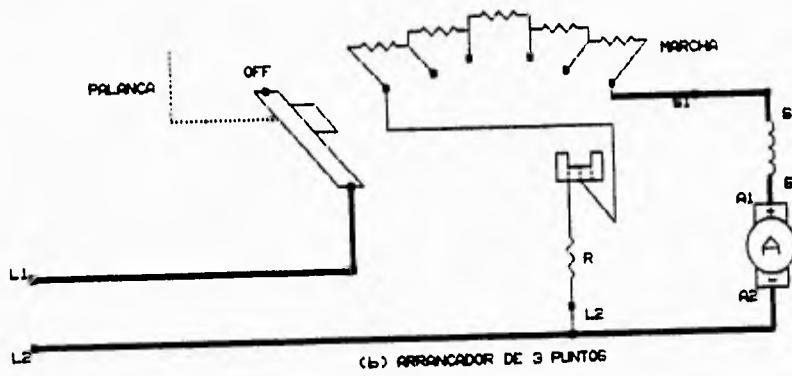
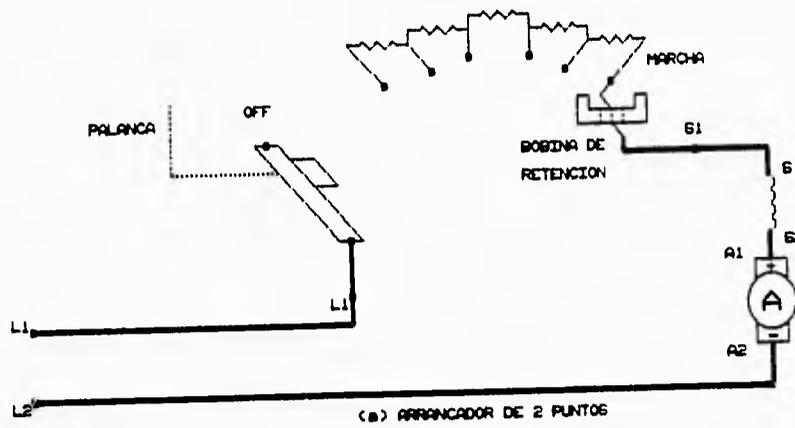


FIGURA 2-4
ARRANCADOR MANUAL PARA MOTOR SERIE

2.1.2 ARRANCADORES AUTOMATICOS

Los arrancadores automáticos, son diseñados para realizar automáticamente las mismas funciones que los arrancadores manuales cuando son controlados por una o más estaciones de botones o interruptores de contacto momentáneo. En general, podemos establecer que los arrancadores automáticos superan las limitaciones de los arrancadores manuales:

1. Los arrancadores automáticos no cansarán a un operador durante frecuentes ciclos de arranque y paro, y así, el operador es estimulado para detener el motor cuando no se usa o reduciendo la carga eléctrica.
2. Los arrancadores automáticos no son limitados en tamaño físico como lo son los arrancadores manuales por la fuerza humana requerida para una secuencia de conexión.
3. El operador y las estaciones de control de contactos momentáneos pueden estar lejos del arrancador, y así el operador puede protegerse debido a la distancia que los separa.
4. Se localizan con mayor facilidad las pequeñas estaciones de botones.
5. Hay menos peligro de ruptura interna y menos necesidad de ventilación interna en arrancadores automáticos.
6. El error humano se elimina, y el motor puede arrancarse por un operador inexperto en una mínima cantidad de tiempo.

Como con todos los dispositivos automáticos, hay dos clases generales de operación: lazo abierto y lazo cerrado.

El control de lazo abierto gobierna la potencia para un motor en una memoria predeterminada independientemente de la operación del motor.

El control de lazo cerrado gobierna la potencia para un motor en una manera predeterminada la cual es en parte dependiente del funcionamiento del motor.

Los arrancadores automaticos de C.D. del tipo de lazo abierto, son clasificados como arrancadores de aceleracion de tiempo definido, y los del tipo de lazo cerrado como arrancadores de aceleracion de limite de corriente. A continuacion unos ejemplos:

ARRANCADOR DE MOTOR DE C.D. DE ACELERACION DE TIEMPO DEFINIDO USANDO CONTACTORES DE RETARDO DE TIEMPO

La figura 2-5, muestra el arrancador. Un contactor de retardo de tiempo es un relevador inductivo ordinario con un manguito de latón o cobre insertado en su núcleo. El efecto del manguito no magnético causa que el relevador opere como un relevador magnético instantáneo bajo condiciones de estado estable, pero como relevador de retardo de tiempo cada vez que una corriente transitoria esta fluyendo en la bobina del relevador.

El arrancador mostrado en la figura 2-5, opera de la siguiente manera:

1. El contacto momentaneo del boton de arranque se oprime y mantiene en una posicion de presion el tiempo suficiente para permitir a los contactores M, 1A, 2A, y 3A operar sus respectivos contactos normalmente abiertos (n.o.) y normalmente cerrados (n.c.). Un timer mecanico, T, acoplado a la estacion de botones, activa una alarma indicando cuando se puede liberar el boton. Liberando el boton de arranque restablece el timer.

2. Cuando el boton de arranque se libera, todos los relevadores son energizados. El relevador M, en la linea de control 4, se mantiene energizado a traves del contacto auxiliar M, en paralelo con el boton de arranque, con su contacto de engrane M disparando el contactor 3A. El relevador M sera desenergizado en el evento de:

- (a) bajo voltaje
- (b) perdida de campo
- (c) sobrecarga
- (d) presionando el boton de paro

- (e) un fusible fundido en el circuito de línea del motor
- (f) un fusible fundido en el circuito de control

3. El motor arranca con su resistencia de arranque plena en serie con la armadura y su corriente de campo plena, desde que el relevador 3A es energizado.

4. El contacto de retardo de tiempo 1A, desenergizado por el contacto del relevador M en la línea de control 1, produce una disminución de corriente específica opuesta en su bobina, y eso finalmente abandona, restableciendo sus contactos abiertos a su condición de normalmente cerrados.

5. Simultáneamente con el cierre de contactos 1A, el contactor de retardo de tiempo 2A se desenergiza en la línea de control 2 por la apertura de los contactos 1A. Después de un retardo de tiempo específico, la bobina 2A "se descarga", poniéndose en circuito-corto la resistencia adicional en serie con la armadura y abriendo la línea de control 3. El motor acelera a su más alta velocidad, como se determinó por la reducción de la resistencia en serie con ambos contactos 1A y 2A puestos en corto.

6. Simultáneamente con el cierre de contactos 2A a través del resistor en serie, los contactos 2A son abiertos en la línea de control 3, desenergizando la bobina de retardo de tiempo 3A. Después de un retardo de tiempo específico, la bobina 3A "se descarga", poniéndose en circuito-corto la resistencia en serie de armadura; abriendo el engrane 3A en la línea de control 4, y abriendo el reóstato de campo para permitir que la velocidad aumente a la deseada.

Una desventaja de este arrancador es que los retardos de tiempo de los relevadores no son ajustables.

La ventaja es que los contactos de los relevadores 1A, 2A y 3A, respectivamente, se abren y no llevan corriente durante el período de arranque del motor.

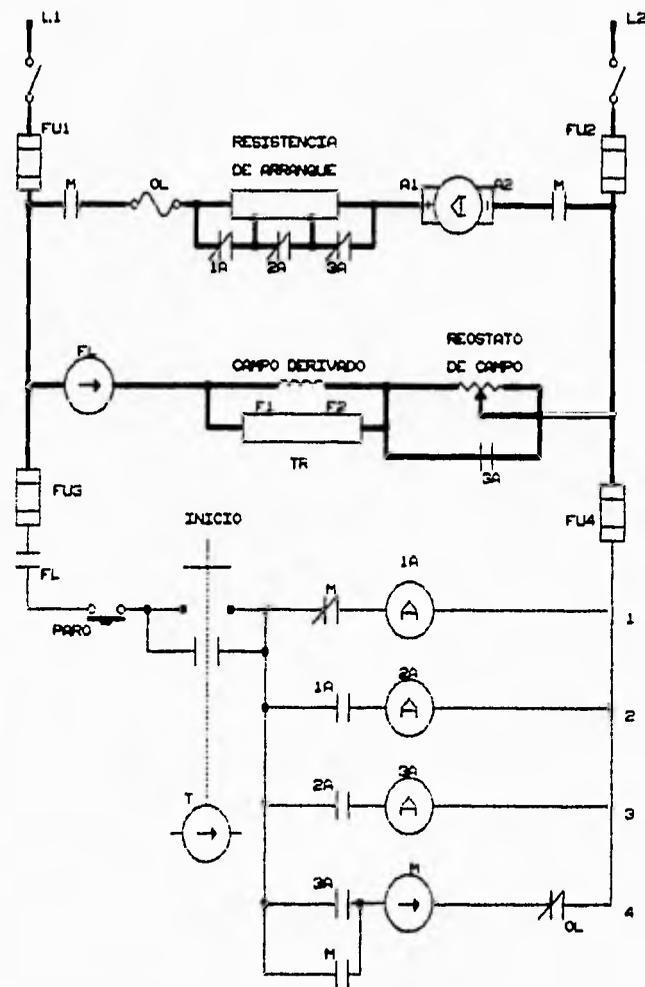


FIGURA 2-6
 ARRANCADOR DE MOTOR DE C.D. DE ACELERACION DE TIEMPO DEFINIDO
 USANDO CONTACTORES DE RETARDO DE TIEMPO

ARRANCADOR DE MOTOR DE C.D. DE ACELERACION DE TIEMPO DEFINIDO USANDO
RELEVADORES AMORTIGUADORES

La figura 2-6, muestra el arrancador. Opera de la siguiente forma:

1. Presionando el boton de arranque, energiza la bobina M y cierra todos los contactos normalmente abiertos M. El motor arranca a traves de la linea con resistencia plena en serie con la armadura y corriente plena de campo, porque los contactos normalmente cerrados 3A derivan el reostato de campo.
2. El relevador amortiguador inductivo de retardo de tiempo, TD1, es tambien simultaneamente energizado por medio de los contactos M y los contactos normalmente cerrados del relevador desenergizado 3A. Despues de un retardo de tiempo conveniente, TD1 cierra sus contactos normalmente abiertos, energizando el relevador de control instantaneo 1A y el relevador de retardo de tiempo TD2, simultaneamente.
3. Cuando el relevador normalmente abierto 1A cierra, pone en corto un tercio de la resistencia de armadura, causando al motor que acelere a mayor velocidad. Despues de un retardo de tiempo conveniente, TD2 cierra sus contactos normalmente abiertos, energizando el relevador de control instantaneo 2A y el relevador de retardo de tiempo TD3, simultaneamente.
4. Cuando el relevador normalmente abierto 2A cierra, pone en corto dos tercios de la resistencia en serie de armadura, causando al motor que acelere a mayor velocidad. Despues de un retardo de tiempo conveniente, TD3 cierra sus contactos normalmente abiertos, energizando el relevador de control instantaneo 3A y poniendo en corto la resistencia en serie con la armadura.

5. El relevador de control 3A, es el unico que se mantiene energizado en suma con M. porque cuando el anterior es energizado, abre los contactos normalmente cerrados 3A en serie con TD1. Cuando TD1 es desenergizado, simultaneamente descarga los relevadores 1A y TD2. TD2, cuando está desenergizado, simultaneamente descarga 2A y TD3. El relevador 3A se mantiene energizado por medio de su engrane eléctrico derivando los contactos TD3.

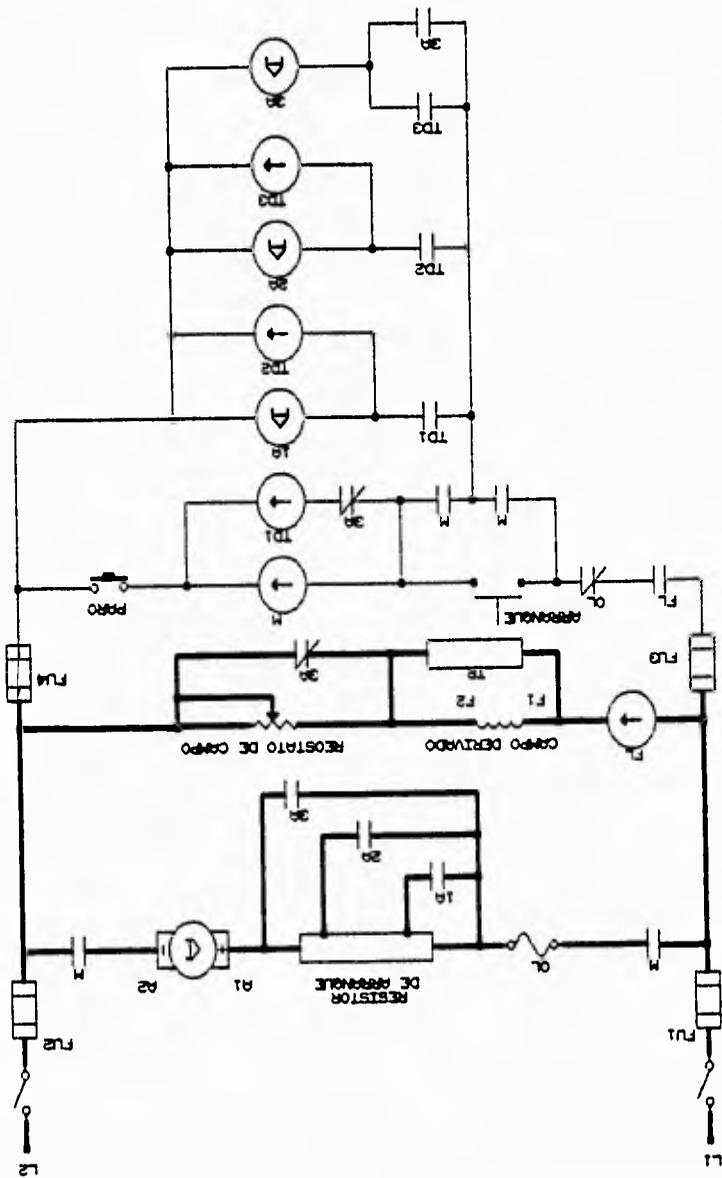
Este arrancador emplea relevadores amortiguadores, pero intenta superar la desventaja de tener un gran número de relevadores energizados durante el periodo de marcha y provee retardos de tiempo ajustables durante la secuencia de arranque.

Tiene las siguientes ventajas:

- 1) El retardo de tiempo es ajustable por el uso de los relevadores amortiguadores.
- 2) Todos los relevadores de retardo de tiempo se desenergizan durante el periodo de MARCHA.
- 3) Se energiza un mínimo número de relevadores en el periodo de MARCHA, conservando, así, energía y reduciendo el calentamiento dentro del arrancador.

REGENERADOR DE MOTOR DE C.D. DE REGULACION DE TIEMPO DEFINIDO
 USANDO RELAYES AMORTIGADORES

FIGURA 2-8



ARRANCADOR DE MOTOR DE C.D. DE ACELERACION DE TIEMPO DEFINIDO USANDO
UN TIMER ACCIONADOR DE MOTOR O UN MECANISMO DE TIEMPO

La figura 2-7, muestra el arrancador. Opera de la siguiente manera:

1. El botón de arranque cierra los contactos normalmente abiertos M cuando el relevador M es energizado.
2. El motor temporizado, TM, empieza a girar cuando la vía energizada normalmente cerrada TM4 en la línea 1a y los contactos M derivando el botón de arranque, cerrando TMS. TMS es así, cerrado y se mantiene así hasta el paso 7.
3. El timer del motor opera cerrando TM1, TM2 y TM3 en secuencia. Estos aceleran el motor por la energización de los relevadores 1A, 2A y 3A, en turno, como se predetermino por el timer. Cuando 3A cierra, el motor esta cruzando la línea.
4. El motor TM, se detiene cuando TM4 normalmente cerrado es activado, desenergizando la línea 1a.
5. Con el motor cruzando la línea, todos los contactos TM están en su estado activo.
6. Cuando el botón de paro se oprime, el relevador M es desenergizado, y el motor se detiene.

7. Pero el motor temporizado es energizado por los contactos TMS normalmente abiertos y M normalmente cerrado en la línea 1b. El motor temporizado continua corriendo, abriendo simultaneamente TM1 por medio de TMS y TMS, y simultaneamente cerrando TM4.

8. Cuando TMS se abre, el motor temporizado se detiene y los contactos son ahora completamente reciclados y listos para acelerar el motor, una vez más.

9. Note que en el evento de sobrecarga, pérdida de campo, o apertura del interruptor principal en cualquier momento durante y después de la secuencia de aceleración, el motor temporizado continua corriendo por TMS normalmente abierto (cerrado en el paso 2) y línea 1b hasta que todos los contactos son reajustados y TMS abre (pasos 7 y 8). En el caso de pérdida de potencia, esto ocurre inmediatamente cada vez que la potencia se restablece.

La ventaja de este arrancador es que las secuencias de tiempo del motor temporizado son ajustables, como lo son todos los mecanismos temporizados.

ARRANCADOR DE MOTOR DE C.D. DE ACELERACION DE TIEMPO DEFINIDO USANDO
RELEVADORES DE BOBINA DE SOPORTE DE CONSTANTE DE TIEMPO INDUCTIVA

La figura 2-8. muestra el arrancador. Opera de la siguiente manera:

1. Presionando el botón de arranque, energiza la línea del contactor M y "cerrando" bobinas 1AC, 2AC y 3AC. Pero, desde que 1HC fué energizado (aún antes de que el botón de arranque fuera presionado), el contacto normalmente abierto, 1A, se mantiene abierto. La corriente de arranque hacia la resistencia de arranque, también energiza 2HC, manteniendo el contacto 2A abierto. El motor arranca, así, con su máxima resistencia en serie de armadura a través de la línea.
2. El botón de arranque y el contacto de engrane normalmente abierto M, ambos ponen en corto la bobina de soporte 1HC, y la corriente disminuye en este relevador de acuerdo con su propia constante de tiempo inductiva. Cuando esta corriente es suficientemente pequeña, el contacto normalmente abierto 1A, cierra como resultado de la fmm (fuerza magnetomotriz) del relevador 1AC. El motor acelera a su máxima alta velocidad con 1A cerrado.
3. La bobina de soporte 2HC, puesta en corto por el contacto cerrado 1A, experimenta una disminución exponencial, y finalmente el contacto 2A cierra, acelerando el motor una vez más.
4. La bobina de soporte 3HC, puesta en corto por el contacto cerrado 2A, experimenta una disminución exponencial; y después de un periodo de tiempo, el contacto 3A cierra y el motor acelera a su velocidad deseada como se determinó por el reostato de campo.

Este arrancador tiene la desventaja que requiere tener los relevadores M, 1AC, 2AC y 3AC continuamente energizados.

Otra desventaja es que el tiempo de cierre depende de la constante de tiempo inductiva de las bobinas de soporte HC y no son fácilmente ajustables.

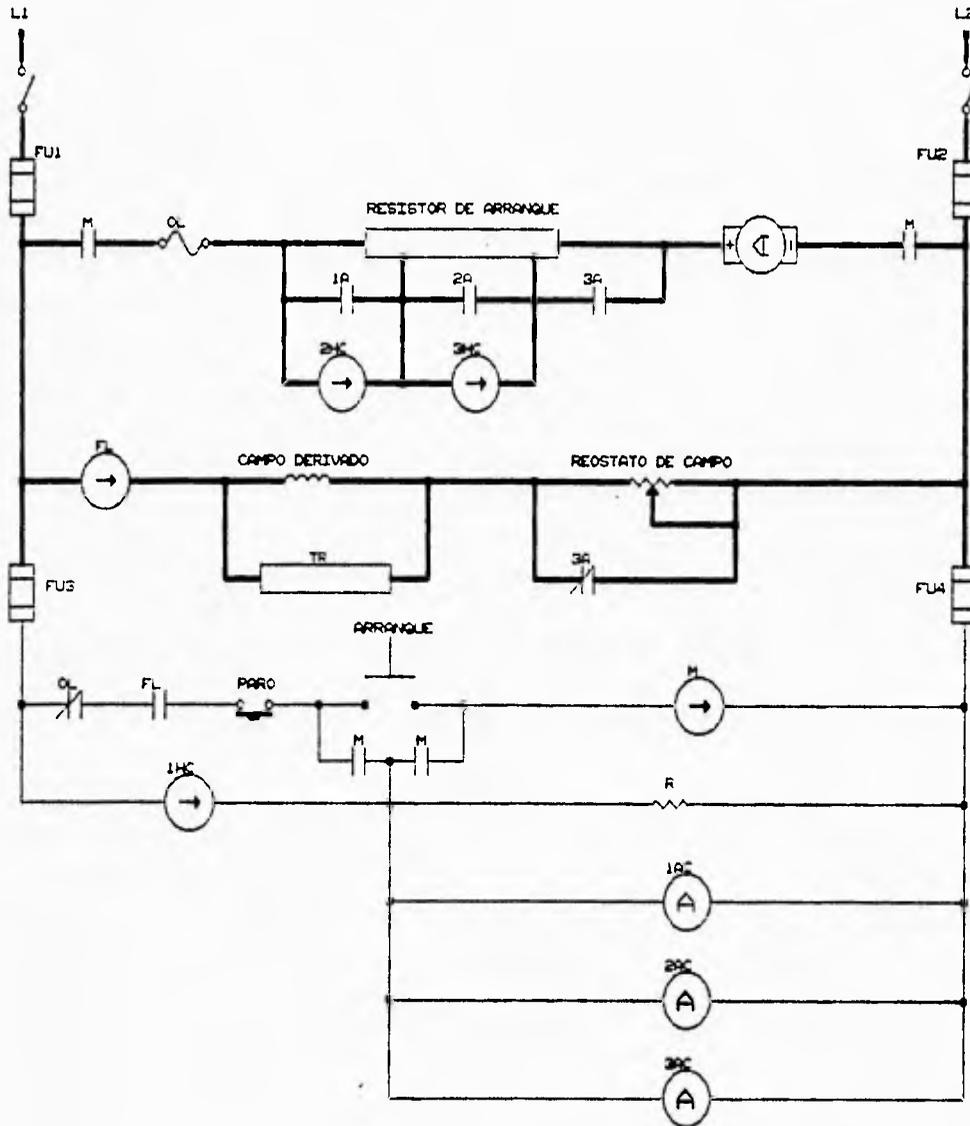


FIGURA 2-6

ARRANCADOR DE MOTOR DE C.D. DE ACELERACION DE TIEMPO DEFINIDO
USANDO RELEVADORES DE BOBINA DE SOPORTE DE CONSTANTE DE TIEMPO INDUCTIVA

ARRANCADOR DE C.D. DE ACELERACION DE LIMITE DE CORRIENTE USANDO RELEVADORES DE FUERZA CONTRAELECTROMOTRIZ (METODO DE LIMITE DE VELOCIDAD)

La figura 2-9, muestra el arrancador. Opera de la siguiente manera:

1. Presionando el boton de arranque, el motor empieza con campo pleno y resistencia de armadura en serie plena asi como contactos M, ambos principal y auxiliar, cierran. El motor acelera del reposo con una maxima caída de voltaje a través de la resistencia en serie de arranque, y practicamente, caída de voltaje cero a través de la armadura.

2. Cuando el relevador V1 cierra su contacto normalmente abierto V1 en línea de control 2, el relevador de control 1A es energizado, poniendo en corto, del primer paso, la resistencia en serie de armadura. La sobretension de corriente aumenta, el motor acelera, y mas fuerza contraelectromotriz se desarrolla. Cuando la fuerza contraelectromotriz alcanza el 70% de su valor nominal, V2 se energiza.

3. Cuando el relevador V2 cierra su contacto normalmente abierto V2 en la línea de control 3, el relevador 2A se energiza, poniendo en corto, del segundo paso, la resistencia en serie. La sobretension de corriente acelera el motor una vez mas, desarrollando mas fuerza contraelectromotriz. Cuando esta alcanza 85% del voltaje nominal, el relevador V3, se energiza.

4. Cuando V3 cierra su contacto en la línea de control 4, el relevador de control 3A pone en corto la resistencia en serie del último paso y simultáneamente abre el reóstato de campo a su velocidad predeterminada. El motor acelera.

La ventaja de este arrancador, es que el motor no es acelerado a su máxima velocidad hasta que la corriente es suficientemente limitada y el paso de velocidad necesaria ha sido alcanzada.

Hay varias desventajas:

1) Los relevadores son difíciles de ajustar así como para proveer la acción deseada con la velocidad y voltaje apropiados para todas las condiciones de carga. Los relevadores y dispositivos inductivos, no responden de la misma manera para un rápido aumento en la corriente transitoria que como lo harían para un lento aumento en la corriente.

2) Siete relevadores se energizan durante el período de MARCHA. En pequeños arrancadores, arriba de 5 C.F., el control de relevadores se puede eliminar y los relevadores V1, V2 y V3 pueden operar los contactos 1A, 2A y 3A directamente.

3) Es la molesta posibilidad de una severa caída de velocidad como un resultado de gran carga o bajo voltaje.

4) Este dispositivo no se puede usar cuando el control de velocidad se emplea por abajo de la velocidad nominal.

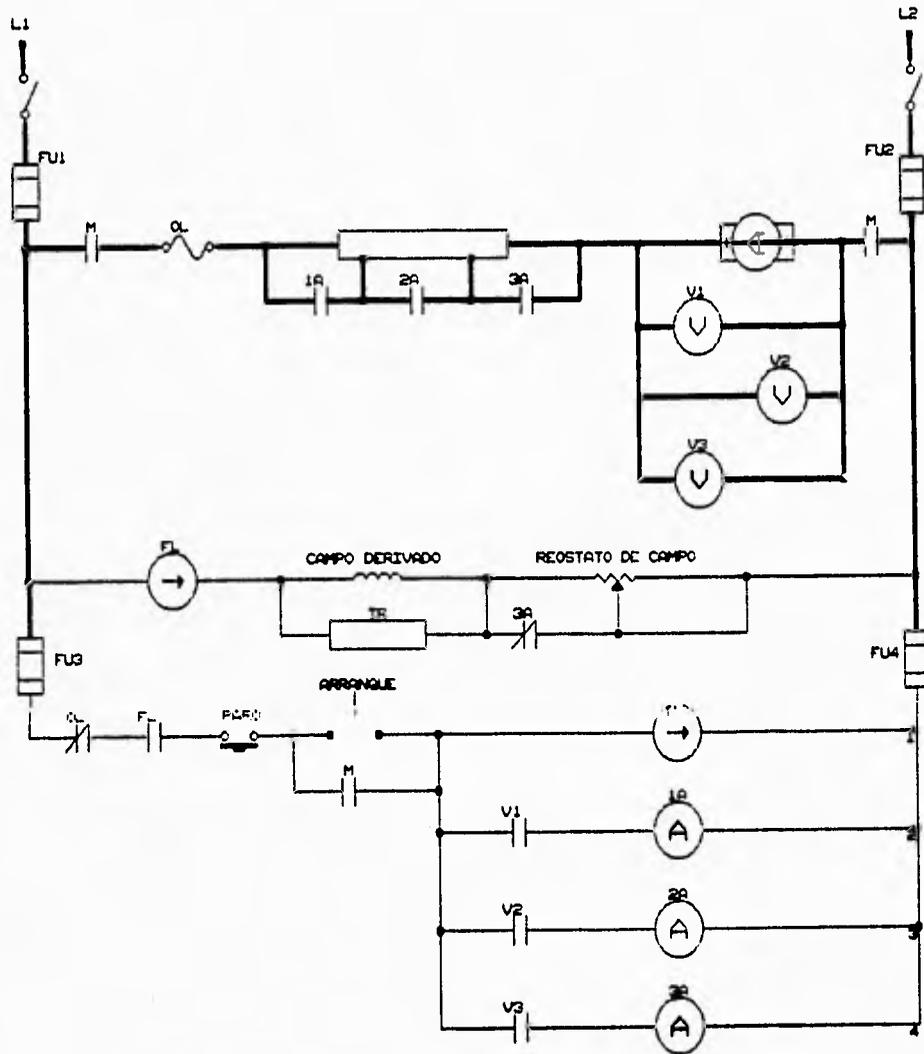


FIGURA 2-8
ARRANCADOR DE C.D. DE ACELERACION DE LIMITE DE CORRIENTE
USANDO RELEVADORES DE FUERZA CONTRAELECTROMOTRIZ
(METODO DE LIMITE DE CORRIENTE)

ARRANCADOR DE C.D. DE ACELERACION DE LIMITE DE CORRIENTE USANDO
RELEVADORES DE BOBINA DE SOPORTE

La figura 2-10, muestra el arrancador. Opera de la siguiente manera:

1. Presionando el boton de arranque simultáneamente energiza el contactor M y 3AC, en el circuito de control, y los relevadores 3HC, 1HC y 1A en el circuito de potencia de armadura. El motor acelera con la resistencia en serie plena en el circuito de armadura, porque las bobinas 3HC y 1HC reciben sobretensiones iniciales de corriente suficientes para cerrar sus contactos de los relevadores.

2. Tanto la corriente de armadura disminuye y el motor acelera, la corriente en 1HC en oposicion a 1A decrece, y, desde que 1A tiene muchas mas vueltas y esta conduciendo la misma corriente, bajo condiciones de estado estable, desarrolla suficiente fuerza magnetomotriz para cerrar los contactos 1A.

3. La corriente de armadura es ahora llevada a traves del camino de baja resistencia de los relevadores en serie 2HC, 2A y 1A por los contactos normalmente abiertos 1A, cerrados por el relevador 1A. Cuando 1A cierra, la corriente se eleva y el motor acelera. La sobretension transitoria en 2HC, en serie con 2A, es suficiente para permitir al armazon superar el ultimo hasta que la corriente regrese a un valor bajo y suficientemente estable. Bajo condiciones de estado estable, sin embargo, 2A cierra sus contactos normalmente abiertos.

4. La corriente de armadura es ahora llevada y elevada a través del camino de baja resistencia de los relevadores en serie 3HC, 3A, contactos cerrados 2A, relevador 2A, contactos cerrados 1A y relevador 1A. Durante la sobretensión de corriente transitoria, 3HC es suficiente para superar 3A. Pero cuando la aceleración del motor y velocidad producen suficiente fuerza contraelectromotriz para reducir la corriente de armadura, el relevador 3A en combinación con su bobina auxiliar 3AC, derivando M, cierran los contactos normalmente abiertos 3A, derivando la red completa de la resistencia de arranque y bobinas de los relevadores a través de la línea. La bobina AC, sirve para mantener los contactos normalmente abiertos 3A cerrados cuando el relevador 3A es puesto en corto.

5. Simultáneamente los contactos normalmente cerrados 3A (derivando el reostato de campo) abren, y el motor acelera a su velocidad final. El resistor R, derivado por los contactos normalmente cerrados M, sirven ambos para proveer protección contra bajo voltaje.

La ventaja del arrancador, es su relativa simplicidad. Solo se requieren 3 relevadores en suma con el relevador M.

Su desventaja es debido a sus bobinas en serie, no es fácil su adaptación para el control de velocidad.

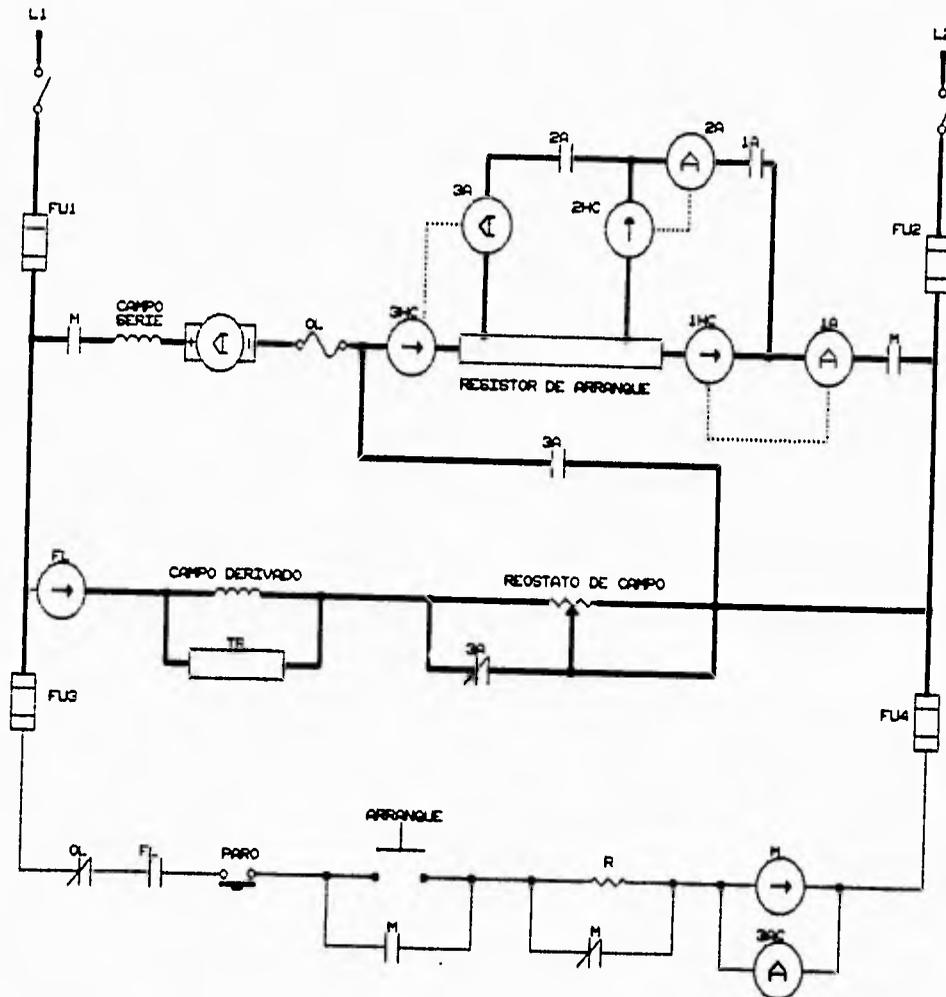


FIGURA 2-10
 ARRANCADOR DE C.D. DE ACELERACION DE LIMITE DE CORRIENTE
 USANDO RELEVADORES DE BOBINA DE SOPORTE

ARRANCADOR DE C.D. DE ACELERACION DE LIMITE DE CORRIENTE USANDO
RELEVADORES EN SERIE

La figura 2-11, muestra el arrancador. Opera de la siguiente manera:

1. Cuando el botón de arranque se oprime, el relevador M energiza el circuito de potencia de armadura y todas las líneas de control. La fuerte sobretensión de corriente a través del relevador 1S, abre los contactos normalmente cerrados 1S, en la línea de control 2. El relevador 1S, es un actuador rápido de constante de tiempo corta comparado a 1A, y el motor arranca con resistencia en serie de armadura plena. Después de que la sobretensión de corriente de arranque decrece a un valor donde 1S puede mantenerse, no por mucho tiempo, cerrado contra su elasticidad, el relevador 1S abre, liberando sus contactos a un estado desenergizado.

