

17
227



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "CUAUTITLAN"

DISEÑO DE UN MANUAL DE OPERACION DE MOTORES Y GENERADORES ELECTRICOS

T E S I S

PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A :
JOSE EDEL GUTIERREZ GONZALEZ

DIRECTOR DE TESIS: ING. ESTEBAN COFONA ESCAMILLA



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

Pág.

CAPITULO I.

- 1.- Características de construcción..... 2

CAPITULO II.

- 1.- Principio de funcionamiento de:
a.- Generadores c.c. 16
b.- Motores c.c. 26
- 2.- Tipo de excitación generadores c.c.
a.- Shunt (derivación)..... 40
b.- Independiente..... 43
c.- Serie 46
d.- Compuesto 50
- 3.- Pruebas generadores c.c. 54
- 4.- Tipos de excitación motores c.c.
a.- Shunt (derivación)..... 58
b.- Serie 63
c.- Compuesto..... 68
- 5.- Pruebas motores c.c. 72

CAPITULO III

- Arrancadores manuales y automáticos de c.c.
a.- Manuales..... 77
b.- Automáticos 97

CAPITULO IV

- Control manual y automático de la velocidad de motores de c.c. 112

CAPITULO V

Criterio de selección y mantenimiento de máquinas eléctricas.

a.- Selección	122
b.- Mantenimiento	150

CAPITULO VI

Máquinas de corriente alterna.

1.- Principios de funcionamiento.....	165
2.- Motores de c.a.	
a.- Bifásicos.....	175
b.- Monofásico	177
c.- Fase partida:	
Arranque a condensador.....	179
Arranque a resistencia.....	182
Espira en corto circuito.....	184
d.- Motor universal.....	185
3.- Pruebas motores de c.a.	186
4.- Generadores c.a.	
a.- Sincrono	201
b.- Monofásico	205
c.- Bifásico	208
d.- Trifásico	209
5.- Pruebas generadores c.a.	213
6.- Control manual y automático:	
a.- Manual	224
b.- Automático	231

CAPITULO VII

Diseño de una máquina eléctrica como motor universal.....	
Resumen de Cálculos determinados.....	256
Conclusión.....	258
Bibliografía.....	260

CAPITULO I

CARACTERISTICAS DE CONSTRUCCION DE LAS MAQUINAS DE CORRIENTE CONTINUA.

Las partes que componen las máquinas de corriente continua son:

CARCASA: A la carcasa se le llama a veces yugo, es el cimiento de la máquina y sostiene a todos los demás componentes.

Además sirve para completar el campo magnético entre las piezas polares.

PIEZAS POLARES: Las piezas polares están formadas por muchas capas delgadas de hierro o acero llamadas laminaciones, unidas entre sí y sujetas por dentro de la carcasa.

Estas piezas polares sostienen las bobinas de campo y están diseñadas para producir un campo concentrado.

Laminando los polos se reducen las corrientes parásitas.

BOBINADOS DE CAMPO: Los bobinados de campo, cuando están montados sobre las piezas polares, forman electroimanes que suministran el campo magnético necesario para el funcionamiento de la máquina.

Los bobinados y las piezas polares se designan a menudo con el nombre de campo.

Los bobinados son bobinas de alambre aislado

que ha sido arrollado de manera que encajen en forma ajustada alrededor de las piezas polares.

La corriente que circula por esas bobinas produce el campo magnético.

La máquina puede tener sólo dos polos o varios pares de polos. Cualquiera que sea el número de polos, los alternos siempre tendrán polaridad contraria.

Los bobinados de campo pueden estar conectados en serie o en paralelo.

Los bobinados de campo en paralelo constan de muchas espiras de conductor delgado, mientras que los bobinados en serie están compuestos por menos espiras de un conductor de calibre bastante grueso.

Casquetes: Estos casquetes están montados en los extremos del bastidor principal y contienen los cojinetes de la armadura, el casquete posterior suele sostener el cojinete solo mientras el anterior sostiene el juego de escobillas.

PORTAESCOBILLAS: Este componente consiste en una pieza de material aislante que sostiene a las escobillas y sus conductores respectivos.

Los portaescobillas vienen asegurados con grapas al casquete delantero.

En algunas máquinas los portaescobillas pueden hacerse girar alrededor del árbol para su ajuste.

te.

INDUCIDO: Prácticamente en todas las máquinas de c.c. el inducido gira entre los polos del estator.

El inducido está formado por el eje, núcleo, bobinas y colector.

El núcleo del inducido está laminado y tiene unas ranuras en las cuales van colocadas las bobinas.

Estas bobinas suelen devanarse en un molde para darles la forma adecuada, y montarse después en las ranuras del núcleo.

El colector está hecho con segmentos de cobre aislados entre sí y con respecto al eje por micas.

Estos segmentos, llamados delgas, están asegurados con anillos de retención para impedir que patinen debido a la fuerza de rotación.

En los extremos de las delgas hay unas pequeñas ranuras a las cuales se sueldan las bobinas del inducido.

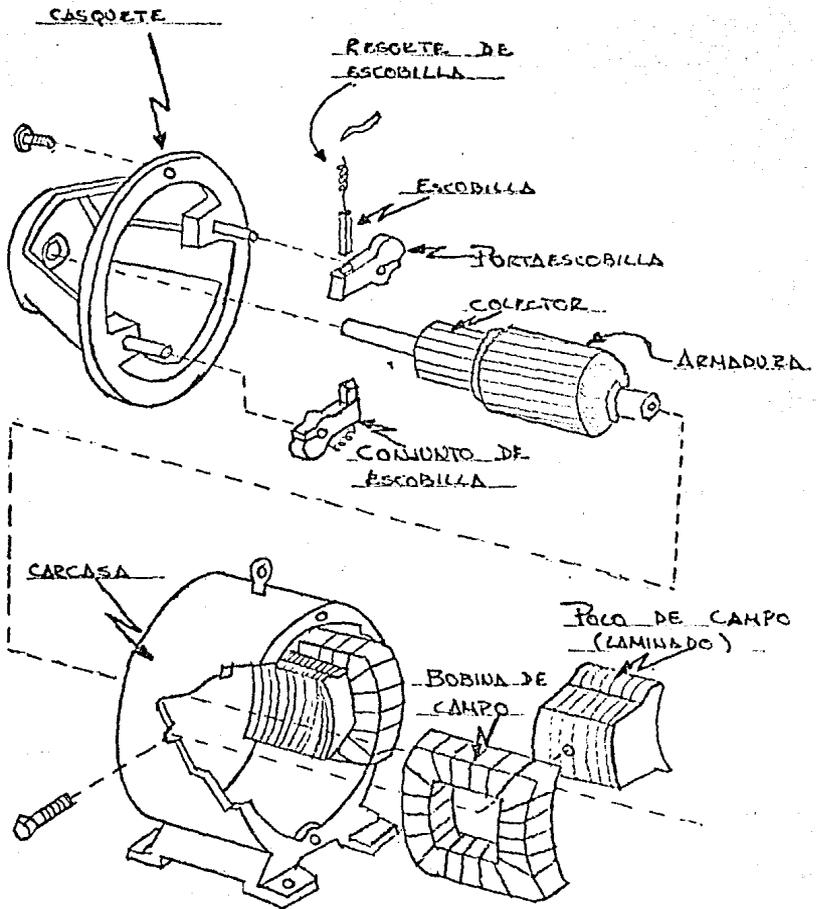
El árbol o eje sostiene el conjunto del inducido y gira apoyado en los cojinetes de los casquetes.

Entre el inducido y las piezas polares hay un pequeño espacio llamado entrehierro, para impedir el rozamiento entre esas partes durante la rota-

ción.

El entrehierro siempre es mínimo para que la fuerza del campo sea máxima.

Fig. 2



DEVANADOS IMBRICADOS: Se llaman así a causa de los diagramas de devanado, que representan las conexiones entre las bobinas de armadura y los segmentos del conmutador.

En estos diagramas, cada bobina de un devanado imbricado se encima sobre la bobina anterior, - fig. 2.

Los dos extremos de cualquier bobina en un devanado imbricado están conectados a segmentos adyacentes en el conmutador y cada uno de ellos conecta los extremos de dos bobinas adyacentes.

Esto tiene el efecto de colocar todas esas bobinas bajo pares similares de polo en paralelo.

Si el devanado de campo sólo tiene un polo norte y un polo sur, esto significa que hay dos trayectorias paralelas en el devanado de la armadura.

Si hay dos polos norte y dos polos sur, hay cuatro trayectorias paralelas.

Esta es una característica básica de los devanados imbricados. Existe el mismo número de trayectorias paralelas a través del devanado de armadura como polos de campo haya.

Los voltajes inducidos en las bobinas en cada una de las trayectorias paralelas son iguales y tienen la misma polaridad, de manera que no hay

flujo de corriente circulante entre las trayectorias paralelas.

Hay un juego de escobillas para cada par de trayectorias paralelas y estas escobillas están conectadas eléctricamente (negativo a negativo y positivo a positivo) con la salida del generador.

Por lo tanto, el voltaje de salida es igual al voltaje inducido en cualquiera de las trayectorias paralelas, pero la capacidad de corriente es grande, ya que ésta se divide entre muchas trayectorias dentro del generador.

Por lo tanto, los devanados imbricados sacrifican la salida de voltaje por la capacidad de corriente.

Los devanados imbricados dividen el devanado de armadura en tantas trayectorias paralelas como polos de campo haya.

Los voltajes, inducidos en las bobinas en cualquiera de estas trayectorias paralelas se suman para producir el voltaje total de esa trayectoria.

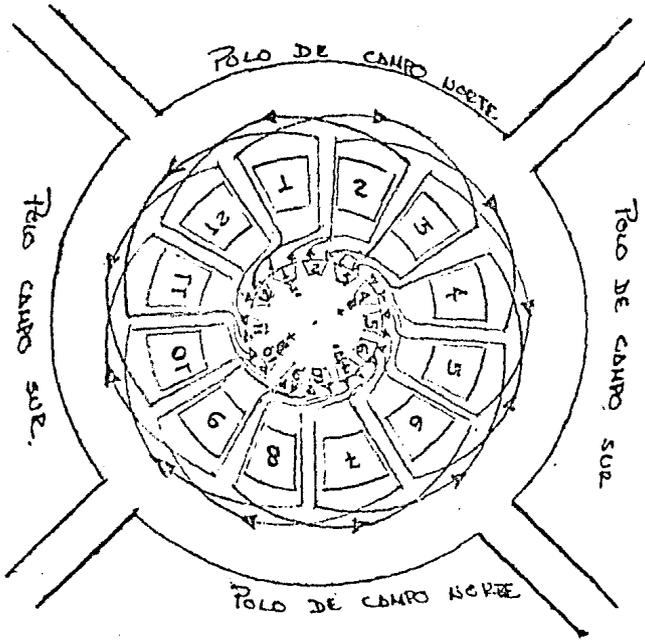
Los voltajes totales inducidos en cada trayectoria son iguales y de la misma polaridad, por lo que también lo son las corrientes en cada trayectoria.

Hay un juego de escobillas para cada dos trayectorias.

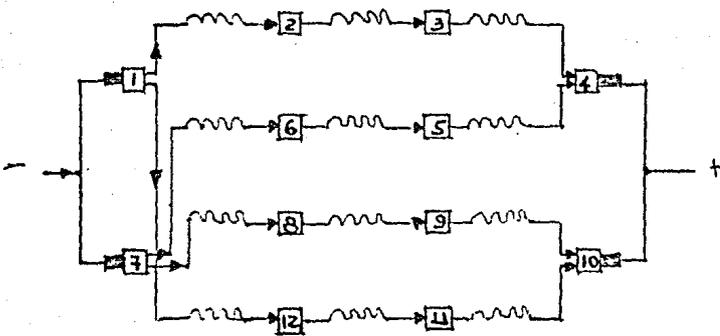
Como las escobillas están en paralelo, el voltaje de salida es igual que entre cualquier juego de escobillas.

Sin embargo, la corriente de salida es igual a la suma de las corrientes que pasan a través de cada juego de escobillas.

fig. 2



DEVANADO IMBRICADO



DEVANADOS ONDULADOS: En un devanado ondulado, los dos extremos de la bobina de armadura no se conectan a segmentos adyacentes de conmutador, como ocurre con los devanados imbricados, en lugar de ello, el extremo de cada bobina se conecta a un segmento que se encuentra a una distancia de dos veces la que hay entre los polos del segmento al cual se conectó el otro extremo de la bobina; también en este caso, cada segmento de conmutador se conecta a los extremos de dos bobinas diferentes, pero las bobinas están en lados opuestos de la armadura. - Fig. 3.

Esto tiene el efecto de colocar en serie todas aquellas bobinas bajo pares de polos similares.

Por lo tanto, solo se tienen dos trayectorias paralelas a través del devanado de armadura, independientemente del número de polos.

Cada uno de los voltajes de las bobinas se suman en cada trayectoria y, como sólo hay dos trayectorias, existen más bobinas por trayectoria que en un devanado imbricado comparable. Por lo tanto, el voltaje total inducido en cada trayectoria es relativamente alto.

Sin embargo, la capacidad de corriente de un devanado ondulado es inferior a la de un devanado imbricado, debido a que en el devanado sólo hay dos trayectorias para la corriente, por lo cual -

puede notarse que, mientras en un devanado imbricado se sacrifica el voltaje de salida por la capacidad de corriente, en un devanado ondulado se sacrifica la capacidad de corriente para obtener un mayor voltaje.

Para el mismo número y tamaño de bobinas de armadura, un devanado ondulado producirá un voltaje igual al producido por un devanado imbricado multiplicado por el número de pares de polos.

Pero la capacidad de corriente disminuye en la misma proporción en que aumenta el voltaje.

Para un generador simple de dos polos, no importa que se use un devanado imbricado o uno ondulado.

En ambos casos, hay dos trayectorias paralelas en el devanado, de manera que el voltaje de salida y la capacidad de corriente serán iguales.

Los motores y los generadores de C.C. tienen esencialmente los mismos componentes y se parecen mucho en su aspecto exterior, sólo difieren en la forma en que se les emplea.

En el generador la energía mecánica hace girar el inducido y éste a su vez, produce al moverse energía eléctrica.

En el motor la energía eléctrica hace girar el inducido y éste a su vez, acciona una carga mecánica a través de un sistema de transmisión mecánica consistente en correas o engranajes.

El generador de C.C. convierte energía mecánica en energía eléctrica.

El motor de C.C. convierte energía eléctrica en energía mecánica.

CAPITULO II

PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DEL GENERADOR DE C.C.

Siempre que haya un movimiento relativo entre un campo magnético y un conductor y la dirección del movimiento sea tal que el conductor corte líneas de flujo del campo magnético, se tiene una fem inducida en el conductor.

Cuando la corriente circula por un conductor, la energía eléctrica de las cargas se utiliza para mover electrones desde cargas menos positivas a cargas más positivas.

Esta energía eléctrica se denomina fuerza electromotriz (fem) y es la fuerza motriz que da lugar al flujo de corriente.

Por lo que respecta a los generadores, la magnitud de la fem inducida depende principalmente de la intensidad del campo magnético y de la rapidez con que se cortan las líneas de flujo, cuanto más intenso sea el campo o mayor sea el número de líneas de flujo cortadas en un tiempo dado, mayor será la fem inducida.

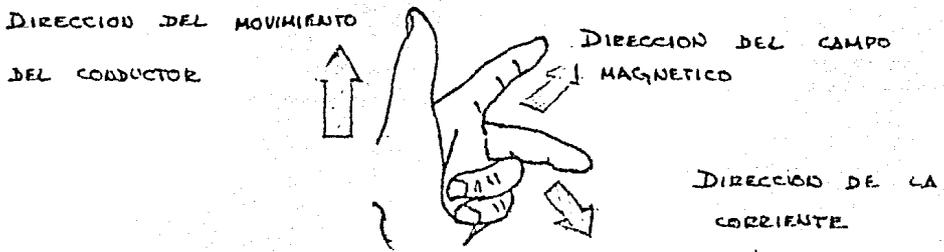
Para los generadores, la dirección o polaridad de la fem se determina por la regla de la mano izquierda. Fig. 4.

Según esta regla, se extienden el pulgar, índice y dedo medio de manera que queden colocados -

en ángulos rectos entre sí. Luego, si se señala - con el índice en la dirección del campo magnético_ y el pulgar señala la dirección de movimiento del_ conductor, el dedo medio señalará la dirección del flujo de la corriente.

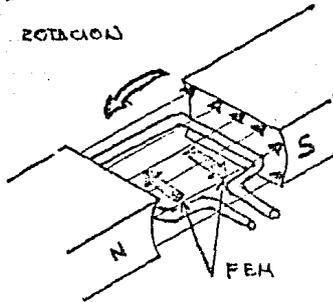
Los dispositivos que transforman la energía - mecánica en energía eléctrica se les llama genera- dores.

Básicamente, un generador produce eléctrici-- dad por la rotación de un grupo de conductores den_ tro de un campo magnético.



Si se aplica la regla de la mano izquierda al generador b́sico de una sola espira, muestra que se induce una fem en cada lado de la espira y que estas fem est́an en serie.

DIRECCION DE ROTACION



Puede ser que al girar la espira, el lado que en ese instante se mueve hacia arriba se moverá hacia abajo, y viceversa. Así pues, la polaridad de la fem en cada lado también se invertirá.

A la salida del generador se obtiene la fem - que se induce en los conductores cuando éstos se - mueven a través del campo magnético.

Como un generador requiere un campo magnético para funcionar también podría definirse como un mecanismo que convierte energía mecánica en energíaeléctrica por medio de un campo magnético o por inducción magnética.

El generador básico de c.c. tiene cuatro elementos principales. Fig. 5.

- 1.- Un campo magnético.
- 2.- Un conductor único o en espira.
- 3.- Un conmutador.
- 4.- Escobillas.

Se puede considerar que el campo magnético esta formado por líneas de flujo magnéticas que forman un circuito cerrado.

El conductor único tiene forma de espira y esta colocado entre los polos magnéticos.

En tanto la espira no gire, el campo magnético no tiene efecto sobre ella, pero al girar, corta las líneas de flujo magnético y esto hace que se induzca una fem en la espira.

Para cada rotación completa de la espira, laamplitud y dirección de la fem inducida sigue un ciclo de una onda sinusoidal.

Al girar la espira, se obtiene un voltaje sinusoidal o de corriente alterna en los extremos de la misma.

Por definición, los generadores de c.c. tienen salida de c.c. el voltaje de c.a. debe transformarse en voltaje de c.c. Esto se hace mediante un conmutador, la salida de c.c. del conmutador se transfiere a un circuito externo por medio de escobillas, también llamadas carbones.