2. La línea de control 2, se energiza por los contactos normalmente cerrados 1S del relevador desenergizado 1S. Esto energiza el relevador de control 1A, causando que los contactos 1A se cierren. La corriente ahora se eleva a través de la baja resistencia del relevador 2S y contacto normalmente abierto 1A, poniendo en corto el relevador 1S y una porción de la resistencia en serie de arranque. El motor acelera hasta que la sobretensión de corriente de arranque decrece a un valor donde 2S puede mantenerse, no por mucho tiempo, cerrado y el relevador 2S abierto.

3. La línea de control 3, energizada por los contactos normalmente cerrados 2S del relevador desenergizado 2S, causa la operación del relevador 2A, cerrando sus contactos normalmente abiertos a través de la resistencia de arranque. La corriente ahora se eleva a través de la baja resistencia del relevador 3S, poniendo en corto los relevadores 2S y 1S así como la resistencia en serie del circuito de armadura adicional.

El motor acelera hasta que la sobretensión de corriente de arranque decrece a un valor donde 3S puede, no por mucho tiempo, mantenerse cerrado, y 3S abre.

4. La línea de control 4 se energiza, operando el relevador 3A y poniendo en corto todos los relevadores en serie en el circuito de línea de potencia así como la resistencia en serie de armadura. El motor acelera a su velocidad nominal en la carga nominal.

La ventaja es que cuando operan los relevadores en serie, siempre se energizan cuatro: el relevador M y los 3 relevadores de control 1A, 2A y 3A.

Se debe notar que la operación de los relevadores en serie es casi 100 veces más rápida que la operación de relevadores de control.

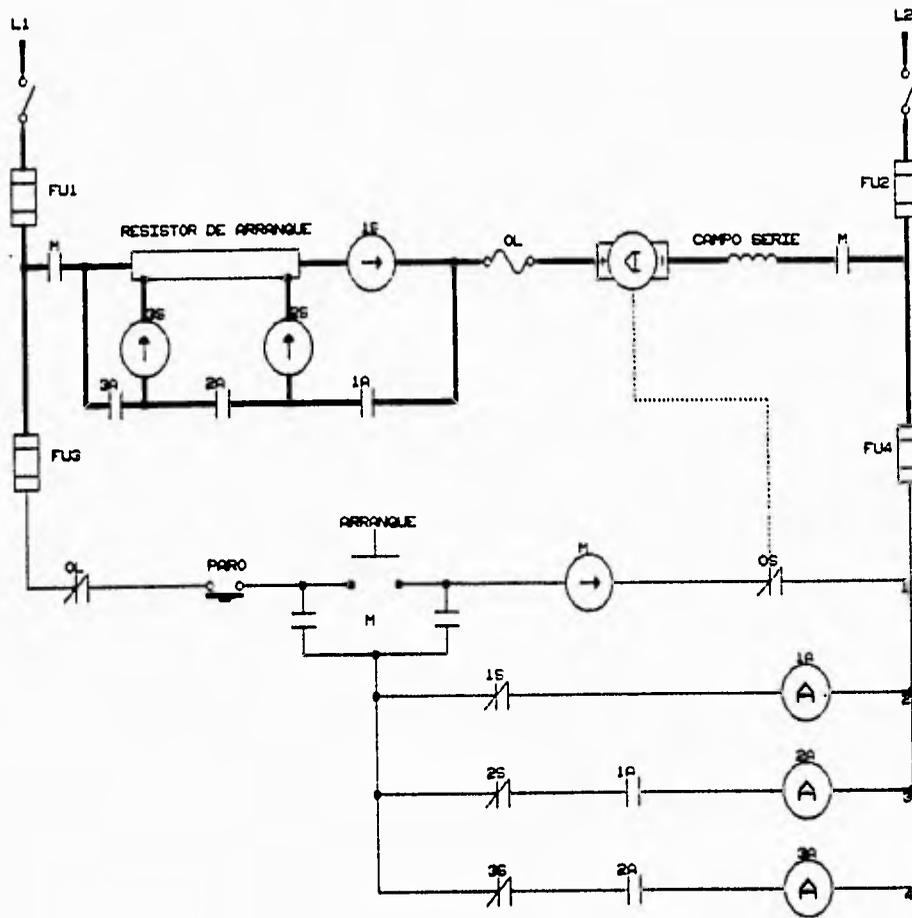


FIGURA 2-11
ARRANCADOR DE C.D. DE ACCELERACION LIMITE DE CORRIENTE
USANDO RELEVADORES EN SERIE

ARRANCADOR DE C.D. DE ACELERACION DE LIMITE DE CORRIENTE USANDO
BOBINAS DE SOPORTE (ACELERACION DE CAIDA DE VOLTAJE)

La figura 2-12, muestra el arrancador. Opera de la siguiente manera:

1. Presionando el botón de arranque, energiza el contactor M, cerrando sus contactos principales y auxiliares. La corriente de armadura se eleva en el circuito de línea de potencia, creando grandes caídas de voltaje a través de todas las bobinas de soporte de los relevadores diferenciales. Los contactos 1A, 2A y 3A se mantienen abiertos, así, el motor acelera.

2. Mientras la sobretensión de corriente decrece, el voltaje a través del relevador más débil HC2 decrece suficientemente en un momento, causando que su contrabobina, 1A, cierre los contactos normalmente abiertos 1A. Cuando los contactos 1A se cierran, el relevador HC1 se pone en corto, así como una porción de la resistencia de arranque en serie con la armadura del motor. El motor acelera a su más alta velocidad por la sobretensión de corriente de armadura.

3. Mientras la sobretensión de corriente decrece, el voltaje a través del relevador más débil, HC2, decrece suficientemente en un momento, causando a su contrabobina 2A, que cierre los contactos normalmente abiertos 2A. Cuando los contactos 2A cierran, el relevador HC2 se pone en corto, así como una segunda porción de la resistencia de arranque en serie con la armadura del motor. El motor acelera a su más alta velocidad por la sobretensión de corriente de armadura.

4. Cuando la sobretensión de corriente decrece, el voltaje a través de HC3 decrece suficientemente en un momento, causando a su contrabobina 3A que cierre los contactos normalmente abiertos 3A. El motor acelera a su velocidad normal. Un contacto normalmente cerrado OS en la línea de control 1, previene el desbocamiento.

Su ventaja es que no requiere engranes eléctricos en su circuito de control entre relevadores individuales.

Se debe notar que todos los arrancadores de límite de corriente (lazo cerrado) mostrados de la figura 2-8 a 2-11 tienen la ventaja de acelerar el motor en el tiempo apropiado, cuando la sobretensión de corriente decrece a normal.

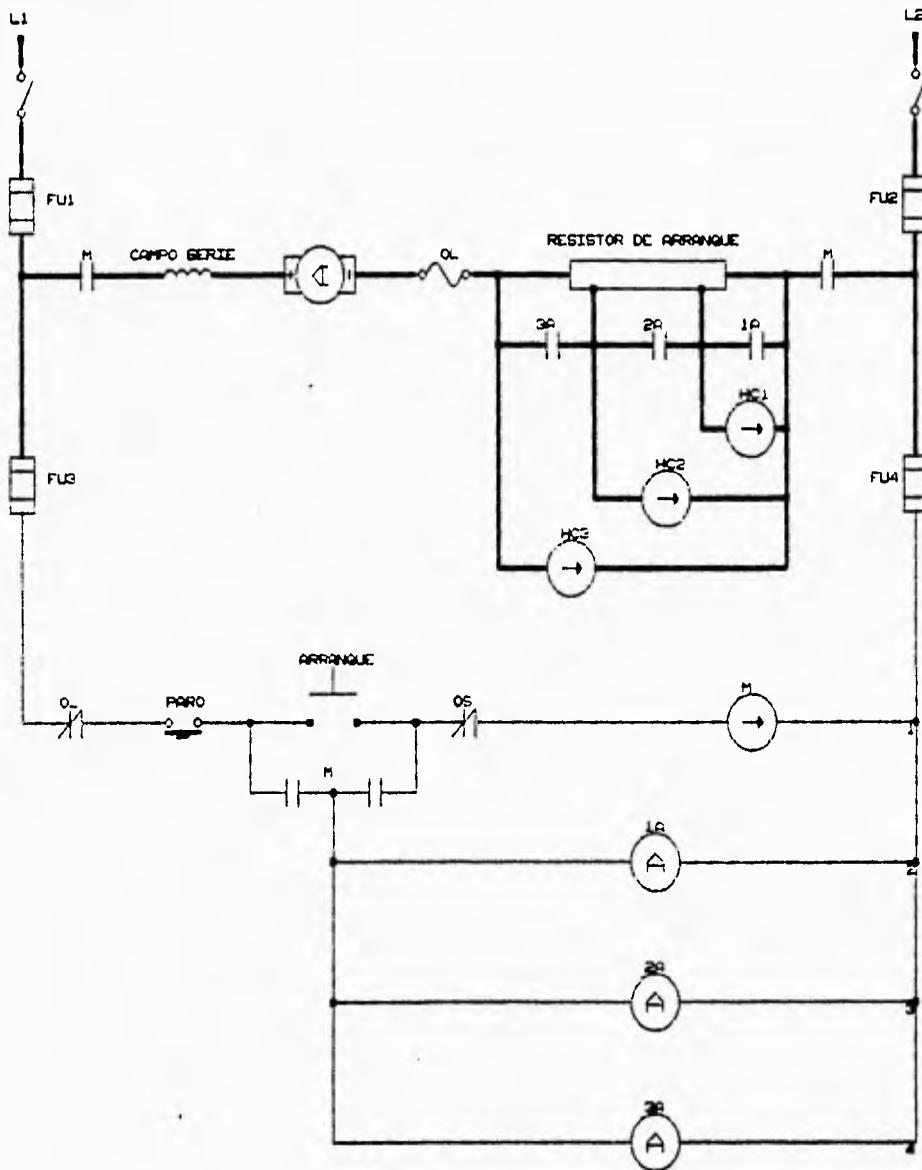


FIGURA 2-12

ARRANCADOR DE C.D. DE ACELERACION DE LIMITE DE CORRIENTE
USANDO BOBINAS DE SOPORTE (ACELERACION DE CAIDA DE VOLTAJE)

ARRANCADOR DE C.D. DE LIMITE DE CORRIENTE USANDO BOBINAS DE SOPORTE Y
AMPLIFICADOR MAGNETICO

La figura 2-13, muestra el arrancador. Opera de la siguiente manera:

1. El motor arranca con su resistencia de armadura en serie al máximo y máxima sobretensión de corriente a través del circuito de armadura. La alta entrada de C.D. al amplificador magnético produce una alta salida de voltaje de C.D. a través de todas las bobinas de soporte, manteniendo los contactos 1A, 2A y 3A abiertos. Cuando la sobretensión de corriente decrece, la más débil bobina de soporte, 1HC, puede, no por mucho tiempo, contener su armadura, y el relevador diferencial 1A cierra los contactos 1A. El relevador diferencial 1A, es el relevador más fuerte, porque tiene el más alto voltaje a través de él.

2. Cuando el relevador 1A opera, simultáneamente pone en corto un paso de la resistencia de armadura en serie y abre un contacto normalmente cerrado 1A en serie con 1HC, previniendo que 1HC responda a la elevación de corriente. Cuando 1A pone en corto la resistencia de armadura en serie, el voltaje diferencial a través del relevador 1A, es el mismo que el voltaje de armadura; pero, desde que su bobina de oposición no está por mucho tiempo en el circuito, el relevador 1A se mantiene energizado.

3. La sobretensión de corriente creada por la resistencia en serie puesta un paso en corto, acelera el motor y provee una alta salida de voltaje de C.D. del amplificador magnético a bobinas de soporte 2HC y 3HC. Mientras la sobretensión de corriente de armadura decrece, desde que el voltaje a través de 2A excede el de 3A, el relevador diferencial 2A cerrará antes de 3A, cada vez que el voltaje $x-x'$ caiga a un valor bajo.

4. Cuando el relevador 2A opera, la corriente se eleva una vez más, cerrando el relevador 3A por la acción de 3HC.

El circuito de amplificador magnético tiene la ventaja de sensar relativamente pequeños cambios en la corriente de armadura y convirtiéndolos a voltaje que se pueden usar para operar los relevadores diferenciales. El arrancador se puede usar con menores modificaciones en los relevadores en un amplio rango de motores. Esto es así porque ambas bobinas de cada relevador diferencial son bobinas de voltaje más que bobinas de corriente.

Otra ventaja es la relativa velocidad de respuesta del amplificador magnético a cambios en saturación (responde a 5 ciclos en circuito de 60 Hz o en 1/12 s.)

El amplificador mismo, comparado con amplificadores electrónicos de c.a. teniendo entrada de C.D. y moduladores y demoduladores de salida, es relativamente simple, insensible a choques o a vibraciones.

Se puede usar para arranque de c.a. y para C.D y para el control de velocidad de motores de c.a., también en aplicaciones de servomecanismos.

Se representaron unos cuantos tipos de arrancadores de C.D. para transmitir la naturaleza de las técnicas usadas.

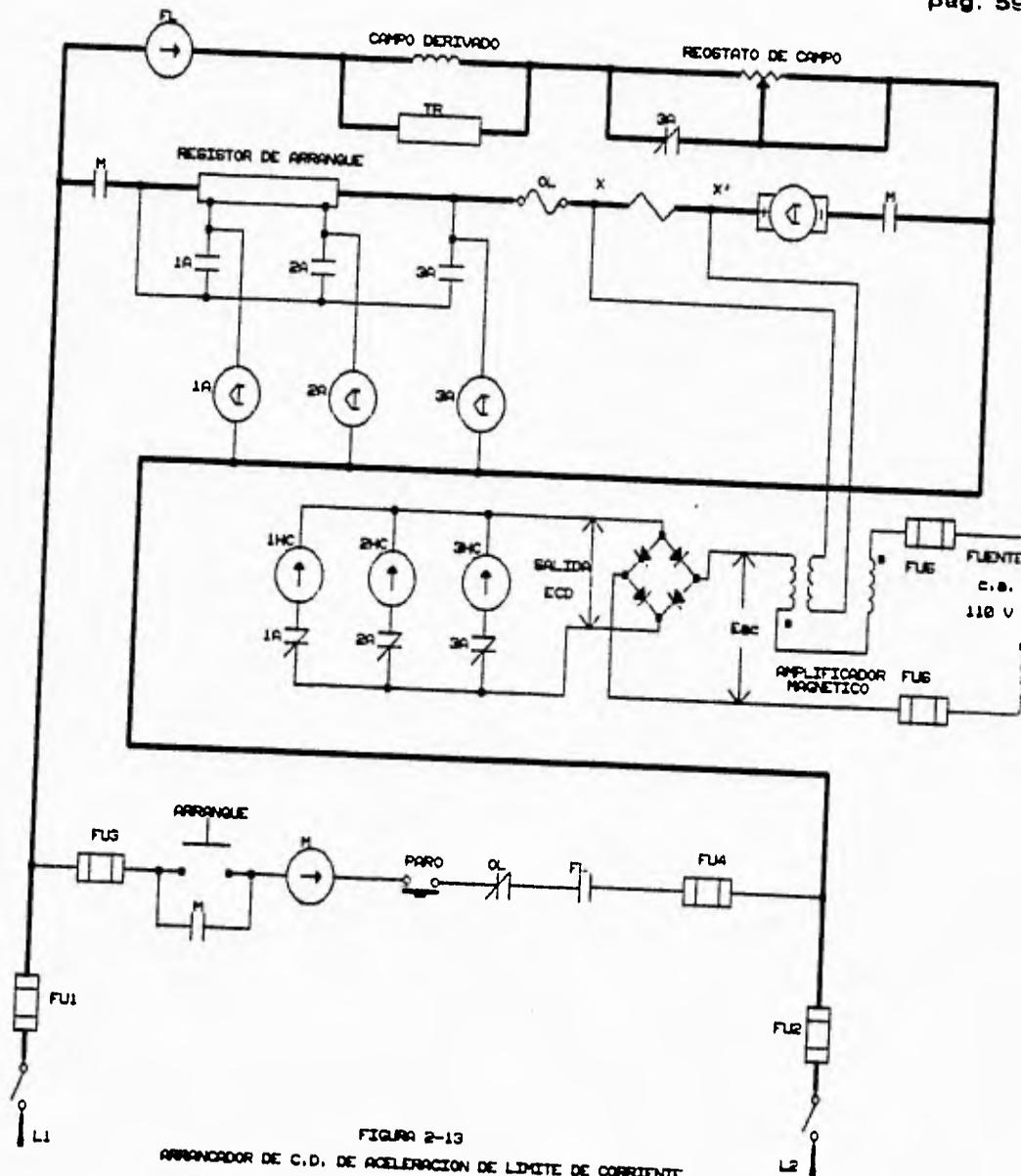


FIGURA 2-13
ARRANQUE DE C.D. DE ACELERACION DE LIMITE DE CORRIENTE
USANDO BOBINAS DE SOPORTE Y AMPLIFICADOR MAGNETICO

2.2 CONTROL DE MOTORES DE C.D.

2.2.1 INTRODUCCION

La palabra CONTROL, significa gobierno, mando o regulación. Así, cuando hablamos de control de un motor o maquina, nos referimos al gobierno, mando o regulación de las funciones de dicho motor.

Aplicado a los motores, los controles realizan varias funciones, tales como las de arranque, aceleración, regulación de velocidad, regulación de potencia, protección, inversión y paro.

Cada elemento del equipo utilizado para regular o gobernar las funciones de un motor se llama componente de control.

Un controlador eléctrico, es un dispositivo o grupo de dispositivos que controla o regula las funciones de un motor de manera predeterminada o en un orden de sucesión o secuencia así mismo predeterminado.

2.2.2 CONTROL MANUAL Y AUTOMATICO DE VELOCIDAD DE 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:

$$\text{VELOCIDAD} = \frac{V_a - I_a R_a}{K\phi}$$

Son tres métodos básicos:

1. Control por campo
2. Control por armadura
3. Control por voltaje de armadura

CONTROL POR CAMPO

Suponiendo que el voltaje de armadura permanece constante, la velocidad del motor aumenta en relación inversa con la corriente de campo. La simple adición de un reostato en el circuito de campo permite realizar este ajuste mediante la siguiente sucesión de pasos:

1. Se incrementa la resistencia en el circuito de campo.
2. Se reduce la corriente de campo.
3. Se reduce el flujo magnético.
4. Se reduce la fuerza contraelectromotriz de la armadura.
5. Se incrementa la corriente de armadura.
6. El aumento en la corriente de armadura trae consigo un aumento en el flujo propio de la armadura, ocasionando una reducción extra del flujo total.

7. Se incrementa la velocidad hasta estabilizarla en un valor tal que haga que el valor de la nueva fuerza contraelectromotriz más la caída de tensión en la sea igual al voltaje aplicado.

Es posible apreciar que el control por campo puede utilizarse para obtener velocidades superiores a la velocidad nominal.

La velocidad máxima obtenible con control por campo está fijada por las normas para motores tipo derivación, como función de la potencia y velocidad nominales.

Este último valor está limitado por la construcción mecánica de la armadura, por lo que cuanto menor sea la velocidad nominal, más amplia será la gama permisible de control.

Puesto que la potencia del motor permanece prácticamente constante, su capacidad para desarrollar un par en forma continua disminuirá a medida que se incremente la velocidad.

El método de control por campo es el más simple, y por lo tanto el más utilizado.

CONTROL POR ARMADURA

Si la corriente de campo se mantiene sin cambio y el voltaje de armadura se modifica, la velocidad cambiará también, conforme a la ecuación descrita antes. El cambio en la tensión de armadura debe ser hacia abajo desde el valor nominal, por lo que el ajuste de velocidad será también hacia abajo desde el valor nominal.

La gama de velocidades disponibles con este método de control es más amplia que en caso anterior, y sus efectos sobre la potencia y el par son opuestos a los observados para el control por campo:

- La capacidad de par permanece de una forma constante.
- La potencia disponible decrece en una forma proporcional a la disminución de la velocidad.

Es conveniente señalar que la velocidad mínima de operación es establecida por el aumento de temperatura alcanzado por el motor, y dependerá en gran parte del sistema de enfriamiento empleado.

CONTROL POR VOLTAJE DE ARMADURA

La gran versatilidad de este tipo de control es la causa fundamental de la existencia permanente de las grandes máquinas de C.D. La velocidad se controla fácilmente desde cero hasta la máxima velocidad segura en ambos sentidos. Por medio de una retroalimentación de corriente inversa es posible controlar el par más bien que la velocidad.

La fuente de voltaje controlado puede ser una máquina de C.D. o un rectificador con control de estado sólido. Si se emplea una máquina de C.D., el sistema se denomina "sistema Ward-Leonard", en honor a su inventor.

Los sistemas Ward-Leonard son más caros que los que usan rectificadores con control de estado sólido y su respuesta puede ser más lenta.

Los motores de C.D. son ruidosos cuando se accionan por fuentes rectificadoras. Cuando es importante que el funcionamiento sea silencioso, como en los elevadores eléctricos, se emplean casi siempre sistemas Ward-Leonard.

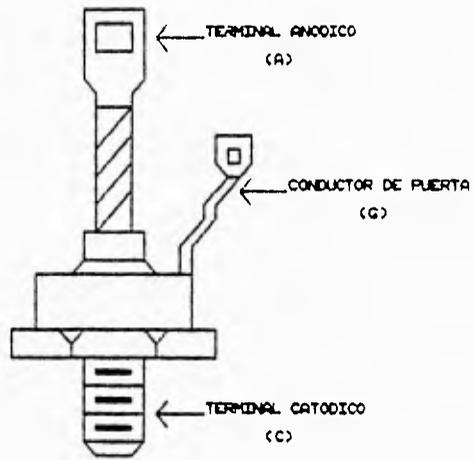
Otra ventaja de los sistemas Ward-Leonard es su habilidad para "regenerar". Esto significa la capacidad para regresar energía almacenada a la línea de alimentación.

2.2.3 CONTROL ELECTRONICO

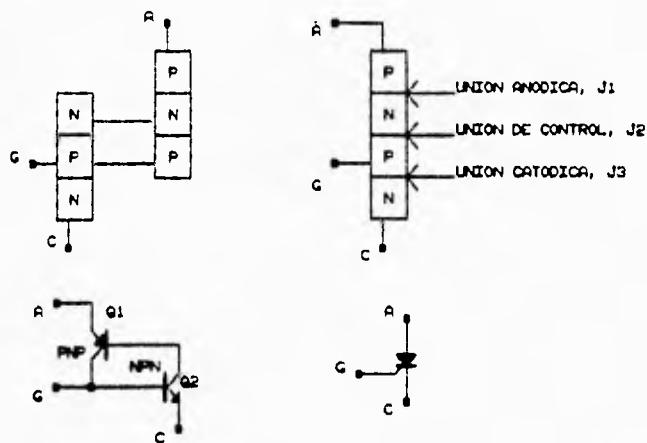
El desarrollo del tiristor o rectificador de silicio controlado (SCR) para servicios de media y baja potencia en la década de los 50, ha creado posibilidades ilimitadas para el control de motores de C.D., desde una fuente de c.a., mediante procedimientos electrónicos. El pequeño tamaño, la elevada seguridad en el funcionamiento y la relativa eficacia del SCR ha empezado a dominar la última mitad del siglo XX en el control de motores de C.D. y de c.a. de pequeña o mediana potencia.

El SCR puede considerarse formado por dos transistores: un npn y un pnp conectado en oposición. El resultado es la producción de un semiconductor pnpn que se compone de tres uniones: anódica, de control y catódica. Según la figura 2-14, el colector de Q_2 gobierna la base de Q_1 y viceversa. Si β_1 es la ganancia de corriente de Q_1 , y β_2 la de Q_2 , el producto $\beta_1\beta_2$ es la ganancia del bucle de realimentación positivo, o β_3 . Cuando $\beta_3 < 1$, el circuito se halla en un estado estable y el SCR no está polarizado. Cuando se aplica una tensión positiva a la puerta de control G, Q_2 está polarizado en sentido de paso, produciendo un incremento en la corriente de colector a un punto donde su ganancia de corriente β_2 ocasionará que la ganancia de lazo β_3 sea mayor que uno.

Cuando se dispara mediante una tensión positiva a G de un estado de bloqueo a un estado de paso o conducción, es innecesario continuar manteniendo una tensión positiva a la puerta. El SCR permanecerá en estado de conducción. De esta forma, un simple pulso positivo, de magnitud suficiente para incrementar β_2 de forma que β_3 sobrepase la unidad, es todo lo que se requiere para iniciar el estado de conducción. Se puede poner fuera de servicio mediante la reducción de la corriente de colector, de forma que β_2 sea menor que uno. Puesto que el SCR se dispara de conducción a bloqueo y viceversa (reducción de tensión anódica y de impulsos positivos de disparo de puerta, respectivamente), el SCR puede emplearse como interruptor para corrientes bajas y moderadas (hasta 400 A).



(a) ASPECTO FISICO



(b) TRANSISTOR EQUIVALENTE DE TRES UNIONES

FIGURA 2-14
RECTIFICADOR DE SILICIO CONTROLADO (SCR)

2.3 FRENADO DE MOTORES DE C.D.

2.3.1 FRENADO POR INVERSION

Es posible invertir el sentido de rotación de un motor de C.D. mediante la inversión del sentido, ya sea de su flujo de campo o bien de su corriente de armadura, de acuerdo con la regla de la mano izquierda. Invirtiendo tanto el flujo de campo como la corriente de armadura simultáneamente, mediante la inversión de las conexiones de línea, produce un par en la misma dirección, y el sentido de rotación permanece invariable. De esta forma, un motor de C.D. serie, derivado o compuesto puede ser invertido por inversión del sentido de la corriente en el circuito de armadura o por la inversión del sentido de los campos derivado y/o serie únicamente, permaneciendo el mismo sentido de la corriente de armadura, del devanado compensador y del flujo de conmutación.

El frenado por inversión es el principio de aplicación de potencia al motor en un sentido tal que tiende a invertirlo. Como se debe parar, o pasar a través de la condición de reposo antes de que pueda invertirse, es posible parar o frenar un motor mediante el frenado por inversión.

Cuando la armadura funciona en un sentido determinado y se invierte la polaridad de la tensión aplicada a la armadura, en este momento la f.c.e.m. se suma con la tensión aplicada por estar en fase, que significaría dos veces la tensión que puede manifestarse en el momento del arranque sin resistencia en serie con la armadura y la corriente máxima permisible sería la que correría en el instante en se inicia el frenado por inversión, por lo que es necesario una resistencia adicional en serie con la armadura, además de la resistencia en serie con la misma para el adecuado frenado por inversión, de forma que limita la corriente de armadura a un valor de seguridad.

2.3.2 FRENADO REGENERATIVO

Otro tipo de frenado eléctrico, es el frenado regenerativo. Regeneración indica que la energía vuelve a la fuente de alimentación.

El frenado regenerativo nace del dinámico, ya que se parte de no desaprovechar la energía de rotación de un motor grande, por disipación en una resistencia, en lugar de reintegrar esta energía a la fuente de alimentación.

El principio del frenado regenerativo es tan simple como increíble. El motor marchará a una velocidad determinada por su excitación y f.c.e.m., en tanto que absorba la corriente de la red. Si la excitación aumenta y se lleva mediante la fuerza motriz a una velocidad más elevada, la máquina enviará corriente a la red y hará las veces de generador. La carga sobre el motor primario, como resultado de la acción de generador, reducirá la velocidad de dicho motor primario y hará que la máquina reanude su acción de motor cuando su f.c.e.m. y velocidad vuelvan a ser de un valor tal que la corriente se establezca de la red a la máquina.

Por tanto, en el frenado regenerativo, no es siquiera necesario desconectar el motor de la red, todo lo que se requiere es que la velocidad del motor y la excitación aumenten lo suficiente para invertir la corriente de armadura y producir la acción de generador.

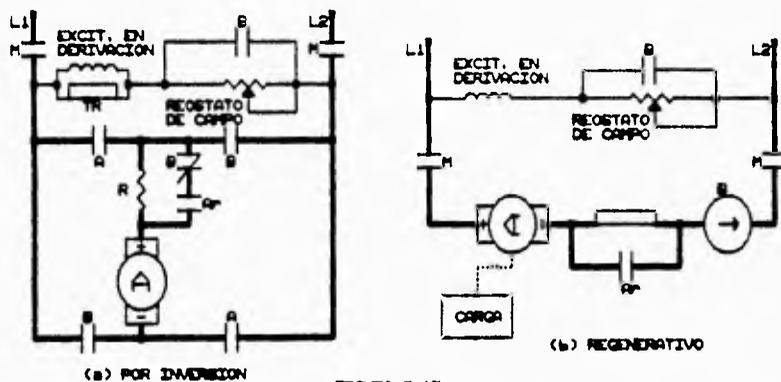


FIGURA 2-16
FRENADO

2.3.3 FRENADO DINAMICO

Cuando se desconecta la armadura de un motor de la fuente de energía, se parará al cabo de cierto tiempo, a pesar de la inercia de su carga, porque la armadura no recibe ya energía y actúan las pérdidas mecánicas.

Si la excitación de un motor de C.D. se mantiene cuando la armadura se desconecta de la fuente, los conductores de la armadura en movimiento presentarán una tensión inducida y la armadura ya no excitada, actuará como un generador de excitación independiente. El movimiento de la armadura es debido a la inercia y a su carga conectada.

Si una carga eléctrica en forma de resistencia se conecta en bornes de la armadura ya no excitado de un motor de C.D., este se parará muy rápidamente, puesto que la inercia de la armadura del motor debe vencer las pérdidas eléctricas y de rotación.

Esta forma de frenado, en la que la armadura queda sin excitación, conectado en bornes de una resistencia y que permite disipar su energía de rotación como generador se denomina FRENADO DINAMICO.

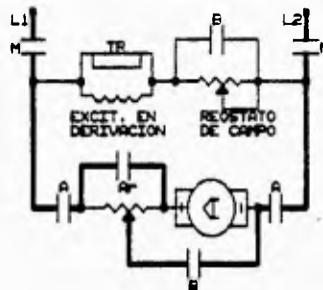


FIGURA 2-16
FRENADO DINAMICO

CAPITULO 3

ANALISIS DE RESPUESTA DE LAS VARIABLES A CONTROLAR

- 3.1 ANALISIS DE RESPUESTA
- 3.2 CIRCUITO MAGNETICO
- 3.3 MAGNETIZACION E HISTERESIS
- 3.4 CURVA DE MAGNETIZACION
- 3.5 FUNCION DE FROELICH
- 3.6 FUERZA ELECTROMOTRIZ ENTRE LAS ESCOBILLAS DE UNA MAGUINA REAL
- 3.7 CURVA DE SATURACION EN VACIO
- 3.8 CONVERSION DE ENERGIA
- 3.9 REACCION DE ARMADURA
- 3.10 PERDIDAS
 - 3.10.1 PERDIDAS ELECTRICAS
 - 3.10.2 PERDIDAS MECANICAS
 - 3.10.3 PERDIDAS MAGNETICAS
 - 3.10.4 PERDIDAS ROTACIONALES

3.1 ANALISIS DE RESPUESTA

Se verá que la maquina manifiesta su comportamiento a través de cuatro variables externas. Y son las siguientes:

- V_a → que es el voltaje aplicado
- i_a → que es la corriente de armadura
- ω → que es la velocidad angular
- T_m → que es el par mecánico

Sin embargo, no hay que olvidar que el proceso de conversión de energía tiene su apoyo en el flujo polar, el cual se controla desde el exterior mediante la corriente de excitación i_{ex} que viene a constituir una quinta variable.

El asignar un valor concreto a una de las variables repercute cuando menos en el valor de otra de ellas, pero a menudo sucede en mas de una.

A la acción de asignar un valor a una variable se le conoce como aplicar una señal, y el valor que adquiere otra u otras variables será la RESPUESTA DE LA MAQUINA.

3.1 ANALISIS DE RESPUESTA

Se verá que la máquina manifiesta su comportamiento a través de cuatro variables externas. Y son las siguientes:

- V_a → que es el voltaje aplicado
- I_a → que es la corriente de armadura
- ω → que es la velocidad angular
- T_m → que es el par mecánico

Sin embargo, no hay que olvidar que el proceso de conversión de energía tiene su apoyo en el flujo polar, el cual se controla desde el exterior mediante la corriente de excitación I_{ex} que viene a constituir una quinta variable.

El asignar un valor concreto a una de las variables repercute cuando menos en el valor de otra de ellas, pero a menudo sucede en más de una.

A la acción de asignar un valor a una variable se le conoce como aplicar una señal, y el valor que adquiere otra u otras variables será la RESPUESTA DE LA MÁQUINA.

3.2 CIRCUITO MAGNETICO

Para inducir una fuerza electromotriz se requieren tres componentes:

- a) Un flujo magnetico
- b) Un conductor con direccion perpendicular al flujo
- c) Un movimiento relativo entre conductor y flujo cuya direccion es mutuamente perpendicular a ellos

El flujo magnetico en la máquina lo proporciona una fuente de fuerza magnetomotriz, y las lineas de flujo recorren las diferentes piezas que constituyen el circuito magnetico, y se ilustra en la figura 3-1.

El recorrido de toda la linea de flujo podria comenzar en cualquier punto, por ejemplo, en la pieza polar norte, y continuar por zapata polar norte, entrehierro norte, nucleo de armadura, entrehierro sur, zapata polar sur, pieza polar sur, coraza y cerrar nuevamente en la pieza polar norte.

Las lineas de flujo se rechazan entre si, de modo que en piezas como las zapatas polares ocupan todo el lugar disponible, atravesando asi el núcleo de armadura con la mayor extension posible.

Otra propiedad de las lineas es que son elasticas, por lo que ante un obstaculo como el entrehierro, buscan el camino más corto, o sea la direccion radial.

En la misma figura se observa alrededor de las piezas polares norte y sur, el corte de la bobina de excitacion que constituyen la fuente de fuerza magnetomotriz.

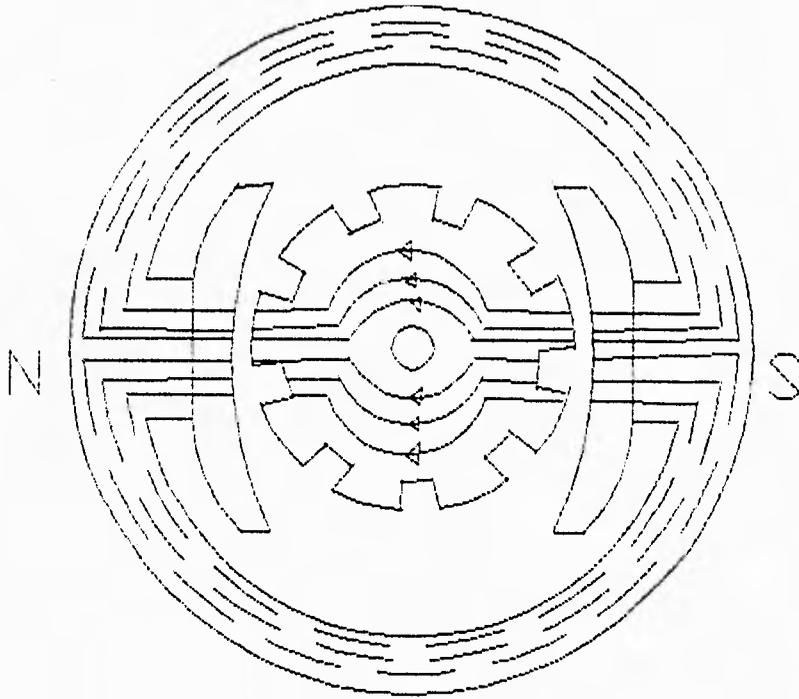


FIGURA 9-1

CORTE TRANSVERSAL DEL CIRCUITO MAGNETICO DE LA MAQUINA DE C. D.

3.3 MAGNETIZACION E HISTERESIS

El circuito magnético de la máquina se podría idealizar en la figura 3-2. El aspecto del circuito es bastante simplificado y no se parece a su forma real, sin embargo, representa todas las piezas que se han descrito anteriormente.

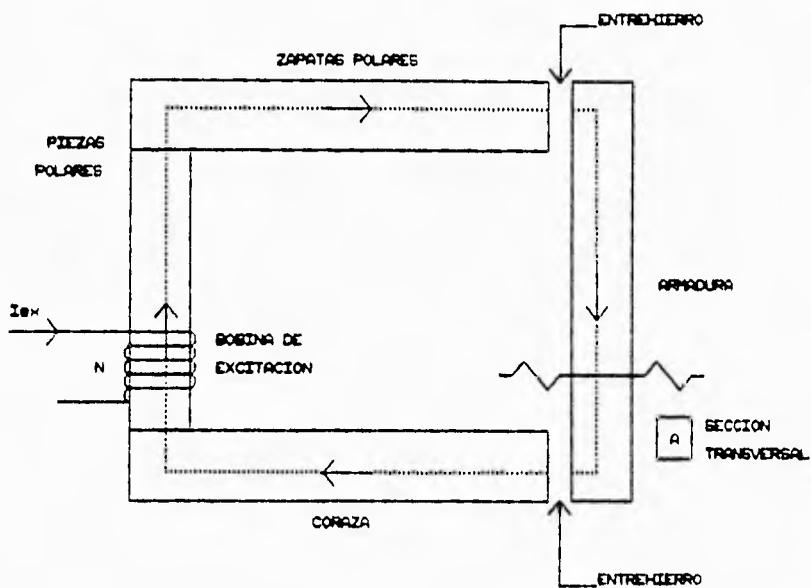


FIGURA 3-2
REPRESENTACION IDEALIZADA DEL CIRCUITO MAGNETICO

Si se hace circular una corriente i_{ex} , por la bobina de N vueltas, se establece la fuerza magnetomotriz, que es el producto de estas dos cantidades:

$$F_{mm} = Ni_{ex}$$

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:

$$H = \frac{Ni_{ex}}{L}$$

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

$$B = \phi / A$$

La primera vez que se excita la máquina, comienza a aparecer una densidad de flujo a partir del origen. A medida que crece la corriente de excitación (y por lo tanto la fuerza magnetizante) aumenta también la densidad de flujo. Sin embargo, la relación entre la densidad de flujo y la fuerza magnetizante no es lineal, como se muestra en la figura 3-3, que representa las propiedades del material ferromagnético.

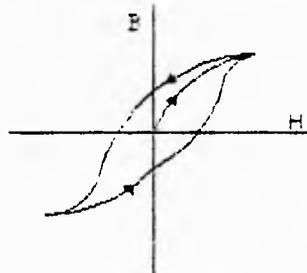


FIGURA 3-3
CURVA DE MAGNETIZACION Y AREA DE HISTERESIS

Al inicio de la curva, la pendiente es pequeña debido a la dificultad para orientar los primeros dominios magnéticos del núcleo. En seguida viene una región de máxima pendiente, cuando la fuerza magnetizante ha adquirido una magnitud apreciable y en el núcleo existen suficientes dominios disponibles para orientar. Por último, dicha fuerza puede seguir creciendo, pero al no haber más dominios orientables en el núcleo, la densidad de flujo tiende a estabilizarse (la curva se acerca a la horizontalidad) y se dice que el núcleo se ha saturado.

Si a partir de la condición de núcleo saturado se comienza a disminuir la excitación se nota una tendencia a retener parte del flujo, debido a que cierta cantidad de dominios permanecen orientados. A este fenómeno se le llama HISTERESIS y se manifiesta en la gráfica por un descenso en una trayectoria por arriba de la inicial.

Al desaparecer por completo la excitación, queda en el circuito una pequeña densidad de flujo que se conoce como MAGNETISMO REMANENTE. Esto se debe a que las piezas polares de la máquina real se fabrican de imán permanente.

Si se invierte la dirección de la corriente de excitación, se genera la parte simétrica de la gráfica, como se puede observar en la figura, y al disminuir la corriente negativa y volverse otra vez positiva, aparece una nueva trayectoria ascendente. Al área encerrada entre las trayectorias ascendente y descendente se le llama AREA DE HISTERESIS.

3.4 CURVA DE MAGNETIZACION

En la figura 3-3 se presentó una curva de magnetización y el área de histéresis en un sistema de coordenadas generalizadas, o sea, que muestra las propiedades magnéticas del material, independientemente de la forma y dimensiones que se le den al circuito.

Para que esta figura represente el comportamiento de un circuito magnético en particular, cuyas dimensiones ya han sido definidas, solamente se requiere cambiar las escalas coordenadas. Recordando el significado de la coordenada horizontal:

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

En un circuito elaborado, su longitud media y el número de vueltas de la bobina son cantidades conocidas, de modo que si la fuerza magnetizante se multiplica por L y se divide entre N se tiene:

$$ie = \frac{H L}{N}$$

La nueva abscisa de la curva será la corriente de excitación.

De manera semejante, la densidad de flujo es:

$$B = \phi / A \rightarrow \phi = BA$$

La nueva ordenada de la curva será el flujo total en cada polo.

Otro detalle más para particularizar la curva de magnetización sería tener en cuenta que la máquina es de corriente directa, o sea, que la corriente de excitación será siempre positiva y solamente operará en el primer cuadrante de la gráfica. Esto trae por consecuencia que el área de histéresis se desarrolle solamente alrededor de la trayectoria descendente de la figura 3-3, convirtiéndose en apariencia en una línea curva algo gruesa.

La curva de magnetización para la máquina de C.D. sería como aparece en la figura 3-4:

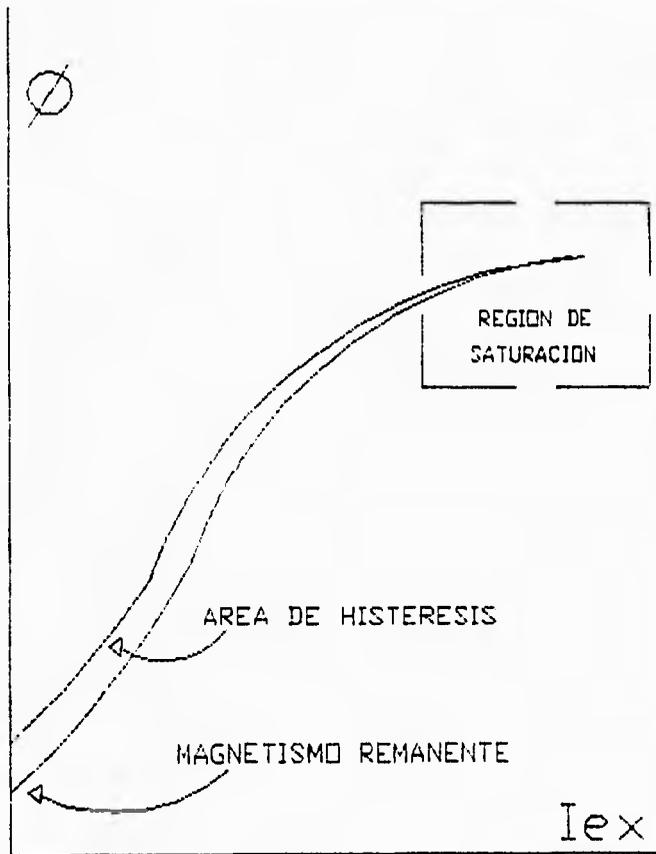


FIGURA 3-4
CURVA DE MAGNETIZACION DE LA MAQUINA DE C. D.

El hecho de que se manifieste un pequeño flujo sin corriente de excitación se debe al imán permanente.

Para las maquinas con excitación en derivación, la corriente de excitación es de pequeña intensidad y se deriva del circuito de armadura.

Para las maquinas con excitación en serie, la corriente de excitación es de gran intensidad y es la misma corriente de armadura.

Para las maquinas con excitación compuesta, la particularización de la abscisa no es simple, pues recordando que la fuerza magnetizante tiene dos componentes:

$$H = \frac{N_d i_d}{L} \pm \frac{N_s i_s}{L}$$

solamente se podría dividir entre uno de los números de vueltas. Si se elige N_d se tiene:

$$H \frac{L}{N_d} = i_d \pm \frac{N_s}{N_d} i_s$$

que sería una corriente de excitación hipotética formada por el valor real de la corriente en el campo derivado y una fracción de la corriente en el campo serie. El signo depende de que la conexión serie sea acumulativa o diferencial.

Sea:

$$U = \frac{N_s}{N_d}$$

entonces:

$$i_{ex} = I_d + u i_s$$

donde:

i_{ex} → es la abscisa de la curva de magnetización

i_d → es la corriente en el campo en derivación

u → es la relación de vueltas de los campos

i_s → es la corriente en el campo serie

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

3.5 FUNCION DE FROELICH

El conocimiento de la curva de magnetización de la maquina es fundamental para el análisis de su respuesta.

Una función analítica que reprodujera rigurosamente la figura 3-4 resultaría muy complicada y poco práctica. La FUNCION DE FROELICH en cambio, establece una relación sencilla entre flujo y corriente de excitación y se aproxima a la curva de magnetización de una manera satisfactoria. Su expresión es:

$$\phi = \frac{c i_{ex}}{b + i_{ex}}$$

donde c es una constante que gráficamente representa la altura de una asíntota horizontal, y b es otra constante que gráficamente representa la abscisa de otra asíntota vertical.

Su gráfica corresponde a la de la figura 3-5:

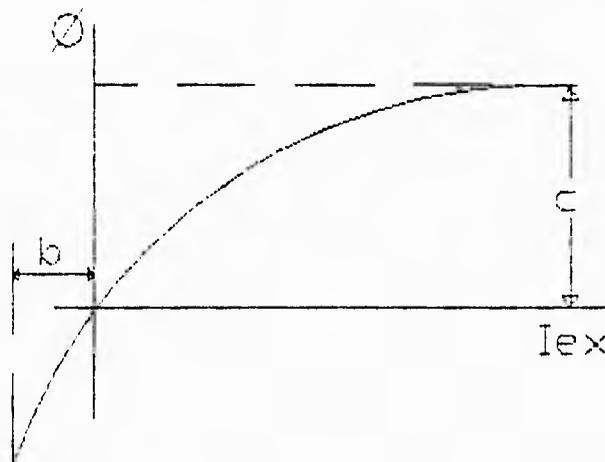


FIGURA 3-5
GRAFICA DE LA FUNCION DE FROELICH

3.5 FUNCION DE FROELICH

El conocimiento de la curva de magnetización de la maquina es fundamental para el análisis de su respuesta.

Una función analítica que reprodujera rigurosamente la figura 3-4 resultaría muy complicada y poco práctica. La FUNCION DE FROELICH en cambio, establece una relación sencilla entre flujo y corriente de excitación y se aproxima a la curva de magnetización de una manera satisfactoria. Su expresión es:

$$\phi = \frac{c I_{ex}}{b + I_{ex}}$$

donde c es una constante que gráficamente representa la altura de una asíntota horizontal, y b es otra constante que gráficamente representa la abscisa de otra asíntota vertical.

Su gráfica corresponde a la de la figura 3-5:

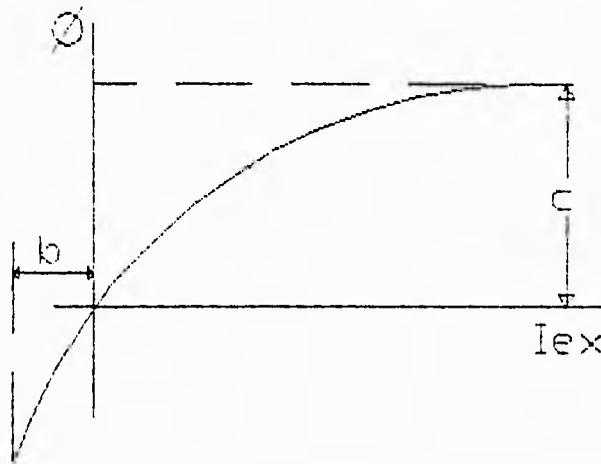


FIGURA 3-5
GRAFICA DE LA FUNCION DE FROELICH

El denominador $b+lex$ influye sobre la pendiente de la curva, haciéndola mas pequeña conforme crece la corriente de excitación, por lo que se le llamará FACTOR DE SATURACION.

Si comparamos la función de Froelich con la curva real de magnetización como se observa en la gráfica de la figura 3-6 obtenemos las siguientes conclusiones:

- La aproximación de la función de Froelich solamente es válida en el primer cuadrante. Esto no representa ningún inconveniente, puesto que la máquina es de corriente directa y siempre trabajará en el primer cuadrante.
- La función de Froelich pasa por el origen y por tanto no tiene en cuenta el magnetismo remanente. Tampoco es inconveniente porque la máquina normalmente no opera en esta región. En casos excepcionales que se requiera analizar el comportamiento de la máquina con cero corriente de excitación, es fácil introducir una corrección.
- La función de Froelich y la curva de magnetización prácticamente son coincidentes en el inicio de la saturación, donde normalmente trabaja la máquina.
- El problema de definir la función de Froelich para una máquina real, consiste en determinar los parámetros c y b , lo cual es factible.

El denominador $b+le$ influye sobre la pendiente de la curva, haciéndola más pequeña conforme crece la corriente de excitación, por lo que se le llamará FACTOR DE SATURACION.

Si comparamos la función de Froelich con la curva real de magnetización como se observa en la gráfica de la figura 3-6 obtenemos las siguientes conclusiones:

- La aproximación de la función de Froelich solamente es válida en el primer cuadrante. Esto no representa ningún inconveniente, puesto que la máquina es de corriente directa y siempre trabajará en el primer cuadrante.
- La función de Froelich pasa por el origen y por tanto no tiene en cuenta el magnetismo remanente. Tampoco es inconveniente porque la máquina normalmente no opera en esta región. En casos excepcionales que se requiera analizar el comportamiento de la máquina con cero corriente de excitación, es fácil introducir una corrección.
- La función de Froelich y la curva de magnetización prácticamente son coincidentes en el inicio de la saturación, donde normalmente trabaja la máquina.
- El problema de definir la función de Froelich para una máquina real, consiste en determinar los parámetros c y D , lo cual es factible.

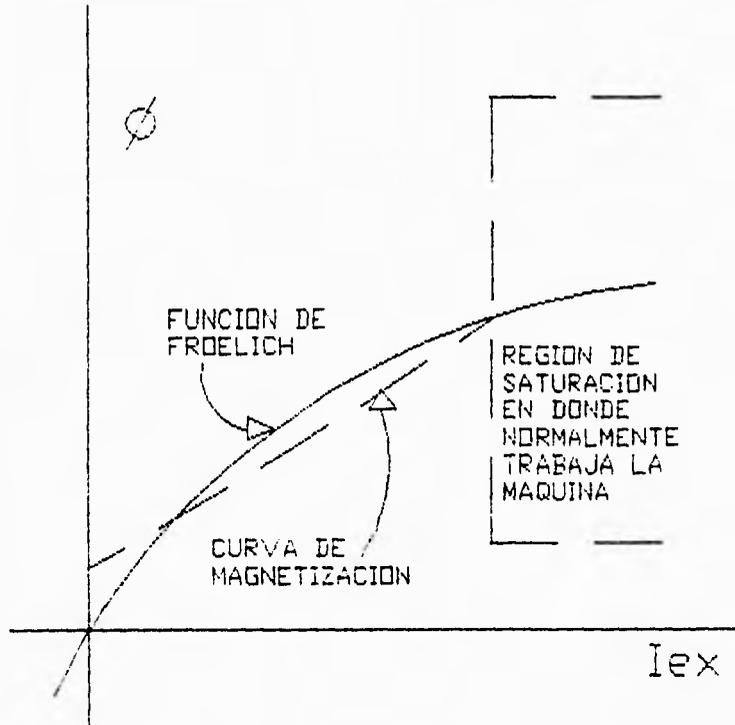


FIGURA 9-6
COMPARACION DE LA FUNCION DE FROELICH
CON LA CURVA REAL DE MAGNETIZACION

3.6 FUERZA ELECTROMOTRIZ ENTRE LAS ESCOBILLAS DE UNA MAQUINA REAL

La fuerza electromotriz inducida en un costado de una espira es:

$$e = Blv$$

donde:

- B → es la densidad de flujo
- l → es la longitud del conductor
- v → es la velocidad

B se puede evaluar como el flujo por polo dividido entre la parte del area lateral de armadura bajo el dominio de un polo:

$$B = \phi / ((2\pi r l) / P) = (P\phi) / (2\pi r l)$$

donde:

- ϕ → es el flujo por polo
- r → es el radio del núcleo de armadura
- l → es la longitud del núcleo de armadura
- P → es el número de polos

De la mecánica rotacional se tiene que la velocidad tangencial es el producto de la velocidad angular por el radio:

$$v = \omega r$$

de modo que sustituyendo en la fórmula de fuerza electromotriz inducida queda:

$$e = (P\phi\omega) / (2\pi)$$

Considerando que hay z costados de espiras en toda la periferia de la armadura, la fuerza electromotriz entre escobillas sería ze .

Pero como se forman A ramas en paralelo, entonces sera:

$$\frac{ze}{A}$$

Por lo tanto:

$$E = (F\phi z\omega) / (A2\pi)$$

que es la f.e.m. entre escobillas de una armadura real. Las constantes se pueden reunir en una sola y llamarla K :

$$K = \frac{Fz}{A2\pi}$$

por lo que finalmente tenemos:

$$E = K\phi\omega$$

La f.e.m. es proporcional al flujo polar y a la velocidad angular de la maquina.

3.7 CURVA DE SATURACION EN VACIO

En la última fórmula de f.e.m. entre escobillas, la componente ϕ (flujo polar) no es una cantidad mensurable en el exterior de la máquina, pero el flujo es producido por la corriente de excitación, la cual sí es muy fácil de medir. En el tema donde se estudio la función de Froelich que establece la relación entre el flujo y la corriente de excitación tenemos lo siguiente si sustituimos:

$$E = \frac{K \phi_{1ex} \omega}{b+1ex}$$

En esta nueva expresión se tiene el producto de dos constantes que se pueden reunir en una sola:

$$a = K \phi_{1ex}$$

Y por lo tanto tenemos:

$$E = \frac{a \omega}{b+1ex}$$

El parametro a reúne características del circuito de armadura (R), y del circuito magnético (c), de modo que la nueva fórmula representa el proceso integral de inducción en la máquina.

Graficando esta nueva fórmula en un sistema coordenado cuya abscisa sea la corriente de excitación $1ex$ y la ordenada la f.e.m. E , para una velocidad constante (de preferencia la nominal) se obtiene de nuevo la curva de magnetización pero con un cambio en la escala de las ordenadas.

A esta nueva gráfica se le da el nombre de CURVA DE SATURACION EN VACIO. Y se representa en la figura 3-7.

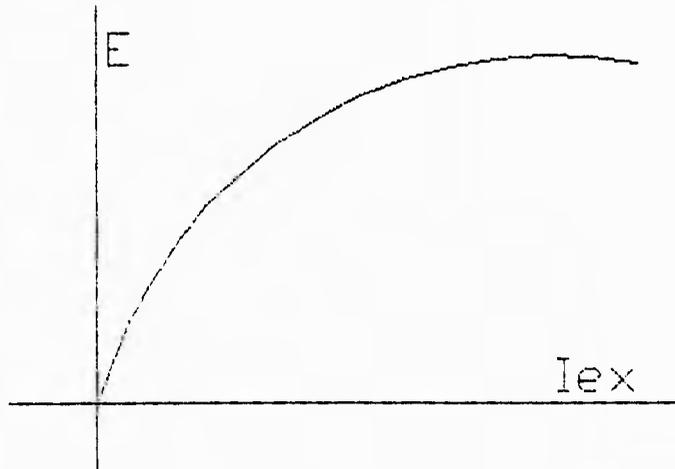


FIGURA 3-7

CURVA DE SATURACION EN VACIO CON FUNCION DE FROELICH

Por otra parte, la curva de saturación en vacío se puede obtener en forma práctica para una máquina real. Se requiere acoplar la máquina a un motor, para hacerla girar, de ser posible a su velocidad nominal, sin variaciones. En las terminales de excitación se suministra la corriente correspondiente por medio de una fuente externa, incluyendo un medidor y un reóstato para hacerla variar. Las terminales de armadura deben permanecer en circuito abierto (en vacío) para evitar pérdidas de voltaje, y entre ellas se conecta un voltímetro. *

Este arreglo se muestra en la figura 3-8, en la que aparece la simbología típica de este tipo de máquina.

Aplicando estos resultados a la función de Froelich se obtienen los parámetros a y b .

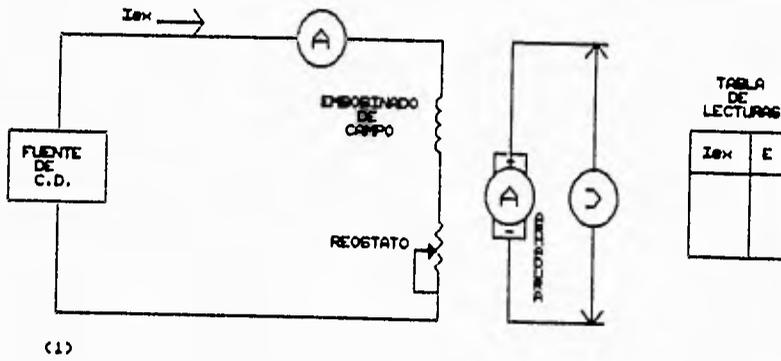


TABLA DE LECTURAS

I_{ex}	E

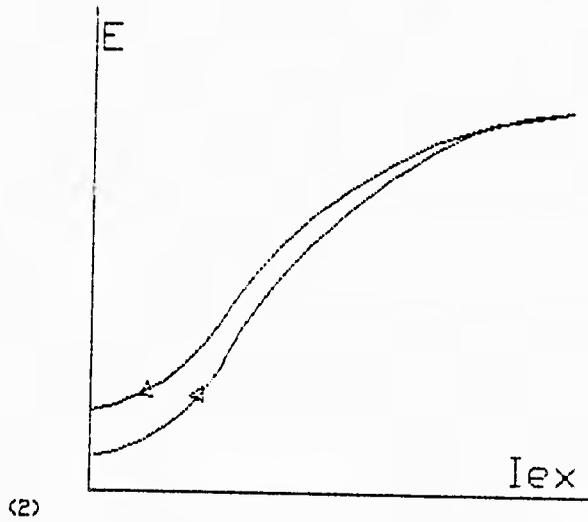


FIGURA 3-8
 OBTENCION PRACTICA DE LA CURVA DE SATURACION EN VACIO
 (1) CIRCUITO DE PRUEBA, (2) CURVA RESULTANTE

3.8 CONVERSION DE ENERGIA

Tanto en el modo de generador como en el de motor, existe una fuerza electromotriz:

$$E = \frac{a_{lex}}{b+le} \omega$$

y un par electromagnetico:

$$T_e = \frac{a_{lex}}{b+le} I_a$$

Tenemos entonces que:

$$\frac{a_{lex}}{b+le} = E = \frac{T_e}{I_a}$$

Y por lo tanto tenemos:

$$E I_a = T_e \omega$$

que es la fórmula de CONVERSION DE ENERGIA (mas propiamente CONVERSION DE POTENCIA). Usando el Sistema Internacional tenemos:

Para el primer miembro: (V) (A) = W

Para el segundo miembro: (N) (m) (rad/s) = W

3.9 REACCION DE ARMADURA

Teniendo en cuenta que las espiras tienen un eje magnético, el paso de corriente por ellas origina un flujo de armadura que produce una distorsión del flujo polar. Lo mismo que sucede en la armadura de una espira ocurre en una armadura real.

A este flujo se le denomina REACCION DE ARMADURA.

Las escobillas deben situarse de tal manera que la conmutación se lleve a cabo sobre la bobina que no trabaja (la que se encuentra en un plano perpendicular al flujo polar). Ahora bien, si al circular corriente por la máquina, se produce una distorsión, de modo que la densidad de flujo ya no es constante en la superficie polar, se concentra en un lado de la zapata y escasea en el otro, y aparece un flujo resultante en una posición que no concuerda con las escobillas, entonces aparecen problemas en la conmutación que afectan al óptimo funcionamiento de la máquina, hacen bajar la eficiencia y causan desgaste prematuro en escobillas y conmutador. Se trata, por lo visto de un efecto indeseable que es necesario corregir. La forma más usada en la actualidad para compensar la reacción de armadura, es el uso de interpolos. Se trata de pequeñas piezas polares situadas entre los polos principales, con bobinas de alambre grueso y pocas vueltas para conectar en serie con la armadura. Su fuerza magnetomotriz debe ser igual en magnitud y de sentido opuesto a la de la reacción de armadura.

La excitación de interpolos en serie con la armadura permite que el flujo compensador sea siempre opuesto a la reacción y que sus magnitudes sean iguales, cualquiera que sea el sentido e intensidad de la corriente.

En máquinas de buena calidad y dentro de sus condiciones normales de trabajo, no se detectan distorsiones de fuerzas electromotrices debido a su correcta compensación.

3.10 PERDIDAS

Se ha visto que la armadura es el organo en el cual se lleva a cabo la conversión de energía. de acuerdo con la fórmula:

$$E_{ia} = T\omega$$

Dos de estas variables, la fuerza electromotriz y el par electromagnético normalmente no son mensurables en el exterior de la maquina cuando está trabajando. La fuerza electromotriz difiere ligeramente del voltaje externo debido a perdidas electricas.

El par electromagnético difiere ligeramente del par mecánico en la flecha en virtud de las pérdidas asociadas al movimiento de rotación.

3.10.1 PERDIDAS ELECTRICAS

Se presenta una pequeña perdida de voltaje originada por una resistencia en el circuito de armadura, y que se reparte en los siguientes elementos:

- Embobinado de armadura
- Conmutador
- Superficie de contacto conmutador-escobillas
- Escobillas
- Embobinado interpolar
- Embobinado de excitación en serie (para maquinas serie y compuestas)

Para referirnos a todo este conjunto lo llamaremos simplemente RESISTENCIA DE ARMADURA y lo representaremos por r_a .

La superficie de contacto conmutador-escobillas y las escobillas son los elementos que requieren mantenimiento constante. La superficie se ensucia fácilmente, dando lugar a un aumento en la resistencia de armadura. Requiere de una limpieza cuidadosa, que a la vez debe ser efectiva, y no cause desgaste al conmutador.

Las escobillas se desgastan y es necesario reponerlas cuando han decrecido notoriamente.

La medición directa de la resistencia también representa un problema, ya que tendría que ser con la armadura estática y en estas condiciones la sola aportación de la superficie de contacto da un valor que llega a alcanzar diez veces la resistencia de todo el circuito en condiciones dinámicas.

Sin embargo, resulta fácil calcular su valor dinámico cuando hay buena compensación de la reacción de armadura y no se detectan distorsiones en la fuerza electromotriz con carga. Se trabaja la máquina como generador, girándola a velocidad constante y excitándola con una fuerza externa para tener también corriente de excitación constante.

En las salidas de armadura se incluye una resistencia capaz de hacer circular una corriente alrededor del valor nominal, un interruptor, un voltímetro y un amperímetro como se indica en la figura 3-9.

Con el interruptor abierto, se mide el voltaje en vacío V_0 . Como no hay corriente, no se presentan pérdidas y entonces:

$$V_0 = E$$

Con el interruptor cerrado, el voltaje externo es igual a la fuerza electromotriz menos las pérdidas:

$$V_a = E - r_a I_a \Rightarrow V_a = V_0 - r_a I_a$$

Y finalmente despejando r_a : $r_a = \frac{V_0 - V_a}{I_a}$

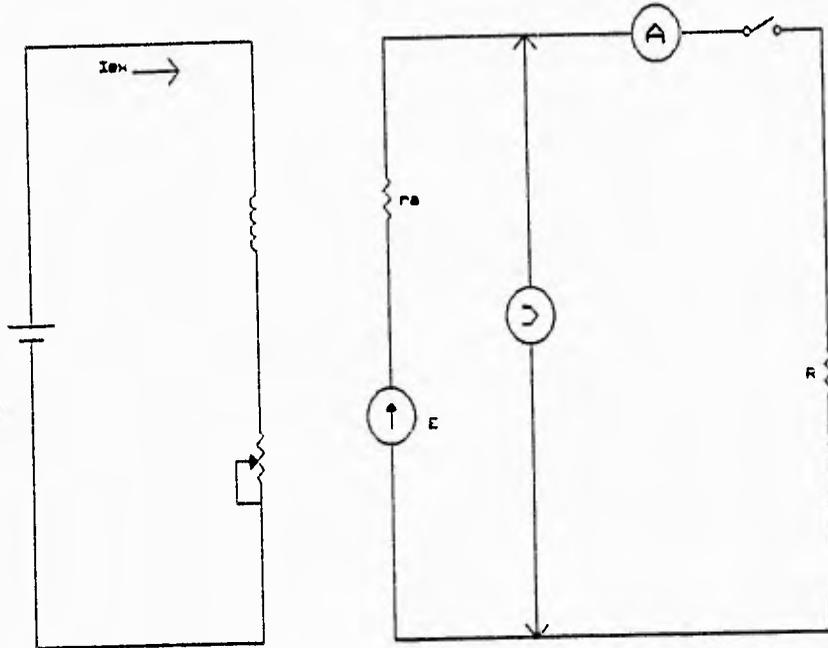


FIGURA 3-8
PRUEBA PARA DETERMINAR
LA RESISTENCIA DE ARMADURA

3.10.2 PERDIDAS MECANICAS

Las pérdidas mecánicas se deben a dos factores:

- 1) La fricción
- 2) La ventilación

La fricción se presenta en los apoyos de la flecha (o cojinetes) y en la superficie de contacto conmutador-escobillas. En los apoyos tiene un valor relativamente alto cuando son de tipo chumacera, en cambio adquiere valores reducidos si son de tipo rodamientos.

En el conmutador no es fácil reducir la fricción, ya que ahí se requiere un buen contacto que no acarree más pérdidas de las necesarias en la resistencia del circuito de armadura.

Pequeñas inclusiones de grafito en las escobillas logran una lubricación adecuada sin impedir un buen contacto.

El parámetro que servirá para evaluar las pérdidas será el par de fricción, cuyo sentido es siempre opuesto a la dirección de rotación.

Generalmente se trata de fricción viscosa debido a la lubricación, y por tanto el par de fricción es una función de la velocidad.

Las pérdidas por ventilación se presentan en aquellas máquinas que tienen un ventilador interno para ayudar al enfriamiento.

También se evalúan por su par de oposición y este es función de la velocidad.

3.10.3 PERDIDAS MAGNETICAS

Las pérdidas magnéticas también se manifiestan por un par en oposición al sentido de rotación, y tienen dos componentes que son la histéresis y las corrientes parásitas.

Recordando que la histéresis es la propiedad de los materiales ferromagnéticos de retener parte del flujo con que fueron magnetizados, supongase en la figura 3-10(1), una posición de la armadura, magnetizada por el flujo polar. En la figura 3-10(2) la armadura ha girado un pequeño ángulo, reteniendo su flujo de histéresis. Al ser atraído el flujo de histéresis por el flujo polar se genera el par de histéresis, en oposición al sentido de giro.

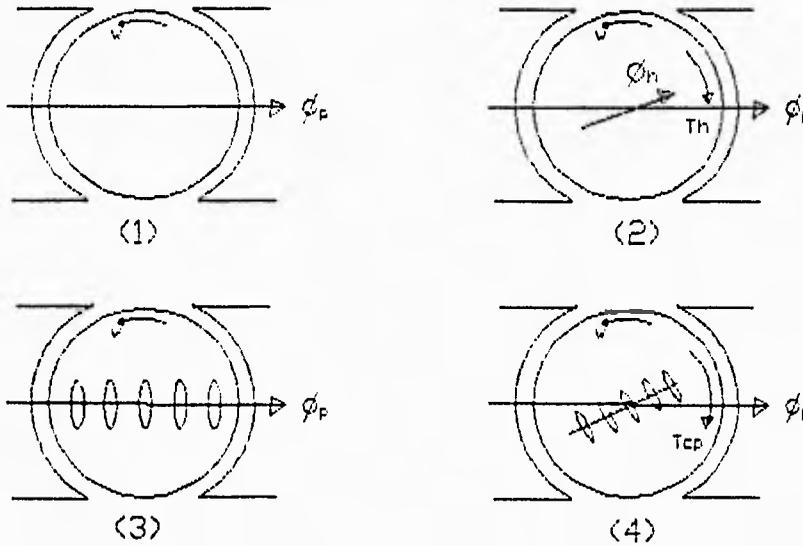


FIGURA 9-10

PERDIDAS MAGNETICAS.