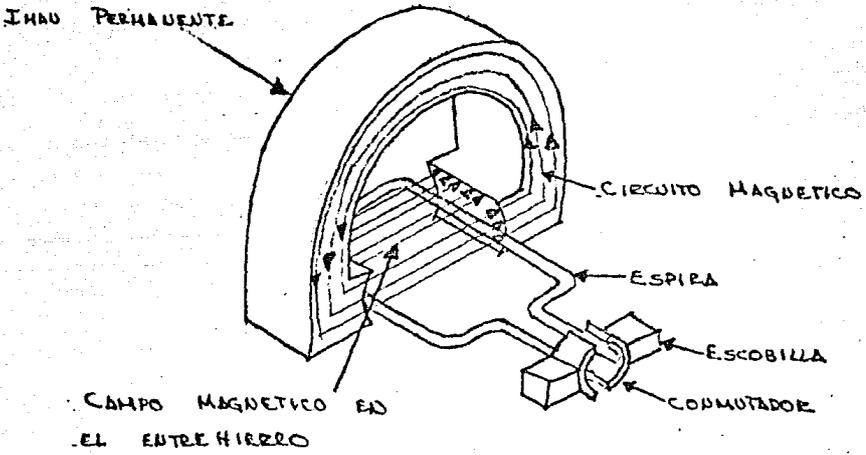
El conmutador convierte en voltaje de c.c. al voltaje de c.a. generada en la espira rotatoria, también sirve como medio para conectar las escobillas a la espira rotatoria.

El objeto de las escobillas es conectar el voltaje del generador con un circuito externo, las escobillas se conectan a los extremos de la espira por medio del conmutador.

El conmutador está formado por dos piezas semicilíndricas de material conductor suave, separadas por material aislante.

Cada mitad del conmutador está permanentemente conectada a un extremo de la espira y, por lo tanto, el conmutador gira cuando lo hace la espira, cada escobilla está sobre un lado del conmutador y se desliza a lo largo del conmutador conforme éste y la espira giran.

Fig. 5



De esta manera, cada escobilla hace contacto con la terminal de la espira conectada a la mitad del conmutador sobre la cual está la escobilla.

Al girar el conmutador, estando las escobillas estacionarias cada una de éstas primero hace contacto con una mitad del conmutador y luego con la otra.

Esto significa que cada escobilla hace contacto primero con un extremo de la espira y luego con el otro.

Las escobillas están colocadas en lados opuestos del conmutador de manera que pasan de una mitad del conmutador a la otra en el instante en que la espira llega al punto de su rotación donde el voltaje inducido invierte su polaridad.

Así pues, cada vez que las terminales de la espira invierten su polaridad, las escobillas pasan de una mitad o segmento del conmutador, a la otra.

De esta manera, una escobilla siempre es positiva respecto a la otra.

Por lo tanto, la amplitud del voltaje que hay entre escobillas fluctúan entre cero y algún valor máximo; pero siempre tiene la misma polaridad.

Por lo tanto, a la salida del generador, se obtiene voltaje de c.c. fluctuante. Fig. 6.

Cuanto más espiras separadas se usen, más puede reducirse la ondulación y el voltaje de salida del generador será prácticamente c.c. Fig.7.

Por cada espira separada que se aumente, deben añadirse dos segmentos más del conmutador.

Uno para cada extremo de la espira.

Así siempre se tendrá una relación de dos a uno entre el número de segmentos del conmutador y el de espiras separadas.

Al aumentar el número de espiras separadas disminuye la variación entre la salida máxima y mínima, no aumenta el voltaje máximo de salida sino solo la media.

En todos los generadores las espiras y el conmutador juntos reciben generalmente el nombre de armadura y, a veces, de rotor.

Para un campo magnético dado y una velocidad de rotación específica, el número de espiras en cada bobina determina la amplitud del voltaje de salida del generador; en tanto que el número de bobinas determina la cantidad de variación en el voltaje de salida.

Fig. 6

CONMUTACIÓ

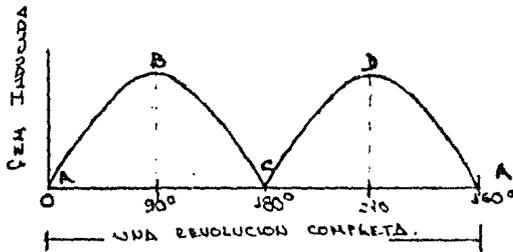
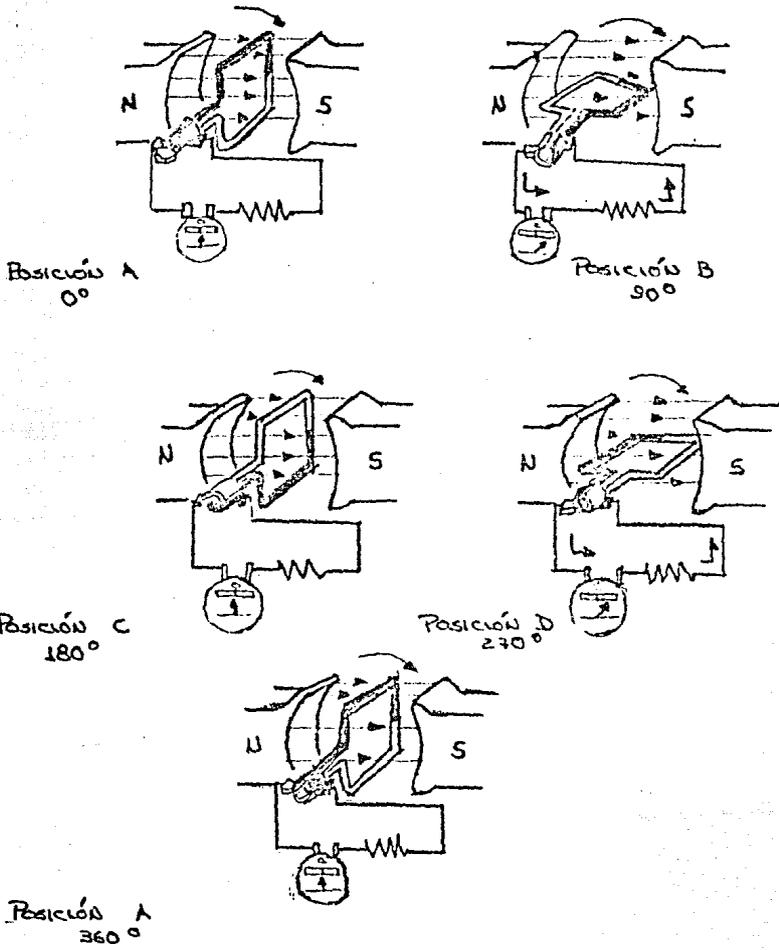
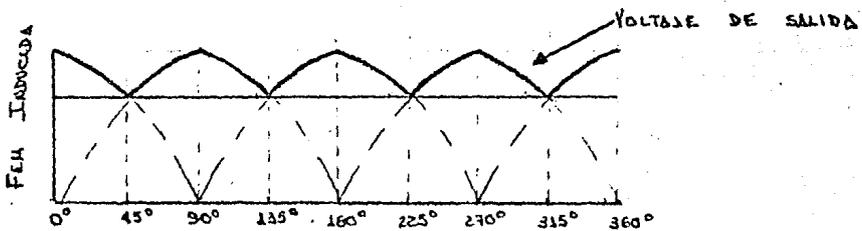
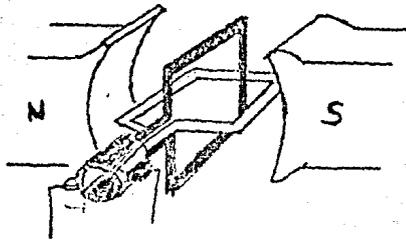


Fig. 7

VARIAS ESPIRAS REDUCEN
LA ONDULACIÓN DEL
VOLTAGE DE SALIDA



PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE MOTORES DE C.C.

En un motor práctico, el rotor debe de atravesar las líneas de fuerza del imán.

Cuando se hace pasar una corriente a través - del conductor se producen líneas de fuerza circulares a su alrededor. Fig. 8.

La dirección de estas líneas de flujo es descrita por la regla de la mano izquierda. Fig. 9.

Las líneas de fuerzas de un imán van del polo norte al polo sur.

En un lado del alambre, las líneas de fuerzas magnéticas tienen la misma dirección que el campo circular que rodea al conductor.

En cambio, al otro lado siguen la dirección opuesta; como resultado, las líneas de flujo del conductor se oponen a las líneas de flujo del imán.

Como las líneas de flujo siguen la trayectoria de menor resistencia, en el otro lado del conductor se concentra un mayor número de ellas.

Debido a esto, las líneas de flujo se desvían y queda muy poco espacio entre ellas.

Estas líneas tienden a enderezarse y separarse más ampliamente, por lo cual, la parte del campo donde éstas están más curvas y densas empuja al conductor hacia otro lado.

La dirección en que se mueve el conductor se determina por la regla de la mano derecha. Fig.10

Si la corriente que fluye en el conductor siguiese la dirección opuesta, la dirección de las líneas se invertirán y el conductor sería impulsado en sentido opuesto.

La regla de la mano derecha para motores indica la dirección en que un conductor con corriente se moverá en un campo magnético.

Cuando el índice señala en dirección de las líneas de campo magnético y el dedo cordial se alinea en la misma dirección que la corriente del conductor, el pulgar señalará la dirección hacia donde se moverá el conductor.

Un motor práctico debe producir movimiento rotatorio continuo. Para esto es necesario desarrollar una fuerza de torsión básica llamada par.

Si el conductor recto del motor básico se dobla en forma de espira se podrá ver cómo se produce el par. Fig. 11.

Si la espira se conecta a una batería, la corriente fluye en una dirección en un lado de la espira y en la dirección opuesta en el otro lado.

Por lo tanto, las líneas de fuerza concéntricas que se producen alrededor de la espira también siguen una dirección en un lado y la opuesta en el

Fig. 8

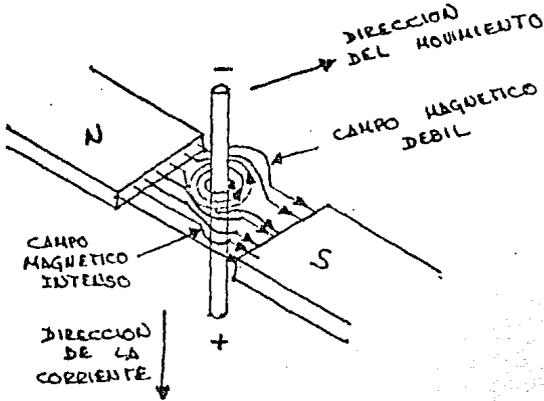


Fig. 9

FLUJO DE LA CORRIENTE ELECTRONICA

REGLA DE LA MANO IZQUIERDA

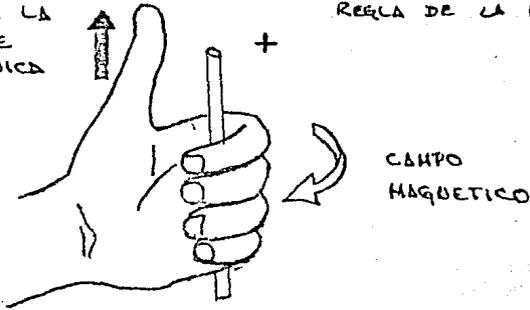
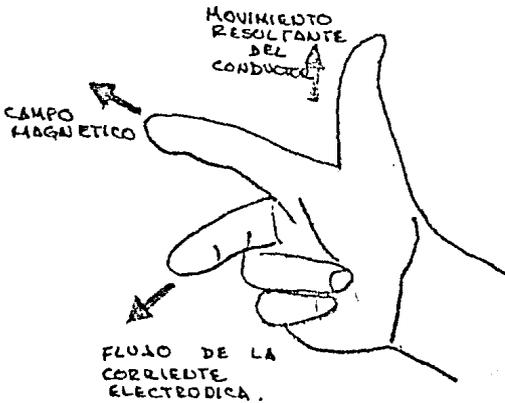


Fig. 10

REGLA DE LA MANO DERECHA



otro.

Si la espira se monta en un campo magnético - fijo y se alimenta corriente, las líneas de flujo del campo interactuarán en ambos lados de la espira, haciendo que la espira funcione como una palanca con una fuerza que empuja sobre sus dos lados - en direcciones opuestas.

Las fuerzas combinadas constituyen una fuerza de torsión o par debido a que la espira está dispuesta a girar sobre su eje.

En un motor, la espira que se mueve en el campo se llama armadura o rotor.

La fuerza giratoria total en la armadura depende de varios factores, incluyendo intensidad del campo, intensidad de la corriente de armadura y la estructura física de la armadura, especialmente la distancia que hay entre los lados de la espira y las líneas del eje.

Debido a este efecto de palanca, las fuerzas ejercidas sobre los lados de las espiras de la armadura aumentan cuando los lados de las espiras se alejan del eje; de ahí que las armaduras más grandes produzcan pares mayores.

El par determina la cantidad de energía que puede aprovecharse para producir trabajo útil. - - Cuanto mayor sea el par, mayor será dicha energía.

Si el motor no produce el par suficiente para impulsar su carga, entonces se atasca.

Cuando la espira está perpendicular al campo, la interacción entre los campos cesa.

Esta posición se conoce como plano neutro; en ella no se produce par y la reacción de la armadura debe cesar; sin embargo la inercia hace que un objeto que se mueve conserve su movimiento, aun después de que la fuerza motriz ha sido retirada, por lo cual, la armadura sigue girando y pasa más allá del plano neutro. Fig. 12.

Pero cuando la armadura continúa, los lados de la espira comienzan a entrar a las líneas de flujo comprimiéndolas nuevamente.

Como resultado, las líneas de flujo ejercen una fuerza que empuja hacia atrás los lados de la espira y se produce un par en la dirección opuesta.

Así, en lugar de una rotación continua, se produce un movimiento oscilatorio hasta que la armadura se detiene en el plano neutro.

Para obtener una rotación continua, es necesario que la armadura se mantenga girando en la misma dirección al pasar por el plano neutro, lo cual se logra invirtiendo la dirección del campo polar, o bien, la dirección del flujo de corriente que pa

Fig. 21

PAR.

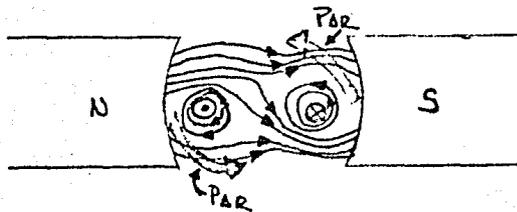
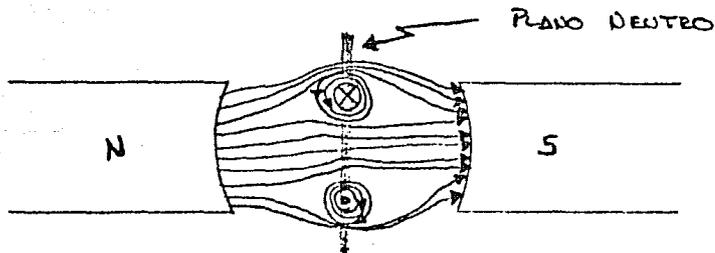


Fig. 12

PLANO NEUTRO



sa a través de la armadura en el instante en que ésta pasa por el plano neutro.

El dispositivo interruptor práctico que puede cambiar la dirección del flujo de corriente en una armadura para mantener la rotación continúa se llama conmutador.

En el caso de la armadura de una espira, el conmutador es un mecanismo sencillo, consiste en un anillo conductor que se divide en dos segmentos, cada una de los cuales está conectado a un extremo de la espira de armadora.

La potencia para la armadura procede de una fuente externa de energía, y llega a los segmentos del conmutador por medio de escobillas.

En las figuras se puede apreciar fácilmente el principio de funcionamiento del conmutador. Fig. 13.

En la figura A se puede ver que la corriente entra por el lado de la armadura que queda más cerca del polo sur y sale por el lado más próximo al polo norte.

La interacción entre ambos campos produce un par en la dirección indicada y la armadura gira en esa dirección.

La armadura que de la figura B está en el plano neutro; teóricamente no se produce par, pero la

armadura sigue girando y pasa más allá del plano neutro debido a la inercia.

En la posición neutra, el conmutador está des-
conectado de las escobillas.

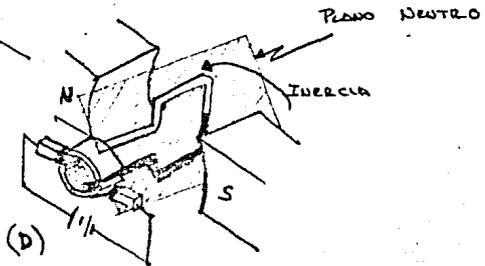
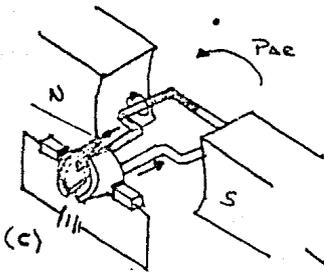
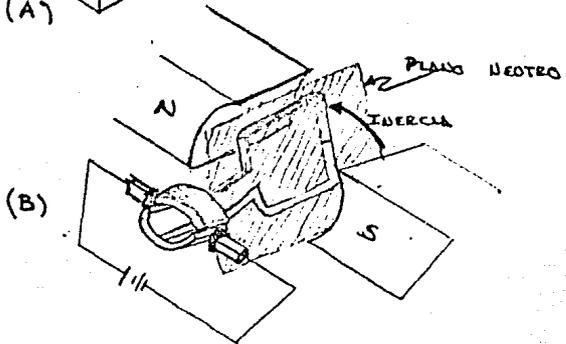
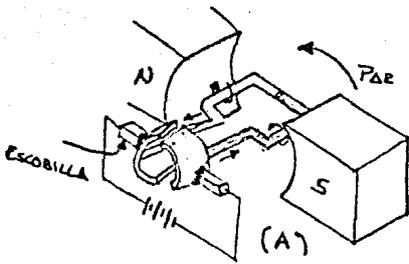
Una vez que la armadura rebasa el plano neutro, figura C, los lados de la espira han invertido sus posiciones, pero, debido a estas inversiones del conmutador, la dirección de la corriente en la armadura se mantiene igual que como lo muestra la figura A.

La corriente sigue entrando por el lado de la armadura que ahora está más próxima al polo sur.