(1),(2) POR HISTERESIS. (3),(4) POR CORRIENTES PARASITAS

Las corrientes parasitas, tambien llamadas corrientes de eddy o corrientes de Foucault, se deben a que el material ferromagnetico es además conductor de la electricidad. Esto ocasiona que se organicen circuitos en forma de espiras cerradas, alrededor del flujo como se ve en la figura 3-10(3). Al moverse estos circuitos junto con el núcleo, varia el flujo en ellos, se inducen fuerzas electromotrices y circulan corrientes, formando entre todos un solenoide con su flujo central, que al ser atraído por el flujo polar se forma el par debido a corrientes parasitas i_{cp} , como en la figura 3-10(4).

Las perdidas por histeresis se reducen usando en la armadura un núcleo de area de histeresis cerrada, y las perdidas por corrientes parasitas tambien se reducen construyendo el núcleo con material laminado.

3.10.4 PERDIDAS ROTACIONALES

Como se explico anteriormente, tanto las perdidas mecanicas como las magneticas se manifiestan como pares de oposicion al movimiento y sólo cuando hay rotación. Por estas razones, las agruparemos con el nombre de PERDIDAS ROTACIONALES T_r .

$$T_r = T_{fricc} + T_{vent} + T_{hist} + i_{cp}$$

Las perdidas rotacionales son funcion de la velocidad y del grado de saturación del circuito magnetico, sin embargo al nivel elemental de este estudio se tratarán como constantes.

Uno de los factores que más contribuye a la variación del par con la velocidad es el ventilador, de manera que las máquinas sin ventilador pueden manejarse sin gran error como si tuvieran perdidas rotacionales constantes.

Existen varios metodos para determinar las perdidas rotacionales. Uno de los mas simples es hacer girar la maquina como motor en vacio, midiendo la corriente de excitación y de armadura. Se requiere haber obtenido antes su curva de saturación en vacio y la expresion de Froelich.

Si el motor trabaja en vacio, no tiene par mecanico en la flecha. El par electromagnético se emplea integramente en vencer las pérdidas rotacionales.

$$T_r = T_e = \frac{a I_{ex} I_a}{b + I_{ex}}$$

Para finalizar con este capítulo escribiremos las fórmulas básicas de la maquina de C.D.:

CURVA DE SATURACION EN VACIO: $E = \frac{a I_{ex} \omega}{b + I_{ex}}$

CONVERSION DE ENERGIA: $E I_a = T_e \omega$

PERDIDAS ELECTRICAS: $v_a = E \pm r_a I_a$

PERDIDAS ROTACIONALES: $T_e = T_m \pm T_r$

Este capítulo fué tomado del libro del Ing. Perez Amador (Generadores, motores y transformadores eléctricos).

CAPITULO 4

DESCRIPCION Y FUNCIONAMIENTO DEL PLC

- 4.1 INTRODUCCION
- 4.2 CARACTERISTICAS DEL PLC
- 4.3 PARTES DEL SISTEMA
 - 4.3.1 UNIDAD CENTRAL DE PROCESAMIENTO (CPU)
 - 4.3.2 MONITOR DE PROGRAMA (PM) O PROGRAMADOR
 - 4.3.3 MODULO DE ENTRADA Y SALIDA
 - 4.3.4 IMPRESOR
 - 4.3.5 GRABADOR-TOCADOR DE CINTA O DISCO
 - 4.3.6 INTERCONEXION OPCIONAL DE LOCALIZACION-REMOTA
- 4.4 PROCEDIMIENTOS OPERACIONALES
- 4.5 CONTROL DE BOBINAS Y CONTACTOS: DIRECTO Y LOGICA DIGITAL
- 4.6 DIRECCIONES Y REGISTROS
- 4.7 TIMERS Y CONTADORES
- 4.8 FUNCIONES DISCRETAS
 - 4.8.1 SUMA
 - 4.8.2 RESTA
 - 4.8.3 MULTIPLICACION
 - 4.8.4 DIVISION
 - 4.8.5 COMPARACION

4.1 INTRODUCCION

Los sistemas lógicos basados en transistores poseen todas las ventajas usuales de los circuitos electrónicos de estado sólido:

- seguros
- confiables
- pequeños
- rápidos
- baratos

Su único defecto, desde el punto de vista de usuarios-industriales, es que no son fácilmente modificables. Si se necesitan hacer modificaciones, debemos cambiar el cableado actual o las conexiones entre los dispositivos lógicos, o cambiar los mismos dispositivos. Tales cambios del hardware son indeseables porque son difíciles y consumen tiempo.

En los últimos años una propuesta diferente para la construcción de sistemas lógicos industriales se ha hecho popular. En esta nueva propuesta, la decisión-creación de sistemas es realizada por instrucciones codificadas las cuales son almacenadas en un chip de memoria y ejecutadas por un microprocesador. Ahora, si el sistema de control tiene que ser modificado, únicamente las instrucciones codificadas necesitan ser cambiadas. Tales cambios se llaman cambios del SOFTWARE y son rápidos y fácilmente implementados sólo por la escritura en un teclado.

Esta nueva propuesta es algunas veces referida como automatización flexible.

Cuando esta propuesta flexible se usa, la secuencia completa de instrucciones codificadas que controlan el funcionamiento del sistema se llama PROGRAMA.

Por lo tanto nos referimos a tales sistemas como SISTEMAS PROGRAMABLES.

Si todos los componentes de control necesarios son ensamblados y vendidos como una unidad completa, lo cual es muy común en la práctica, la unidad completa se conoce como CONTROLADOR PROGRAMABLE.

El CONTROLADOR PROGRAMABLE es una computadora basada en microprocesador.

Una persona relativamente inexperta en computadoras puede construir programas para un Controlador Programable. Solamente se necesita conocer de circuitos de control y lógica ladder (o escalera, ésta se refiere al diagrama de conexiones para que luego éste se pase a instrucciones).

El Controlador Programable ha reemplazado los sistemas lógicos de relevadores usados en años pasados.

El Controlador Programable es frecuentemente referido como CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE (PLC).

4.2 CARACTERISTICAS DEL PLC

- Fácil programación para personas que no son programadoras de computadoras
- Relativamente compacto y de bajo costo
- Capacidad de programación flexible, discreta y analógica
- Pantalla visible de circuitería ladder (escalera) y su operación
- Operación de estado sólido de alta velocidad y alta confiabilidad
- Seguridad a través del cierre de llave, previniendo alteraciones del programa
- Fáciles cambios de circuitería
- Fácil guía de corridas en el modo de simulación
- Inconvenientes para su uso con programas fijos
- Susceptibilidad para consideraciones ambientales de estado sólido

4.3 PARTES DEL SISTEMA

- Unidad Central de Procesamiento (CPU)
- Monitor de Programa (PM) o Programador
- Modulo de Entrada y Salida (I/O)
- Impresor
- Grabador-Tocador de Cinta o Disco
- Interconexión Opcional de Localización-Remota
- Conexión Opcional al Computador Maestro o Circulación de Datos

La figura 4-1, muestra el sistema de PLC y su conexión.

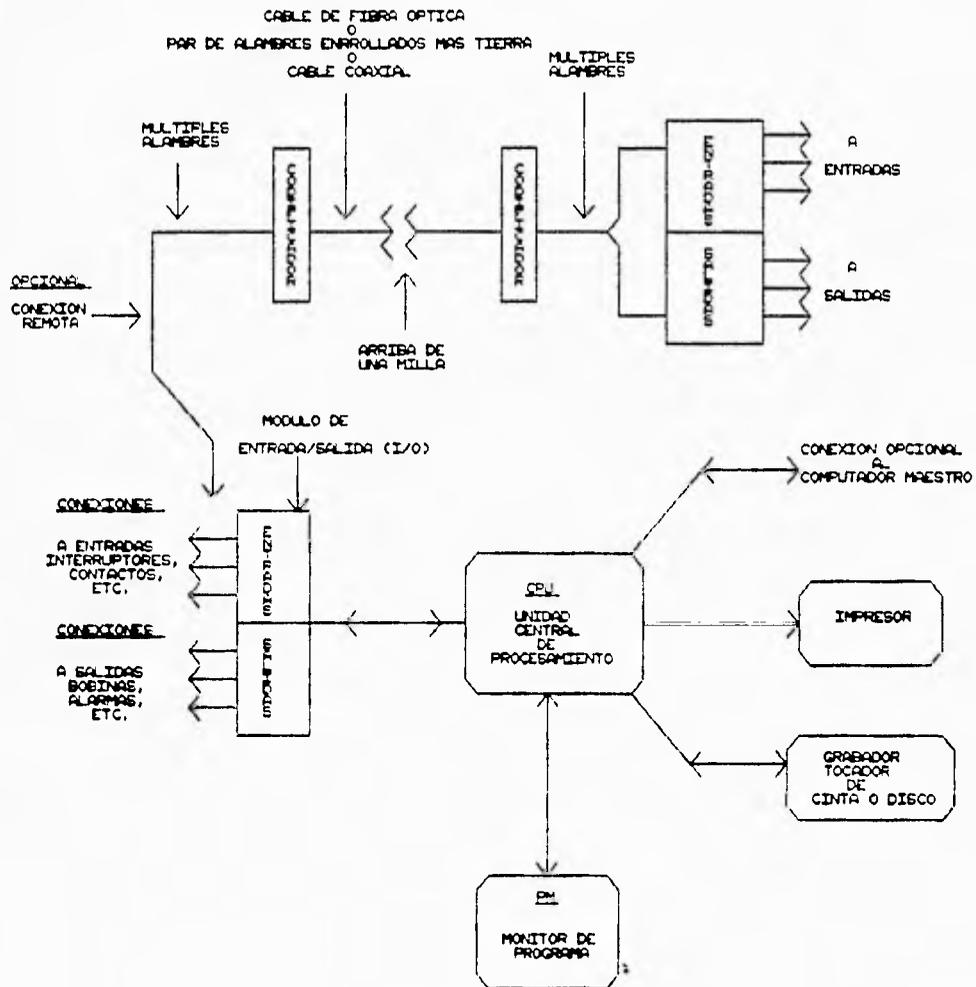


FIGURA 4-1
CONDICION Y SISTEMA DEL PLC

4.3.1 UNIDAD CENTRAL DE PROCESAMIENTO (CPU)

El CPU es el corazón del sistema, como lo es en todas las computadoras.

El CPU contiene memoria fija, determinada por el fabricante. También contiene una sección programable y una memoria para datos y almacenamiento de funciones.

Todos los dispositivos periféricos son conectados directamente al CPU.

El programa que debe ejecutar el PLC se introduce en el CPU, procedente del Monitor de Programa (PM) o de un Grabador-Tocador.

El CPU recibe señales indicando el estado de los interruptores externos y dispositivos a través de un módulo de entrada. Hace decisiones lógicas basadas en el programa introducido y entonces envía señales (el estado) a los dispositivos de salida a través de los módulos de salida.

La señales de Entrada/Salida pueden ser discretas (ON/OFF) o analógicas (variables).

4.3.2 MONITOR DE PROGRAMA (PM) O PROGRAMADOR

El Monitor de Programa para el PLC tiene muchas formas, dependiendo del precio y de la complejidad del PLC. La programación se realiza desde un teclado, que se muestra en la figura 4-2.

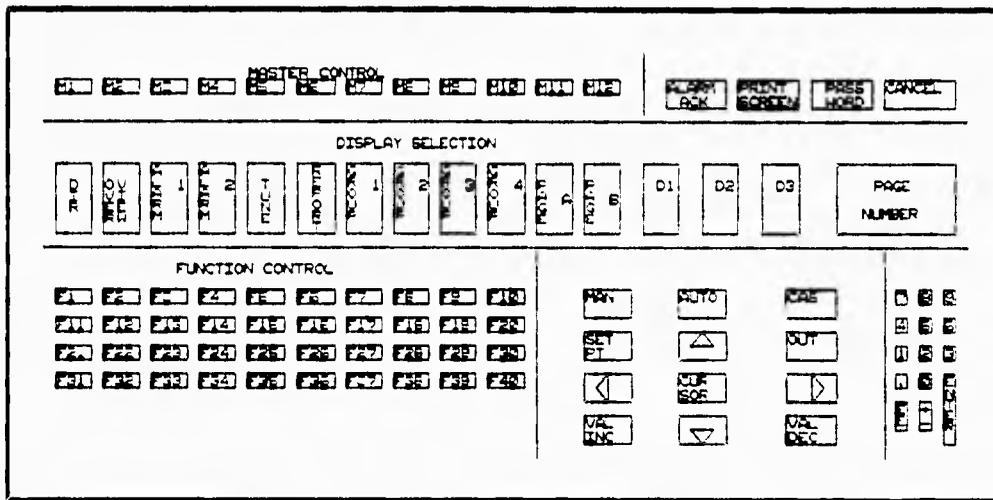


FIGURA 4-2
TECLADO DE PLC
(CORTECÍA DE TEXAS INSTRUMENTS)

El teclado esta generalmente asociado con un monitor. Ambos son combinados en una unidad, como se muestra en la figura 4-3.

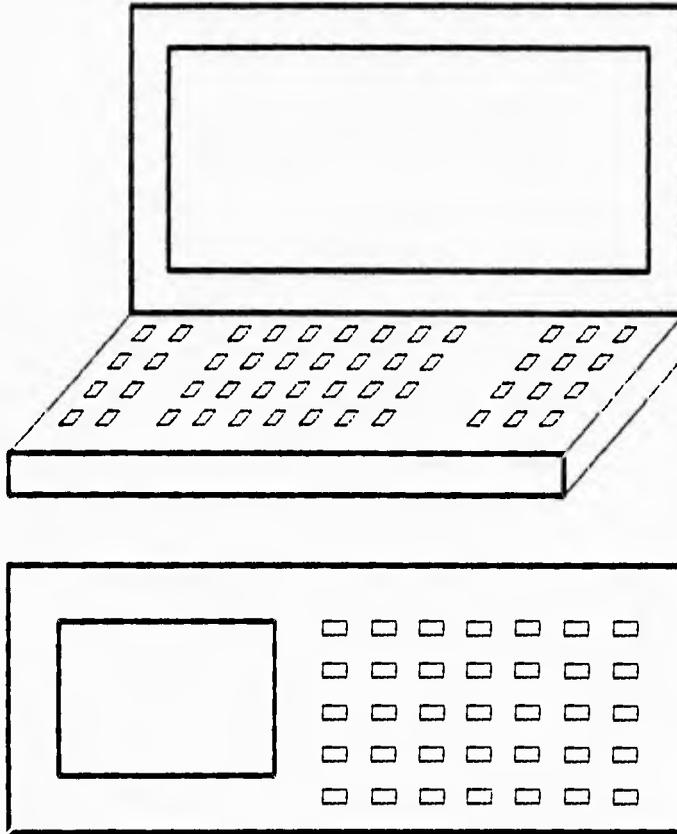


FIGURA 4-3

MONITORES DE PROGRAMA DE PLC (PROGRAMADORES)

(CORTESIA DE GENERAL ELECTRIC, ARRIBA, Y DE EATON CORP./CUTLER HAMMER, ABAJO)

Muchos PLCs pueden ser programados por una computadora personal. Se puede adquirir por parte del fabricante un disco con el programa para el PLC.

El programa efectivamente convierte la computadora personal en un monitor de programa.

El programa del PLC entonces aparece en la pantalla de la computadora personal.

El teclado de la computadora personal es codificado para las funciones del PLC por el programa del disco.

El código es mostrado típicamente por un menú en la pantalla.

Un monitor de programa es normalmente mucho más costoso que el sistema de disco.

4.3.3 MODULO DE ENTRADA Y SALIDA (I/O)

Los módulos de entrada y salida se usan para conectar dispositivos a las entradas; y salidas al proceso.

Los módulos se conectan al CPU por cables de alambre multiconductor. Estos cables llevan bajo voltaje, de información codificada.

Un PLC grande típico puede tener 256 puertos de entrada para 256 dispositivos de entrada del proceso.

El cable de alambre no tiene 256 alambres, uno típico tiene 18.

Los dispositivos de entrada, tales como interruptores, se conectan entre una terminal de módulo común y otra terminal de módulo especificada.

Los módulos de salida se conectan igual.

Hay que considerar dos factores con estos módulos:

- 1) rango eléctrico
- 2) módulo de ajustes del interruptor

RANGO ELECTRICO

Los rangos de los módulos son para el voltaje y corriente, y para operación discreta y analógica. Un rango típico de módulo discreto es 115 Vac y 3A, para ambos módulos de entrada y salida.

Otras aplicaciones pueden requerir salidas de 24 Vac, o un voltaje de C.D., dependiendo del rango eléctrico del dispositivo de salida que está siendo controlado.

También se pueden requerir altas corrientes de salida. Los rangos del módulo de entrada se deben determinar de manera similar.

MODULO DE AJUSTES DEL INTERRUPTOR

Cada módulo tiene de 4 a 16 terminales. El CPU reconoce números asignados a las terminales. Por ejemplo, el primer módulo de entrada puede contener entradas 1 a 16, y el segundo 17 a 32. El módulo de salida de 8 terminales puede ser designado 81 a 88.

La pregunta es: ¿Cómo sabe cada uno de los tres módulos, los números asignados a sus terminales?

La asignación de números se realiza por la colocación apropiada de los interruptores individuales SIP o DIP. Las abreviaciones SIP (single in-line package) y DIP (dual in-line package), se refieren a pequeños y múltiples montajes de interruptores eléctricos.

4.3.4 IMPRESOR

El impresor puede ser cualquier impresora regular de computadora, con la cual se hace una apropiada interface al CPU.

La información y diagramas que se pueden obtener son los siguientes:

- Diagrama ladder (escalera) completo, incluyendo referencias
- Listado de los contactos de fuerza
- Estado de registros y contadores
- Diagramas de tiempo de la operación del circuito, registros o contactos
- Otra información especial programada

4.3.5 GRABADOR-TOCADOR DE CINTA O DISCO

Como cualquier computadora, los datos en PLC, se pueden grabar en cinta o en disco.

Cuando un programa se pierde o desarrolla un mal funcionamiento, el programa original puede ser rápidamente reinsertado hacia el CPU del PLC.

Las grabadoras de cinta deben ser de un tipo especial y de alta velocidad, son relativamente costosas.

PRECAUCION: Una precaución en el uso de impresoras y grabadoras es el ajuste apropiado de velocidad (en baud).

Por ejemplo, el CPU puede operar normalmente a 9600 baud, el impresor puede trabajar solo en 2400 y la grabadora en 1600.

Antes de imprimir, grabar o tocar, se deben ajustar las velocidades en baud.

Las velocidades en baud se ajustan de acuerdo al manual de operación del PLC.

4.3.6 INTERCONEXION OPCIONAL DE LOCALIZACION-REMOTA

En algunos casos, el proceso a controlar está en una localización lejana al PLC.

En tales casos, se puede usar un sistema de Entrada/Salida remoto extendido, como el mostrado en la figura 4-1 (en la parte superior). Sólo se requieren dos alambres mas una tierra para distancias arriba de 1 milla.

4.4 PROCEDIMIENTOS OPERACIONALES

Un programa simple indicará como empezar a utilizar un PLC. Suponga que usted desea programar y conectar un PLC para realizar el siguiente procedimiento operacional discreto:

Una bobina de relevador está por accionar cuando dos interruptores eléctricos y un interruptor limitador son accionados:

El primer paso es asignar números de identificación de PLC individuales a las entradas y salidas. Las entradas normalmente tienen el prefijo IN. Las salidas normalmente tienen el prefijo CR (para Control Relay).

Se pueden asignar los siguientes números:

- Interruptor 1 para relevador IN 001
- Interruptor 2 para relevador IN 002
- Interruptor límite para relevador IN 003
- Salida de relevador CR 001

Lo siguiente es hacer el diagrama lógico ladder para representar el circuito operacional.

Este se muestra en la figura 4-4.

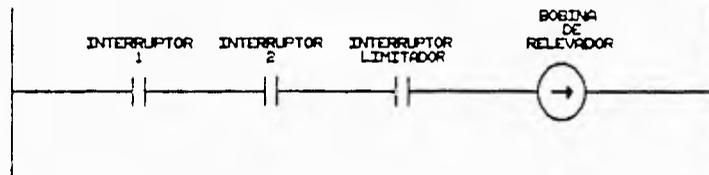


FIGURA 4-4
DIAGRAMA LOGICO LADDER
PARA LA SALIDA DEL RELEVADOR

Lo siguiente es ilustrar como las entradas y salidas serán conectadas a los módulos de entrada y salida.

Asuma una entrada de 8 terminales y una salida de 8 terminales.

Es necesario determinar los módulos de interruptores para que éstos reconozcan las señales como entradas 1 a 8 y salidas 1 a 8.

Las conexiones de las entradas y salidas entonces se hacen de acuerdo a la figura 4-5.

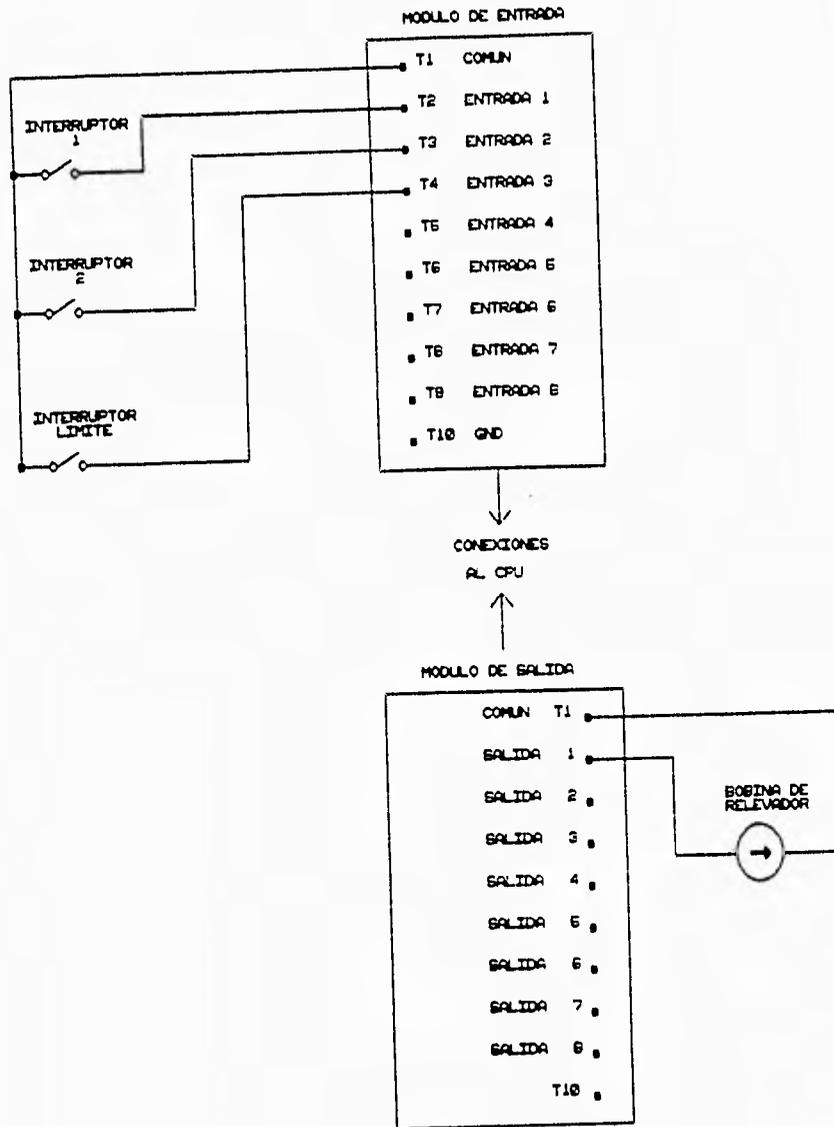


FIGURA 4-6
DIAGRAMA DE CONEXION PARA LA FIGURA 4-4

Note que cada componente se conecta a uno de los módulos. No se hacen interconexiones externas.

Finalmente el programa ladder (escalera) se debe introducir al CPU por medio del teclado. Un procedimiento general para introducir el programa en formato ladder es:

1. Borra la memoria de programa del PLC con el CPU en Stop. El procedimiento será desplegado en un menú de pantalla o en el manual de operación para el PLC.

2. Inserta las líneas de control para el relevador como sigue, en el modo de EDIT:

a) Presiona la tecla de contacto NO

b) Presiona la tecla de entrada (INPUT)

c) Presiona las teclas numéricas 001

d) Presiona la tecla ENTER. El contacto debe aparecer en el monitor

e) Mueve el cursor un espacio a la derecha

f) Repite los pasos a) y b)

g) Presiona las teclas numéricas 002

h) Presiona la tecla ENTER. El segundo contacto debe aparecer en el monitor

i) Mueve el cursor un espacio más a la derecha, y repite el proceso para 003

j) Continúa la línea a la derecha

k) Presiona la tecla SALIDA/BOBINA. La bobina debe aparecer en el monitor

l) Presiona las teclas numéricas 001

m) Presiona ENTER

n) Si la línea ahora parece correcta (checharla), presiona la tecla "INSERT LADDER" y luego ENTER.

El diagrama resultante del PLC debe parecerse como el mostrado en la figura 4-6.

Cuando el interruptor del PLC se pone en RUN (correr), el circuito operará como se trazó.

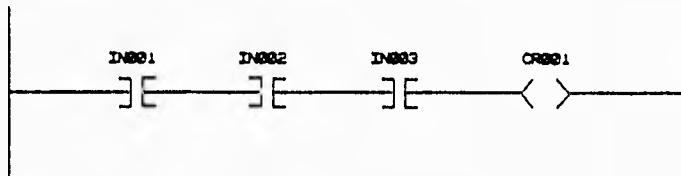


FIGURA 4-6
PANTALLA LADDER DE PLC
PARA EL CIRCUITO DE LA FIGURA 4-4

4.5 CONTROL DE BOBINAS Y CONTACTOS: DIRECTO Y LOGICA DIGITAL

La función básica del PLC es el uso de lógica discreta ON/OFF para poner las salidas en ON (encendido) o en OFF (apagado).

Los dispositivos de entrada (INPUT) incluyen los siguientes:

- interruptores electricos
- interruptores limitadores
- interruptores centrifugos
- interruptores de nivel
- interruptores de presión
- interruptores push-button (momentáneo)
- interruptores selectores
- interruptores de temperatura
- interruptores de fluido
- interruptores de proximidad

Como estos dispositivos de entrada abren y cierran, el módulo de entrada envía su estado al CPU.

El programa del CPU es constantemente explorado, típicamente en 5 ms por exploración.

Algunos dispositivos típicos de salida son los siguientes:

- motores
- relevadores
- contadores
- anunciadores
- bobinas
- luces piloto
- campanas
- alarmas

Se presentarán cinco ejemplos para ilustrar estos principios de selección:

1. Un circuito de sello estandar arranque/paro (start/stop)
2. Un circuito de control adelante/reversa (forward/reverse) con paro antes de invertir la marcha
3. Un circuito de control adelante/reversa (forward/reverse) con inversión de marcha directa
4. Un circuito arranque/paro/trote (encendido momentáneo), (start/stop/jog)
5. Un sistema de alarma múltiple

EJEMPLO 1: El circuito se muestra en la figura 4-7. La elemental lógica de relevador y diagramas de conexión se muestran en la parte superior. Después, el programa del PLC y conexiones se muestran. Para el programa del PLC, el paro se asigna con IN001, y arranque con IN002. La salida se asigna con CR017 (Control Relay Output 17). El diagrama de conexión del PLC se muestra. El contacto de sello se crea internamente en el PLC y no se alambra del contactor.

Se muestra el formato para el PLC, encendido/apagado (ON/OFF).

La programación del PLC para la figura 4-7 es como sigue (las separaciones indican los pasos):

IN / 02 / OR / CR / 17 / AND / IN / 01 / LOAD / CR / 17

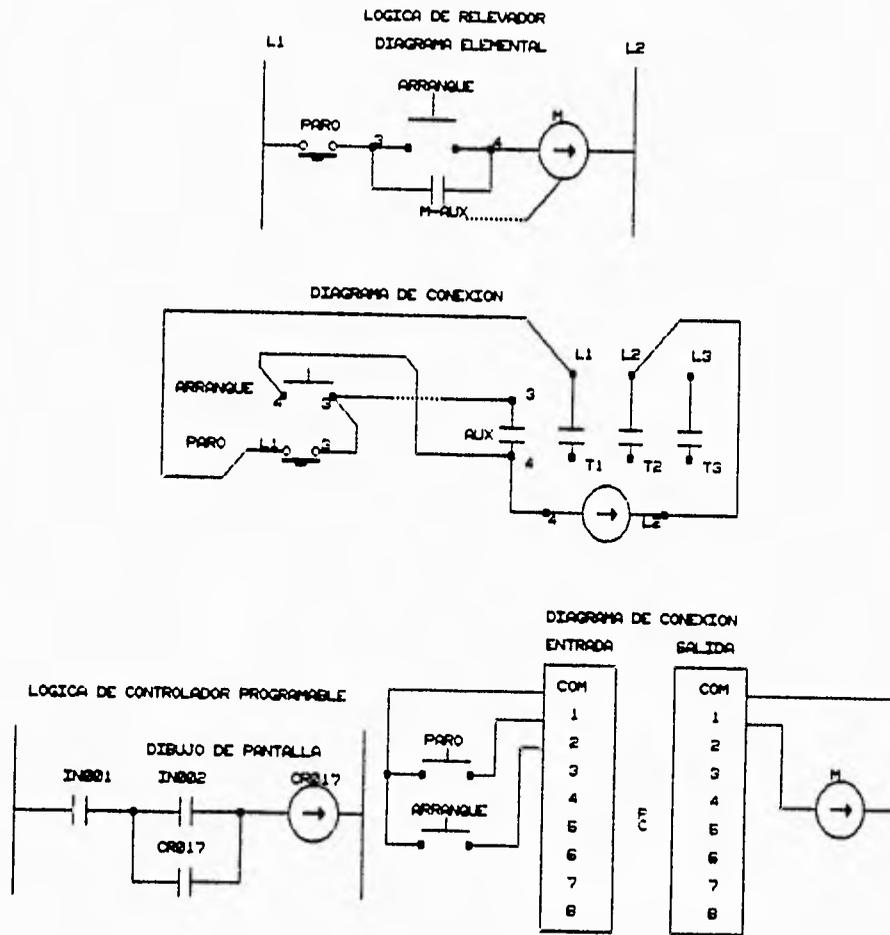


FIGURA 4-7
CIRCUITO DE SELLO ARRANQUE/PARO

EJEMPLO 2: El circuito se muestra en la figura 4-8.

Paro, adelante, reversa y las bobinas de salida son números asignados como se muestra en el dibujo de pantalla.

Nótese la simplicidad del diagrama de conexión del PLC, comparado con el diagrama de lógica de relevador.

La ventaja del PLC para el alambrado comienza a mostrarse en este ejemplo. Y no solo la simplicidad para el alambrado, sino también para cambios o correcciones que se pueden hacer por medio de alteraciones del programa.

Para el sistema de relevador, se tendrían que hacer cambios físicos de alambrado.

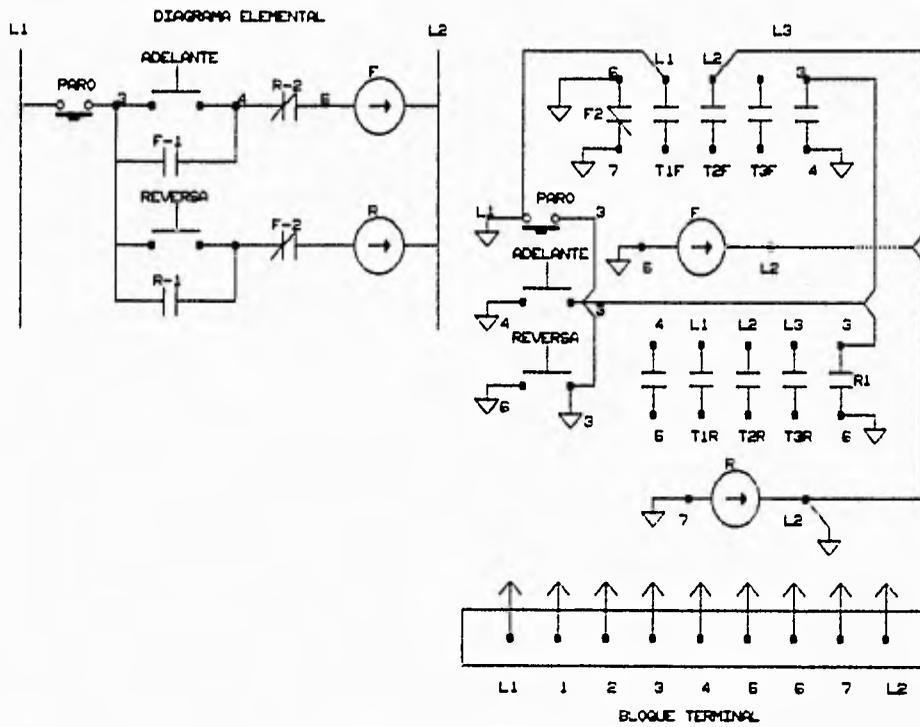
La programación de la figura 4-8 sería la siguiente:

IN / 02 / OR / CR / 17 / AND / IN / 01 / AND NOT / CR / 18

LOAD / CR / 17 / IN / 03 / OR / CR / 18 / AND / IN / 01

AND NOT / CR / 17 / LOAD / CR / 18

LOGICA DE RELEVADOR



LOGICA DE CONTROLADOR PROGRAMABLE

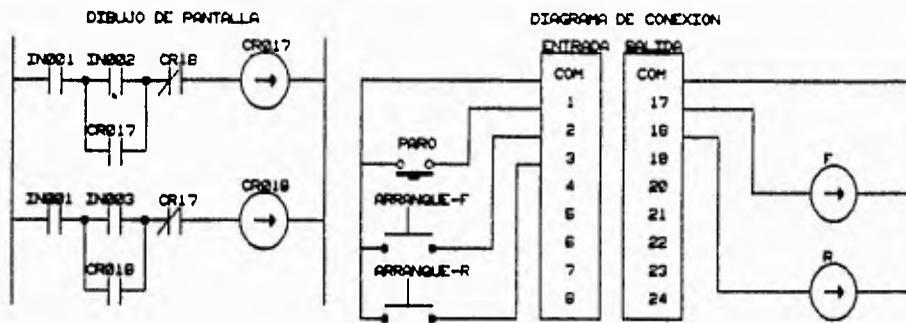


FIGURA 4-6

CIRCUITO DE CONTROL ADELANTE/REVERSA CON PARO ANTES DE INVERTIR MARCHA

EJEMPLO 3: El circuito se muestra en la figura 4-9.