Como la dirección del campo del imán permanece invariable, la interacción de los campos después de la conmutación mantiene el par en la dirección original; de este modo, la rotación continúa en la misma dirección.

Según se aprecia en la figura D, la inercia impulsa nuevamente a la armadura, la cual pasa más allá del plano neutro y alcanza la posición ilustrada en la figura A, mientras tanto, el conmutador hace que la corriente siga fluyendo en tal dirección que se mantenga la rotación en un mismo sentido, así, el conmutador continúa invirtiendo la corriente que fluye en la espira, de manera que el campo producido por ella siempre interactúa con

Fig. 13



el del polo y se produce un par continuo en la misma dirección.

Se puede lograr que el motor elemental arranque por sí solo si se le instala una armadura de dos o más espiras.

Las espiras se colocan de modo que formen un ángulo recto entre sí, así, cuando una de ellas está en el plano neutro, la otra está en el plano de par máximo.

En este caso, el conmutador está dividido en dos pares de segmentos, es decir, en cuatro pares; cada segmento está conectado con una terminal de cada espira de la armadura, con lo que se obtienen dos circuitos de espira en paralelo.

En esta armadura de espiras múltiples, el conmutador tiene dos funciones: sirve para que la corriente fluya en la espira manteniendo siempre la misma dirección; además, cambia la línea de alimentación de potencia, conectándola con la espira que se acerca a la posición de par máximo.

Con este tipo de armadura de espiras en paralelo, el motor arranca por sí solo, pero sigue funcionando en forma irregular debido a que, en un momento dado, sólo una espira suministra el par que impulsa al motor.

Si se conectan las espiras de la armadura de

tal modo que estén dispuestas como circuito en serie, entonces se podrá usar un solo par de escobillas para que simultáneamente se alimente corriente a todas las espiras.

Como resultado, todos los devanados originaran par al mismo tiempo, favoreciendo el funcionamiento del motor.

Cuando se produce un par, la armadura gira y no tarda en tomar una posición donde una de sus espiras queda en el plano neutro, en este punto, debe producirse la conmutación.

En motores prácticos de c.c., la interrupción en el conmutador quita la corriente de la espira que atraviesa el plano neutro con mínimo de arqueo, lo cual se logra, en parte, mediante una escobilla que conecte en corto la espira en el instante en que se encuentre en el plano neutro.

Debido a que la espira se encuentra en el plano neutro durante la conmutación y existe interacción mínima o nula con el flujo del campo, la diferencia de potencial a través de la espira también es mínima.

Esto significa que, cuando la escobilla se conecta en corto con la espira que está en el plano neutro y luego reestablece el circuito con flujo de corriente en la nueva dirección, las operaciones de cerrar y abrir se hacen en puntos de po-

tencial casi idénticos, de manera que la conmutación ocurre con un mínimo de arqueo y chisporroteo.

Manteniendo el período de duración del corto a un mínimo absoluto, se asegura que el par sólo se pierda durante el instante en que la espira se encuentra en el plano neutro y que el motor funcione a la mayor velocidad de funcionamiento posible.

Cuando la armadura de un motor lleva corriente, se establece un flujo magnético alrededor de los conductores del devanado de armadura.

Así pues, se tienen dos campos magnéticos en el espacio que hay entre las piezas polares de campo: el campo magnético principal y el campo producido por la armadura.

Estos dos campos se combinan para producir un nuevo campo magnético resultante.

El campo resultante se distorsiona de tal manera que se desplaza en sentido opuesto a la dirección de rotación de la armadura.

Esta distorsión del campo original se llama reacción de armadura.

Como el plano neutro del motor está en ángulo recto con el flujo del campo, resulta que éste también se desplaza en dirección opuesta a la de rotación de la armadura.

La magnitud de reacción de armadura determina

la cantidad de desplazamiento del plano neutro.

La reacción de armadura varía según la cantidad de corriente que circula por ella.

Cuanto mayor sea la corriente, mayor será el desplazamiento del plano neutro con respecto al plano neutro geométrico, (el eje que forma ángulo recto con las líneas de flujo de campo y debe estar a la mitad de las piezas polares).

En forma similar, la dirección de desplazamiento depende de la dirección de flujo de corriente en la armadura.

Si el motor debe de funcionar a la velocidad constante y en una sola dirección, las escobillas pueden ubicarse en la nueva localización del plano neutro y quedar en esa posición para obtener una conmutación efectiva.

Pero si el motor ha de funcionar a diferentes velocidades, direcciones y con cargas variables, la corriente en la armadura variará considerablemente.

En consecuencia, la reacción de armadura también variará y con ella la posición del plano neutro.

Esto significa que, para una conmutación efectiva, la escobilla debe cambiar la posición cada vez que cambie el plano neutro.

Una solución a este problema es usar devanados especiales llamados polos de conmutación o interpolos.

Los interpolos son piezas polares de electroimanes especiales colocados en el eje del plano neutro, entre las piezas polares principales.

Los devanados de los interpolos se conectan en serie con el devanado de armadura, de manera que la corriente de armadura establece campos magnéticos en ellos.

Las direcciones de estos campos son tales que anulan los campos magnéticos producidos alrededor de las bobinas de armadura cerca de los interpolos y contrarrestan la tendencia de la reacción de armadura a desplazar el plano neutro.

Como resultado el plano neutro se mantiene lo suficientemente cerca del plano neutro geométrico para todas las modalidades en que funcione el motor.

El hecho de que los devanados de los interpolos estén en serie con la armadura hace que se autorregulen; los interpolos proporcionarán la cantidad apropiada de campo de anulación para cada serie distinta de condiciones.

CONEXIONES DE GENERADORES DE CORRIENTE DIRECTA.

GENERADOR SHUNT.

El generador shunt es auto-excitado y por consiguiente se basa en algún flujo residual que está presente en el circuito magnético para iniciar la generación de voltaje. En una máquina nueva, el campo posiblemente tendrá que ser energizado desde una fuente de corriente alterna externa.

Sobre su carga de trabajo se indica en la curva de voltaje en terminales contra corriente de carga, tendrá una característica descendente, parecida a la del generador de excitación separada, pero más pronunciada ya que la caída en el voltaje terminal acentuada por una reducción adicional de la resistencia de carga provoca un decremento en la corriente de salida.

El voltaje terminal descargado por un generador shunt es de algún modo indeterminado porque el esfuerzo de campo y el voltaje terminal son mutuamente dependientes. Entonces, si ocurre una pequeña reducción en la reactancia del circuito magnético de campo, por ejemplo, resulta un esfuerzo de campo incrementado el cual causa un incremento en el voltaje terminal. Esto además, incrementa el esfuerzo de campo y así.

Un límite al efecto acumulativo de pequeños - cambios de este tipo se establece por el principio de saturación del circuito magnético pero despreciando el voltaje terminal para una velocidad dada, puede variar ampliamente de máquina a máquina, así como la capacidad máxima de corriente de carga.

Un generador no generara si el flujo residual es insuficiente. El voltaje residual, representado por E_r provoca que una pequeña corriente fluya a través de los devanados de excitación del arrollamiento de campo. Entonces, la fuerza magnetomotriz producida actúa sobre el campo residual para reforzarlo o para debilitarlo.

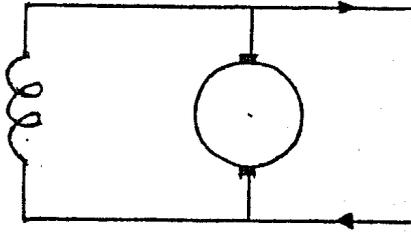


Fig. 14

GENERADOR EN DERIVACION

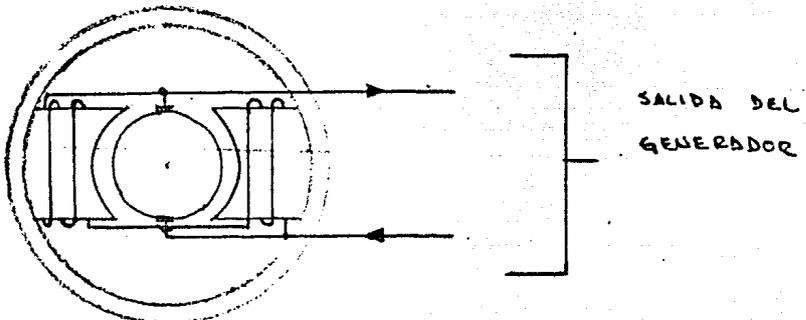
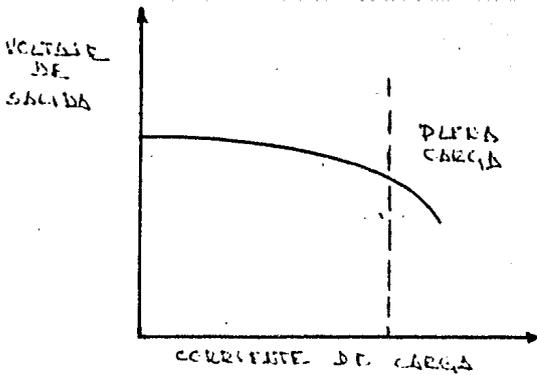


DIAGRAMA DE UN GENERADOR EN DERIVACION



CARACTERISTICA DEL GENERADOR EN DERIVACION

GENERADOR DE CORRIENTE DIRECTA CON EXCITACION INDEPENDIENTE.

En este generador, los arrollamientos de campo no están conectados en serie o en paralelo, como en las máquinas de excitación propia, sino que están conectadas a una fuente independiente de corriente directa. El ajuste de la corriente de campo proporciona un control sensitivo de la potencia de salida haciendo al generador de excitación independiente particularmente apropiado para sistemas de control automático.

Debido a que el campo de este generador es independiente (aparte de los efectos de reacción de armadura) del voltaje terminal y de la corriente de carga, la característica rápidamente descendente de una máquina shunt es reemplazada con una de descenso más lento en el cual la corriente se incrementa constantemente y en un punto no establecido decrece, en tanto la resistencia de carga se reduce. Este es, entonces más práctico como generador de propósitos generales pero tiene la desventaja de necesitar una fuente de campo separada.

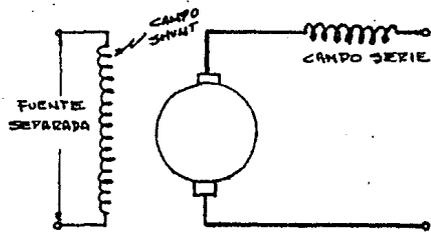
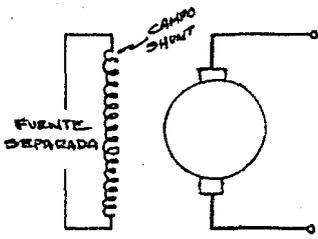
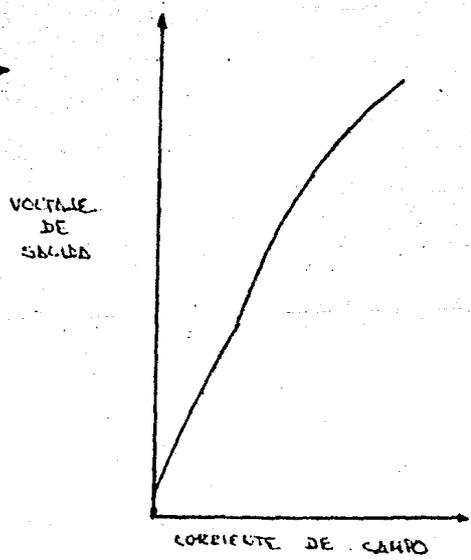
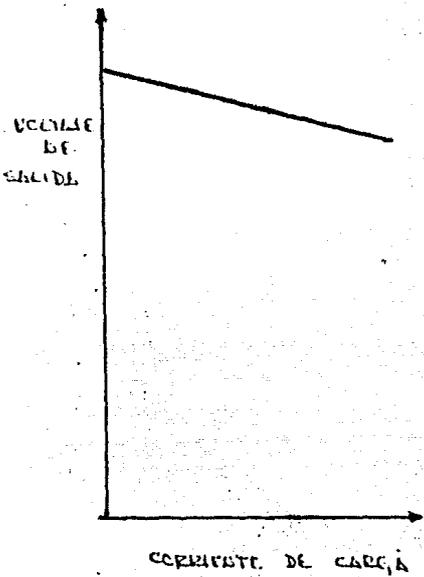


Fig. 25



GENERADOR SERIE DE CORRIENTE DIRECTA.

En este generador la armadura, devanados de campo y carga están todos conectados en serie así que un incremento en la corriente de carga incrementará el flujo por polo y producirá una elevación en el voltaje terminal. Si la corriente de carga es adicionalmente incrementada, de cualquier modo, los efectos de saturación, reacción de armadura y caídas internas de voltaje causarán que el voltaje terminal caiga de nuevo.

El generador serie puede ser usado como un "booster" con un generador principal controlando la corriente de carga o como un generador de corriente constante operando sobre la parte descendente de la curva corriente-voltaje.

Como con cualquier generador autoexcitado, el incremento de voltaje inicial depende del magnetismo residual presente en el circuito magnético.

Debido a que un generador serie ideal produce un voltaje proporcional a su corriente de carga, sus aplicaciones prácticas están limitadas a situaciones donde la corriente de carga es conocida y constante. De cualquier modo, esta característica de voltaje ascendente puede ser combinada con la descendente del generador shunt.

En la práctica, la saturación y reacción de armadura ocurre cuando la corriente de carga se incrementa provocando que la línea recta de la gráfica V_t contra I_a se curvee en su parte superior y eventualmente el voltaje se reduzca con el incremento de corriente una vez que el flujo no puede incrementarse más.

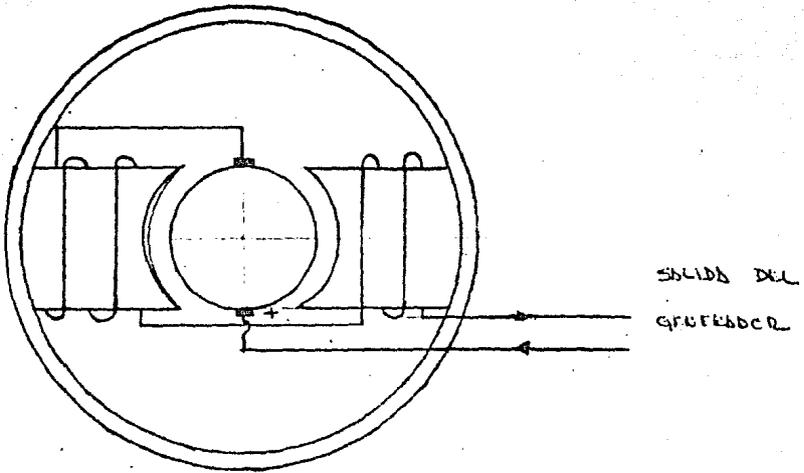
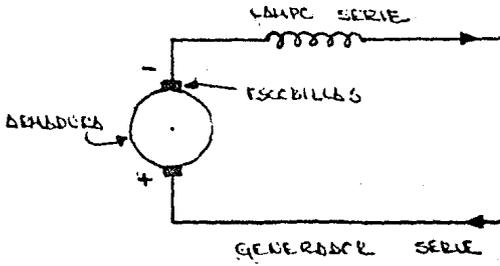
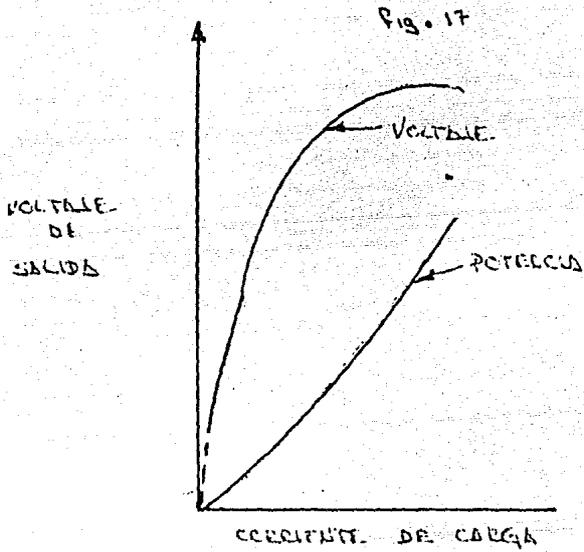


DIAGRAMA DE CONEXIONES PARA GENERADOR SERIE



CARACTERISTICA PARA GENERADOR SERIE CD.

La figura muestra una característica típica - mostrando el incremento lineal inicial en el voltaje con corriente de carga seguido por una curva y una caída final mientras la saturación y reacción_ de armadura se establecen. Fig. 17.

La figura también muestra un trazo representa_tivo de potencia contra corriente de carga I_1 sobre la parte más baja de la curva. Debido a que V_t es_ proporcional a I_1 y la potencia P proporcional a - I_1^2 , resulta una curva cuadrática. Cuando la satura_ción ocurre se convierte en una línea más recta.

Es un requisito que la resistencia de circui_to de campo sea menor que la llamada resistencia - crítica para la velocidad usada en la operación - del generador. Esta resistencia es la resistencia_ de campo total debajo de la cual el generador func-ionara y arriba de la cual no lo hará.

La característica rápidamente descendente en_ la salida de un generador shunt lo hace inadecuado para la generación de corriente directa para propó_sitos generales, aunque no existe una aplicación - especial.

GENERADOR COMPUESTO DE CORRIENTE DIRECTA.

El generador compuesto utiliza tanto el campo serie como el paralelo para ayudarse uno a otro. - Con carga, el devanado en serie produce un flujo - adicional el cual compensa los efectos de reacción de armadura y caídas de resistencia interna. El - voltaje terminal puede, por consiguiente, ser mantenido a un nivel casi constante sobre el rango - de carga del generador. El campo shunt puede conectarse a través de las terminales de salida, denominado shunt largo, o más usualmente, a través de la armadura, llamado shunt corto.

En cualquier generador autoexcitado, la subida de voltaje inicial depende de algún magnetismo residual que está presente en el circuito de campo. Esto puede ser casi despreciable en una máquina nueva y entonces será necesario excitar momentáneamente el arrollamiento de campo con una fuente de corriente directa de bajo voltaje.

Obviamente los devanados de campo serie y shunt de cada polo principal deben ser conectados de tal modo que creen flujo en el misma dirección si la tendencia del generador a perder voltaje se va a contrarrestar. Cuando se hace así, se dice que la máquina es Compuesta-acumulativa, si por alguna razón especial la acción del campo serie debe

oponerse al campo serie, la máquina se dice que es Compuesta-diferencial.

El generador compuesto proporciona una mayor potencia que el generador shunt a la misma velocidad y con la misma carga.

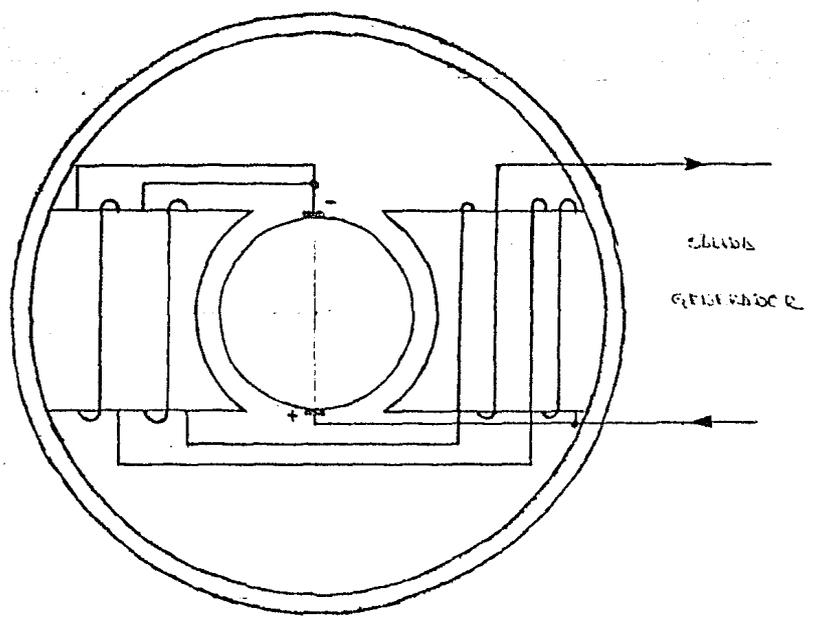
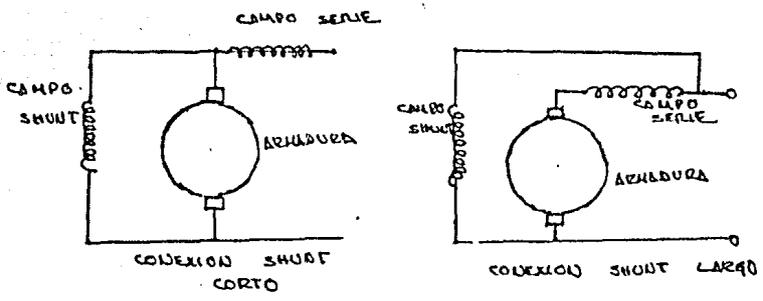
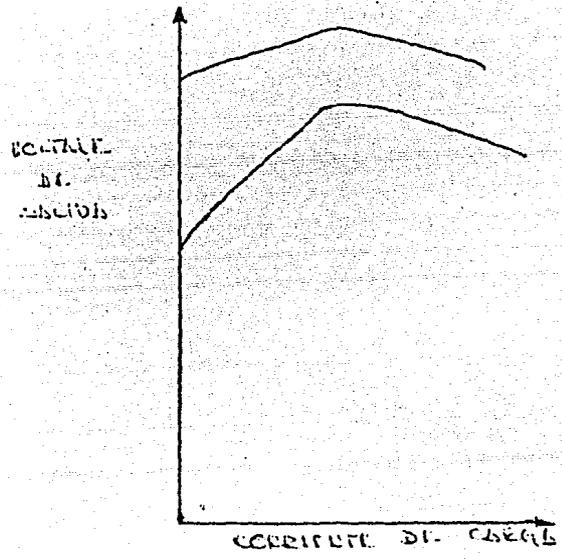


DIAGRAMA DE CONEXIONES DE UN GENERADOR COMPLETO

Fig. 19

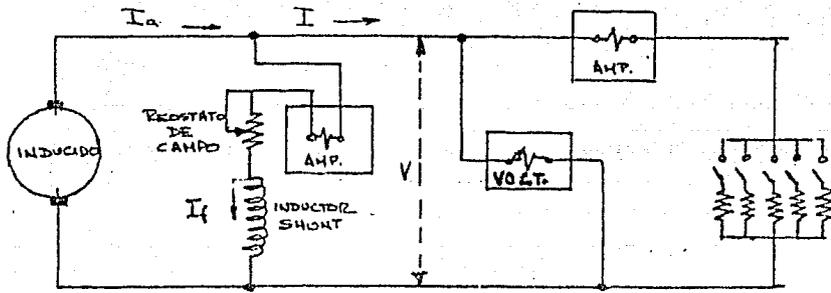


CARACTERISTICA PARA GENERADOR DE CD.
COMPUERTO CUMULATIVO, SHUNT CORTO.

PRUEBA PARA GENERADORES DE CORRIENTE CONTINUA

PRUEBA PARA GENERADOR SHUNT

Para ensayar un generador y determinar la relación entre la tensión en los bornes y la intensidad de corriente, se disponen la conexiones como en la siguiente figura:



La máquina está autoexcitada y se determina la tensión por medio de un voltímetro conectado a las terminales. Se conecta un amperímetro a la línea para medir la intensidad de corriente. Para mayor precisión del ensayo conviene a menudo conectar un amperímetro en el circuito inductor, de manera que se pueda determinar la variación de la corriente en el mismo al aplicar la carga. Al empezar el ensayo se aplica primero una carga conocida y se ajusta la corriente de excitación hasta que se llegue a la tensión nominal. Es preferible hacer marchar al generador en estas condiciones durante 20 minutos o más, para que los inductores tengan tiempo de calentarse, luego se suprime la carga y se lee en el voltímetro la tensión sin carga.

El reostato de campo no debe variarse. Entonces se aplica gradualmente la carga y se anotan, a intervalos reducidos, la intensidad de la corriente I , la tensión V en las terminales y la intensidad de corriente I_f en el inducido. Durante todo el ensayo se debe mantener constante la velocidad del generador. Si las lecturas se llevan a una gráfica, se obtiene la característica shunt. Si se aumenta la carga, la tensión entre terminales empezará a decrecer rápidamente hasta el llamado "punto límite" a partir del cual el generador no es autosuficiente. Si se sigue aumentando la carga, se producirá un rápido descenso de la tensión, y más allá de cierto punto, cualquier tentativa de aumentar la carga, dará lugar a un descenso de la intensidad de la corriente más bien que a un aumento. La carga puede llevarse incluso al corto circuito y seguirá decreciendo a medida que se acerca a ese punto. Al llegar, también estará en corto circuito el inductor y cualquier corriente que haya será debida simplemente al magnetismo remanente en el generador.

Si ahora se aumenta la resistencia exterior, la tensión aumentará lentamente y alcanzará al fin un valor no muy inferior al de partida.

Existen tres causas que motivan la caída de potencial en un generador shunt en carga:

1.- La tensión entre terminales es menor que la fem inducida, debido a la caída de resistencia en el inducido. Es decir, la tensión entre las terminales es:

$$V = E - I_a R_a \quad \text{Volts}$$

2.- La reacción del inducido debilita el campo y reduce así la fem inducida.

3.- La caída de tensión entre terminales debida a 1 y 2 produce una reducción de la corriente en la excitación. Esto, a su vez, determina una reducción en la fem inducida.

PRUEBA PARA GENERADOR SERIE

Para el generador serie se hace la prueba similar a la del generador shunt, es decir, se determina la relación entre la tensión en los bornes y la intensidad de corriente.

Aquí también, con baja saturación, la característica exterior tiene una forma parecida a la curva de saturación. El potencial en cada punto de la característica es menor que el que indica la curva de saturación, difiriendo en la caída de tensión - en el inducido y en el inductor $I_a (R_a + R_s)$ y en la debida a la reacción del inducido. La curva alcanza un máximo más allá del cual la reacción del inducido se hace tan grande que la curva cae con gran pendiente y la tensión entre terminales se anula rápidamente. Los generadores serie se diseñan de tal manera que la reacción del inducido sea muy elevada.

MOTORES DE CORRIENTE DIRECTA

MOTOR SHUNT DE CORRIENTE DIRECTA

En este motor los arrollamientos de campo en derivación están conectados a las terminales de la fuente de corriente directa, y están en paralelo con el circuito de armadura.

Como el campo de excitación principal es independiente de las condiciones de carga de la flecha, puede ser virtualmente constante. En este caso el motor shunt puede diseñarse para dar una característica velocidad/par casi constante, cayendo la velocidad gradualmente en la parte superior del rango de carga.

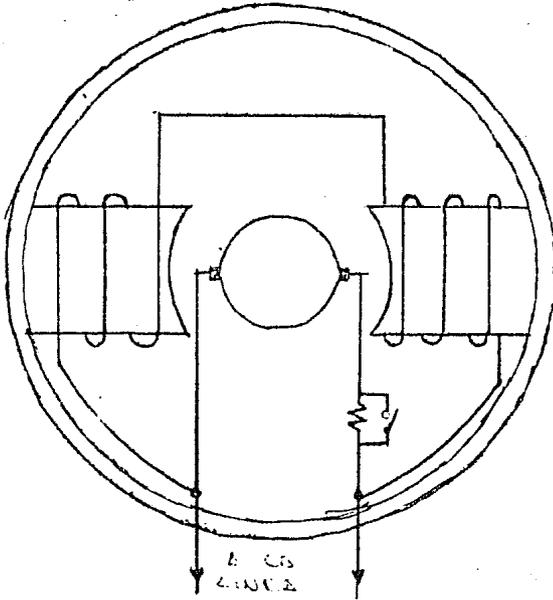
Debido a la simplicidad de sus requerimientos de control, el motor shunt es ampliamente usado como conductor de velocidad variable y en sistemas de regulación automática de velocidad.

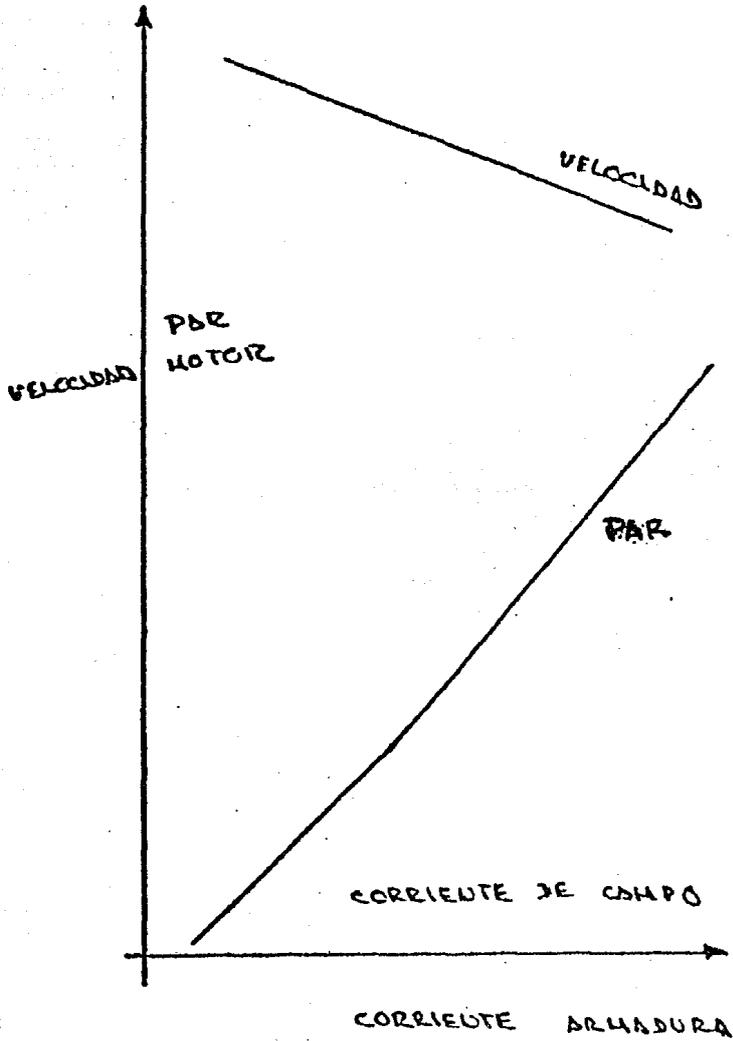
Características de Par.- El par desarrollado por un motor depende de dos factores: a) El flujo creado por los polos principales y b) La corriente que fluye en el arrollamiento de la armadura. El tema que es independiente de la velocidad de rotación.

En los motores shunt la corriente a través del campo shunt es constante y es fijada únicamente por la resistencia del campo shunt y el voltaje terminal. Esto significa que el flujo del campo shunt es independiente de la carga y es sustancialmente constante porque el flujo depende solamente de la corriente de campo.

El torque de un motor shunt depende solamente de la corriente de armadura; suponiendo que la corriente del campo shunt no está cambiando por ajuste de un reóstato de campo, el torque es independiente del flujo. Por consiguiente, una gráfica indicando la relación entre par y carga debe ser una línea recta.

DIAGRAM DE CEEVATICE PORN UN MOTOR DC DIVIZOR





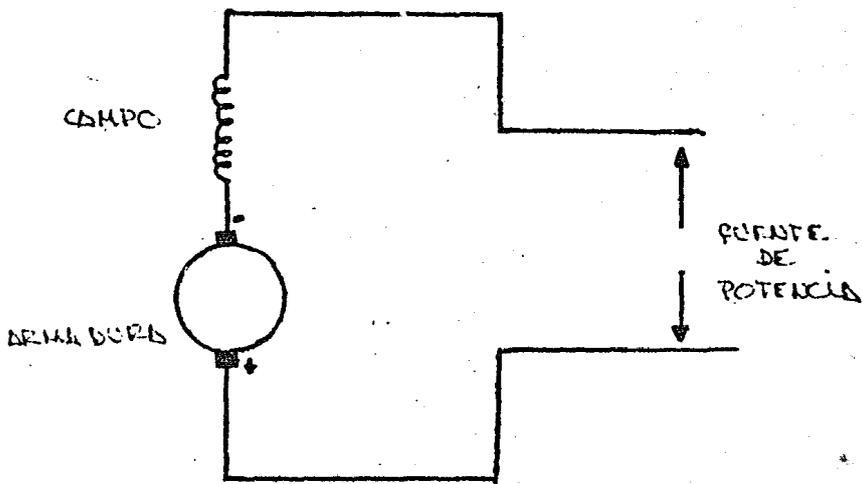
CARACTERISTICAS DE UN MOTOR SHUNT.

MOTOR SERIE DE CORRIENTE DIRECTA

El motor serie tiene un alto par de arranque haciéndolo apropiado para motores de tracción, - grúas, etc. Su velocidad puede ser controlada mediante el ajuste del voltaje aplicado pero también depende de la carga. Una carga de eje pesada causará que la corriente de armadura se incremente y producirá también un incremento en la tensión de campo ya que los devanados de campo están en serie con la armadura. El par es proporcional al producto de flujo por polo y la corriente de armadura, - mientras que la velocidad de la flecha es inversamente proporcional al flujo por polo. El efecto de carga es, entonces, el incrementar el par disponible y reducir la velocidad de la flecha.

Si se aplica todo el voltaje sin ninguna carga, la velocidad en el motor serie puede elevarse hasta una condición de desboque.

La única ruta de la corriente a través de la máquina es a través de la armadura y campo en serie. Esto significa que en la máquina serie los arrollamientos de campo tienen que ser capaces de transportar las grandes corrientes de armadura. En la práctica, esto significa que los devanados de campo de las máquinas en serie están generalmente compuestos de relativamente pocas vueltas de alam-



MOTOR SERIE

bre de gran diámetro.

De la gráfica par-velocidad se puede ver que las máquinas serie tienen una tendencia a dispararse a velocidades peligrosas cuando no están cargados. Esta característica no es mucho problema en motores pequeños, de fracciones de caballo de potencia, porque sus pérdidas inherentes constituyen suficiente carga para restringir la velocidad máxima a límites seguros.

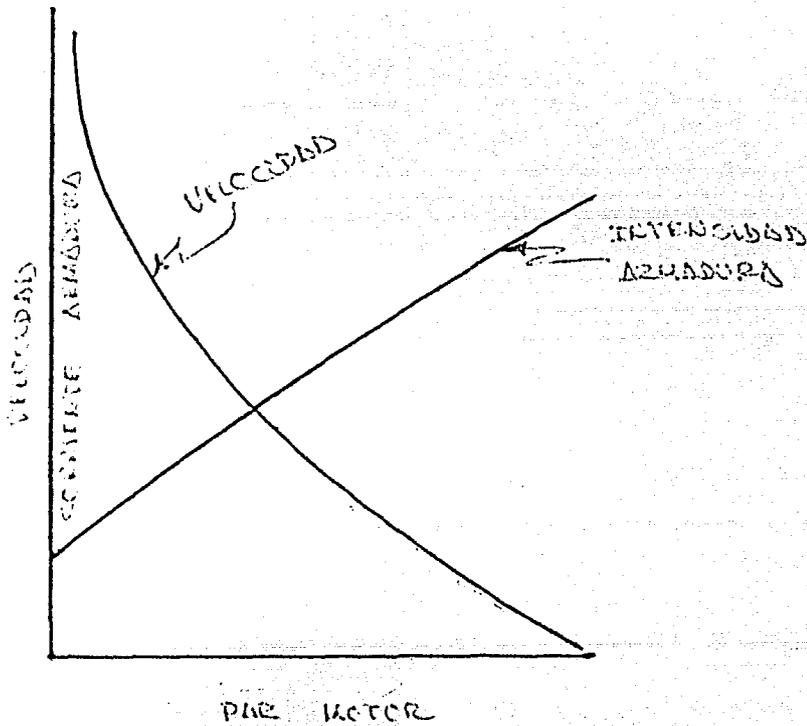
De cualquier modo, en máquinas grandes las pérdidas inherentes son una proporción muy pequeña del total de la potencia disponible por lo que se requiere cierta precaución de seguridad.

Los motores serie más grandes siempre están directamente acoplados a su carga.

No deben usarse bandas de conducción porque la máquina puede dispararse si la banda se rompe. También se usa generalmente alguna forma de caja de control de arranque.

Obviamente, cuando el motor se arranca desde el reposo, puede pasar una corriente muy grande porque la armadura no está produciendo una fuerza contraelectromotriz y los devanados de campo son una resistencia baja. El par de un motor serie es proporcional al cuadrado de la corriente de armadura, para que el motor produzca un par de arranque muy alto.

Esto hace al motor serie apropiado para aplicaciones donde tiene que moverse grandes inercias desde el reposo. Esto incluye carros de ferrocarril, elevadores, grúas de arranque automotriz.