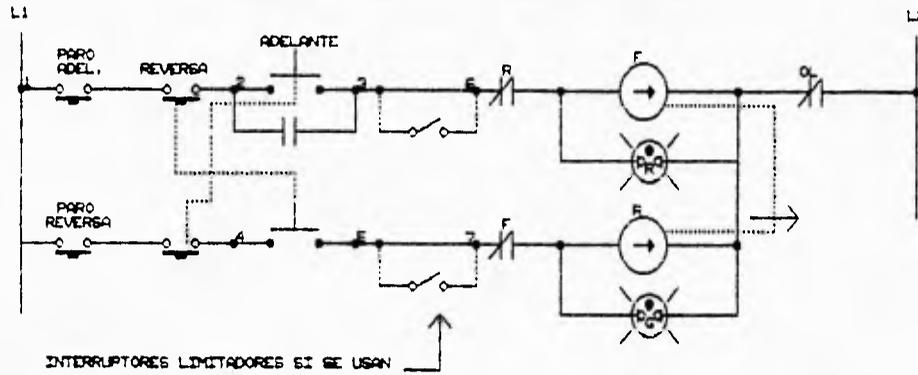
La diferencia de este circuito (figura 4-9) con el anterior (figura 4-8) es que ahora es posible ir directamente de adelante hacia atrás o de atrás para adelante.

No se dibujó el diagrama de lógica de relevador ya que es extremadamente complicado.

Para el esquema del PLC, sólo hay 4 alambres más uno común a la entrada e igualmente a la salida.

EJEMPLO 4: El circuito se muestra en la figura 4-10.

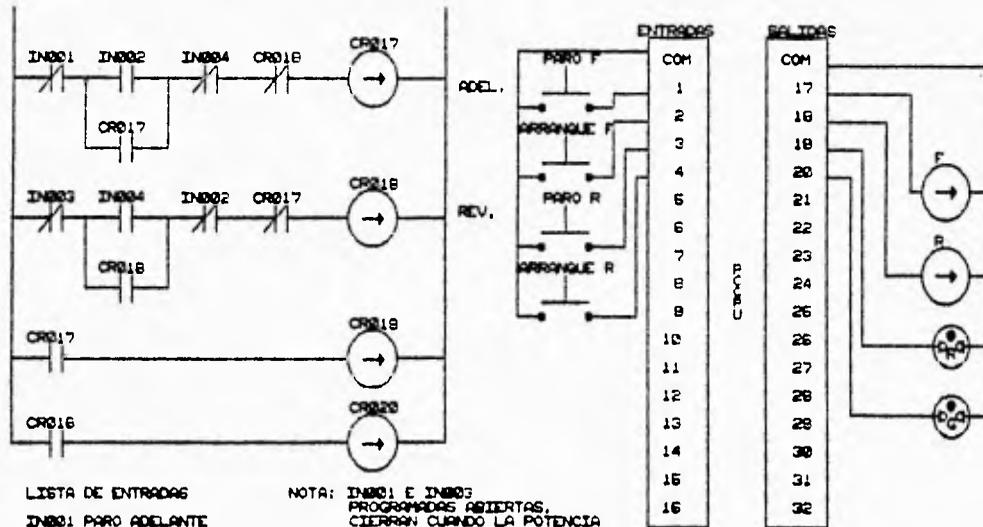
LOGICA DE RELEVADOR (REFERENCIA)
 CONTROL DE 3 ALAMBRES - ARRANCADOR REVERSIBLE
 CON LUCES PILOTO PARA INDICAR EN QUE DIRECCION CORRE EL MOTOR



VER NOTA

LOGICA DE CONTROLADOR PROGRAMABLE

DIAGRAMA DE CONDICION



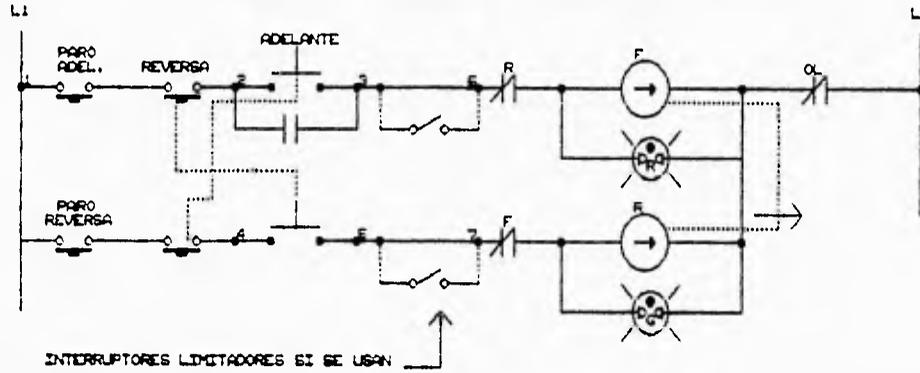
- LISTA DE ENTRADAS
 IN001 PARO ADELANTE
 IN002 ARRANQUE ADELANTE
 IN003 PARO REVERSA
 IN004 ARRANQUE REVERSA

NOTA: IN001 E IN003 PROGRAMADAS ABIERTAS, CIERRAN CUANDO LA POTENCIA DE CONTROL SE APLICA

FIGURA 4-8

CIRCUITO DE CONTROL ADELANTE/REVERSA CON INVERSION DE MARCHA DIRECTA

LOGICA DE RELEVADOR (REFERENCIA)
 CONTROL DE 3 ALAMERES - ARRANCADOR REVERSIBLE
 CON LUCES PILOTO PARA INDICAR EN QUE DIRECCION CORRE EL MOTOR

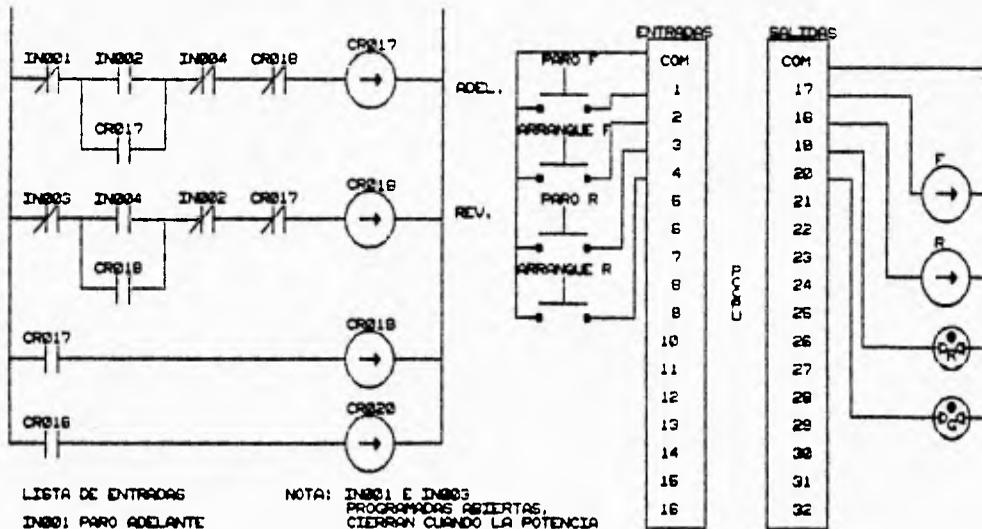


INTERRUPTORES LIMITADORES SI SE USAN

VER NOTA

LOGICA DE CONTROLADOR PROGRAMABLE

DIAGRAMA DE CONEXION



- LISTA DE ENTRADAS
 INB01 PARO ADELANTE
 INB02 ARRANQUE ADELANTE
 INB03 PARO REVERSA
 INB04 ARRANQUE REVERSA

NOTA: INB01 E INB03 PROGRAMADAS ABIERTAS, CIERRAN CUANDO LA POTENCIA DE CONTROL SE APLICA

FIGURA 4-9

CIRCUITO DE CONTROL ADELANTE/REVERSA CON INVERSION DE MARCHA DIRECTA

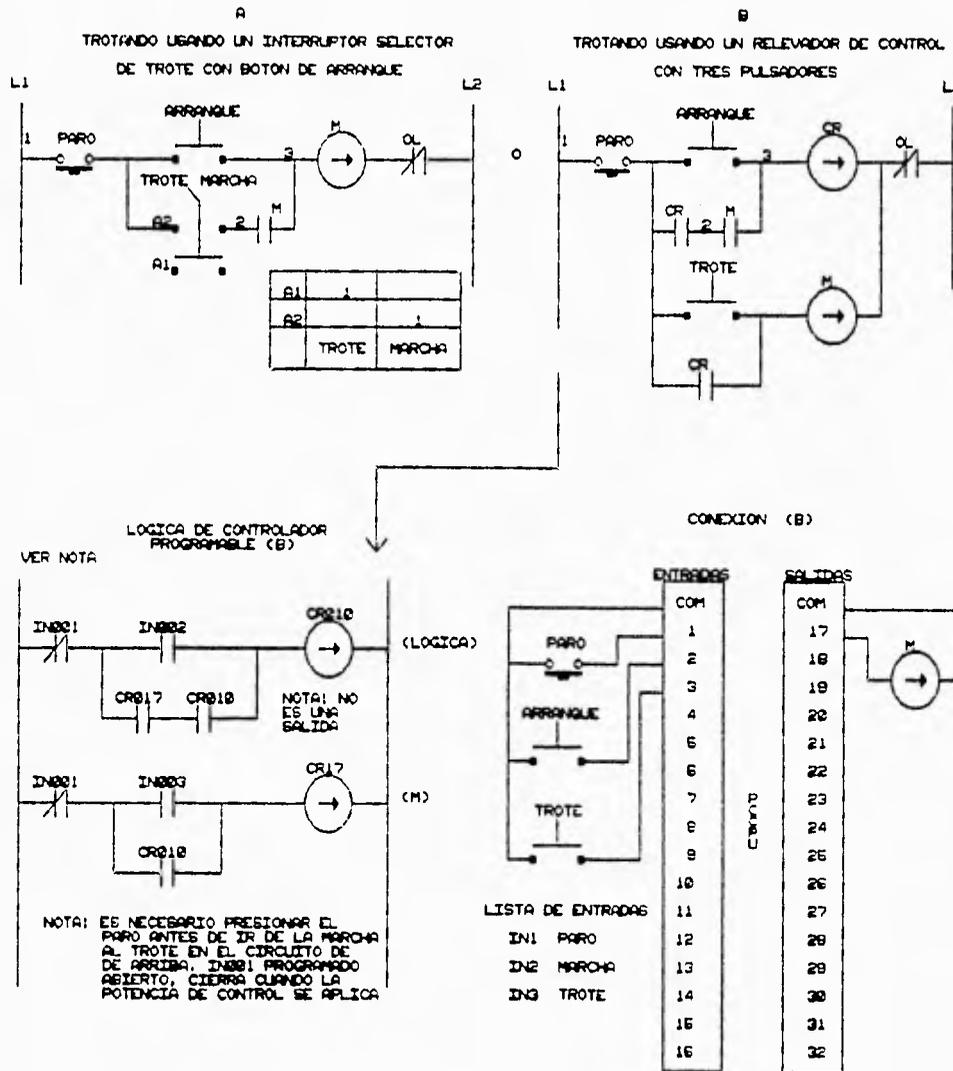


FIGURA 4-10
CIRCUITO ARRANQUE/PARO/TROTE (ENCENDIDO MOMENTANEO)

EJEMPLO 5: El circuito se muestra en la figura 4-11.

Existen 4 entradas. Cada una representa un mal funcionamiento en un sistema.

Si cualquiera de dos mal funcionamientos ocurren, una luz piloto roja se enciende.

Si cualquiera de tres mal funcionamientos ocurren, una sirena sonará.

Otra vez, note la simplicidad del diagrama de conexión. Para un sistema de lógica de relevador, las conexiones serían muy complicadas, y un número de relevadores lógicos tendrían que ser alambrados.

El programa del PLC para la figura 4-11 sería:

```
IN / 01 / AND / IN / 02 / OR / IN / 01 / AND / IN / 03 / OR / IN / 01
AND / IN / 04 / OR / IN / 02 / AND / IN / 03 / OR / IN / 02 / AND
IN / 04 / OR / IN / 03 / AND / IN / 04 / LOAD / CR / 18
IN / 01 / AND / IN / 02 / AND / IN / 03 / OR / IN / 01 / AND
IN / 02 / AND / IN / 04 / OR / IN / 01 / AND / IN / 03 / AND
IN / 04 / OR / IN / 02 / AND / IN / 03 / AND / IN / 04
LOAD / CR / 18
```

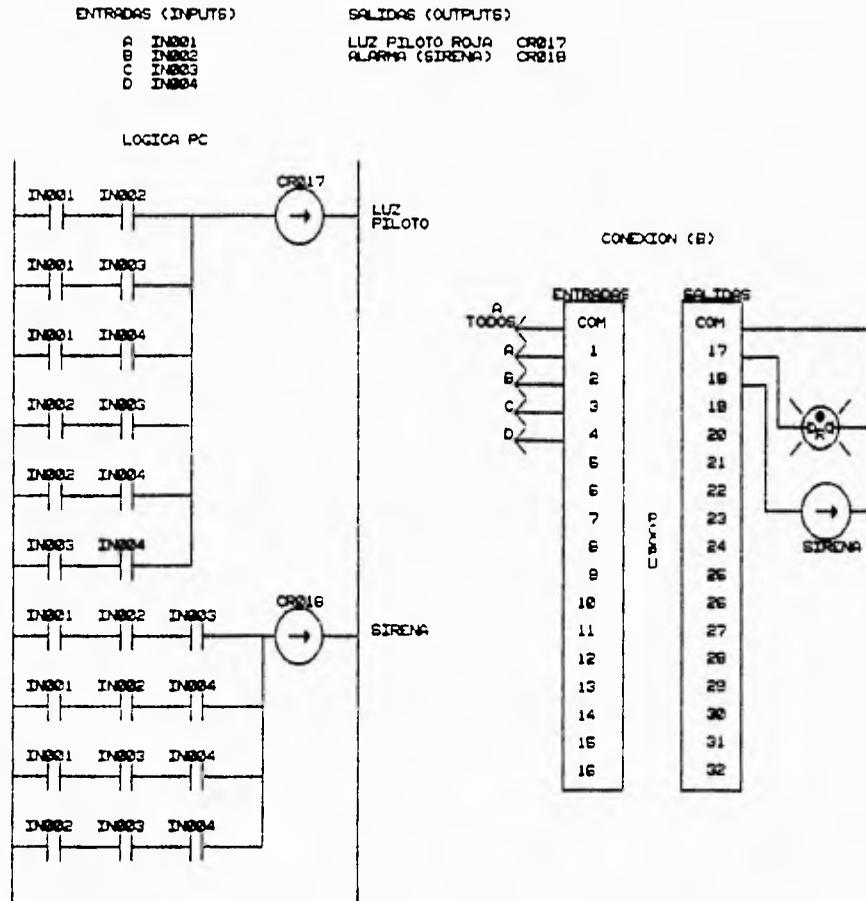


FIGURA 4-11
SISTEMA DE ALARMA MULTIPLE

4.6 DIRECCIONES Y REGISTROS

Para la operación de contactos y bobinas del tema anterior, la persona que está realizando la programación no tiene nada que ver con las direcciones y registros en el CPU del PLC. Sin embargo, muchas otras funciones del PLC usan las direcciones y registros internos en su operación.

Es necesario conocer las características y operación de estas direcciones y registros para un mejor entendimiento de estas otras funciones del PLC.

Las direcciones y registros son diferentes nombres para las mismas cosas, localidades (slots) usadas para almacenar información en la memoria de la computadora.

En la operación de la computadora estas localidades internas son llamadas DIRECCIONES. En esta discusión del PLC, se llamarán REGISTROS.

Los registros pueden ser de 4, 8, 16 ó 32 bits de ancho, dependiendo del modelo de PLC que se esté usando.

La figura 4-12, muestra la localización relativa y número de registros disponible para tres tipos de registro.



FIGURA 4-12
REGISTROS DEL PLC

Los registros son de trabajo o soporte, de entrada y de salida. Usaremos los prefijos HR, IR y OR para estos tres tipos de registros, respectivamente.

En pequeños PLCs, sólo hay registros HR y quizá estos no son accesibles al programador.

En muchos PLCs, los registros se pueden acceder por medio del teclado.

Todos los registros del PLC son numerados consecutivamente. Los manuales de operación para estos PLCs dicen los números de registro para cada tipo.

En PLCs de tamaño medio, hay típicamente de 500 a 1000 registros de soporte. Normalmente, hay alrededor de 10 registros de entrada y 10 de salida.

En suma, los PLCs tienen otros dos tipos de configuraciones de registros. Estos son registros de grupo de entrada (input group, IG) y los registros de grupo de salida (output group, OG).

La ventaja de estos registros es que un solo registro puede recibir o controlar múltiples entradas o salidas.

Para un registro IG de 16 bits, la posición de 16 entradas se puede grabar en un registro.

Con técnicas de programación regular, se requerirían 16 líneas de programa para recibir información de 16 entradas.

Los registros OG operan de manera inversa de los registros IG. Un registro OG es cargado con un patrón de 0/1 bit. Cada registro OG controla 16 dispositivos de salida a través de 16 puertos de módulo de salida. Hablando de un registro de 16 bits.

4.7 TIMERS Y CONTADORES

En circuitos de lógica de relevador, los timers y contadores son unidades individuales montadas en panel que se deben alambrear.

La figura 4-13. ilustra dos típicos formatos de timer para PLCs. Cuando se llama la función de tiempo en el teclado, el bloque del timer aparece. El bloque se programa para tres parámetros. El primero es un número del timer, TSO17 ó 31 (ver figura 4-13). El siguiente, es el valor del intervalo de tiempo requerido, 14 [s] para cada formato. Finalmente, se especifica en donde va a tomar lugar el conteo, HR101 o función 31.

Hay dos entradas en la función de tiempo. La entrada IN001 o IN7 es la entrada que inicia el intervalo de tiempo de la función. La entrada IN002 o IN8 es la entrada de Habilitación/Reajuste (Enable/Reset). Cuando ésta se apaga, el timer no correrá aún si la línea de MARCHA está encendida. Cuando se enciende, el timer puede correr. Cuando el Enable/Reset se apaga después de que el timer se interrumpe, el timer se reajusta a cero.

En el segundo formato, note que la salida no es directa a la salida. Un contacto de función de tiempo, 31, se usa para controlar la salida 7B.

4.7 TIMERS Y CONTADORES

En circuitos de lógica de relevador, los timers y contadores son unidades individuales montadas en panel que se deben alambrear.

La figura 4-13, ilustra dos típicos formatos de timer para PLCs. Cuando se llama la función de tiempo en el teclado, el bloque del timer aparece. El bloque se programa para tres parámetros. El primero es un número del timer, TSO17 ó 31 (ver figura 4-13). El siguiente, es el valor del intervalo de tiempo requerido, 14 [s] para cada formato. Finalmente, se especifica en donde va a tomar lugar el conteo, HR101 o función 31.

Hay dos entradas en la función de tiempo. La entrada IN001 o IN7 es la entrada que inicia el intervalo de tiempo de la función. La entrada IN002 o IN8 es la entrada de Habilitación/Reajuste (Enable/Reset). Cuando ésta se apaga, el timer no correrá aún si la línea de MARCHA está encendida. Cuando se enciende, el timer puede correr. Cuando el Enable/Reset se apaga después de que el timer se interrumpe, el timer se reajusta a cero.

En el segundo formato, note que la salida no es directa a la salida. Un contacto de función de tiempo, 31, se usa para controlar la salida 7B.

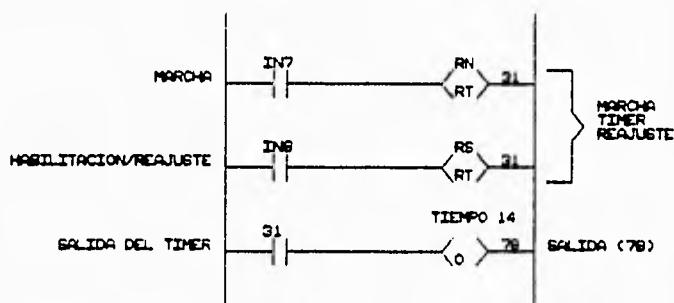
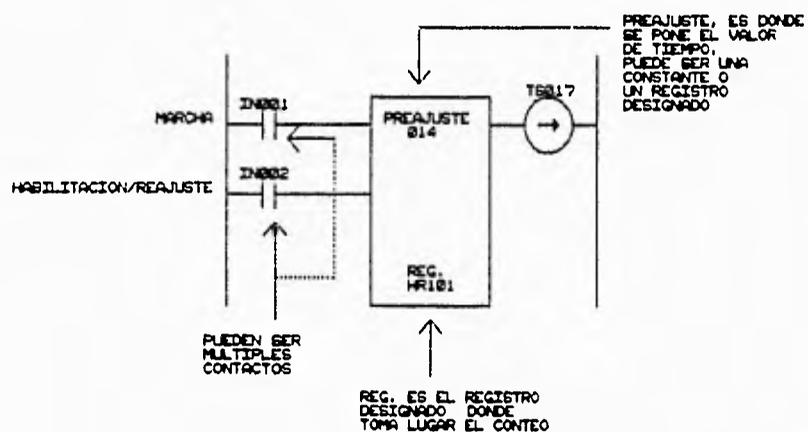
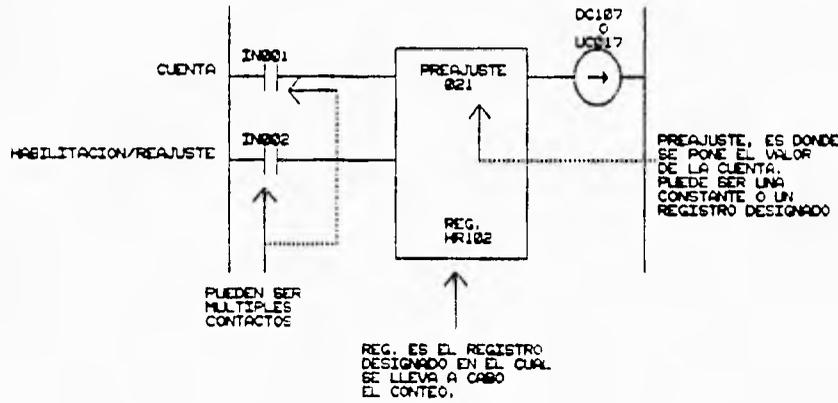


FIGURA 4-13
FUNCIÓN BÁSICA DE TIMER DEL PLC

La función de contador de PLC opera similar a la función de timer. Se muestran dos formatos típicos de la función de contador en la figura 4-14. Cuando la línea de Habilitación/Reajuste (Enable/Reset) se enciende, el contador cuenta una vez cada vez que la línea se enciende. Cuando se apaga, el contador se reajusta a cero.



o

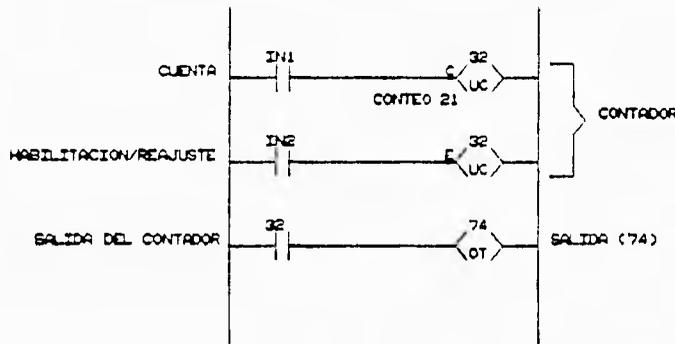


FIGURA 4-14
FUNCIÓN BÁSICA DE CONTADOR DEL PLC

4.8 FUNCIONES DISCRETAS

4.8.1 SUMA

La función SUMA se muestra en la figura 4-15. Cuando se llama la función por programación, el bloque aparece como se muestra. Se asigna un número de salida a la función, ADO078. El operando 1 es el número base de un registro. El número que se va a sumar a este se programa como operando 2.

En muchos PLCs, el operando 2 se puede programar como una constante o como el valor de otro registro. Se debe proveer una localidad para la suma. En este ejemplo se destina OR0013.

Cuando IN0065 se enciende para la función SUMA, la función suma los operandos, y la suma aparece en el destino OR0013.

Si IRO062 cambia después de la suma, no se suma automáticamente. La entrada IN0065 se debe apagar y luego encender para la nueva suma.

Normalmente hay cuatro dígitos decimales, dando un máximo de 9999 para cada operando. El destino también tiene cuatro dígitos 9999.

Cuando 345 y 5291 se suman, por ejemplo, la suma, 5636, queda en el destino de cuatro dígitos. Sin embargo, si se suman 8652 y 7693, la suma, 16345, no queda en el destino. Se debe tener cuidado con este problema teniendo la bobina encendida para representar el 1 de los 16345. El destino contendría la resta de las figuras -6345.

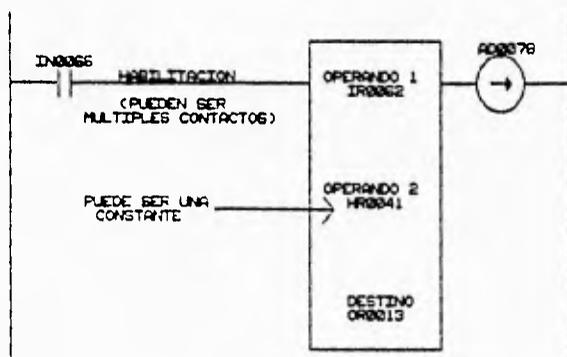


FIGURA 4-16
FUNCION SUMA

4.6.2 RESTA

La funcion resta se muestra en la figura 4-16.

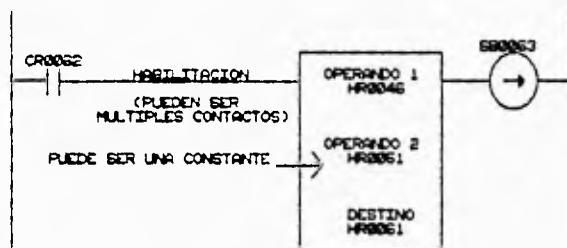


FIGURA 4-16
FUNCION RESTA

Opera de manera similar a la función SUMA. Cuando CR0062 se enciende, el operando 2 se resta del operando 1. El resultado se encuentra en el registro destino HR0061. Si el resultado es negativo, la bobina se enciende para indicar el resultado negativo.

4.8.3 MULTIPLICACION

La función de MULTIPLICACION se muestra en la figura 4-17.

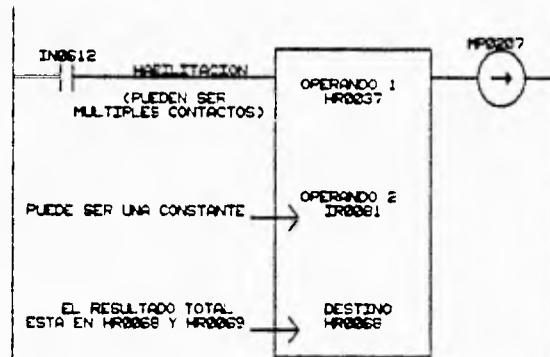


FIGURA 4-17
FUNCION DE MULTIPLICACION

Opera de manera similar a la función SUMA y RESTA. Cuando se habilita, el operando 1 y el operando 2 se multiplican y el resultado aparece en el registro destino especificado.

Note un punto importante: el registro destino tiene normalmente de manera automática dos registros de ancho.

El registro HR0068 se especifico como destino. El PLC automáticamente usa dos registros para el destino, HR0068 y HR0069, como se muestra.

Cuando el producto es pequeño, con sólo cuatro o menos dígitos, el resultado aparecerá en HR0069. En cambio con productos más grandes, el resultado aparecerá en ambos registros, empezando en HR0068.

4.8.4 DIVISION

La figura 4-18 muestra la función de DIVISION.

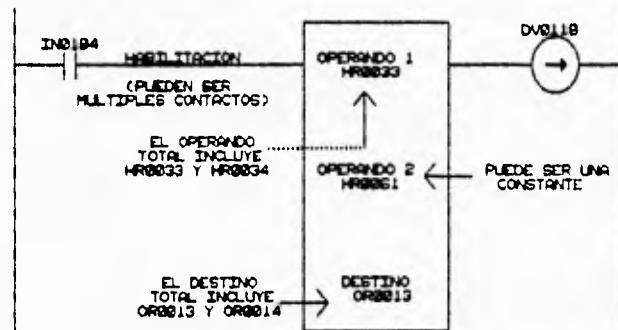


FIGURA 4-18
FUNCIÓN DE DIVISION

Opera de manera similar a la función SUMA y RESTA. Cuando se habilita, el operando 1 y el operando 2 se multiplican y el resultado aparece en el registro destino especificado.

Note un punto importante: el registro destino tiene normalmente de manera automática dos registros de ancho.

El registro HR0068 se especifico como destino. El FLC automáticamente usa dos registros para el destino, HR0068 y HR0069, como se muestra.

Cuando el producto es pequeño, con sólo cuatro o menos dígitos, el resultado aparecerá en HR0069. En cambio con productos más grandes, el resultado aparecerá en ambos registros, empezando en HR0068.

4.8.4 DIVISION

La figura 4-18 muestra la función de DIVISION.

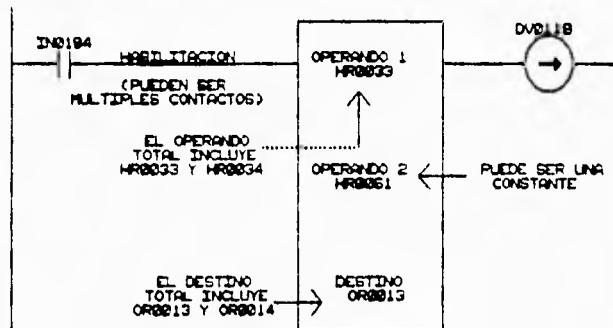


FIGURA 4-18
FUNCION DE DIVISION

Opera de manera similar a las otras funciones. El operando 1 tiene normalmente dos registros de ancho. El operando 2 es sólo un registro de ancho o se puede especificar como constante. El destino tiene dos registros de ancho.

El primer registro de destino contiene el dividendo. El segundo registro, DR0014, contiene el resto, pero no la parte decimal como se podría asumir.

Un error común en el uso de esta función es tener los operandos 1 y 2 en registros consecutivos, por ejemplo HR0045 y HR0046. Entonces, el operando 2 y el segundo registro para el operando 1 son los mismos. Este arreglo no trabaja. Una regla que se usa para el PLC, es que no se debe usar un mismo registro para dos propósitos.

4.8.5 COMPARACION

La figura 4-19 muestra la función de COMPARACION.

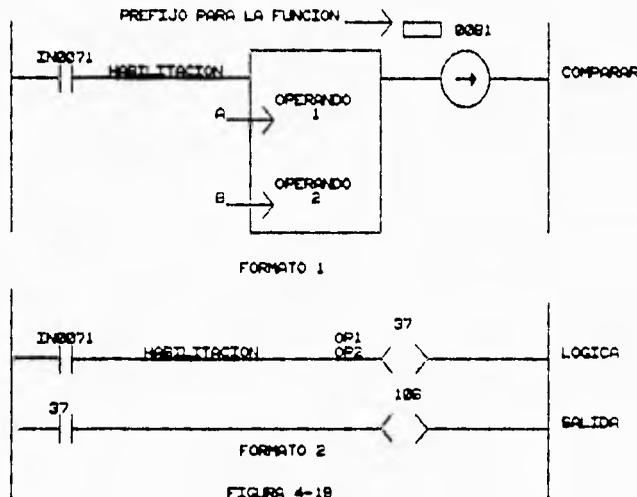
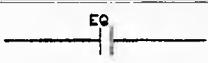
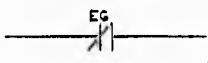
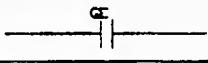
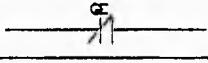
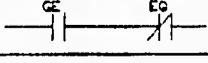
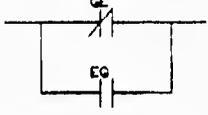


FIGURA 4-18
FUNCION DE COMPARACION

La función de COMPARACION más usada es la "Igualdad". Cuando el número en el operando 1 es exactamente igual al operando 2, la salida se enciende.

El operando 1 es el número en un registro especificado. El operando 2 es el número en otro registro especificado o una constante especificada.

En la comparación de dos números, hay seis posibilidades matemáticas de comparación, las cuales se listan a continuación en la figura 4-20:

COMPARACION	FUNCION	EQUACION	CIRCUITO (CONDUCE CUANDO LA ECUACION ES VERDADERA)
#1	IGUAL (EQ)	$A = B$	
2	DIFERENTE	$A \neq B$	
#3	MAYOR O IGUAL QUE (GE)	$A \geq B$	
4	MENOR QUE	$A < B$	
5	MAYOR QUE	$A > B$	
6	MENOR O IGUAL QUE	$A \leq B$	

• FUNCIONES BASICAS

FIGURA 4-20
FUNCIONES DE COMPARACION

CAPITULO 5

APLICACION DEL PLC PARA EL CONTROL DE LA VELOCIDAD EN MOTORES DE C.D.

5.1 INTRODUCCION

5.2 CONFIGURACION

5.3 PROGRAMACION

5.3.1 INSTRUCCIONES

5.3.2 COMANDOS

5.4 PROCEDIMIENTOS OPERACIONALES

5.4.1 GUIA DE OPERACION

5.4.2 BORRAR MEMORIA

5.4.3 INICIAR UN PROGRAMA NUEVO

5.4.4 ADICION DE NUEVAS SECUENCIAS A UN PROGRAMA

5.4.5 BORRAR ELEMENTOS DE UN PROGRAMA

5.4.6 DESPLEGADO DE UN PROGRAMA

5.4.7 CAMBIO DE UN ELEMENTO EN UN PROGRAMA Y MODIFICACION DEL VALOR DEL TIMER

5.4.8 INSERTAR UN ELEMENTO A UN PROGRAMA

5.4.9 CHEQUEO DE LA SINTAXIS

5.5 DESCRIPCION FISICA DEL PLC JUNTO CON EL PANEL DE CONTROL

5.6 PROGRAMAS

5.6.1 PARA EL CONTROLADOR PROGRAMABLE SERIE X

5.6.2 PARA EL CONTROLADOR PROGRAMABLE SERIE XL

5.6.3 PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE C.D.

5.1 INTRODUCCION

En este capítulo se estudiará el PLC, que se usará para realizar las pruebas en el motor de C.D.