CARACTERÍSTICAS PARA UN MOTOR SERIE

La eficiencia actual de pequeños motores de menos de 1 H.P. es variable pero, puede situarse entre 60% y 70%.

Arriba de 1 H.P. se pueden predecir más precisamente los siguientes valores:

1 H.P.	75% de eficiencia.
50 H.P.	89% de eficiencia.
500 H.P.	93% de eficiencia.
5000 H.P.	97% de eficiencia.

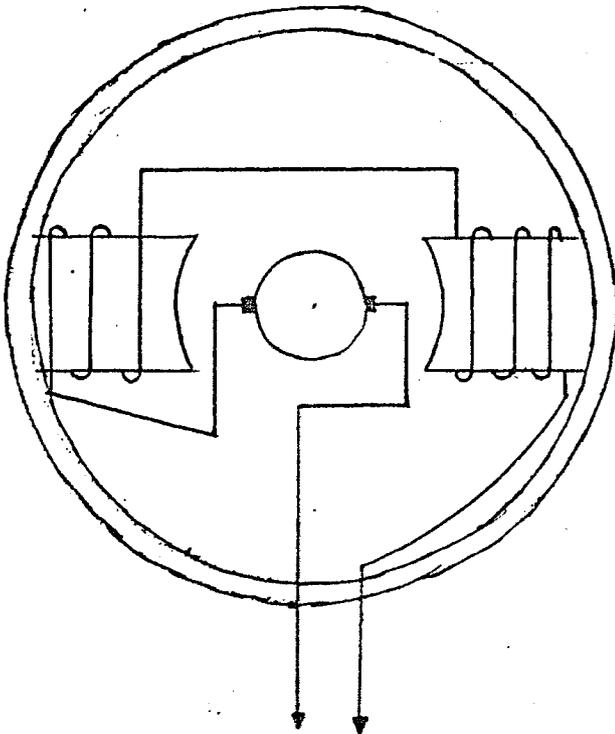


DIAGRAMA DE
CONEXION PARA
UN MOTOR SERVO

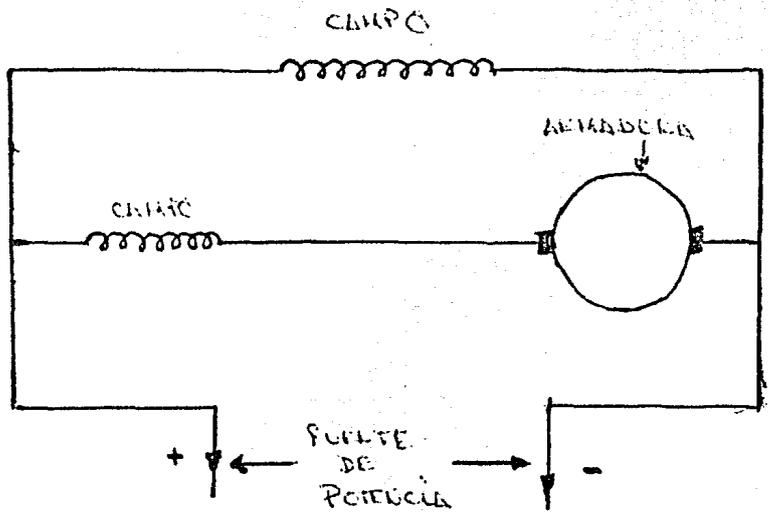
MOTOR DE EXCITACION COMPUESTA DE CORRIENTE DIRECTA

Los motores compuestos tienen arrollamientos tanto en serie como en paralelo que pueden ser conectados para auxiliarse mutuamente, en cuyo caso será Compuesto Acumulativo, u oponerse entre sí, - en cuyo caso será Compuesto Diferencial.

Los motores compuestos acumulativos tienen características parecidas a las de los motores serie pero no tienen la tendencia a dispararse cuando se quita la carga, ya que la velocidad sin carga es fijada por el campo shunt.

Las aplicaciones incluyen motores para levantar, para conductores de maquinado giratorio, etc.

En el caso diferencial, la corriente de armadura incrementándose causa un decremento en el flujo neto el cual tiende a mantener constante la velocidad de la flecha. De cualquier modo, las corrientes de arranque pesadas o sobrecargadas pueden permitir el predominio del campo serie causando una corriente de armadura excesiva o aún, una rotación en sentido contrario.



MOTOR DE EXITACION COMPLETA.

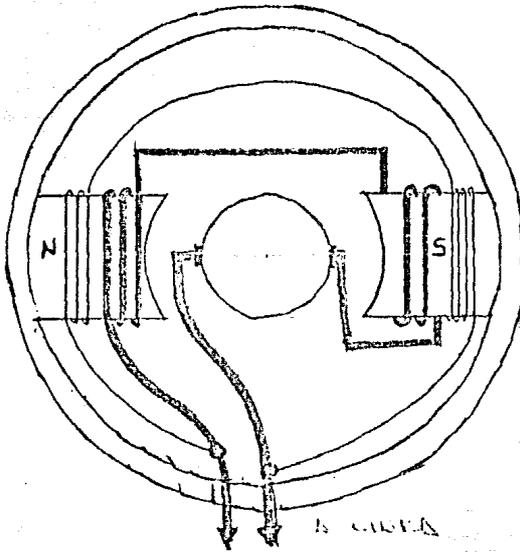
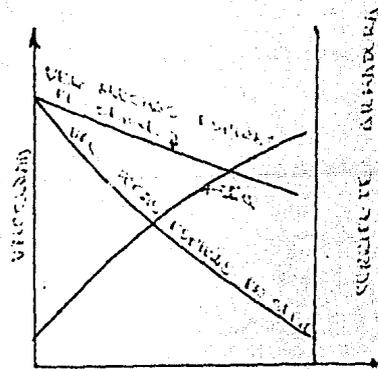


DIAGRAMA DE CONEXIÃO PARA O MOTOR SINCRÔNICO



PEC. MOTOR

CARACTERÍSTICAS PARA O MOTOR SINCRÔNICO

El campo serie da al motor compuesto acumulativo la característica general de una máquina serie, ya que a altas cargas y por consiguiente a altas corrientes de armadura, este campo predomina. Entonces se obtiene un alto par de arranque. A bajas cargas el campo serie es despreciable y el campo shunt da una velocidad de vacío definida.

El motor compuesto acumulativo, en lugar de operar a altas velocidades cuando no tiene carga, opera a aproximadamente 900 r.p.m.

La máxima eficiencia del motor compuesto acumulativo es de aproximadamente 30%.

El motor compuesto diferencial tiende a pararse debido a que en tanto la corriente de armadura de corriente se incrementa, el campo serie ascendente se opone al campo shunt estable y pronto reduce el campo neto a un valor insuficiente para proporcionar el par de carga. Así que se empieza a parar. La corriente de armadura se eleva debido a la caída en la velocidad y por consiguiente en la frecuencia contraelectromotriz, por lo tanto el par disponible se reduce aún más.

El efecto es entonces acumulativo y el motor se para, fuera de control. El campo serie es ahora completamente predominante y, siendo contrariamente polarizado, provoca que el motor gire en sentido contrario.

PRUEBAS PARA MOTORES DE CORRIENTE DIRECTA

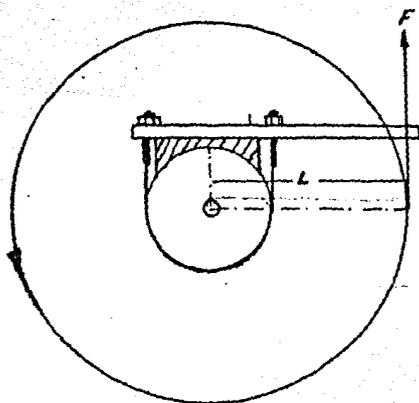
FRENO DE PRONY

Muchas veces es necesario determinar el rendimiento del motor a una cierta carga, y a menudo, - también en todo su margen de funcionamiento. Esto proporciona los datos para trazar las curvas características.

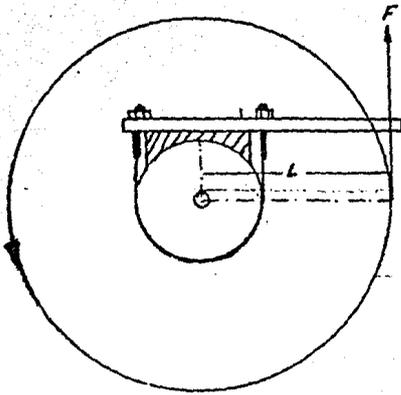
El conocimiento del rendimiento es necesario cuando se desea saber la utilidad del motor y, además, se puede utilizar entonces el motor como instrumento para medir la potencia absorbida por una máquina, por ejemplo, un generador, una bomba, - - etc. Conociendo la potencia absorbida por el motor, la cual se puede determinar con un voltímetro y un amperímetro, y conociendo el rendimiento se puede calcular la potencia útil para cualquier valor de la potencia absorbida.

El método más corriente de determinar directamente el rendimiento de un motor con potencia hasta de 50 C.V. es el de freno de Prony.

Para determinar la expresión que da la potencia absorbida por el freno, consideremos la figura anterior: Sea F la fuerza en Kgs. que actúa a una distancia de L metros de centro del tambor. Supongase primero que dicho tambor está en reposo y que



FRENO DE PRONY.



FRENO DE PRONY.

el brazo es empujado por la fuerza F . En cada vuelta del tambor, la fuerza F actúa sobre una distancia $2\pi r$. El trabajo realizado en la revolución, del brazo alrededor del tambor es el producto de la fuerza por la distancia $F(2\pi r)$. El trabajo realizado en S revoluciones es: $F(2\pi r)S$, y si S está dado en rpm, el trabajo por minuto resulta $2\pi rFL/4500$ C.V. pero FL es el par T ; por lo tanto $C.V. = 0.00141TS$.

Es obvio que el mismo trabajo se realiza en la superficie del freno. Tanto si es el brazo el que gira y el tambor el que está suelto, como si gira el tambor y el brazo en reposo.

Se observa que en este tipo de freno la potencia es independiente del diámetro del tambor.

La eficiencia es:

$$n = \frac{\text{potencia útil}}{\text{potencia absorbida}}$$

Potencia absorbida = VI

Potencia útil = $0.00141 T S$ (735) en vatios.

DINAMOMETRO DE CUNA

Este dinamómetro es una máquina eléctrica rotativa suspendida por los muñones de su eje equipados con cojinetes de bolas. Cuando se acopla al eje de los motores crea una resistencia de carga y sirve para medir la potencia que recibe. La carga se aplica haciendo funcionar el dinamómetro como generador de corriente continua sobre una resistencia. Combinando el valor de ésta con la graduación del reóstato de campo, puede obtenerse una regulación fina y suave de la carga aplicada. Es preferible que la excitación sea independiente.

El par se mide mediante un brazo de palanca unido a la cubierta de la máquina que impide que esta gire, combinado con un dispositivo de medida de fuerzas.

El dinamómetro puede también funcionar como motor accionando un generador, bomba, ventilador o cualquier otro aparato semejante. Como el par y la velocidad del dinamómetro se pueden medir fácilmente, se determine con igual facilidad de potencia consumida por el aparato accionado por él. El rozamiento en los cojinetes introduce un pequeño error que, si los cojinetes son de bolsas, es despreciable. Este tipo de dinamómetros se usan normalmente para potencias que no pasen de 100 H.P.

CAPITULO III.

ARRANCADORES MANUALES DE C.C.

Un arrancador eléctrico se define como un regulador cuya función principal es la de poner en marcha y acelerar un motor.

La figura 1. muestra la resistencia en serie con el circuito del inducido que se precisa para la aceleración de motores serie, shunt, o derivación y compound o compuesto respectivamente, con un dispositivo de arranque manual para eliminar la resistencia del inducido en seis etapas. Se observará que los motores shunt y compound suelen ponerse en marcha con la corriente de plena excitación, es decir la resistencia del reóstato regulador del campo es nula, y el motor serie se pone en marcha siempre bajo carga.

En el instante en que se aplica una tensión V_a , en bornes del inducido para hacer que gire el motor, el inducido del motor no produce ninguna f. c.e.m. ya que la velocidad es nula. Los únicos factores que limitan la corriente son la c.d.t. en las escobillas y la resistencia del circuito del inducido, R_e . como ninguno de ellos, bajo condiciones normales, sobrepasa el 10 ó el 15 por ciento de la tensión aplicada en bornes del inducido, V_a , la sobrecarga llega a muchas veces la corriente nominal del inducido.

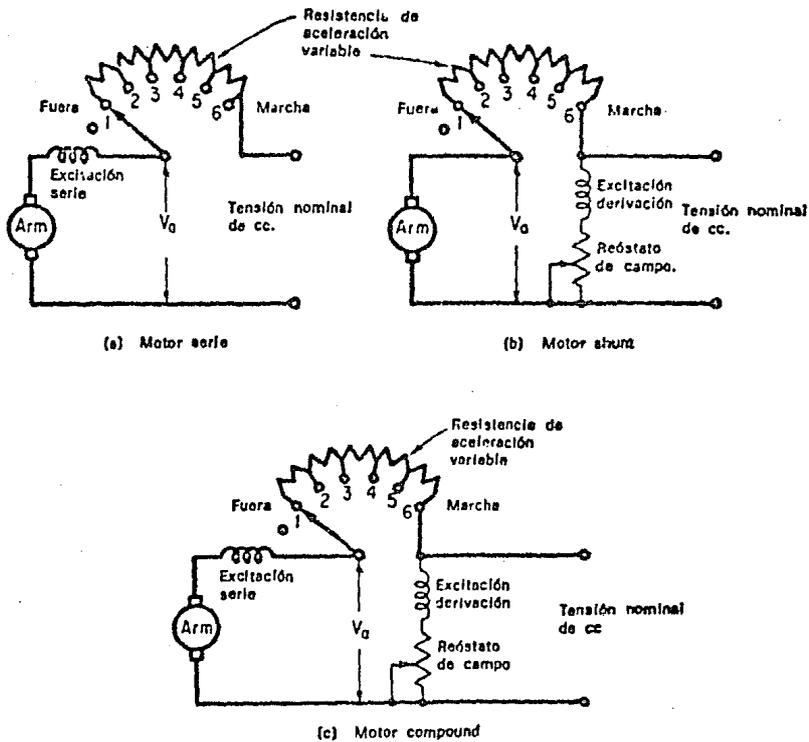


Figura 9-1

Esquemas que indican cómo la resistencia de inducido de aceleración se conecta y se regula en el circuito del inducido para acelerar motores serie, shunt y compound.

La forma en que funciona un arrancador en combinación con los tres tipos básicos de dinamos de c.c., utilizadas como motores se muestra en la figura 1.

Los motores shunt y compound se ponen en marcha con excitación a pleno campo, para desarrollar el par máximo de arranque.

La figura 2. representa una descripción gráfica de la variación de la corriente y de la velocidad en el inducido cuando el motor shunt se acelera por etapas hasta su velocidad nominal.

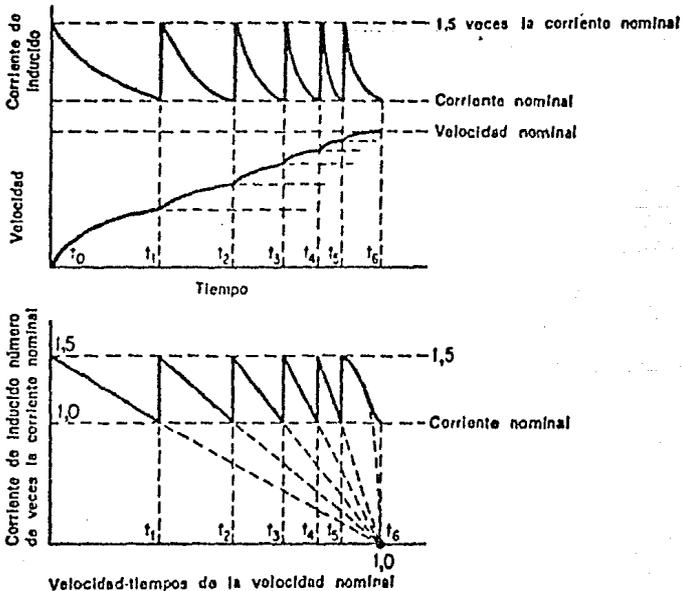


Figura 9-2
Aceleración de un motor shunt.

Debido a que el motor se pone en marcha desde el reposo y a causa de que inducido posee inercia, el primer contacto de aceleración (punto 1) necesita el mayor espacio de tiempo antes de que la aceleración se haga casi nula y de que la velocidad se aproxime a la determinada en un principio, a causa de (1) la reducida tensión en el inducido (2) la carga aplicada al motor, (3) el flujo de excitación, y (4) la f.c.e.m. ($S=k(V_a - I_a R_a) \phi$). Avanzado la maniobra a la segunda posición (punto 2), se reduce la resistencia y suministra una corriente irruptiva del 150 por ciento de la carga nominal.

A la vez que la resistencia del inducido se reduce en cada toma, el motor se acelera pero necesita menos tiempo para poder alcanzar su velocidad asintótica (aceleración nula) y reducir la corriente hasta aproximadamente la carga nominal. Sin embargo, el último contacto puede necesitar algo más de tiempo que los intermedios debido al aumento de carga y de velocidad, como se muestra en la figura 2.

Las dos curvas superiores de la figura 2 muestran la corriente y velocidad del inducido, trazadas, respectivamente, en función del tiempo. La curva inferior muestra la corriente del inducido en función de la velocidad nominal. Si en el contacto 1, el motor se acelerase a velocidades más

elevadas, el aumento de la f.c.e.m., reduciría la corriente del inducido a un valor casi nulo a la velocidad nominal.

Las curvas mostradas en la figura 2. también son válidas para motores serie y compound con las ligeras modificaciones en la curvatura.

Los motores más grandes al poseer mayor inercia, necesitan más contactos y un intervalo de tiempo mayor para aproximarse a una determinada velocidad asintótica. Los motores muy pequeños de fracciones de CV., poseen tan poca inercia que no precisan de ningún arrancador; pueden ponerse en marcha a plena tensión, ya que se aceleran y originan una f.c.e.m. (de autoprotección) casi inmediatamente.

ARRANCADOR COMERCIAL DE TRES BORNES

La figura 3 muestra el esquema de conexiones de un arrancador manual de tres tomas de corriente que se utiliza para la puesta en marcha de un motor shunt. La figura agrupa cuatro unidades separadas y equipo distinto: (1) el arrancador de tres tomas (2), una caja de interruptores de seguridad, con interruptor y protección de cortocircuitos y sobrecargas, (3) el motor shunt, con sus circuitos de inducido y de excitación y (4) un reóstato de -

campo exterior.