El manual para este PLC pertenece a RELIANCE ELECTRIC. Y se divide en dos partes:

- 1) EL CONTROLADOR PROGRAMABLE
- 2) EL PROGRAMADOR (en el capítulo 4 lo llamamos Monitor de Programa)

Existen dos tipos de controladores programables, el SHARK Serie X y el SHARK Serie XL. Hay muy pocas diferencias entre ambos, que señalaremos en este capítulo.

Para el controlador programable veremos:

- configuración
- programación
- instrucciones
- comandos
- etc.

Para el programador tenemos dos tipos:

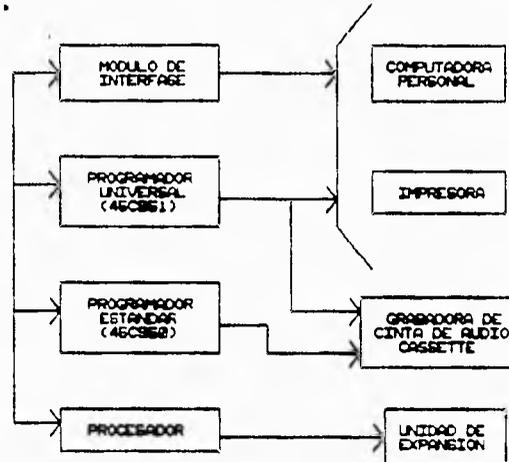
- 1) El Programador Universal (M/N 45C951)
- 2) El Programador Standard (M/N 45C950)

En este capítulo veremos la operación general del programador así como su descripción.

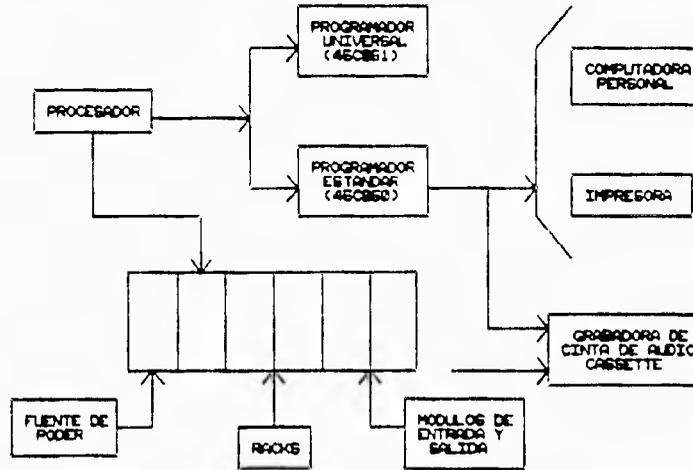
NOTA: Cuando se realicen los programas, utilizaremos las siglas T/C (las usa una tecla del programador), cuando se requiera utilizar el timer o contador, en vez de usar las que realmente tiene el programador (TMR/CNT), por cuestión de espacio.

5.2 CONFIGURACION

La figura 5-1, muestra la configuracion del sistema para la serie X y la XL.



(a) CONFIGURACION DEL CONTROLADOR PROGRAMABLE SERIE X



(b) CONFIGURACION DEL CONTROLADOR PROGRAMABLE SERIE XL

FIGURA 6-1
CONFIGURACION DEL SISTEMA

5.3 PROGRAMACION

5.3.1 INSTRUCCIONES

Tenemos las siguientes instrucciones para la serie X y XL:

- ORG: Se usa para iniciar un circuito con un contacto normalmente abierto.
- ORG NOT: Se usa para iniciar un circuito con un contacto normalmente cerrado.
- AND: Se usa para un contacto normalmente abierto en serie.
- AND NOT: Se usa para un contacto normalmente cerrado en serie.

NOTA: No hay un límite en el número de contactos que se pueden programar en serie.

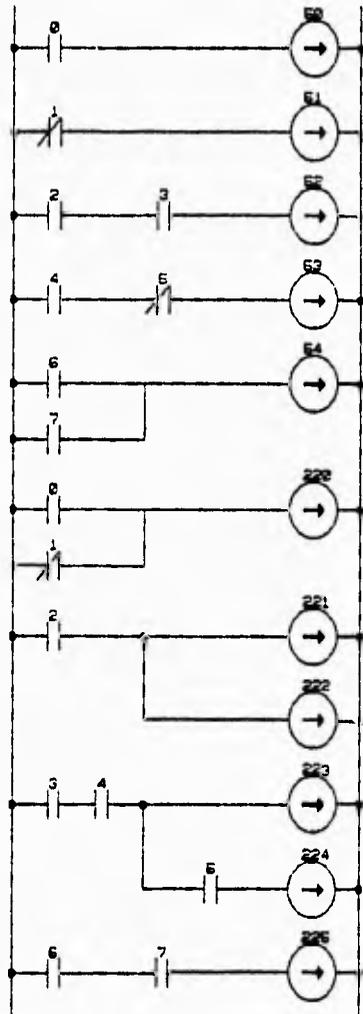
- OR: Se usa para un contacto normalmente abierto en paralelo.
- OR NOT: Se usa para un contacto normalmente cerrado en paralelo.

NOTA: No hay un límite en el número de contactos que se pueden programar en paralelo.

- OUT: Se usa para salidas internas y externas, timers y contadores.
- OUT NOT: Se usa para deshabilitar instrucciones OUT.

NOTA: Se pueden usar múltiples instrucciones OUT para contactos en paralelo.

Ver la figura 5-2, para la aplicación de las instrucciones.



CODIGO		NOTAS
ORG OUT	0 00	SE USA ORG PARA INICIAR UN CIRCUITO
ORG NOT OUT	1 01	
ORG AND OUT	2 02	SE USA AND PARA LOS CONTACTOS CONECTADOS EN SERIE
ORG AND NOT OUT	4 03	
ORG OR OUT	6 04	SE USA OR PARA LOS CONTACTOS CONECTADOS EN PARALELO
ORG OR NOT OUT	8 05	
ORG OUT OUT	2 221 222	SALIDA MULTIPLE
ORG AND OUT AND OUT	3 4 223 5 224	
ORG AND OUT NOT	6 7 226	

FIGURA 5-2
EJEMPLO DE LAS INSTRUCCIONES ORG, ORG NOT,
AND, AND NOT, OR, OR NOT, OUT, OUT NOT

Nuevamente tenemos para la serie X y XL:

- STR: Se usa para iniciar una derivación con un contacto normalmente abierto.

- STR NOT: Se usa para iniciar una derivación con un contacto normalmente cerrado.

NOTA: Se está limitado a 7 instrucciones STR y STR NOT cuando se conectan bloques de circuitos juntos.

- AND STR: Se usa para finalizar una derivación cuando se conectan bloques de circuitos paralelos en serie.

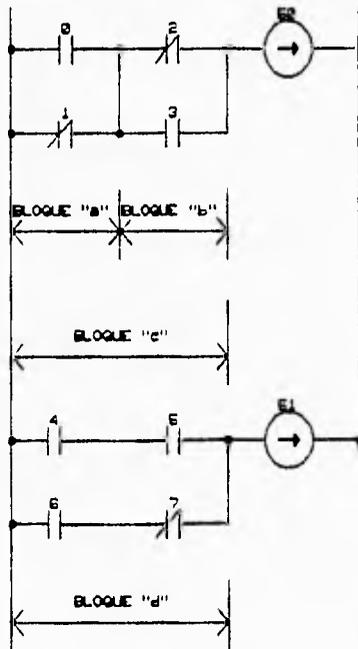
- OR STR: Se usa para finalizar una derivación cuando se conectan bloques de circuitos serie en paralelo.

NOTA: No hay un límite en el número de bloques de circuitos que se pueden conectar juntos con las instrucciones AND STR y OR STR.

NOTA: El número de instrucciones STR/STR NOT debe ser igual al número de instrucciones AND STR/OR STR. Si no es así, resultará un error de sintaxis.

Ver la figura 5-3, para la aplicación de las instrucciones.

NOTA: A pesar de que no hay un límite para el número de contactos en serie y en paralelo y para el número de bloques de circuitos que se pueden programar, físicamente tenemos en el panel de control 12 interruptores para la serie X y 16 para la serie XL (estos interruptores son los que se programan como normalmente abiertos o cerrados), y se tienen 8 focos, que representan las salidas, para cada serie.



CODIGO	NOTAS
ORG	0
ORG NOT	1
STR NOT	2
OR	3
AND STR	a.b
OUT	E0
ORG	4
AND	5
STR	6
AND NOT	7
OR STR	c+d
OUT	E1

FIGURA 5-3
EJEMPLO DE LAS INSTRUCCIONES
STR, STR NOT, AND STR, OR STR

Para la serie X:

- TIMER: Se introduce tecleando el numero de timer (2 dígitos) y el valor escogido para el tiempo (3 dígitos). Uno establece el tiempo base (valor escogido).

Para un valor escogido de 0.55 segundos, se introduce [0][.][5][5]

Para un valor escogido de 10.5 segundos, se introduce [1][0][.][5]

Para un valor escogido de 300 segundos, se introduce [3][0][0]

Los timers son numerados en forma octal de T00 - T47 (total=40).

El rango para los valores escogidos es:

1 - 999 segundos

0.1 - 99.9 segundos

0.01 - 9.99 segundos

El timer comienza a contar del valor escogido a 000, cuando el contador llega a 000, la salida se energiza.

La figura 5-4, muestra los valores de timer.

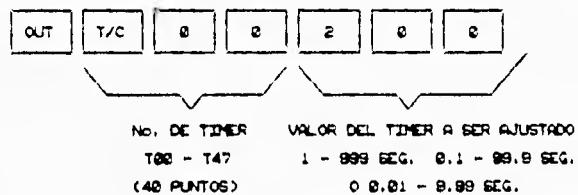


FIGURA 5-4
TIMER PARA LA SERIE X

Para la serie XL:

- TIMER: Se introduce tecleando el número de timer (1 ó 2 dígitos), presionando la tecla de punto decimal [.] , y despues tecleando el valor del tiempo (3 ó 4 dígitos).

Los timers pueden ser numerados de T0 a T95. Note que los timers y contadores comparten el mismo rango de direcciones.

No se puede usar el mismo número para ambos (contadores y timers).

El timer comienza a contar de 000 hasta llegar al valor escogido, cuando se alcanza ese valor la salida se energiza.

La figura 5-5, muestra los valores de timer.

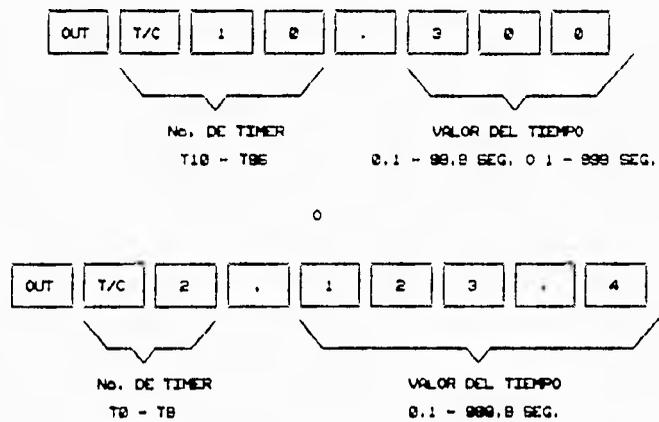


FIGURA 5-5
TIMER PARA LA SERIE XL

Para la serie X:

- CONTADOR (C): Los contadores C50 - C77 son del tipo abajo (down counter). Se introduce un contador tecleando la entrada de conteo y después la entrada de reajuste. Hay 24 contadores de 3 dígitos numerados (C50 - C77). Los contadores C70 - C77 se pueden introducir como contadores de 4 dígitos.

Para la serie XL:

- CONTADOR (C): Se introduce tecleando el número de contador (1 o 2 dígitos), presionando la tecla de punto decimal [.] , y después introduciendo el valor escogido (3 o 4 dígitos). Los contadores C0 - C9 pueden contar hasta 9999, mientras que los C10 - C95 solo cuentan hasta 999. Los contadores pueden ser numerados de C0 a C95. Son del tipo arriba (up counter).

5.3.2 COMANDOS

Para la serie X y XL:

- FUN00: Significa DIF (detección de límite). Se puede usar junto con una salida interna para detectar el límite principal de una señal de entrada y obtener un pulso para una exploración.

- FUN02: Significa IF (If). Es el comando If. Se usa cuando la posición de encendido/apagado es referenciada a una salida.

- FUN03: Significa IFR (If reset). Es el comando If con una entrada de reajuste. Se usa cuando la posición de encendido/apagado es referenciada a una entrada.

- FUN04: Significa MCS (Master Control Set). Este comando controla el bus de línea. Se debe usar junto con el comando MCR, si no resultará una sintaxis de error. Se debe introducir un comando ORG u ORG NOT después del comando FUN04.

- FUN05: Significa MCR (Master Control Reset). Este comando controla el bus de línea. Se debe usar junto con el comando MCS, si no resultará una sintaxis de error.

- FUN06: Significa JMP (jump). Permite al procesador saltar sobre secuencias de programa específico. Se debe usar junto con el comando JMP END, si no resultará una sintaxis de error.

- FUN07: Significa JMP END (jump end). Permite al procesador saltar sobre secuencias de programa específico. Se debe usar junto con el comando JMP, si no resultará una sintaxis de error.

FRECAUCION: Cuando se activa un comando jump, el programa entre FUN06 y FUN07 no se evalúa. Las salidas se mantienen en su estado previo.

- FUN0: Significa WLOAD (cargar valor constante). Este comando carga un valor constante BCD en el registro AR (Registro Aritmético). El registro AR se usa por el procesador como un área de almacenamiento temporal para manipulación de datos.

- FUN7: Significa WCMP (word compare, >=). Compara el contenido del registro aritmético con un valor constante.

- FUN8: Significa WCMP (word compare, =). Compara el contenido del registro aritmético con un valor constante.

- FUN9: Significa WCMP (word compare, <). Compara el contenido del registro aritmético con un valor constante.

- FUN11: Significa ADD (suma). Suma el contenido de 2 números BCD. Si la suma resulta mayor que 9999, un bit de acarreo (C) se enciende y el valor previo se mantiene sin cambio.

- FUN12: Significa SUB (resta). Este comando resta 2 números BCD. El número especificado se resta del contenido del registro aritmético. Entonces el resultado se almacena en el registro aritmético. Si el resultado es negativo un bit de acarreo (C) se enciende y el valor previo se mantiene sin cambio.

- FUN13: Significa MUL (multiplicación). Multiplica 2 números BCD. El valor especificado se multiplica con el contenido del registro aritmético. El resultado se almacena en el registro aritmético. Si el resultado es mayor que 9999, un bit de acarreo (C) se enciende y el valor previo se mantiene sin cambio.

- FUN14: Significa DIV (división). Divide 2 números BCD. El contenido del registro aritmético se divide entre el valor especificado. El resultado se almacena en el registro aritmético. Si el contenido del registro aritmético se divide entre cero, el bit de acarreo se ajusta y el valor previo se mantiene sin cambio. El residuo siempre se ignora.

- FUN22: Significa WOUT (word out). Toma datos del registro aritmético y los transfiere a una salida. El bit de acarreo (C) no cambia.

- FUN24: Significa BCD. Convierte datos binarios en datos BCD. Si los datos BCD que van a ser convertidos son mayores que 9999, un bit de acarreo (C) se enciende y el valor previo se mantiene sin cambio.

- FUN25: Significa BNR. Convierte datos BCD a datos binarios.

- FUN40: Significa UDC (contador up/down). Para programar una secuencia de contador se debe introducir la entrada up/down (encendido cuenta arriba, apagado cuenta abajo), la entrada del contador y la entrada de reajuste, en ese orden. En el modo de cuenta arriba, el registro del contador empieza en 0000 y cuenta hasta 9999, cuando se llega a este valor se regresa a 0000. En el modo de cuenta abajo, el registro del contador empieza en 0000 y cuenta hacia abajo de 9999 hasta 0001, cuando se llega a este valor se regresa a 0000 y luego 9999. Cuando la entrada de reajuste se energiza, el registro de conteo se reajusta a 0000.

PRECAUCION: El usuario debe realizar una operación de comparación en el valor del contador para determinar si el valor está dentro del rango esperado. Una falla en esta observación y puede provocar una lesión corporal o daño al equipo.

- FUN45: Significa LATCH. Se usan bobinas externas/internas para programar este comando.

-FUN47: Significa SFR (shift register). Se usan bobinas externas/internas para programar este comando.

- FUN99: Significa END (fin). Marca el fin del programa. La exploración del programa comienza en el paso 000 y continúa hasta FUN99.

Para la serie X también se tienen los siguientes comandos:

- FUN30: Significa W LOAD (word load). Transfiere la posición de entradas externas a salidas externas, o de salidas internas al registro aritmético en grupos de 16 bits.

- FUN31: Significa T/C LOAD (timer/counter load). Este comando transfiere el valor corriente de un timer al registro aritmético. El valor corriente del timer está en BCD (4 dígitos). El dígito menos significativo representa 0.1 segundos.

- FUN32: Significa W OUT (word out). Transfiere el contenido del registro aritmético (16 bits) a las apropiadas bobinas externas o internas.

- FUN33: Significa T/C OUT (timer/counter output). Transfiere el contenido del registro aritmético a un timer por su valor preajustado. El valor preajustado de un timer está limitado a 3 dígitos.

PRECAUCION: Si el valor del registro aritmético no es un número válido BCD (por ejemplo, un valor binario), no se debe usar como un valor preajustado de timer/contador. Si se hace, el timer/contador no trabajara apropiadamente.

Si se transfiere un número BCD de 4 dígitos del registro aritmético a un contador de 3 dígitos (C50 - C67), el contador trabajara apropiadamente pero el dígito más significativo no será desplegado en el programador (monitor de programa). Hay que asegurarse de transferir valores BCD de 3 dígitos (con el dígito más significativo puesto a cero) a contadores de 3 dígitos.

Cuando FUN35 es seguida por FUN33, FUN33 no trabaja cuando el acarreo C=0.

- FUN34: Significa WCMP (word compare). Compara el contenido del registro aritmético con la posición de arriba de 16 entradas externas o salidas.

- FUN35: Significa T/C CMP (timer/counter compare). Compara el contenido del registro aritmético con el valor preajustado de un timer o contador.

- FUN36: Significa HC LOAD (high speed counter load). Transfiere el valor corriente del contador de alta velocidad (frecuencia máxima de 10 kHz) al registro aritmético.

PRECAUCION: El valor corriente del contador se pierde cuando se apaga la alimentación. La pérdida de este valor puede resultar en un inesperado movimiento de la máquina. La falla en esta observación puede provocar lesión corporal o daño en el equipo.

- IF: Se puede usar el comando IF para control secuencial.

Para la serie XL también se tienen los siguientes comandos:

- FUN08: Significa AJMP (addressed jump). Requiere de direcciones. Las direcciones están en el rango de 0 a 9.

- FUN09: Significa AJMP END (addressed jump end). Requiere de direcciones. Las direcciones están en el rango de 0 a 9.

NOTA: Se pueden programar múltiples saltos de FUN08 a una simple FUN09.

- FUN1: Significa ADD (suma). Suma 2 números BCD. El valor constante especificado se suma al contenido del registro aritmético. El resultado se almacena en el registro aritmético. Si la suma resulta mayor que 9999, un bit de acarreo (C) se enciende y el valor previo se mantiene sin cambio.

- FUN2: Significa SUB (resta). Resta 2 números BCD. El valor constante especificado se resta del contenido del registro aritmético. El resultado se almacena en el registro aritmético. Si el resultado es negativo un bit de acarreo (C) se enciende y el valor previo se mantiene sin cambio.

- FUN3: Significa MUL (multiplicación). Multiplica 2 números BCD. El valor constante especificado se multiplica con el contenido del registro aritmético. El resultado se almacena en el registro aritmético. Si el resultado es mayor que 9999, un bit de acarreo (C) se enciende y el valor previo se mantiene sin cambio.

- FUN4: Significa DIV (division). Divide 2 números BCD. El contenido del registro aritmético se divide entre el valor constante especificado. El resultado se almacena en el registro aritmético. Si el contenido del registro aritmético se divide entre cero, el bit de acarreo se ajusta y el valor previo se mantiene sin cambio. El residuo siempre se ignora.

- FUN5: Significa WAND (word and). Este comando lógicamente realiza la función AND junto con el valor especificado y el contenido del registro aritmético. El resultado se almacena en el registro aritmético. El bit de acarreo (C) no se afecta por este comando.

- FUN6: Significa WOR (word or). Este comando lógicamente realiza la función OR junto con el valor especificado y el contenido del registro aritmético. El resultado se almacena en el registro aritmético. El bit de acarreo (C) no se afecta por este comando.

- FUN10: Significa WLOAD (word load). Carga datos en el registro aritmético. El bit de acarreo (C) no cambia.

- FUN15: Significa WAND (word and). Este comando lógicamente realiza la función AND junto con el valor especificado y el contenido del registro aritmético. El resultado se almacena en el registro aritmético. El bit de acarreo no se afecta por este comando.

- FUN16: Significa WOR (word or). Este comando lógicamente realiza la función OR junto con el valor especificado y el contenido del registro aritmético. El resultado se almacena en el registro aritmético. El bit de acarreo no se afecta por este comando.

- FUN17: Significa WCMP (word compare, >=). Compara el contenido del registro aritmético con una entrada externa, salida interna, o un valor de timer/contador para una condición de mayor o igual que. Si el contenido del registro aritmético es mayor o igual que el valor especificado, el bit de acarreo (C) es igual a uno. Si el contenido del registro aritmético es menor que el valor especificado, el bit de acarreo (C) es igual a cero.

- FUN18: Significa WCMP (word compare, =). Compara el contenido del registro aritmético con una entrada externa, salida interna, o un valor de timer/contador para una condición de igualdad. Si el contenido del registro aritmético es igual al valor especificado, el bit de acarreo (C), es igual a uno. Si el contenido del registro aritmético es mayor o menor que el valor especificado, el bit de acarreo (C) es igual a cero.

- FUN19: Significa WCMP (word compare, <). Compara el contenido del registro aritmético con una entrada externa, salida interna, o un valor de timer/contador para una condición de menor que. Si el contenido del registro aritmético es menor que el valor especificado, el bit de acarreo (C) es igual a uno. Si el contenido del registro aritmético es mayor o igual que el valor especificado, el bit de acarreo (C) es igual a cero.

- FUN20: Significa WLOAD (word load). Carga datos en el registro aritmético. El bit de acarreo (C) no cambia.

- FUN21: Significa WOUT (word out). Toma datos del registro aritmético y los transfiere a una salida o a un timer/contador. El bit de acarreo (C) no cambia. Note que cuando se transfieren datos a un valor preajustado de timer/contador, el valor programado se restablece con un reinicio del sistema.

- FUN23: Significa OUC (out carry). Obtiene la posición (uno o cero) del bit de acarreo a ambas salidas externas o entradas/salidas internas. El contenido del registro aritmético y el bit de acarreo no cambian.

- FUN26: Significa LSF (left shift register). Cambia el contenido del registro aritmético un bit a la izquierda.

- FUN27: Significa RSF (right shift register). Cambia el contenido del registro aritmético un bit a la derecha.

- FUN28: Significa BRANCH. Después de este comando no se pueden usar los comandos FUN04 y FUN05.

- FUN29: Significa RETURN.

- FUN98: Significa STA (start). Se requieren dos contactos en el inicio del programa para proveer la señal de entrada para la FUN98.

5.4 PROCEDIMIENTOS OPERACIONALES

5.4.1 GUIA DE OPERACION

Se usa la siguiente guía para preparar un programa en el procesador:

1. Borrar memoria
 - Antes de iniciar un programa nuevo hay que borrar la memoria.
2. Escribir/entrar el programa
3. Checar el programa
 - Hay que asegurarse que la programación sea correcta.
4. Buscar en cuanto a la dirección (si se está editando)
5. Editar el programa
 - Se puede alterar si es necesario.
6. Checar la sintaxis del programa
 - Hay que corregir errores
7. Correr el programa
 - El programa se corre un vez que todo el alambrado y programación esté correcta.

5.4 PROCEDIMIENTOS OPERACIONALES

5.4.1 GUIA DE OPERACION

Se usa la siguiente guía para preparar un programa en el procesador:

1. Borrar memoria
 - Antes de iniciar un programa nuevo hay que borrar la memoria.
2. Escribir/entrar el programa
3. Checar el programa
 - Hay que asegurarse que la programación sea correcta.
4. Buscar en cuanto a la dirección (si se está editando)
5. Editar el programa
 - Se puede alterar si es necesario.
6. Checar la sintaxis del programa
 - Hay que corregir errores
7. Correr el programa
 - El programa se corre un vez que todo el alambrado y programación esté correcta.

5.4.2 BORRAR MEMORIA

Antes de iniciar un programa nuevo hay que borrar la memoria. Usar el procedimiento de la figura 5-6 para borrar memoria, el cual borra el programa que se encuentra almacenado en ese momento.

Borrar memoria:

- borra timers/contadores
- reajusta registros de cambio
- reajusta contactos retentivos

FUNCION	MODO	POSICION OPERACIONAL
BORRAR MEMORIA		STOP
■ PROCEDIMIENTO PARA LAS TECLAS Y PANTALLA		
TECLAS QUE SE DEBEN OPRIMIR	PANTALLA DEL PROGRAMADOR (UNIVERSAL)	NOTAS
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">CLR</div>	PROG STEP 0000	
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">ENT</div>	PROG STEP 0000 E	
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">DEL</div>	PROG STEP e e e e	PROGRAMA BORRADO

FIGURA 5-6
BORRAR MEMORIA

5.4.3 INICIAR UN PROGRAMA NUEVO

Se usa el procedimiento de la figura 5-7 para iniciar un programa nuevo. Cuando se presiona la tecla [ENT], el dato desplegado se almacena en memoria. La pantalla del programador muestra el contenido de la siguiente localización de memoria.

NOTA: El contenido de la pantalla de la figura 5-7, son los valores presentados antes de oprimir la tecla [ENT].

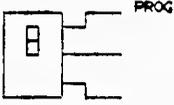
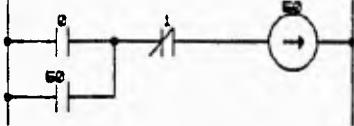
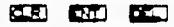
FUNCION	MODO	POSICION OPERACIONAL
CREANDO UNA NUEVA SECUENCIA		STOP
<p>■ SECUENCIA</p> 		
<p>■ PROCEDIMIENTO PARA LAS TECLAS Y PANTALLA</p>		
TECLAS QUE SE DEBEN OPRIMIR	PANTALLA DEL PROGRAMADOR (UNIVERSAL)	
	PROG STEP 0 0 0 0 -	
	PROG STEP 0 0 0 0 ORG 0	
	PROG STEP 0 0 0 1 OR 0 2	
	PROG STEP 0 0 0 2 AND NOT 1	
	PROG STEP 0 0 0 3 OUT 0 0	

FIGURA E-7
INICIAR UN PROGRAMA NUEVO

5.4.4 ADICION DE NUEVAS SECUENCIAS A UN PROGRAMA

Se usa el procedimiento de la figura 5-8 para agregar una nueva secuencia al programa. Cuando se presionan las teclas [CLR][./STEP], el programador despliega la primera localización de memoria disponible.

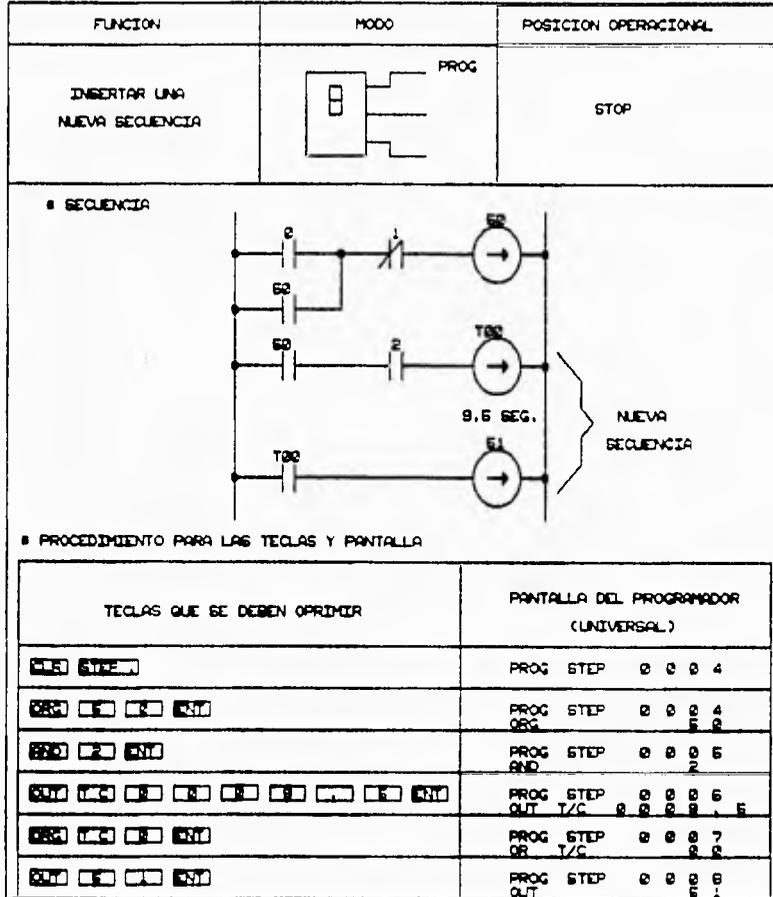


FIGURA 5-8
ADICION DE NUEVAS SECUENCIAS A UN PROGRAMA

5.4.5 BORRAR ELEMENTOS DE UN PROGRAMA

Se usa el procedimiento de la figura 5-9 para borrar elementos de un programa. Cuando se presiona la tecla [DEL], se borra lo que hay en la localización de memoria. El programador despliega la siguiente localización de memoria. El programador secuencialmente borrará localizaciones de memoria cada vez que se presione la tecla [DEL]. Hay que asegurarse de checar la sintaxis del programa.

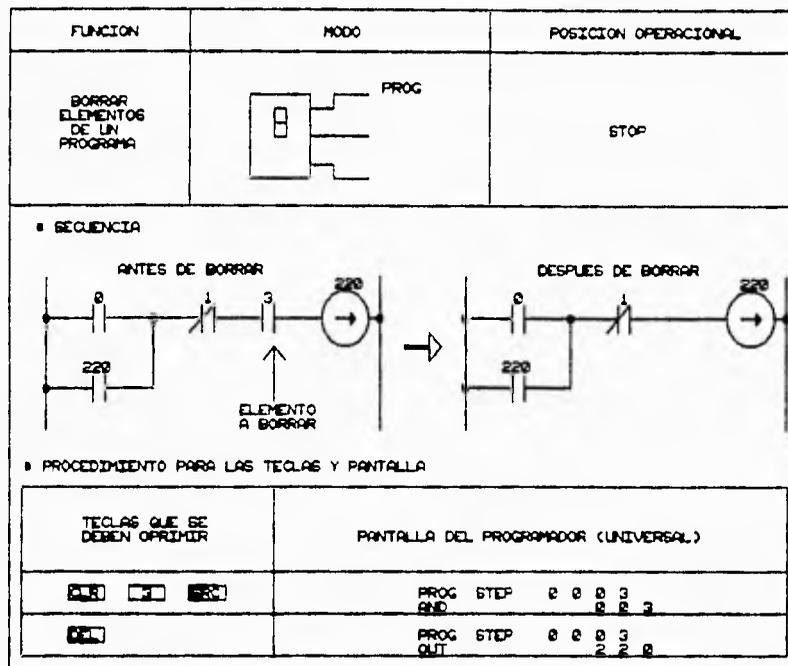


FIGURA 5-9
BORRAR ELEMENTOS DE UN PROGRAMA

5.4.6 DESPLEGADO DE UN PROGRAMA

La figura 5-10, muestra el procedimiento que se utiliza para desplegar un programa que está almacenado en memoria.

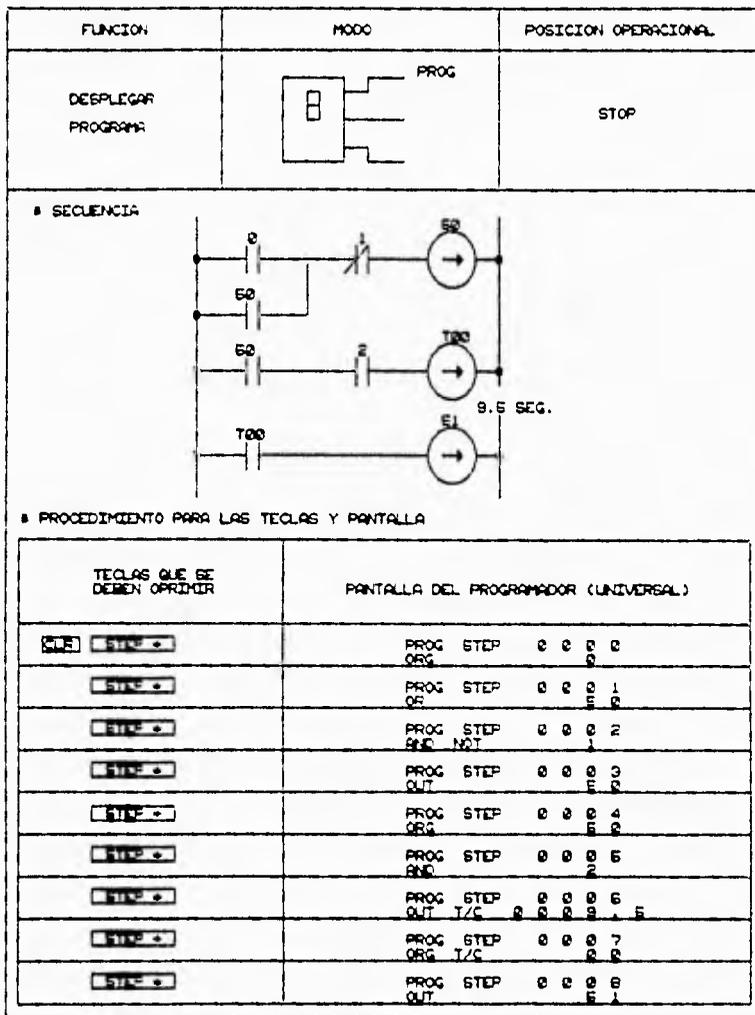


FIGURA 5-10
DESPLEGADO DE UN PROGRAMA

5.4.7 CAMBIO DE UN ELEMENTO EN UN PROGRAMA Y MODIFICACION DEL VALOR DEL TIMER

Se utiliza el procedimiento mostrado en la figura 5-11. Con el elemento desplegado, presionar la tecla [DCLR] para borrar el elemento. Entre el nuevo elemento y presione la tecla [ENT].

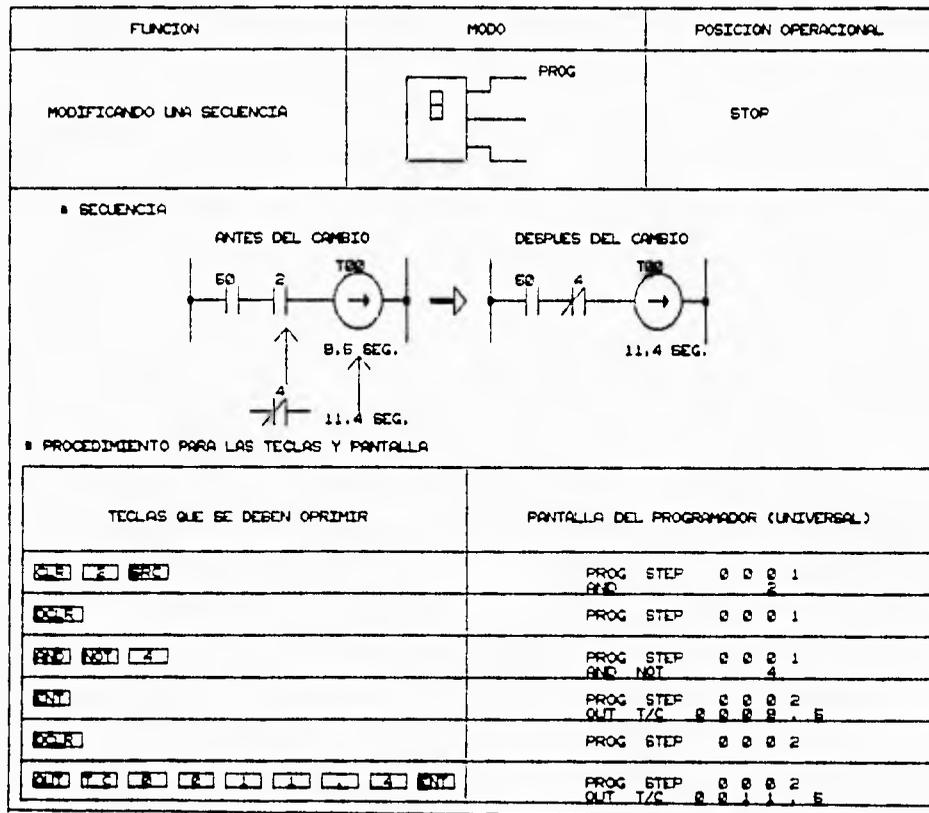


FIGURA 5-11
CAMBIO DE UN ELEMENTO EN UN PROGRAMA

5.4.8 INSERTAR UN ELEMENTO A UN PROGRAMA

Se utiliza el procedimiento de la figura 5-12 para insertar un elemento a un programa. Se tiene que desplegar el elemento despues de la localización donde queremos insertar el nuevo elemento. Presionar la tecla [DCLR] para borrar el elemento. Teclear el elemento a ser insertado. Presionar la tecla [INS]. Las direcciones automáticamente se incrementan en uno para dejar espacio disponible para el nuevo elemento. Una vez que se ha insertado el nuevo elemento, presionar las teclas [CLR][SRC] para checar el programa.

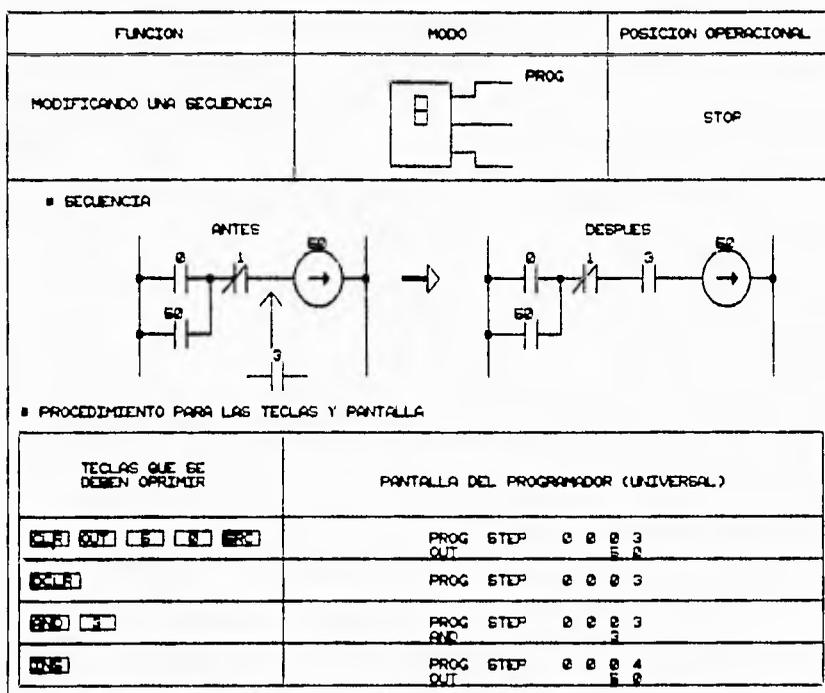


FIGURA 5-12
INSERTAR UN ELEMENTO A UN PROGRAMA

5.4.9 CHEQUEO DE LA SINTAXIS

Se utiliza el procedimiento de la figura 5-13. Checa el programa hasta FUN99 (fin de programa). Si no hay errores, se desplegará la primera localización de memoria disponible.

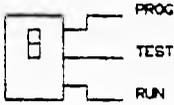
FUNCION	MODO	POSICION OPERACIONAL
CHECAR SINTAXIS		STOP
TECLAS QUE SE OPRIMEN	PANTALLA DEL PROGRAMADOR (UNIVERSAL)	NOTAS
	PROG # STEP 0 0 1 3	NO HAY ERROR, APARECE LA SIG. LOC. DE MEMORIA NO PROGRAMADA.
	PROG # STEP 0 0 2 4 d E OUT	HAY ERROR, DOBLE BOBINA.
	PROG # STEP 0 0 3 3 u E FUN 4 E 6 6 0	HAY ERROR EN EL STACK.
	PROG # STEP 0 0 7 2 c E FUN 4 E 6 6 0	HAY ERROR, EL STACK SE HA DESBORDADO.
	PROG # STEP 0 0 0 0 f E	HAY ERROR DE EXPRESION.

FIGURA 5-13
CHEQUEO DE LA SINTAXIS

5.5 DESCRIPCION FISICA DEL PLC JUNTO CON EL PANEL DE CONTROL

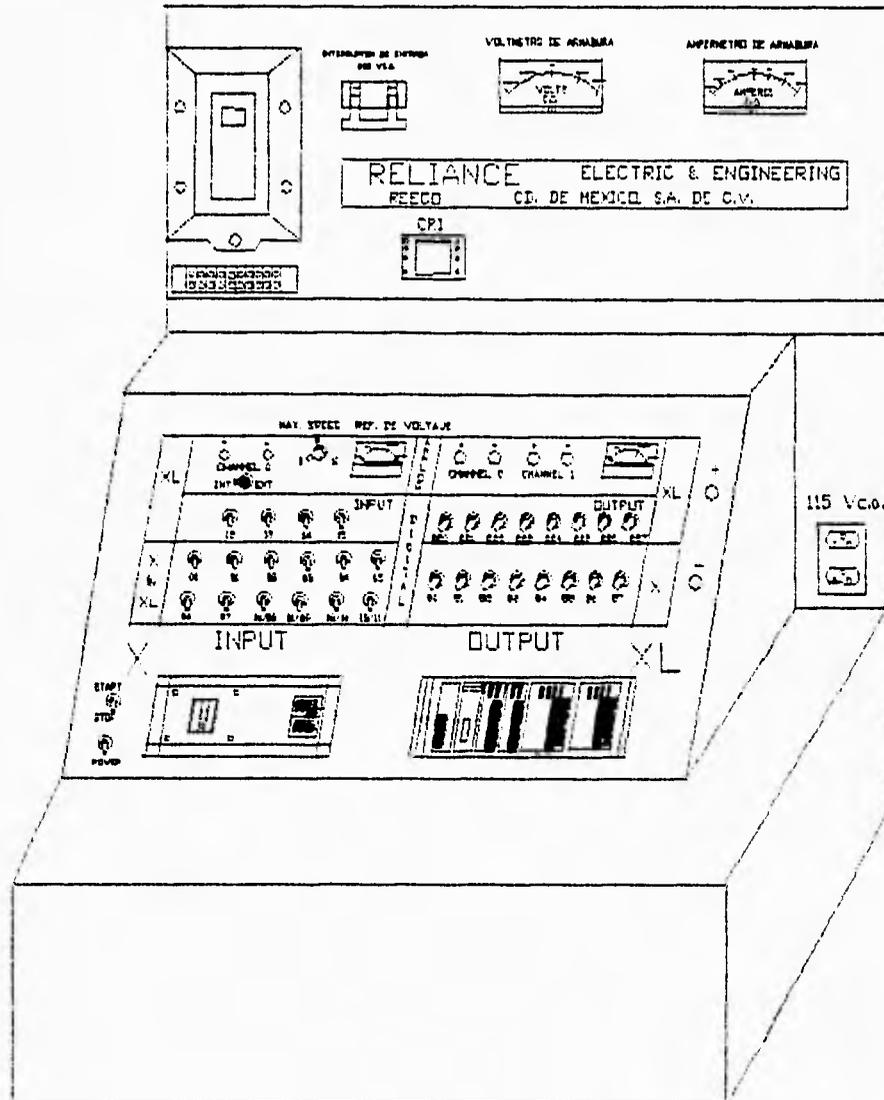


FIGURA 5-14

DIBUJO FISICO DEL PLC CON EL PANEL DE CONTROL

En la figura 5-14, podemos apreciar perfectamente como están montados los dos controladores programables (hasta abajo a la izquierda el SHARK serie X y a la derecha el SHARK serie XL).

En el panel de control tenemos que en la parte izquierda dice XL y más abajo dice X & XL, esto quiere decir que en la parte donde está XL, los interruptores 12, 13, 14 y 15 pertenecen a este controlador programable, y en la parte donde dice X & XL (que son 12 interruptores) pertenece a los dos controladores programables.

En el panel de control tenemos que en la parte derecha dice XL y más abajo dice X, esto quiere decir que en la parte donde está XL, que son los focos 220 al 227 (8 focos), pertenecen a este controlador programable, y en la parte donde dice X, que son los focos 50 al 57 (8 focos), pertenecen a este controlador programable.

En conclusión tenemos que para el controlador programable SHARK serie X hay físicamente 12 interruptores, que ya están conectados internamente, y nos sirven para utilizarlos como dispositivos de entrada, y también tenemos como dispositivos de salida 8 focos, que también están conectados internamente.

Para el controlador programable SHARK serie XL hay físicamente 16 interruptores, que están conectados internamente, y se utilizan como dispositivos de entrada, y también tenemos como dispositivos de salida 8 focos, que también están conectados internamente.

NOTA: En la parte donde está el relevador CR1, éste se acciona al encender el foco 224, que pertenece al controlador programable serie XL. Por medio de este relevador y unas instrucciones de programación que veremos en el siguiente tema, se logra que funcione el motor y la velocidad de éste se controla por medio de la perilla que está del lado izquierdo de donde dice ANALOG.

El programador que viene con los controladores es el UNIVERSAL (en la introducción habla de este y del programador STANDARD). La figura 5-15, muestra físicamente el programador UNIVERSAL.

Cuando se enciende el equipo, en la pantalla del programador aparece:

PROG V:3

donde: PROG → es la posición del interruptor selector

V:3 → es la versión del sistema ROM

La descripción de las teclas ya se realizó a lo largo de este capítulo.

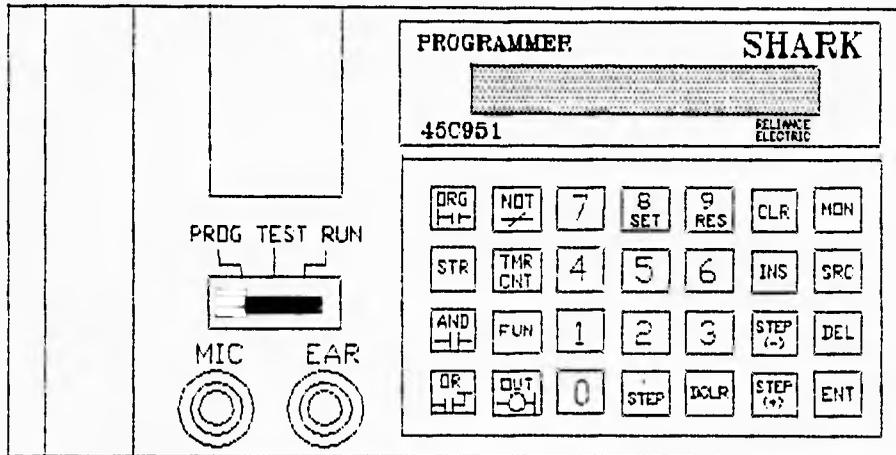


FIGURA 5-15

DIBUJO FISICO DEL PROGRAMADOR UNIVERSAL

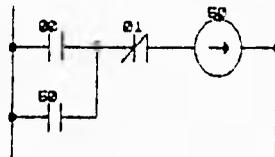
5.6 PROGRAMAS

5.6.1 PARA EL CONTROLADOR PROGRAMABLE SERIE X

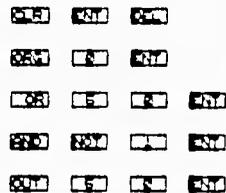
Cuando se realiza un programa para este controlador, una vez que ya se revisó que no hay errores, entonces el interruptor selector del programador se coloca en la posición de RUN. Y como observamos en la figura 5-14, en la parte inferior izquierda (a un lado del controlador programable serie X), hay un interruptor (START/STOP), este se debe colocar en la posición de START, al hacerlo, el led de RUN del controlador programable serie X se debe encender. De esta forma podemos comenzar a correr los programas.

PROGRAMA 1: Comenzamos realizando un programa sencillo. Primero se dibuja el diagrama ladder (escalera) y después se programa. Una vez realizado el programa el interruptor START/STOP se coloca en START y al oprimir el interruptor 00 del panel de control lo que hace es encender el foco 50. Si oprimos el interruptor 01 lo que hace es apagar el foco 50 (ya que el interruptor 01 se programó como normalmente cerrado).

DIAGRAMA LADDER (ESCALERA)



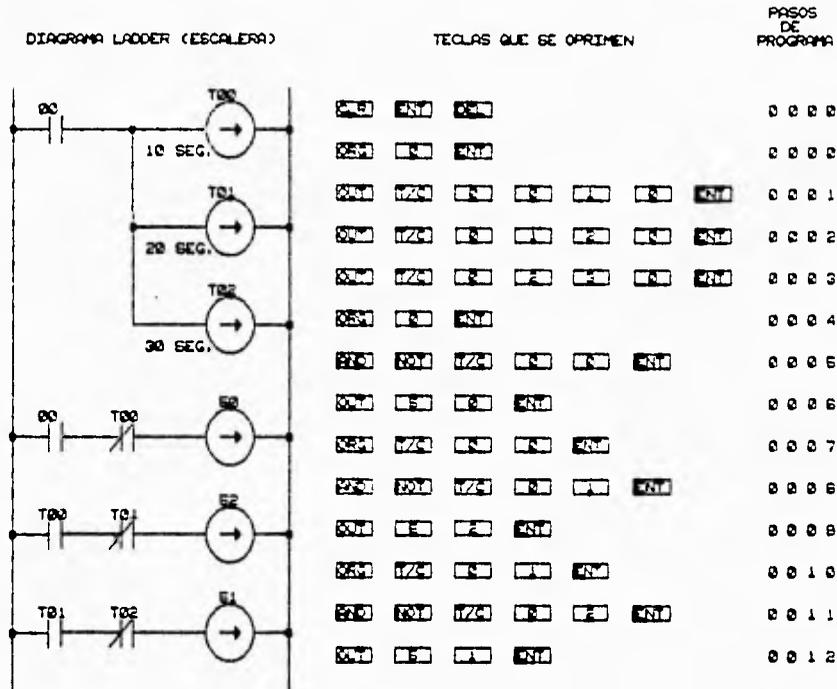
TECLAS QUE SE OPRIMEN



PASOS DE PROGRAMA

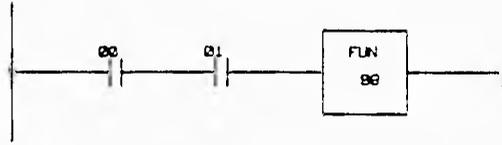
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	1
0	0	0	2
0	0	0	3

PROGRAMA 3: El siguiente programa utiliza tambien las instrucciones de tiempo, simulando un semáforo. Lo que hace es que al oprmir el interruptor 00 energiza las bobinas temporizadas T00 (a 10 segundos), T01 (a 20 segundos), T02 (a 30 segundos) y enciende el foco 50. Al cabo de 10 segundos, se apaga el foco 50 e inmediatamente se enciende el foco 52. Diez segundos después, se apaga el foco 52 e inmediatamente se enciende el foco 51. Diez segundos después, se apaga el foco 51 y con ello terminamos el ciclo.



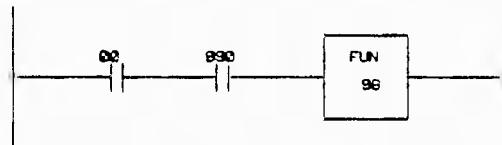
5.6.2 PARA EL CONTROLADOR PROGRAMABLE SERIE XL

Cuando se inicia un programa con este controlador, se utiliza la siguiente secuencia:



SECUENCIA DE ARRANQUE REQUERIDA

Se deben asignar dos contactos, que al cerrarse proveen la señal de entrada de FUN 98. Si sólo contamos con un contacto, podemos programar el otro como una dirección de salida interna 990, al cerrarse estos dos contactos, el led de RUN de este controlador se debe encender.



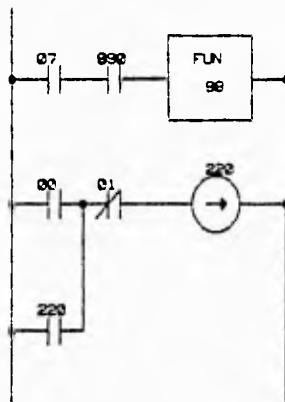
SECUENCIA DE ARRANQUE
UTILIZANDO UN SOLO CONTACTO

PROGRAMA 4: Comenzamos con un programa sencillo. Al oprimir el interruptor 07, activamos la secuencia de arranque. Al oprimir el interruptor 00, se enciende el foco 220. Al oprimir el interruptor 01, se apaga el foco 220.

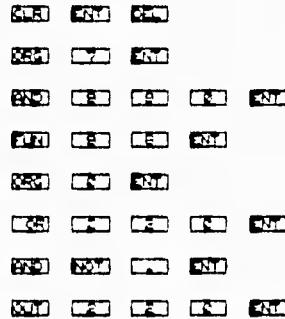
NOTA: En vez de utilizar el contacto 990, se pudo haber utilizado un contacto del panel, por ejemplo 08, sólo que para activar la secuencia de arranque se tendrían que oprimir los dos interruptores, 07 y 08.

Sólo veremos este programa, ya que en el siguiente tema veremos otros que utilizan este mismo controlador.

DIAGRAMA LADDER (ESCALERA)



TECLAS QUE SE OPRIMEN



PASOS DE PROGRAMA

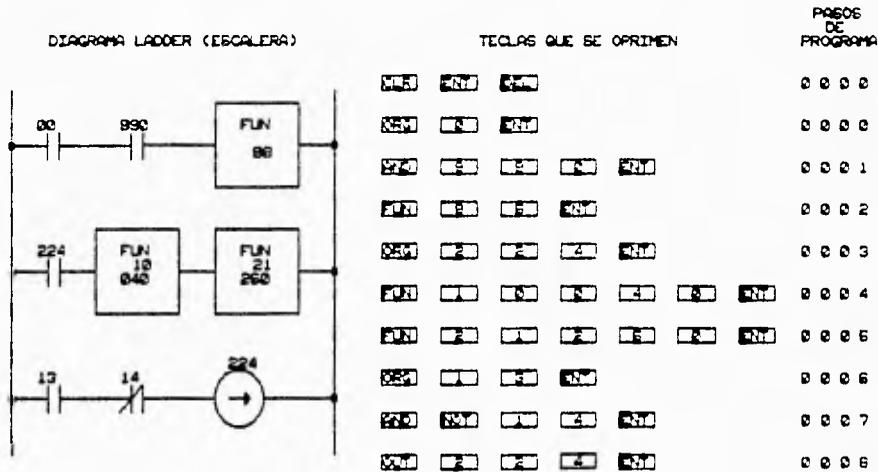
0 0 0 0
 0 0 0 0
 0 0 0 1
 0 0 0 2
 0 0 0 3
 0 0 0 4
 0 0 0 5
 0 0 0 6
 0 0 0 6

5.6.3 PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE C.D.

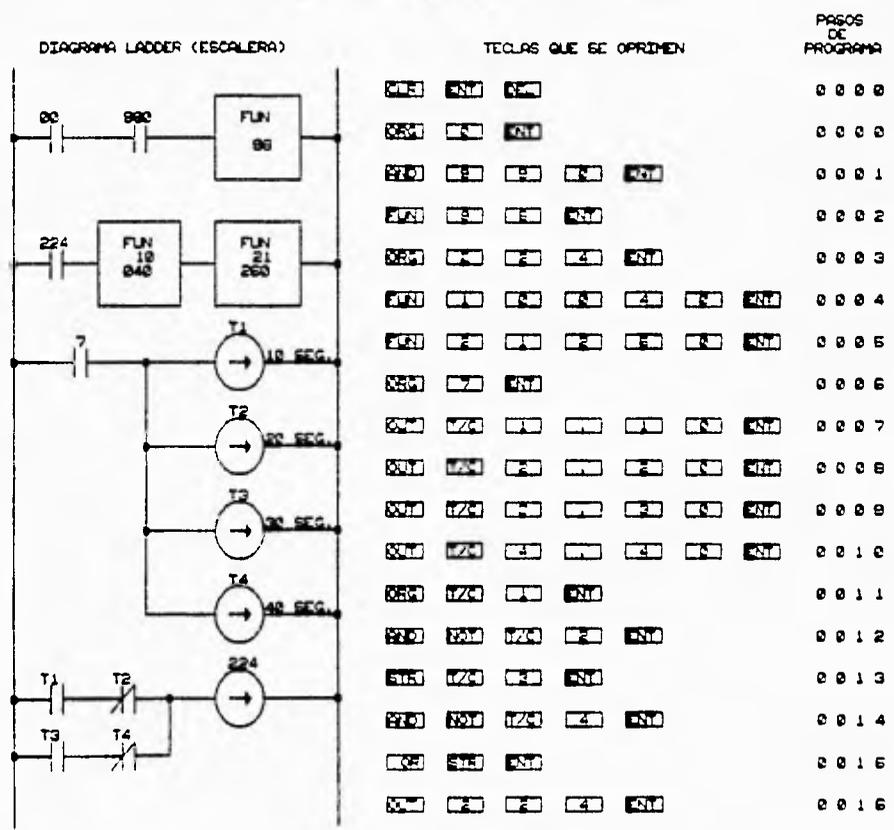
Para que se ponga en funcionamiento el motor de C.D., únicamente se puede lograr con el controlador programable serie XL, a parte de utilizar la secuencia de arranque, debemos energizar el relevador CRI, encendiendo el foco 224 y también debemos de usar los comandos FUN 10 040 (carga datos en un registro aritmético) y FUN 21 260 (toma datos del registro aritmético y los transfiere a una salida).

Si sólo energizamos el relevador CRI, y no utilizamos los comandos mencionados, el motor no girará.

PROGRAMA 5: Con este sencillo programa lo que hacemos es que funcione el motor, y lo controlamos con la perilla del panel. Al oprimir el interruptor 00, se inicia la secuencia de arranque. Al oprimir el interruptor 13, encendemos el foco 224 con lo que se energiza el relevador CRI y se activan los comandos FUN 10 y FUN 21 (ya que el contacto 224 se cierra al encenderse el foco 224).



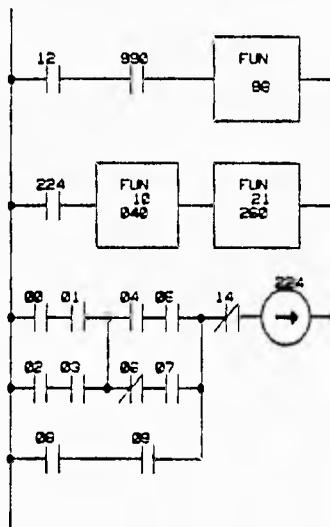
PROGRAMA 01: En este programa vamos a simular un ciclo de trabajo para el motor. Al oprimir el interruptor 00, se inicia la secuencia de arranque. Al oprimir el interruptor 07, energizamos las bobinas temporizadas T01 (a 10 segundos), T02 (a 20 segundos), T03 (a 30 segundos), T04 (a 40 segundos). Al cabo de 10 segundos, el motor comenzará a funcionar durante 10 segundos, después se detendrá 10 segundos y funcionará otros 10 segundos, y finalmente se detendrá.



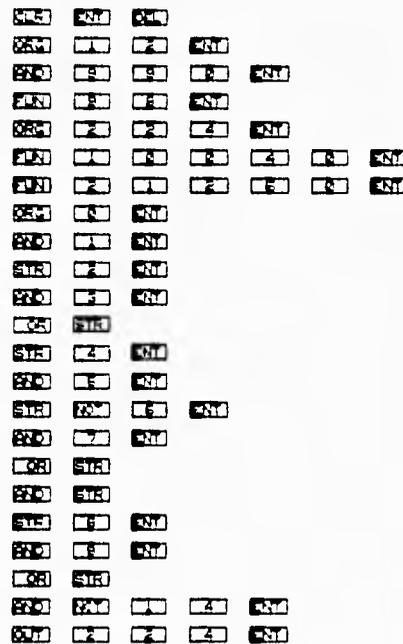
PROGRAMA 7: Ahora realizaremos un programa en el cual utilizaremos contactos múltiples. Lo único que se hace, es que al cerrar alguna combinación de interruptores (de tal forma que se logre encender el foco 224 y con ello el relevador CRI), el motor funcione. Por ejemplo algunas combinaciones podrían ser:

- 1) oprimir el interruptor 12, para la secuencia de arranque
- 2) oprimir los interruptores 00, 01, 04 y 05
- 3) oprimir los interruptores 02, 03, 04 y 05
- 4) oprimir los interruptores 02, 03 y 07
- 5) oprimir los interruptores 08 y 09

DIAGRAMA LADDER (ESCALERA)



TECLAS QUE SE OPRIMEN



PASOS DE PROGRAMA

- 0 0 0 0
- 0 0 0 0
- 0 0 0 1
- 0 0 0 2
- 0 0 0 3
- 0 0 0 4
- 0 0 0 5
- 0 0 0 6
- 0 0 0 7
- 0 0 0 8
- 0 0 0 8
- 0 0 1 0
- 0 0 1 1
- 0 0 1 2
- 0 0 1 3
- 0 0 1 4
- 0 0 1 6
- 0 0 1 6
- 0 0 1 7
- 0 0 1 8
- 0 0 1 8
- 0 0 2 0
- 0 0 2 1

CAPITULO 6

CONCLUSIONES

En este capítulo presentamos los resultados efectuados a la máquina de Reliance (tanto de motor como de generador), para obtener sus curvas de regulación de velocidad y regulación de voltaje, y de esta forma determinar su resistencia dinámica de armadura (r_a) y su corriente nominal de armadura (I_a), con base al método desarrollado por el Ing. Pérez Amador (capítulo 3).

Se utilizó una máquina síncrona (AEG), y se acopló a la máquina de Reliance.

Los datos de placa de las dos máquinas se muestran a continuación:

DATOS DE PLACA

MAQUINA DE RELIANCE				MAQUINA SINCRONA (AEG)			
TIPO	TPR			D	MOTOR		
H. P.	1.5	R. P. M.	1725	Typ.	DGA45/4		
ARM. VOLTS	180			Y	230 V	4.5 A	
FACTOR DE FORMA	1.30			DB	1.5 KVA		
CLASE DE AISL.	F			COS ϕ	1	1.5 KW	
MAXIMA TEMP. AMB.	40			1500	U/min	50 Hz	
TIEMPO DE TRABAJO	CONT			Erreg	220 Vmax	1.9 A	
MAX. AMPS. PICO PERMISIBLES	50			D	GENERADOR		
				Typ.	DGA45/4		
				Y/ Δ	230/139V	3.77/6.53A	
				DB	1.5 KVA		
				COS ϕ	0.8-1	1.2-1.5 KW	
				1500	U/min	50 Hz	
				Erreg	220 Vmax	11.8 A	

PRUEBA COMO MOTOR

La figura 6-1, muestra el diagrama de conexiones.

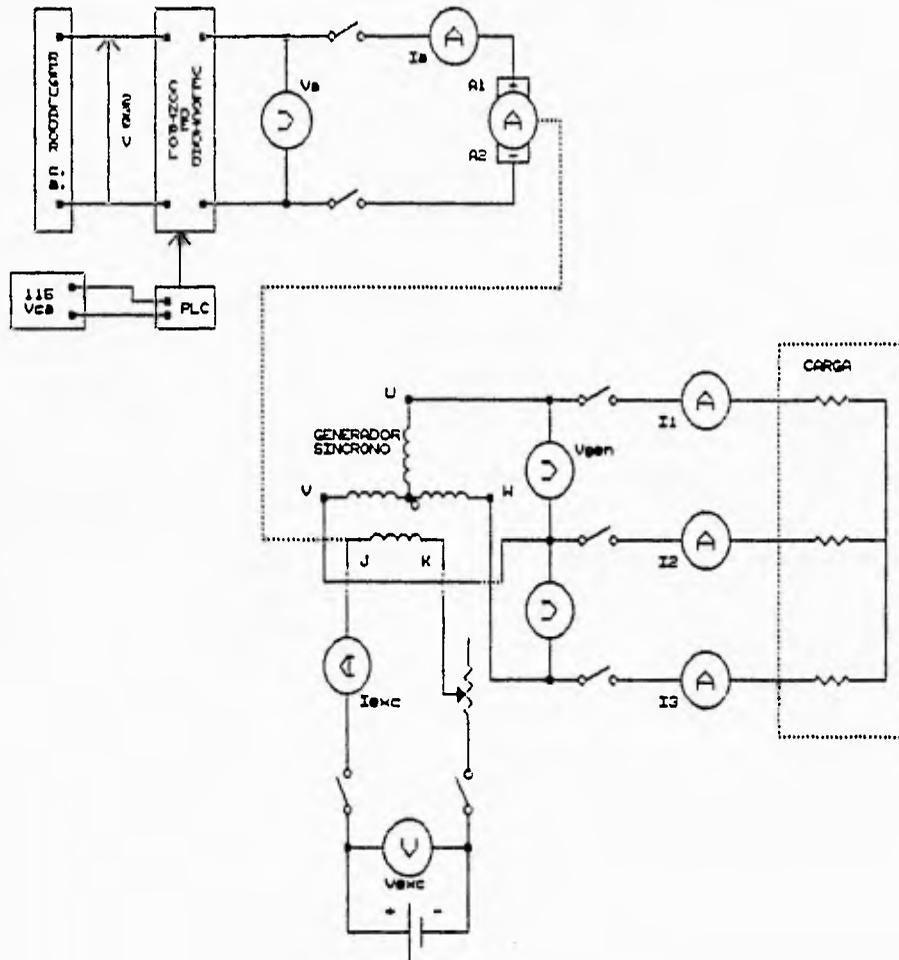


FIGURA 6-1
DIAGRAMA DE CONEXIONES (PRUEBA COMO MOTOR)

De acuerdo con la figura 6-1, se obtuvieron las siguientes mediciones aplicando carga (TABLA 1):

LECTURA	V _a (V)	I _a (A)	N (R.P.M.)	V _{exc} (V)	I _{exc} (A)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)	V _{gen} (V)
1	173	1.75	1792	180	0.25	0.67	0.67	0.67	112
2	173	2.53	1790	180	0.36	0.82	0.82	0.82	150
3	173	3.25	1770	180	0.40	1.10	1.15	1.10	179
4	173	3.86	1760	180	0.60	1.20	1.30	1.25	204
5	173	4.65	1750	180	0.65	1.35	1.40	1.40	224
6	173	5.40	1740	180	0.60	1.60	1.70	1.70	220
7	173	6.20	1730	180	0.65	1.95	2.00	2.00	216
8	173	6.95	1720	180	0.60	2.10	2.15	2.10	231
9	173	7.65	1710	180	0.60	2.20	2.23	2.23	244
10	173	7.90	1700	180	0.65	-	-	-	-
11	-	8.00	1532	-	-	-	-	-	-
12	-	8.50	1539	-	-	-	-	-	-
13	156	8.80	1500	-	-	-	-	-	-

TABLA 1

De esta TABLA 1, graficamos N(R.P.M.) vs. I_a(A), para obtener la GRAFICA DE REGULACION DE VELOCIDAD (figura 6-2).