La bobina de retención y el resorte sirven para proporcionar (1) protección contra campo abierto o debilitado, y (2) protección de mínima tensión.

El arrancador de tres bornes puede utilizarse también en un motor compound, la conexión serie de la excitación puede hacerse en los puntos X1.X2 del motor.

El motor puede detenerse por una cualquiera de las siguientes circunstancias: (1) la apertura del interruptor de la línea principal DPST; (2) un cortocircuito (el fusible principal que abre el circuito) en el circuito del inducido o de excitación incluyendo el arrancador; (3) una sobrecarga en el circuito del inducido (haciendo funcionar los disyuntores de sobrecarga OCBs); (4) un circuito de campo se muestra en la figura 3 el objeto principal de la bobina de retención es el de mantener el motor a la red, y a la vez proporcionar protección de mínima tensión y campo débil.

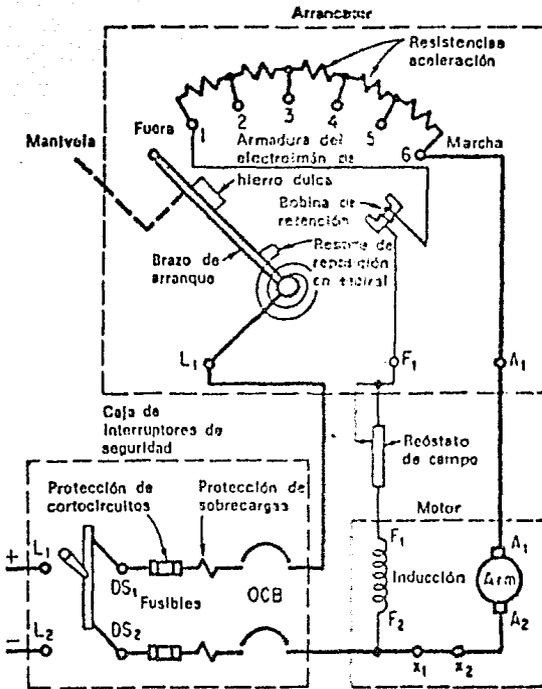
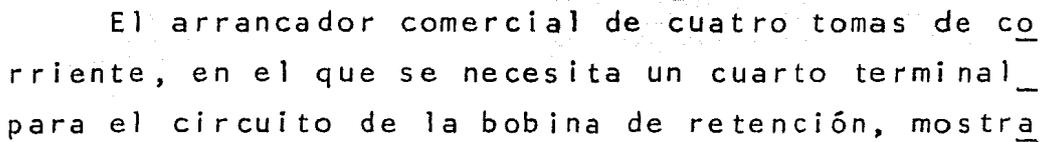


Figura 6-3
Arrancador manual de tres bornes para un motor shunt.

ARRANCADOR COMERCIAL DE CUATRO BORNES

El arrancador de cuatro bornes se diferencia del de tres en que la disposición de 4 tomas habilita tres vías en paralelo en bornes de la fuente de alimentación en vez de dos. La vía adicional en que paralelo está formada por el circuito separado de la bobina de retención, en serie con una resistencia de protección R.

El arrancador comercial de cuatro tomas de corriente, en el que se necesita un cuarto terminal para el circuito de la bobina de retención, mostrado en las figuras  permite variar la corriente en el circuito de excitación con independencia del circuito de la bobina de retención. Claro está que ello representa la ventaja más grande del arrancador de cuatro bornes, pero esta ventaja contribuye a tres inconvenientes:

- 1.- Si el campo se debilita considerablemente o queda abierto accidentalmente, motor se embalará a velocidades peligrosas; contra el exceso de velocidad, en la industria - suelen usarse dispositivos de protección auxiliares, tales como circuitos centrífugos.
- 2.- Para poder aumentar la velocidad cuando el motor acciona una carga fuerte, la co-

corriente de excitación queda debilitada; - si el motor vuelve a arrancar entonces - hace que la carga se acelere demasiado rápida y peligrosamente (la corriente del inducido se incrementa para compensar el flujo de excitación debilitado de acuerdo con la teoría de la dínamo de doble excitación).

- 3.- El aumento de la corriente de inducido puede continuar llegando a disparar los dispositivos de protección de sobrecarga, e incluso de cortocircuito, hasta que se haya reducido la resistencia del reóstato de campo.

Los dos últimos inconvenientes se salvan incorporando una disposición de memoria automática en el interior del arrancador de cuatro bornes, como se muestra en la figura 6.

El arrancador de cuatro (fig.6) con un reóstato de campo de ajuste de la velocidad incorporado presenta las ventajas de (1) arranque del motor siempre a corriente de plena excitación y (2) eliminación de la necesidad de un reóstato de campo externo separado mediante control del reóstato de campo.

Tiene el inconveniente de no presentar protección de campo abierto o débil. Otro inconveniente

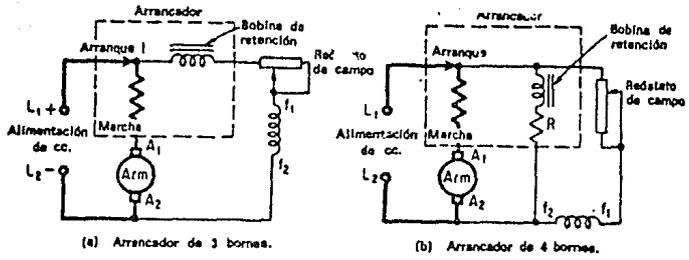


Figura 8-4
Esquemas simplificados de arrancadores de tres y de cuatro bornes.

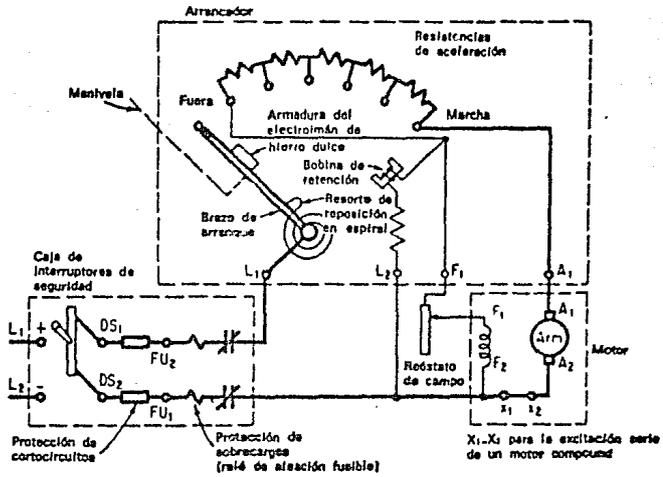


Figura 8-5
Arrancador manual de cuatro bornes para un motor shunt o compound.

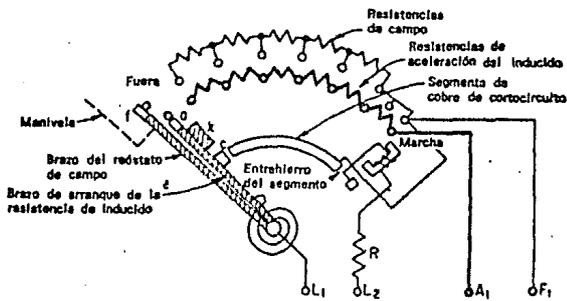


Figura 8-6
Arrancador manual de cuatro bornes para un motor shunt o compound con relé de campo de regulación de la velocidad incorporado.

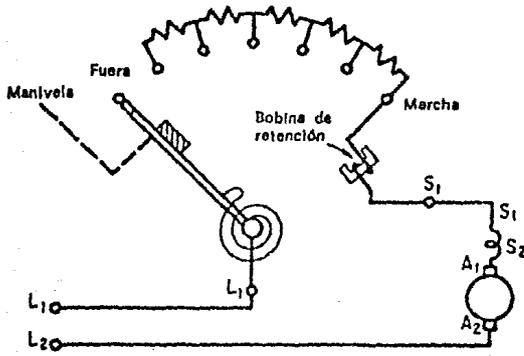
debido a que el brazo puede no estar en su posición de MARCHA habitual, siempre en el sentido de las agujas del reloj; existe la tensión de parar el motor por retorno de la manivela a su posición de FUERA en sentido contrario a las agujas del reloj. Es muy peligroso porque durante el proceso el campo se debilita continuamente y el motor se acelera.

ARRANCADORES MANUALES DE MOTORES SERIE

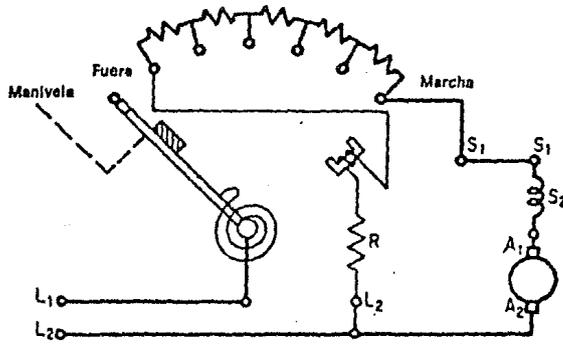
Un motor serie es fundamentalmente, un circuito de dos terminales o de dos tomas. La figura 7 muestra un arrancador manual de dos bornes de un motor serie en el que la bobina de retención (de unas cuantas vueltas de hilo grueso) ya conectada en serie con la excitación serie y el inducido. Durante el período de arranque y de marcha, un motor serie cargado tendrá la corriente de inducido suficiente para excitar la bobina de retención lo necesario para retener el brazo del arrancador en posición de MARCHA. En el caso de anulación de la carga o reducción de la misma hasta el punto en que se desarrolla peligrosamente una elevada velocidad, la reducción de la corriente de inducido es suficiente para debilitar la bobina de retención y soltar el brazo de arranque.

Las dos ventajas del arrancador manual de dos bornes, de disparo en vacío de un motor serie son (1) protección contra el exceso de velocidad en el caso de eliminación o reducción de la carga y (2) protección de mínima tensión.

El arrancador de la figura 7B el arrancador manual en serie de disparo a mínima tensión de tres bornes, se utiliza donde no existe la posibilidad de embalamiento accidental debido a una pérdida de carga. Este arrancador es al motor serie - lo que el arrancador de cuatro tomas lo es a los motores shunt y compound. Se disponen tres terminales L1, L2 y S1. Ello proporciona sólo la protección de mínima tensión y no protege al motor en el caso de campo débil.



(a) Arrancador de 2 bornes, disparo en vacío.



(b) Arrancador de 3 bornes, disparo a mínima tensión.

Figura 6-7
Arrancadores manuales para motor serie.

REGULADOR MANUAL DE TAMBOR

Todos los arrancadores manuales planos (de chapa frontal) descritos anteriormente poseen ciertos inconvenientes eléctricos y mecánicos cuando se utilizan en motores shunt, compound o serie de gran potencia. Es difícil construir la protección contra formación del arco y de extinción para estos arrancadores y la naturaleza de los contactos deslizantes planos con entrehierro entre ellos se traduce en desgaste de los contactos en el arranque de los motores más grandes.

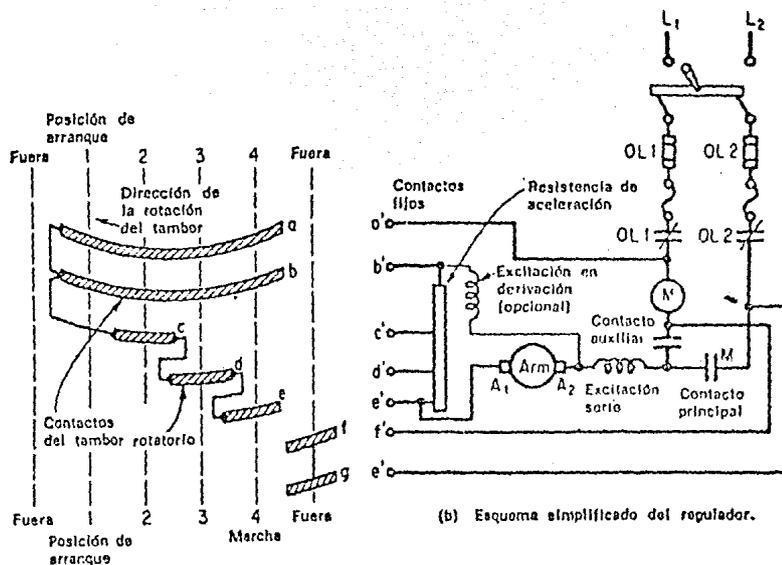
Estos inconvenientes se salvan con un regulador de tambor de tipo rotativo, que tiene un conjunto de gruesos conductores circulares de cobre laminares giratorios, aislados uno del otro y colocados verticalmente como se muestra en la figura 8.

El regulador sencillo de tambor inversible de la figura 8 se utiliza en esta aplicación para el arranque de un motor serie; también puede usarse para motores shunt y compound, como se indica en la figura 8. Una resistencia de tomas de aceleración proporciona tres etapas de aceleración. Cuando los contactos del tambor rotatorio se hacen girar a la posición 1 en la figura 8a. los contactos a' y b' quedan cortocircuitados, y el motor arranca a plena resistencia en serie del inducido. Des-

pués de un intervalo de tiempo adecuado, cuando el operario hace girar el tambor a la posición 2, los contactos a', b' y c', quedan cortocircuitados, reduciendo la resistencia en serie del inducido a las dos terceras partes de su valor y acelerando el motor a mayor velocidad. Después de otro intervalo adecuado, el operario hace girar el tambor a la posición 3, donde se cortocircuitan los contactos d', b' y a', manteniendo un contacto directo de L1 a d' y reduciendo la resistencia en serie del inducido a un tercio de su valor total.

Finalmente, después de un tercer intervalo adecuado, se hace girar el tambor a la posición 4 (MARCHA) donde quedan cortocircuitados los contactos l', b' y e', por lo que se cortocircuita toda la resistencia en serie y se coloca el motor serie a plena tensión.

El motor se parará bajo una de las siguientes condiciones (1) apertura del interruptor principal de línea (2) una disminución de la tensión activa suficiente para desexcitar el relé M, (3) una sobrecarga suficiente para hacer que desaparezcan los contactos normal cerrados de los relés 0L1 y 0L2, (4) un cortocircuito bien en el circuito de relés de control, bien en el regulador de tambor, o en el circuito del motor, haciendo que los fusibles abran el circuito una apertura en el circuito de



(a) Segmentos de contacto del tambor rotatorio (desarrollo en 360°)

Figura 8-8
Regulador manual de tambor (con protección de sobrecargas, cortocircuitos, y de mínima tensión) para el arranque de un motor serie.

campo shunt (de trazo fino) de un motor compound o shunt que utiliza este regulador.

Si la resistencia que se utiliza en serie con el inducido del motor es de variación continua en vez de intermitente, el regulador de tambor puede servir como medio de control de la velocidad por resistencia de inducido, así como de arrancador manual de un motor de c.c.; y la manivela del tambor puede ser dejada de manera continua en cualquiera de las posiciones de 1 a 4, ventajas de los reguladores de tambor son:

- 1.- Económicos en los tamaños pequeños y mediano, comparación con los arrancadores automáticos.
- 2.- De formato compacto, pero las resistencias de arranque o de control de la velocidad deben ser colocadas aparte y externamente.
- 3.- El tambor está completamente protegido.
- 4.- Manejo sencillo.
- 5.- Mecánicamente simples y robustos.
- 6.- Puede evitarse una aceleración demasiado rápida mediante inclusión de mecanismos retardadores.
- 7.- Electricamente de gran versatilidad, pueden realizarse conexiones internas complejas para permitir la inversión el frenado y otras ope-

raciones de control de velocidad.

Cuando la potencia útil de la fuente trifásica sea suficiente y también en el caso de pequeños motores de inducción, se emplea el arranque a plena tensión, como se muestra en la figura 9, utilizando interruptores de dos posiciones (FUERA y MARCHA) con accionamiento de tambor o de levas para cerrar los contactos a-a', simultáneamente en la posición de MARCHA.

El arranque por resistencia en el primario* - mediante conexión manual, se muestra en la figura 9B. Todos los contactos están abiertos en la posición de FUERA. Los contactos S están cerrados en la posición de ARRANQUE y, después de un adecuado espacio de tiempo, se cierran los contactos R en la posición de MARCHA.

El arranque por self del primario* se realiza con la misma secuencia de conexiones empleada en el arranque por resistencia del primario, por medio de la conexión manual, como se muestra en la figura 9c.

El arranque por conexión estrella-triángulo* mediante conexión necesita la transición en circuito abierto de la posición de ARRANQUE a la posición de MARCHA.

El arranque por autotransformador* que emplea la transición en circuito abierto, se muestra en la figura 9e. El estátor recibe una tensión reducida (del autotransformador cuando los contactos S - están cerrados) cuya magnitud y corriente resultante en el arranque varía con la toma escogida.

ARRANCADORES AUTOMATICOS DE CC.

Los arrancadores están proyectados para realizar las mismas funciones que los manuales cuando se gobiernan, por uno o más pulsadores de contactos momentáneos o interruptores de arranque manuales, accionados a distancia o localmente.

Como en todos los dispositivos automáticos, existen dos clases generales de funcionamiento: en bucle abierto y bucle cerrado. El control en bucle abierto gobierna la potencia de un motor de una forma prefijada, con independencia del funcionamiento del motor.

El control en bucle cerrado gobierna la potencia de un motor de una forma predeterminada que depende en parte del funcionamiento del motor.

Los arrancadores automáticos de c.c. del tipo en bucle abierto se clasifican como arrancadores de aceleración de tiempo fijo, y aquellos del tipo en bucle cerrado como arrancadores de aceleración por limitación de la corriente.

ARRANCADOR DE ACELERACION DE TIEMPO FIJO DE C.C.,
QUE UTILIZA CONTACTORES DE ACCION RETARDADA.

En la figura 1, se muestra una variación de este principio donde se utilizan contactores de ac

ción retardada en vez de relés de acción diferida.

Un contactor de acción retardada es un relé inductivo ordinario con un manguito de cofre o de latón inserto en su núcleo. El efecto del manguito antimagnético hace que el relé funcione como un relé magnético instantáneo bajo condiciones de régimen permanente, pero como un relé de acción retardada, cuando circule una corriente transitoria por la bobina del relé por tanto, para los contactos normal cerrados de la figura 1 una corriente en aumento en la bobina del contactor producirá un retraso al abrir los contactos 1A, 2A y 3A, respectivamente y una corriente en disminución producirá un retardo al cerrar los mismos contactos. Este retraso es debido a la creación de una fuerza contra magnetomotriz debida a las corrientes de Foucault inducidas en el manguito en sentido contrario a la corriente en aumento o en disminución, en concordancia con la ley de Lenz.