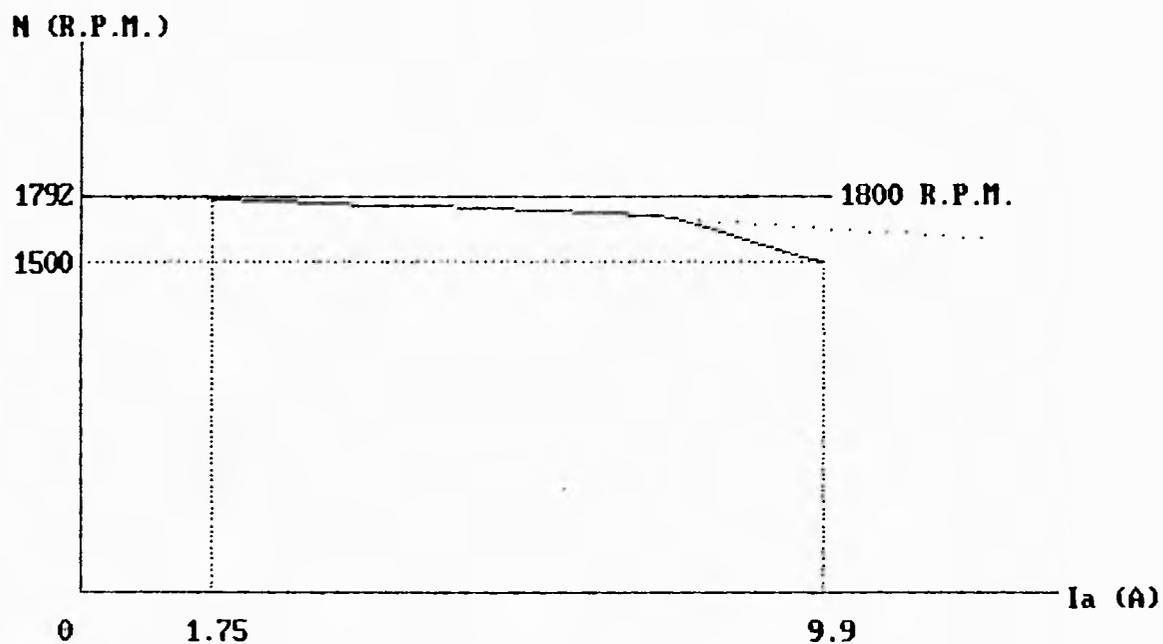


FIGURA 6-2
GRAFICA DE REGULACION DE VELOCIDAD

Ok

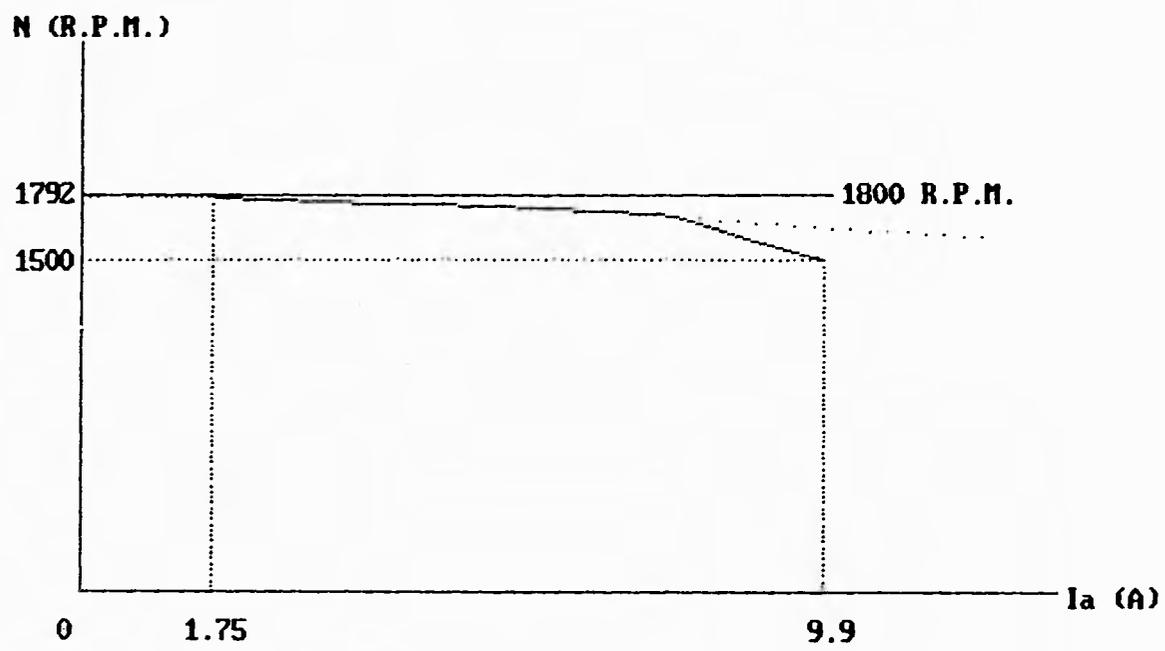


FIGURA 6-2
GRAFICA DE REGULACION DE VELOCIDAD

Ok

PRUEBA COMO GENERADOR

La figura 6-3, muestra el diagrama de conexiones.

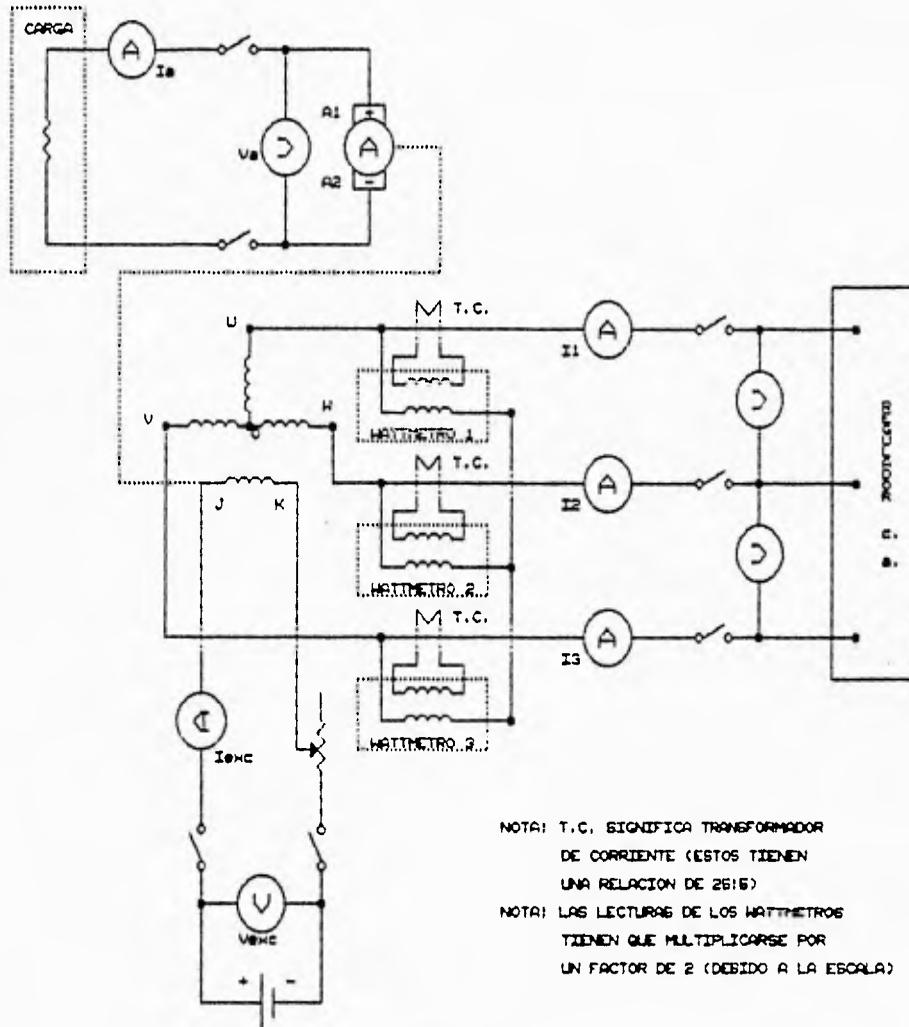


FIGURA 6-3
DIAGRAMA DE CONEXIONES (PRUEBA COMO GENERADOR)

De acuerdo con la figura 6-3, se obtuvieron las siguientes mediciones (TABLA 2 y TABLA 3):

LECTURA	Va (V)	Ia (A)	NOTA
1	165	0	SIN CARGA
2	160	1.60	CON CARGA
3	157	2.60	CON CARGA
4	154.5	3.70	CON CARGA
5	153	4.60	CON CARGA
6	151	5.40	CON CARGA
7	150	6.10	CON CARGA
8	145	8.22	CON CARGA
9	140	10.30	CON CARGA

TABLA 2

LECTURA	Va (V)	V ₀ (V)	I ₀ (A)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)	P ₁ (W)	P ₂ (W)	P ₃ (W)	NOTA
1	163	100	0.30	5.15	4.75	4.35	10	16	6	GENERADOR ACOPLADO CON BANDA
2	162	100	0.40	3.40	2.70	2.50	8	16	3	GENERADOR ACOPLADO CON BANDA
3	163	100	0.30	5.35	4.65	4.25	10	7	5	GENERADOR ACOPLADO CON BANDA
4	163	100	0.40	3.40	3.40	2.60	7	13	2	GENERADOR ACOPLADO SIN BANDA
5	163	100	0.30	5.15	4.55	4.15	9	16	4	GENERADOR ACOPLADO SIN BANDA
6	163	100	0.30	5.35	4.75	4.30	10	16	5	GENERADOR ACOPLADO SIN BANDA
7	0	100	0.40	3.40	3.00	2.60	5	12	2	GENERADOR DESACOPLADO
8	0	100	0.30	5.20	4.70	4.30	7	13.5	4	GENERADOR DESACOPLADO
9	0	100	0.30	5.15	4.60	4.20	7	13.5	4	GENERADOR DESACOPLADO

TABLA 3

De la TABLA 2, graficamos $V_a(V)$ vs. $I_a(A)$, para obtener la GRAFICA DE REGULACION DE VOLTAJE (figura 6-4).

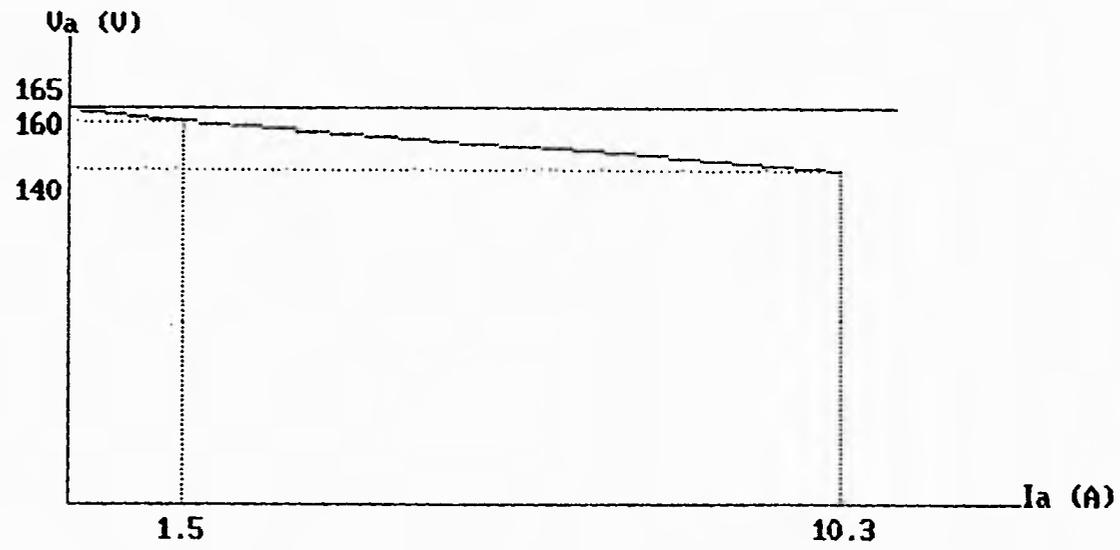


FIGURA 6-4
GRAFICA DE REGULACION DE VOLTAJE

Ok

De la TABLA 2 (que fué donde se obtuvo la GRAFICA DE REGULACION DE VOLTAJE), tenemos que en la lectura 1, $V_a = 165$ V, pero este es el voltaje en vacío, V_o . Por lo tanto tenemos:

$$V_a = E - r_a I_a, \quad V_o = V_a$$

en vacío tenemos que no hay corriente: $V_o = E \rightarrow V_o = 165$ V

finalmente: $V_a = V_o - r_a I_a \rightarrow r_a = \frac{V_o - V_a}{I_a}$

De esta fórmula, obtenemos diferentes valores de r_a , con los datos de la TABLA 2:

$$r_a = \frac{165 - 160}{1.50} \rightarrow r_a = 3.3 \Omega$$

$$r_a = \frac{165 - 157}{2.80} \rightarrow r_a = 2.9 \Omega$$

$$r_a = \frac{165 - 154.5}{3.70} \rightarrow r_a = 2.8 \Omega$$

$$r_a = \frac{165 - 153}{4.60} \rightarrow r_a = 2.6 \Omega$$

$$r_a = \frac{165 - 151}{5.40} \rightarrow r_a = 2.6 \Omega$$

$$r_a = \frac{165 - 150}{6.10} \rightarrow r_a = 2.5 \Omega$$

$$r_a = \frac{165 - 145}{8.22} \rightarrow r_a = 2.4 \Omega$$

$$r_a = \frac{165 - 140}{10.30} \rightarrow r_a = 2.4 \Omega$$

De la TABLA 3, tenemos que al hablar de GENERADOR ACOPLADO, nos referimos a que la máquina de Reliance (que está funcionando como GENERADOR), se encuentra acoplada a la máquina síncrona AEG (que está funcionando como MOTOR). En el caso de hablar de GENERADOR DESACOPLADO, es cuando la máquina de Reliance no está acoplada a la máquina síncrona, por ello que en las lecturas 7 a la 9, $V_a = 0$.

Por otro lado, de esta misma TABLA 3, tenemos que al hablar de CON BANDA, nos referimos a que al estar acopladas las máquinas, se midió su velocidad por medio de un tacómetro que utiliza una banda, la cual va montada tanto en las máquinas (en el cople) como en el tacómetro. La velocidad medida fué la nominal, aproximadamente 1800 R.P.M., el decir SIN BANDA, es que no se utilizó el tacómetro.

NOTA: El utilizar el tacómetro (el usar la banda o no), representa también pérdidas y estas se pueden apreciar en la TABLA 3.

Se tomaron 3 lecturas para cada modalidad (GENERADOR ACOPLADO CON BANDA, GENERADOR ACOPLADO SIN BANDA, GENERADOR DESACOPLADO).

A continuación se obtendrá la corriente nominal de armadura (I_a). De la GRAFICA DE REGULACION DE VELOCIDAD, observamos que en un cierto punto de la gráfica, comienza a descender la velocidad, haciendo una pequeña curva hasta caer a las 1500 R.P.M., en el punto donde hace esa pequeña curva, es donde está el valor de I_a .

En la modalidad de MOTOR, tenemos las siguientes fórmulas:

$$\begin{aligned}
 E_{Ia} &= T_{ew} \text{ ----- } 1 \\
 V_a &= E + r_a I_a \text{ ----- } 2 \\
 T_e &= T_m + T_f \text{ ----- } 3 \\
 P_m &= T_m \omega \text{ ----- } 4
 \end{aligned}$$

De la ecuación 3 tenemos que:

$$T_m = T_e - T_r \text{ ----- 5}$$

Si sustituimos la ecuación 5 en 4:

$$P_m = (T_e - T_r)\omega \rightarrow P_m = T_e\omega - T_r\omega \text{ ----- 6}$$

Sustituyendo la ecuación 1 en la 6:

$$P_m = E I_a - T_r\omega \text{ ----- 7}$$

De la ecuación 2 tenemos que:

$$E = V_a - r_a I_a \text{ ----- 8}$$

Sustituyendo la ecuación 8 en la 7 tenemos:

$$P_m = (V_a - r_a I_a) I_a - T_r\omega \rightarrow P_m = V_a I_a - r_a (I_a)^2 - T_r\omega$$

De esta ecuación cuadrática vamos a obtener el valor de I_a . El par de pérdidas rotacionales, T_r , lo obtenemos por medio de la TABLA 3, haciendo la sumatoria de las pérdidas P_1 , P_2 y P_3 ($\sum [P_1+P_2+P_3]$) y tomamos la lectura 4 para este propósito (para evitar las pérdidas ocasionadas por la banda):

NOTA: Hay que recordar que las pérdidas rotacionales se tienen que multiplicar por 2 (debido a la escala utilizada en los wattmetros) y por 5 (debido a la relación de transformación de los transformadores de corriente).

$$T_r = \frac{\sum [P_1 + P_2 + P_3] (2) (5)}{\omega} = \frac{7 + 13 + 2}{(1800) ([2\pi]/60)} (2) (5)$$

$$T_r = 1.17 \text{ [N m]}$$

Por otro lado tenemos que $P_m = 1.5 \text{ H.P.}$, y para convertirlo a Watts lo multiplicamos por 746:

$$P_m = (1.5 \text{ H.P.})(746) \rightarrow P_m = 1119 \text{ [W]}$$

De datos de placa tenemos que: $V_a = 180 \text{ V}$
 $N = 1725 \text{ R.P.M.} \rightarrow \omega = (1725)(2\pi/60) \rightarrow \omega = 180.64 \text{ [rad/s]}$

Y tomamos como valor de r_a : $r_a = 2.4 \Omega$

Si sustituimos los datos anteriores en la fórmula:

$$P_m = V_a I_a - r_a (I_a)^2 - T \omega$$

$$\rightarrow 1119 = (180) I_a - (2.4) (I_a)^2 - (1.17) (180.64)$$

$$1119 = (180) I_a - (2.4) (I_a)^2 - 211.35$$

$$(2.4) (I_a)^2 - (180) I_a + 1330.35 = 0$$

$$(I_a)^2 - (75) I_a + 554.31 = 0$$

Resolviendo esta ecuación cuadrática tenemos:

$$I_{a1}, I_{a2} = \frac{-(-75) \pm \left((75)^2 - (4)(1)(554.31) \right)^{1/2}}{(2)(1)}$$

$$I_{a1}, I_{a2} = (75 \pm 58.38)/2 \rightarrow \begin{cases} I_{a1} = 66.7 \text{ A} \\ I_{a2} = 8.3 \text{ A} \end{cases}$$

El primer valor es muy alto, por lo tanto, el valor que nos interesa es $I_a = 8.3 \text{ A}$. Si volvemos a dibujar la GRÁFICA DE REGULACION DE VELOCIDAD, observaremos que este valor de corriente se encuentra muy cerca de la parte en donde se hace una pequeña curva.

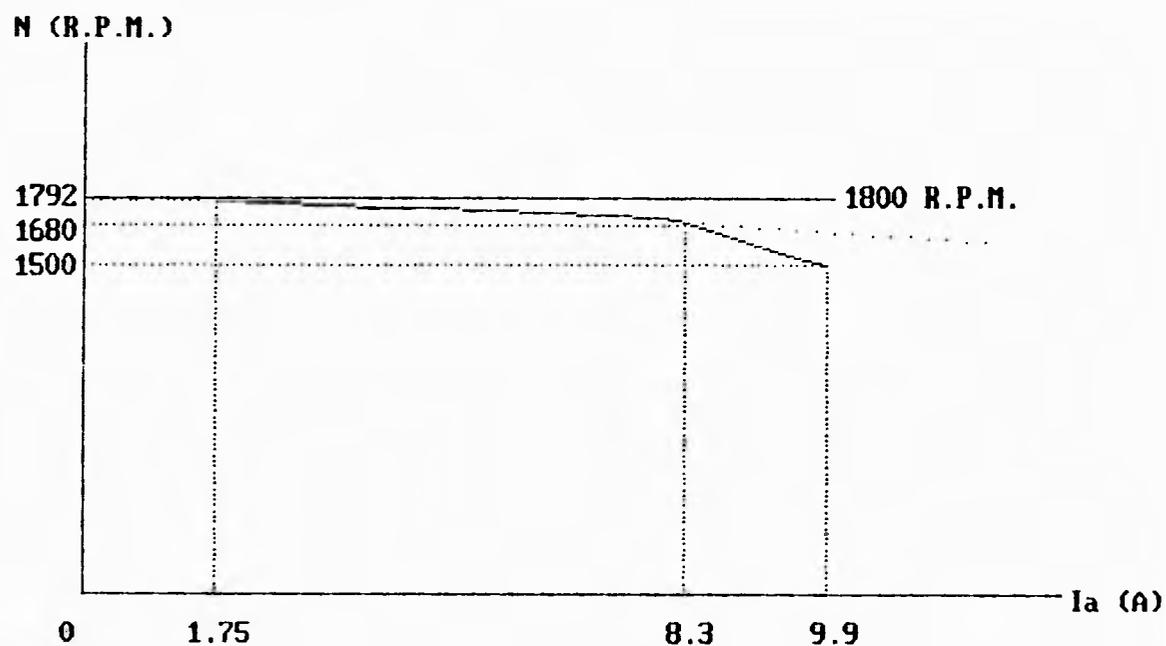


FIGURA 6-5
GRAFICA DE REGULACION DE VELOCIDAD

Ok

Cuando se obtuvo el valor de T_r , la velocidad que utilizamos es a la que el primotor está corriendo (1800 R.F.M. de donde tenemos que $\omega = (1800)([2\pi]/60)$).

De la GRAFICA DE REGULACION DE VELOCIDAD observamos que, para obtener la regulación de velocidad tenemos:

$$\begin{aligned} N_o &= 1800 \text{ R.F.M.} & \rightarrow & \omega_o = (1800)([2\pi]/60) = 188.5 \text{ [rad/s]} \\ N_{pc} &= 1680 \text{ R.F.M.} & \rightarrow & \omega_{pc} = (1680)([2\pi]/60) = 175.9 \text{ [rad/s]} \\ N_{nom} &= 1725 \text{ R.F.M.} & \rightarrow & \omega_{nom} = (1725)([2\pi]/60) = 180.6 \text{ [rad/s]} \end{aligned}$$

$$\%REG = (\omega_o - \omega_{pc}) / (\omega_{nom}) * 100 = (188.5 - 175.9) / (180.6) * 100$$

$$\%REG = 6.96$$

Podemos ver que la regulación es pequeña, esto quiere decir el motor es de buena calidad y de gran estabilidad.

Se observa también que la velocidad decrece debido a que el voltaje de la fuente se cae; de haber permanecido el voltaje, la velocidad seguiría como se ve en la figura 6-5 (línea punteada).

COMENTARIOS FINALES

- En el desarrollo de esta tesis, se pudieron realizar muchas cosas, quizás más de las que se esperaban.
- El objetivo principal de la tesis, era poder programar el PLC, para controlar la velocidad del motor, éste se logró.

- Algo que también se hizo (esto fue extra del objetivo principal de la tesis), fue obtener la resistencia dinámica de armadura y la corriente de armadura, en base al método desarrollado por el Ing. Pérez Amador, esto fue de gran utilidad, ya que si observamos que al inicio de este capítulo tomamos los datos de placa, la máquina de Reliance, no tiene la corriente de armadura nominal, y gracias a este método la obtuvimos.

- Podemos decir del método del Ing. Pérez Amador, que tiene una aproximación muy buena, ya que si observamos la GRAFICA DE REGULACION DE VELOCIDAD de la página 185, el valor de corriente de armadura, está muy próximo a la parte donde la velocidad cae de manera pronunciada, o sea, que este valor pudo ser otro (por ejemplo caer en el rango de 7 a 9), fuera de esa zona, tendríamos que tomar otros valores prácticos para que el valor de corriente estuviera cerca del rango o bien volver a realizar las pruebas para tomar otros valores, ya que al hacer las lecturas, tenemos errores, de visibilidad, de calibración, etc., ya que los aparatos utilizados son analógicos.

- No se construyó la curva de saturación en vacío debido a que la máquina de Reliance es de imán permanente.

- Finalmente tenemos que el PLC tiene todas las ventajas para que reemplace los sistemas que utilizan relevadores, como se mencionó en el capítulo 4, por su costo relativamente bajo, porque si tenemos que hacer modificaciones, estas se realizan por medio de la programación, y también que una persona relativamente inexperta puede realizar programas para el PLC. El PLC es de lo más moderno que hay y por lo pronto es muy utilizado en la industria gracias a su gran flexibilidad.

APENDICE A

SIMBOLOGIA UTILIZADA

APARATO	SIMBOLO	APARATO	SIMBOLO
INTERRUPTOR		LUZ PILOTO	
FUSIBLE		MOTOR	
CONTACTO NORMALMENTE ABIERTO		RESISTOR FIJO	
CONTACTO NORMALMENTE CERRADO		RESISTOR VARIABLE	
CONTACTO MOMENTANEO NORMALMENTE ABIERTO		INDUCTOR	
CONTACTO MOMENTANEO NORMALMENTE CERRADO		RELEVADOR DE RETARDO DE TIEMPO	
BOBINA DE CONTACTOR		RELEVADOR TERMICO DE SOBRECARGA (OL)	
RELEVADOR DE LINEA		PUNTE DE DIODOS	

APENDICE B

DESCRIPCION DE LAS TECLAS DEL PROGRAMADOR

TIPO DE TECLA	SIMBOLO	NOMBRE	FUNCION
OPERACION POR INFORMACION	ORG	ORIGIN	COMIENZA EL PRIMER ELEMENTO DE UN NUEVO CIRCUITO
	STR	STORE	COMIENZA EL PRIMER ELEMENTO DE UNA DERIVACION DE UN CIRCUITO
	AND	AND	ESPECIFICA QUE LOS CONTACTOS ESTAN CONECTADOS EN SERIE
	OR	OR	ESPECIFICA QUE LOS CONTACTOS ESTAN CONECTADOS EN PARALELO
	NOT	NOT	ESPECIFICA NEGACION LOGICA
	T/C	TIMER/COUNTER	ESPECIFICA UN TIMER/CONTADOR
	FUN	FUNCTION	DA ENTRADA A UNA FUNCION DE COMANDO
ENTRADA	OUT	OUT	ESPECIFICA QUE EL DATO SE ENVIA A UNA BORNA (SALIDA)
	0 - 9		DA ENTRADA A UN RANGO NUMERICO DE 0 A 9
COMANDOS POR INFORMACION	.		DA ENTRADA A UN PUNTO DECIMAL
	CLR	CLEAR	INICIALIZA UNA SECUENCIA
	DCLR	DATA CLEAR	BORRA DATOS O COMANDOS INDICADOS
	INS	INSERT	INSERTA UNA SECUENCIA
	DEL	DELETE	BORRA UNA SECUENCIA
	MON	MONITOR	MONITOREA UNA SECUENCIA
	SRC	SEARCH	BUSCA UNA SECUENCIA
	ENT	ENTER	ESCRIBE EN UNA SECUENCIA
	STEP	STEP	CAMBIA LA INDICACION DEL LED DE STEP A DADA O VICEVERSA
	SET	SET	AJUSTA UNA SALIDA FORZADA
	RES	RESET	REAJUSTA UNA SALIDA FORZADA
	STEP (+)	STEP PLUS	MUEVE UNA SECUENCIA HACIA ADELANTE PASO A PASO
STEP (-)	STEP MINUS	MUEVE UNA SECUENCIA HACIA ATRAS PASO A PASO	

INDICE ALFABETICO

A

Añadición de nuevas secuencias a un programa, 157
Análisis de respuesta, 70
Área de histéresis, 75, 76
Armadura, 5, 9, 98
Almacén polar, 4, 9
Arrancador(es),
- automáticos, 33
- comercial de cuatro puntos, 29
- comercial de tres puntos, 27
- de C.D. de aceleración de límite de corriente usando bobinas de soporte (aceleración de caída de voltaje), 54
- de C.D. de aceleración de límite de corriente usando relevadores de bobina de soporte, 48
- de C.D. de aceleración de límite de corriente usando relevadores de fuerza contraelectromotriz (método de límite de velocidad), 45
- de C.D. de aceleración de límite de corriente usando relevadores en serie, 51
- de C.D. de límite de corriente usando bobinas de soporte y amplificador magnético, 57
- de motor de C.D. de aceleración de tiempo definido usando contactores de retardo de tiempo, 34
- de motor de C.D. de aceleración de tiempo definido usando relevadores amortiguadores, 37
- de motor de C.D. de aceleración de tiempo definido usando relevadores de bobina de soporte de constante de tiempo inductiva, 43
- de motor de C.D. de aceleración de tiempo definido usando un timer accionador de motor o un mecanismo de tiempo, 40
- eléctrico, 24
- manuales, 24
- manual de 2 puntos para motor serie, 31
- manual de 3 puntos para motor serie, 31
- manual para motor serie, 31

B

Borrar memoria, 155
Borrar elementos de un programa, 158

C

Cambio de un elemento en un programa, 148
Características de los motores de C.D., 3
Chequeo de la sintaxis, 162
Circuito magnético, 71, 73
Comandos, 145
Configuración, 138
Conmutador, 5
Contactor de retardo de tiempo, 34
Contador(es), 127, 129, 145
Control, 40
- de bobinas y contactos: directo y lógica digital, 115
- de lazo abierto, 33, 34
- de lazo cerrado, 33, 34
- de motores de C.D., 40
- de velocidad, 17, 18
- electrónico, 64
- por armadura, 62
- por campo, 61
- por voltaje de armadura, 63
Controlador,
- eléctrico, 60
- lógico programable, 99
- programable, 99, 137, 164
- programable serie X, 141, 142, 144, 148, 164
- programable serie XL, 141, 143, 164, 150, 164
Conversión de energía, 88
Conversión de potencia, 88
Corriente(s),
- de Eddy, 95
- de excitación, 76
- de Foucault, 95
- parásitas, 95
CPU, 183
Curva de magnetización, 74, 77, 81, 85
Curva de saturación en vacío, 85, 86

D

Datos de placa, 174
Densidad de flujo, 74, 76
Descripción física del PLC junto con el panel de control, 163
Despliegado de un programa, 159
Direcciones, 125
Dispositivos de entrada, 115
Dispositivos de salida, 115

E

Estator, 3, 4

F

Factor de saturación, 81
Flujo magnético, 71
Frenado,
- dinámico, 66
- por inversión, 66
- regenerativo, 67
Fricción, 93
Fuerza,
- electromotriz, 71, 84, 88, 90
- electromotriz entre las escobillas de una máquina real, 83
- electromotriz inducida en un costado de una espira, 83
- magnetizante, 74, 76
- magnetomotriz, 74
Función(es),
- de comparación, 134
- de división, 133
- de Froelich, 88, 81
- de multiplicación, 132
- discretas, 130
- resta, 131
- suma, 130

G

Generador(es), 2
- acoplado, 102
- desacoplado, 102
- pruebas como, 170
Grabador-lector de cinta o disco, 100
Gráfica de regulación,
- de velocidad, 174, 102, 100, 107
- de voltaje, 170
Guía de operación, 154

H

Histerénesis, 75, 94

I

Impresor, 100
Iniciar un programa nuevo, 154
Insertar un elemento a un programa, 161
Instrucciones, 189
Interconexión opcional de localización-remota, 100
Interpolos, 69

M

Magnetismo remanente, 75
Magnetización e histerénesis, 73
Máquin(as),
- de C.D., 2, 3
- eléctricas, 2
Modificación del valor del timer, 160
Módulo,
- de ajustes del interruptor, 107
- de entrada y salida (I/O), 104
Monitor de programa (PM), 104
Motor(es) de C.D., 2
- características, 8
- compound, 18
- con excitación compuesta, 13, 15
- con excitación compuesta acumulativa, 14
- con excitación compuesta diferencial, 14
- con excitación en derivación, 9, 15, 22, 26
- con excitación en serie, 11, 15, 22, 21
- con excitación independiente, 7, 21
- control de, 60
- control de velocidad, 17, 10
- control manual y automático de velocidad de, 61
- frenado, 66
- prueba como, 175
- regulación de velocidad, 10, 19, 20, 21, 22
- shunt, 9
- velocidad, 8, 10, 12, 15, 17

P

Panel de control, 168, 168
Par, 21
- de pérdidas rotacionales, 183
- electromagnético, 88, 98
- vs. velocidad, 15
Pérdidas, 98
- eléctricas, 98
- magnéticas, 98
- mecánicas, 93
- rotacionales, 95
PLC, 99, 106
- características, 108
- descripción física del, 163
- sistema de, 101
Procedimientos operacionales, 110, 156
Programas, 99, 106, 110, 115, 154, 166
- adición de nuevas secuencias a un, 157
- borrar elementos de un, 158
- cambio de un elemento de un, 168
- desplegado de un, 159
- iniciar un, 156
- insertar un elemento a un, 161
- para el controlador programable serie K, 166
- para el controlador programable serie KL, 169
- para el funcionamiento del motor de C.D., 171
Programación, 159
Programador, 104, 187, 185
Prueba como generador, 178
Prueba como motor, 175

R

Rango eléctrico, 107
Reacción de armadura, 89
Registro(s), 125, 126
- de entrada, 126
- de grupo de entrada, 126
- de grupo de salida, 126
- de salida, 126
- de trabajo o soporte, 126
Regulación de velocidad, 10, 19, 20, 21, 22
- gráfica de, 178, 182, 186, 187
- para un motor con excitación compuesta, 20
- para un motor con excitación en derivación, 19, 22
- para un motor con excitación en serie, 20, 22
- para un motor con excitación independiente, 10, 21
Resistencia de armadura, 90, 91
Respuesta de la máquina, 70
Rotor, 8, 5

S

SCR, 64
Sistema(s),
- Ward-Leonard, 68
- lógico, 98
- programables, 99
Software, 98

T

Timer(s), 127, 163
- modificación del valor del, 169
Tipos de motores de C.D., 7

U

Unidad central de procesamiento (CPU), 183

V

Velocidad,
- de motores de C.D., 8, 10, 12, 15, 17
- en baud, 109

Y

Yugo, 4

BIBLIOGRAFIA

McPHERSON, G. Introducción a máquinas eléctricas y transformadores. México, Limusa, 1987.

LAWRIE, R. J. Biblioteca práctica de motores eléctricos 1. España, McGraw-Hill, 1990.

KOSOW, I. L. Control of electric machines. U.S.A., Prentice Hall, 1973.

PEREZ AMADOR, B. V. Generadores, motores y transformadores eléctricos. México, 1992.

MALONEY, T. J. Industrial solid-state electronics devices and systems. U.S.A., Prentice Hall, 1986.

WEBB J. y Greshock K. Industrial control electronics. U.S.A., Merril Publishing Company, 1990.

RELIANCE ELECTRIC COMPANY, Manual del FLC. U.S.A., 1982.