El arrancador automático de la figura 1 emplea una sola unidad de ARRANQUE y una de PARO. Pueden añadirse otras unidades de ARRANQUE a distancia (a éste y a todos los demás arrancadores de cualquier tipo) en paralelo con el pulsador de ARRANQUE y pueden incluirse otras unidades de paro a distancia en serie con el pulsador de paro en la línea de control a. La resistencia de tirite TR

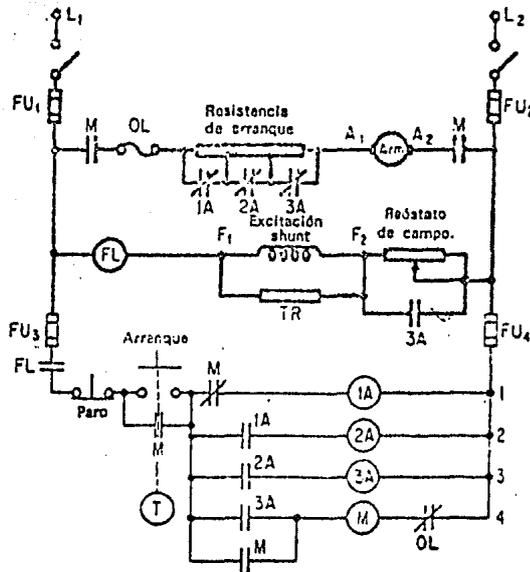


Figura 8-1
 Arrancador de aceleración, de tiempo fijo, de cc.,
 empleando contactores de acción retardada.

absorbe la energía del campo siempre que el motor_ esté desconectado de la fuente de alimentación de_ c.c. y sin excitación.

Este arrancador también usa relés de amorti-- guador, pero procura salvar los inconvenientes del gran número de relés excitados durante el período_ de marcha y proporciona retardos ajustables duran- te la secuencia de arranque.

ARRANCADOR DE ACELERACION POR TIEMPO FIJO, DE C.C. QUE UTILIZA RELES DE AMORTIGUADOR.

El arrancador de c.c. de la figura 2 tiene la ventaja de: (1) el retardo es ajustable mediante el uso de relés de amortiguador, (2) todos los relés_ de acción retardada están desexcitados durante el período de MARCHA y pueden ser de funcionamiento - intermitente y (3) un mínimo número de relés está_ excitado en el período de MARCHA para así ahorrar_ energía y reducir el calentamiento en el interior_ del arrancador.

ARRANCADOR DE ACELERACION POR TIEMPO FIJO, DE C.C. QUE UTILIZA UN TEMPORIZADOR MOTORIZADO.

Un solo relé temporizado o de acción retardada que tenga contactos secuenciales múltiples puede utilizarse para habilitar la secuencia de aceleración de tiempo fijo que se precisa para acelerar el motor. El arrancador de la figura 3 emplea un temporizador motorizado, para cerrar los contactos TM1, TM2 y TM3, respectivamente, en una secuencia predeterminada.

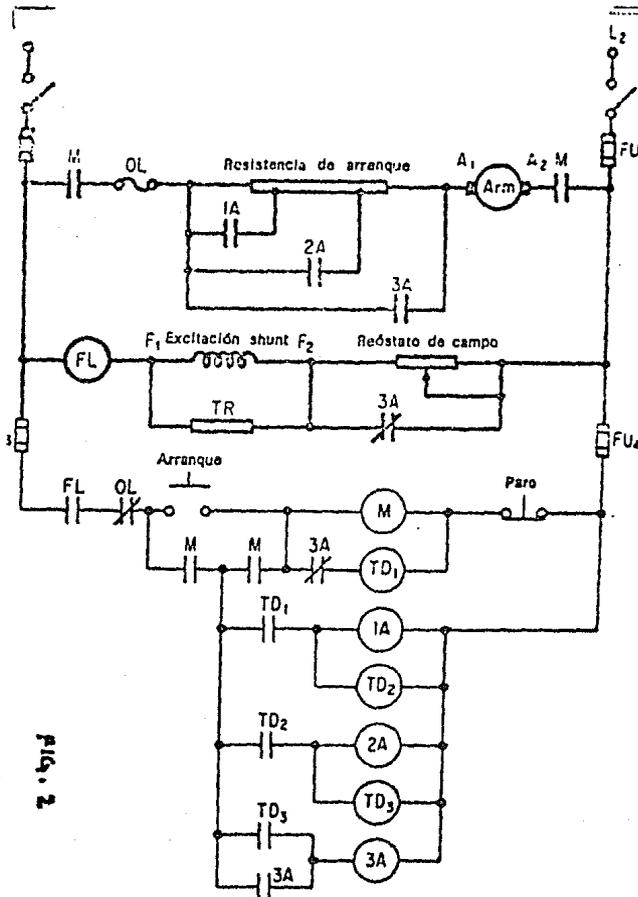


Fig. 2

La figura 4 muestra un arrancador que utiliza relés diferenciales, que consiste en dos bobinas - arrolladas a un núcleo común de relé. Además del - contacto principal M, se emplean tres relés, cada - uno con un devanado inductivo HC (bobina de reten- ción), que actúa oponiéndose al devanado de la bo- bina de cierre AC que tiende a cerrar los contac- tos 1A, 2A y 3A, respectivamente. Estas bobinas de retención 1HC, 2HC y 3HC, tienden a mantener los - contactos n.a. 1A, 2A y 3A en posición abierta - - mientras estas bobinas permanezcan excitadas.

Tanto si son susceptibles de ajuste como si - no, el único y mayor inconveniente de los cinco - arrancadores de aceleración de tiempo fijo. Está - en que la secuencia temporizada es completamente - independiente de la corriente de carga y de la ve- locidad del motor.

Por tanto, si el motor está muy cargado, pue- de ser acelerado demasiado rápidamente por medio - de un arrancador de tiempo definido. Análogamente, si la carga es muy ligera o marcha en vacío, el - motor puede ser acelerado demasiado lentamente, ma- gastando un considerable tiempo de producción. No - existe retroacción debido a la naturaleza de bucle abierto de los dispositivos de control descritos. - Este inconveniente queda paliado mediante los dis- positivos de aceleración por limitación de la co--

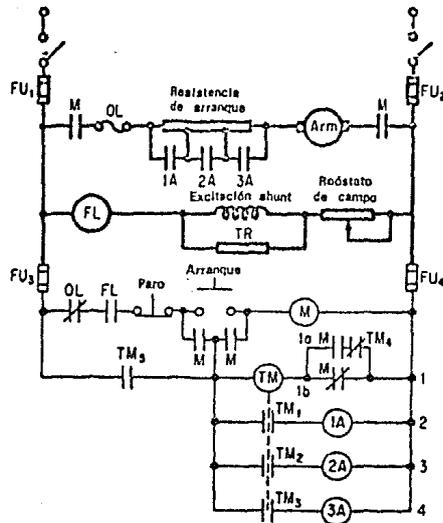


Figura 3
Arrancador de aceleración, de tiempo fijo, de cc., de temporizador motorizado (también de péndulo o escape de volante).

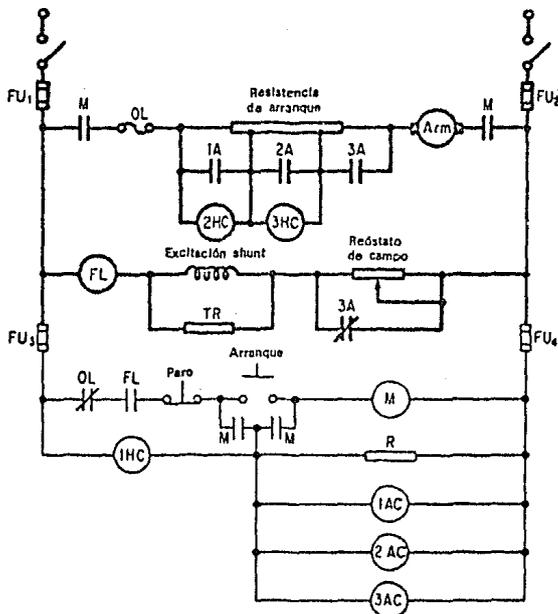


Figura 4
Arrancador de aceleración, de tiempo definido, de cc., empleando constante de tiempo inductiva de bobinas de retención.

riente en bucle cerrado descritos a renglón seguido.

ARRANCADOR DE ACELERACION POR LIMITACION DE LA CORRIENTE, DE C.C., QUE UTILIZA RELES DE F.C.E.M., - (METODO POR LIMITACION DE LA VELOCIDAD).

Del control en bucle cerrado está en proporción una realimentación desde el circuito de potencia o de la red al circuito de control. Como se muestra en la figura 5 ello se efectúa por medio de relés sensibles V1, V2 y V3, conectados en paralelo con el inducido cuyos contactos n.a. V1, V2 - V3 controlan la secuencia de los relés de las líneas de mando 2, 3 y 4 mostradas en la figura 5. - por tanto, la diferencia esencial entre el método de control mediante arrancador en bucle abierto y en bucle cerrado está en que el primero utiliza una secuencia prefijada del circuito de control para introducir variaciones en el circuito de potencia, mientras que el último emplea sensores en el propio circuito de potencia para introducir una respuesta en el circuito de control. Este a su vez, produce o introduce una variación en la secuencia del circuito de control.

Las ventajas de este arrancador de c.c. residen en que el motor no es acelerado a una etapa de mayor velocidad hasta que la corriente está sufi-

dejase de funcionar; y no accionaría el contacto de cierre 3A hasta que las condiciones de carga se restableciesen a su valor normal.

ARRANCADOR DE ACELERACION POR LIMITACION DE LA CORRIENTE DE C.C., QUE UTILIZA RELES DE BOBINA DE RETENCION.

Los relés diferenciales similares a los descritos pueden utilizarse para sensibilizar la corriente de inducido y dar respuesta cuando ésta ha sido limitada lo suficiente para producir la aceleración necesaria. Como se indicó, las bobinas del relé designadas por HC (bobina de retención) tienden a retener el relé en posición abierta siempre que las corrientes y f.m.ms. sean grandes. Tal relé de baja resistencia serie es también denominada relé de bloqueo serie y este tipo de arrancador es conocido a veces, como arrancador de bloqueo serie, de c.c.

ARRANCADOR DE ACELERACION LIMITADOR DE LA CORRIENTE, DE C.C., QUE UTILIZA RELES SERIE.

Los relés serie de acción rápida, bobinados con unas cuantas vueltas de hilo grueso o pletinas, pueden utilizarse directamente para sensibilizar la corriente irruptiva de inducido y, en conse

cuencia, aceleran el motor. Los fuertes muelles y los topes de entrehierro de estos relés pueden - - ajustarse mecánicamente para proporcionar maniobras rápidas de cierre así como rápidos disparos de los contactos figura 7, muestra un arrancador de relé serie de c.c., utilizado para poner en marcha un motor serie de c.c.

Cuando el arrancador de relés serie de la figura 7 está funcionando, 4 relés permanecen siempre excitados: el relé M y los tres relés de control 1A, 2A y 3A. Este es el mayor inconveniente de este arrancador. No obstante, el proyecto de su bobina presenta los mismos inconvenientes que los señalados anteriormente. La operación de los relés serie es unas 100 veces más rápida que la de los relés de control.

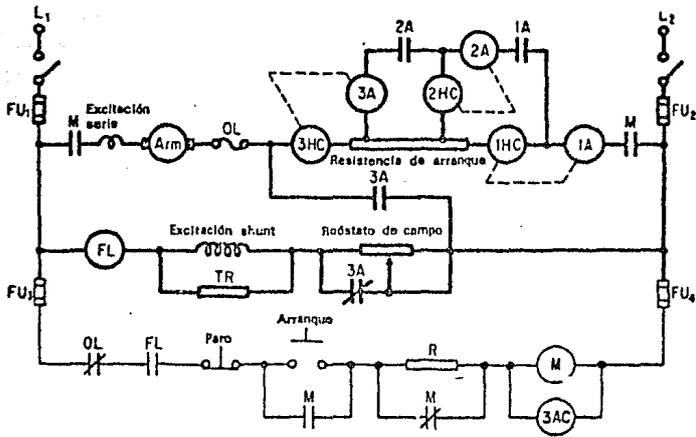


Figura 6
Arrancador de aceleración por limitación de corriente,
de cc., empleando relés de bobina de retención.

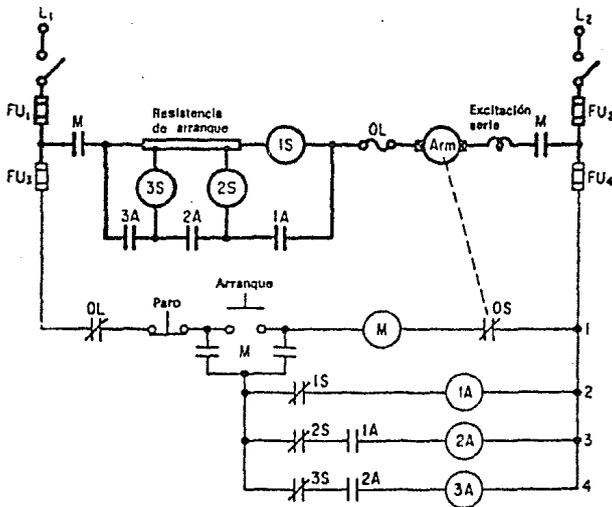


Figura 7
Arrancador de aceleración por limitación de corriente, de cc., empleando relés serie.

La figura 8 muestra un arrancador de bobina de retención, de c.c., que se emplea para poner en marcha un motor en serie. Este arrancador sensibiliza la corriente transitoria que circula por la resistencia de protección de arranque por medio de los relés de bobina de retención HC. Estos son relés diferenciales cuyas f.m.ms. están en oposición.

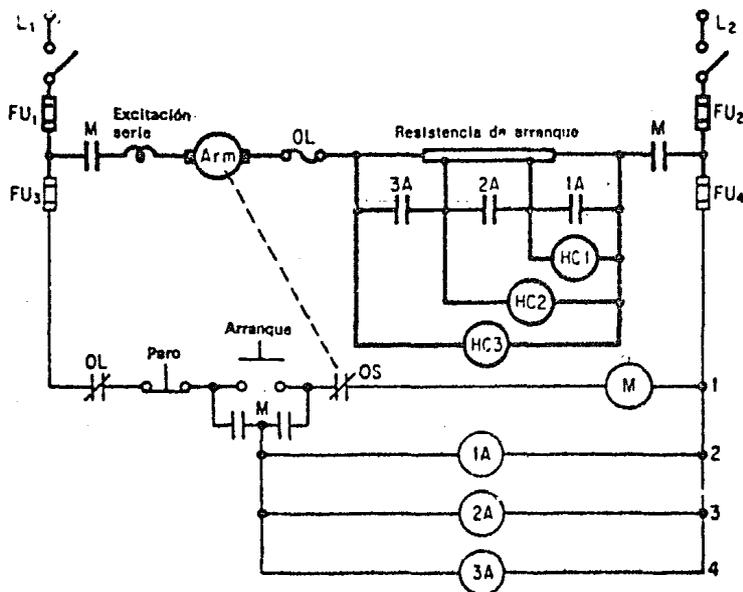


Figura 8
Aceleración por limitación de corriente empleando bobinas de retención (método de la caída de tensión).

El método por caída de tensión, además proporciona, por sí mismo, a los arrancadores de corriente elevada más facilidad que los dispositivos que utilizan relés serie, cuyas bobinas deben soportar la plena corriente de inducido y las transitorias.

Todos los arrancadores por limitación de la corriente en bucle cerrado, poseen la ventaja de acelerar el motor a su debido tiempo, es decir cuando la corriente irruptiva ha disminuido a un valor normal. En cargas muy fuertes con mucha inercia, empleará algo más de tiempo antes de que el motor puede acelerarse, y la corriente disminuirá lentamente en cada punto. A diferencia de los tipos de arrancador en bucle abierto, de tiempo definido, estos arrancadores son capaces de sensibilizar la carga y modificar su secuencia de tiempo para adecuar las condiciones de carga, utilizando la irrupción de la corriente de inducido como indicación de la carga.

CAPITULO IV

CONTROL MANUAL Y AUTOMATICO DE LA VELOCIDAD DE MOTORES, DE C.C.

En un motor de c.c., la velocidad la podemos variar por medio del camio de una de las variables de la ecuación fundamental de la velocidad.

$$S = K \frac{V_a - I_a R_a}{\omega}$$

Ahora describiremos 4 métodos para controlar la velocidad en los motores de c.c.

El primero es el de CONTROL DE CAMPO, el cual funciona de la siguiente manera:

Cuando aplicamos la tensión nominal al inducido del motor, y podemos variar el flujo de campo manual o automáticamente por medio de un reóstato colocado en serie o en paralelo con el devanado de excitación, entonces se le denomina método de control de velocidad por "control de campo".

En la Fig. W podemos observar que al poner en funcionamiento el motor la resistencia variable del inducido (en el punto a), actuará como corto circuito de tal modo que $V_a = V$, en este caso podemos controlar la velocidad por medio de la variación del reóstato de campo del punto a' (cuando la resistencia de campo no está incluida o sea a plena corriente de excitación) al punto b' (cuando está

puesta toda la resistencia de campo y la corriente de excitación es mínima).

Con este método la menor velocidad que se puede obtener es la "básica", o sea cuando la corriente de excitación y la tensión de inducido son plenas o máximas. De esto podemos afirmar que en este método solo podemos obtener velocidades mayores que la "básica".

Las ventajas de este método sobre otros son las siguientes:

- 1.- Tanto manual como automáticamente el control de campo es barato y fácil de lograr.
- 2.- Es eficaz en términos de eficiencia, del motor, porque las pérdidas del circuito de excitación suelen ser de 3 al 5% de la potencia que consume el motor totalmente.
- 3.- En cierto rango, el control de campo no afecta la regulación de velocidad de los diferentes motores.
- 4.- El control de velocidad generalmente es suave y continuo.

Los inconvenientes de este método son:

- 1.- No poder conseguir velocidades por debajo de la "básica".
- 2.- A elevadas velocidades, se crea una inestabi-

lidad debido a la reacción del inducido.

- 3.- Problemas de conmutación y a elevadas velocidades puede deteriorarse el conmutador.

El segundo método es el que se denomina "CONTROL DE LA RESISTENCIA DE INDUCIDO".

En la Fig. W se muestra este tipo de control el cual funciona como se menciona a continuación. El réostato de campo (resistencia de a' a b') es ajustado de tal manera que no varíe y solamente produzca la excitación normal (en la región de saturación), y entonces el control de la velocidad se hace por medio de la resistencia en serie con el inducido (a , b y c), porque la tensión en los bornes del inducido es reducida por esta resistencia. Debido a este podemos decir que en este método solo podremos originar velocidades por debajo de la "básica".

Las ventajas de este tipo de control son:

- 1.- Poder obtener velocidades por debajo de la "básica".
- 2.- Conexión fácil y simple.
- 3.- Es posible combinar la función de arranque con la función de control de la velocidad.

Las inconveniencias son:

- 1.- El costo elevado de las resistencias grandes,

adecuadas para funcionar continuamente, capaces de disipar grandes cantidades de energía.

- 2.- Para un ajuste determinado de velocidad de regulación es pobre.
- 3.- Rendimiento bajo, lo cual nos produce un costo elevado de funcionamiento.
- 4.- No poder tener un control continuo de la velocidad para grandes potencias.

El tercer método es el de "CONTROL DE LA RESISTENCIA DE INDUCIDO EN SERIE Y SHUNT".

En este método la resistencia R . tiene la misma forma de actuar que en el método anterior, y la resistencia R_{sh} actúan como desviador que tiende a reducir la corriente de inducido a medida que se reduce la resistencia R_{sh} . El efecto que en realidad tiene esta resistencia, es el de hacer el funcionamiento menos sensible a los cambios del par resistente de la carga y, por consecuencia, mejorar la regulación de la velocidad del motor en un grado más alto que si sólo se empleara el control de resistencia de inducido. La Fig. X nos muestra este método.

Las ventajas son las siguientes:

- 1.- Es mejor la regulación de la velocidad con respecto al método anterior.
- 2.- La posibilidad de emplear R_{sh} para el frenado

dinámico.

Los inconvenientes son:

- 1.- El par se reduce con el aumento de la desviación de la corriente de inducido.
- 2.- Las pérdidas en las resistencias R_s y R_{sh} producen bajo rendimiento.

El cuarto método es el de "CONTROL DE LA TENSIÓN DE INDUCIDO".

En los motores de potencia elevada, son de suma importancia, el rendimiento, el par, la buena regulación de la velocidad, y la suavidad en el control continuo de la velocidad. Todas estas consideraciones se pueden satisfacer por medio de una fuente de tensión de c.c. para dar al motor de c.c. la corriente y tensión de inducido que se necesitan. Con este método se puede eliminar la resistencia de arranque en serie con el inducido. Como se puede observar en la Fig. 2 el campo queda excitado permanentemente por una fuente independiente de corriente o tensión constantes.

Para motores de c.c. fraccionarios, la fuente variable de tensión de c.c. puede ser un amplificador de semiconductores, alimentado por una fuente de c.a. monofásica o trifásica.

Para motores de potencial nominal, hasta 100_

C.P., se emplean amplificadores rotativos como son el Rototrol, Regulex, o amplidinas pequeñas, también se pueden usar amplificadores estáticos, como los amplificadores magnéticos.

En los motores de c.c. por encima de los 100 C.P., se suele utilizar el control de amplidina o Ward-Leonard.

Las ventajas de utilizar el método de Ward-Leonard son:

- 1.- Un amplio rango de velocidades desde el reposo hasta altas velocidades en cualquier sentido.
- 2.- Inversión rápida e instantánea sin corrientes de inducido muy altas.
- 3.- Se puede arrancar sin necesidad de la resistencia en serie con el inducido.
- 4.- Poder tener un control desde el reposo hasta la velocidad máxima en cualquier sentido.
- 5.- Permite la adaptación de etapas amplificadoras mediante dispositivos electrónicos y magnéticos para cubrir mejor la necesidad en un motor extragrande.
- 6.- Tiene buena regulación de velocidad para cualquier velocidad.

A la larga el costo inicial elevado y el ren-

dimiento global, algo intermedio se compensa.

Para el frenado de motores existen varias formas que a continuación se explicarán:

En el frenado por inversión cuando un motor funciona en cierto sentido y se invierten las polaridades de la tensión alimentadora del inducido, la f.c.e.m. esta en fase con la tensión aplicada, entonces la tensión en los bornes del inducido es 2 veces la tensión que puede presentarse en el momento de arranque sin la resistencia de protección en serie con el inducido. Por esta razón es necesario colocar una resistencia adicional en serie con el inducido, además de la resistencia en serie con el mismo, para un adecuado frenado por inversión y también para limitar la corriente a un valor seguro.

En el frenado dinámico el inducido del motor de c.c. se "desconecta" o "desexcita" de la fuente de energía, con esto el motor empieza a funcionar como generador de excitación independiente, al cual para pararlo rápidamente se conecta en los bornes del inducido una carga eléctrica en forma de resistencia, con lo cual se disipa la energía de rotación como generador.

Una explicación más sencilla es que al desexcitar el inducido del motor, este tenderá a seguir

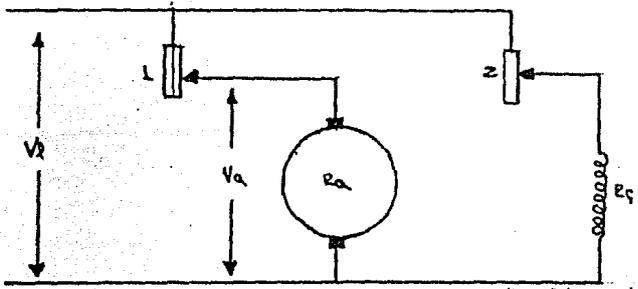
girando debido a su inercia, pero si se le coloca una carga, el motor podrá vencer más rápido, la inercia giratoria que tiene al desconectar el inducido. A este método le llamamos "frenado dinámico"

En el frenado regenerativo no es necesario desconectar el motor de la red; lo que se necesita es que la velocidad del motor y la excitación aumenten lo suficiente para que llegue un momento en que funcione como generador, y este, alimente la red, la cual viene haciendo las veces de carga para el generador, y por resultado se frena el motor.

El frenado mecánico es utilizado como un frenado auxiliar que se acciona eléctricamente, para que funcione a velocidades bajas y estar seguros que la carga se para rápidamente.

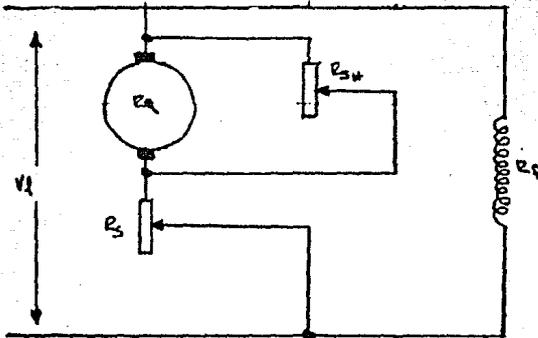
El freno electromagnético es el que más se usa, y no es otra cosa que un electroimán, que al excitarse ejerce una fuerza poderosa sobre un juego de zapatas, cintas o discos de freno, es similar al freno de los coches, el cual tiende a dejar libre un tambor o pararlo, que está colocado en el árbol del motor, para permitir o no el movimiento.

Fig. 11.



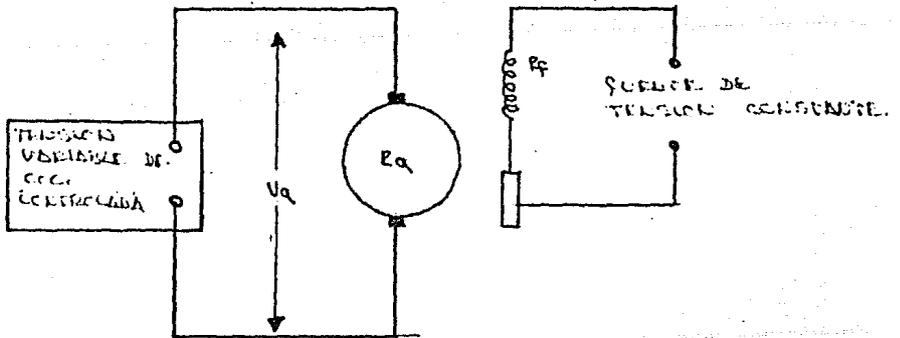
CONTROL POR RESISTENCIAS EN LA PRIMITIVA Y EN EL INDUCIDO

Fig. 10.



CONTROL DE LA RESISTENCIA DE INDUCIDO

Fig. 12.



CONTROL DE LA TENSION DE INDUCIDO

CAPITULO V

S E L E C C I O N

En la selección de motores siempre se hace la siguiente pregunta: "¿Cuál será el motor mejor que deba usarse"? la cual debe ser contestada y generalmente justificada. Las aplicaciones pueden ser variadas, de tal manera que en cada caso debe determinarse las respuestas a la pregunta tales como las siguientes:

- 1.- Condiciones del medio ambiente.
- 2.- Carga, requerimientos de velocidad-par-tiempo
- 3.- Inercia de la carga, o inercias.
- 4.- Efectos del calentamiento en el motor.
- 5.- Tipos de equipo auxiliar.

La naturaleza de la carga y frecuencia de las sobrecargas es una consideración del peso; asimismo, el tipo de montaje, si es horizontal o vertical y si esta montado en el suelo, en el techo o en la pared, el tipo de control de velocidad a emplear, el método de acoplamiento a la carga y la frecuencia con que se para, se pone en marcha y se invierte, son factores que determinan el tipo de motor a escoger y la potencia nominal.

Pero el factor más importante es el de ciclo de servicio. La NEMA estableció 4 tipos distintos de ciclo de servicio.

1.- Servicio continuo:

Requiere el empleo de la máquina funcionando a carga cte. durante períodos de tiempo razonablemente largos.

2.- Servicio periódico:

La carga se presenta regularmente a intervalos periódicos dentro de un período de tiempo largo.

3.- Servicio intermitente:

La carga se presenta irregularmente incluyendo períodos muy largos de paro en el que no hay carga.

4.- Servicio variable:

Esta sujeto a variaciones, sin paro, dentro de un período de tiempo razonablemente largo sin ninguna regularidad.

Por lo general para todas las máquinas, la capacidad elegida debe ser tal que la máquina funcione entre $3/4$ de la carga hasta plena carga la mayor parte del tiempo. Porque si una máquina es mayor de lo necesario tendrá un rendimiento en marcha pequeño y un coste de funcionamiento elevado.

Así como una máquina que sea muy pequeña tendrá una eficiencia en funcionamiento inferior y está sujeta a un sobrecalentamiento, vida más corta

y mayor costo de mantenimiento y reparación.

A continuación se dan varias tablas, con las cuales se puede seleccionar la máquina de acuerdo al uso que se le va a dar, o las condiciones que se requieren.

SELECCION

Clasificación de motores por su velocidad.

Cada máquina eléctrica posee una cierta velocidad característica por medio de la cual puede ser clasificada en uno de varios grupos.

Clasificación en base a la velocidad por la NEMA;

1.- Máquina a velocidad constante: La velocidad es constante de vacío a plena carga.

Máquina de velocidad ajustable: La velocidad puede variar en un considerable rango, al ajustarse, es indiferente a la carga constante.

3.- Máquina de velocidad variable: Puede ser operado a distintas velocidades, al ajustarse, no varía con el cambio de carga. Difiere al motor de velocidad ajustable en que puede ser operado en velocidades definidas sin ajuste gradual de velocidad entre las velocidades definidas.

4.- Máquina velocidad variable: La velocidad varía con la carga generalmente disminuye cuando la car-

ga aumenta.

5.- Máquina con velocidad variable ajustable: La velocidad puede ser variada en un rango considerable, pero en el cual la velocidad se ajusta para una carga determinada, variará considerablemente con cambio en la carga.

CLASIFICACION PARA EL USO DE MOTORES

Motores para propósitos generales.

Son los motores diseñados para uso general, sin restricciones para un uso en particular.

Motor para propósitos definidos.

Diseñado para usarlo bajo características de operación determinadas.

Motor para uso especial.

Para operar con características especiales o construcción especial o ambas.

Motores con transmisión.

Son motores equipados con un engrane reductor integrado.

Con cargas de los mismos H.P. y proporción de la velocidad requiera engranes de diferentes tamaños dependiendo del tipo de carga.

Para su selección AGMA ha definido tres clases de servicio, de acuerdo a la situación en la cual estas variables se presentan.

Las clases de servicio son:

Clase I.- Cargas fijas sin exceder la proporción normal de el motor en servicio 8 horas diarias.

Clase II.- Cargas fijas sin exceder la proporción normal de servicio del motor en 24 horas diarias.

Clase III.- Cambio de cargas moderadas en servicio en 24 horas diarias.

FACTORES A CONSIDERAR PARA LA SELECCION DE MOTORES

1.- Fuente de potencia.

a.- El tipo de potencia suministrada, A.C. o D.C.- y frecuencia.

En algunos casos especiales la necesidad de un amplio rango de velocidad, varias máquinas de velocidad ajustable, o una fuerte aceleración o inversión del trabajo mecánico puede justificar la conversión de A.C. a D.C.

b.- Las condiciones del voltaje y la frecuencia deben de ser conocidas, para poder seleccionar el motor y su control apropiado.

LIMITES DE H.P.

VOLT	MIN. H.P.	MAX. H.P.
	D. C.	
115	ninguno	30
230	ninguno	200
550 - 600	1/2	ninguno

c.- Los efectos de motores y su control en los sistemas de potencia suministrada.

Con cargas fluctuantes, verificar que no excedan los siguientes límites;

1.- La frecuencia de corriente en un rango de 250 a 600 pulsaciones por minuto pueden causar destellos de la iluminación.

2.- El límite usual para la pulsación de corriente es 66% de la corriente del motor con la carga total.

Aunque en algunos casos el sistema de regulación puede requerir un límite de 30 ó 40% para evitar el destallar de la iluminación.

d.- Efectos de la variación de potencia.

Cuando se requiere ajuste en la velocidad, la carga junto con la variación de potencia será considerada en la selección del tipo de motor y haciendo la selección de un control mecánico de la

velocidad o un motor de velocidad ajustable.

La variación de potencia se basa generalmente en la máxima demanda del consumidor.

2.- Transmisión del motor.

a.- Demanda de velocidad.

La velocidad que se necesita, número de velocidades y el rango de velocidad que se necesita son factores que deben de ser considerados en la selección del motor.

b.- Potencia y par.

Son necesarios conocerlos para determinar la variación apropiada del motor, tipo de motor y su control.

3.- Condiciones del medio ambiente.

a.- Temperatura.

Esta en función al diseño de construcción para su enfriamiento.

Se clasifican en abiertos y cerrados.

1.- Abiertos.

Propósitos generales.- La ventilación al aire libre permite el paso de aire por todo el motor permitiendo así su enfriamiento.

2.- Totalmente cerrados.- Estas máquinas pueden ser enfriadas por los siguientes métodos: Con ven-

tilador, agua, aire y agua y aire.

Clases de aislamientos.

Clase A.- Comprende a los materiales o combinaciones de materiales como algodón, seda y papel cuando son recubiertos apropiadamente o cuando son sumergidos en un líquido dieléctrico como el aceite, son utilizados para trabajar a una temperatura de 105°C.

Clase B.- Mica, fibra de vidrio, asbestos materiales para trabajar a una temperatura de 130°C.

Clase F.- Mismos materiales que la clase B, pero probados para trabajar hasta una temperatura de 155°C.

Clase H.- Silicón, mica, fibra de vidrio, asbesto, etc., probados para trabajar a una temperatura de 180°C.

SELECCION DEL TIPO DE MOTOR

CARGA REQUERIDA		MOTOR APROPIADO		
Velocidad	Arranque	C.D.	Polifásico C. A.	Fase sensible C. A.
Todas las clases de carga que requieran velocidad constante sin control de velocidad	Muy ligero arranque	Derivación, velocidad constante.	1.- Par normal arranque con corriente normal, jaula de ardilla. 2.-Par normal, arranque con poca corriente jaula de ardilla. 3.- Bajo par, arranque a baja corriente, jaula de ardilla. 4.-Síncrono, propósito general, alta velocidad. 5.-Síncrono, uso especial, alta velocidad bajo par. 6.-Síncrono, baja velocidad motor compresor, y tiempos especiales para servicio convencional.	1.-Devanado 2.-Arranque a condensador.
	Arranque ligero.	Derivación - velocidad constante.	1.-Par normal corriente de arranque normal, jaula de ardilla. 2.-Par normal arranque a baja corriente, jaula de ardilla. 3.- Síncrono, uso general, alta velocidad 4.-Síncrono, baja velocidad uso especial. 5.-Síncrono, baja velocidad uso especial.	1.-Devanado. 2.-Arranque a condensador.

Arranque medio	Derivación, velocidad - constante.	<p>1.- Par normal arranque a baja corriente, - jaula de ardilla hasta 30 H.P.</p> <p>2.-Alto par, - arranque a baja corriente, - jaula de ardilla.</p> <p>3.- Sincrono, - uso general, - alta velocidad</p> <p>4.- Sincrono, - uso especial, - alto par y velocidad.</p> <p>5.-Sincrono, - baja velocidad uso especial.</p>	<p>1.- Repulsión e inducción.</p> <p>2.- Arranque de repulsión y marcha de inducción.</p> <p>3.-Alto par o arranque de condensador, - marcha de inducción.</p>
Arranque Arranque elevado	Derivación, velocidad - constante.	<p>1.- Alto par, - arranque a baja corriente, - jaula de ardilla.</p> <p>2.- Arranque - automático de inducción.</p> <p>3.- Rotor devanado de inducción con resistencia en el rotor durante el arranque.</p> <p>4.-Sincrono, - uso general, - alta velocidad y alto par.</p> <p>5.- Sincrono, - baja velocidad uso especial.</p>	<p>1.-Repulsión e inducción.</p> <p>2.- Arranque - a repulsión, - marcha a inducción.</p> <p>3.-Alto par o arranque a condensador, marcha a inducción.</p>
Muy alto par de arranque, requiere un par de arranque superior al 200% del par a plena carga.	Compuesto, - con el campo serie se parándose después de arrancar.	Rotor devanado con resisten-- cia en el ro-- tor al arran-- que.	<p>1.-Repulsión e inducción.</p> <p>2.- Arranque a repulsión, marcha a inducción.</p> <p>3.-Alto par - con capacitor.</p>

Para todas las cargas que requiere velocidad ajustable sin mucho cambio de la velocidad de vacío a plena carga.	Bajo arranque	Derivación, velocidad - ajustable - para cualquier potencia o par.	1.-Velocidad múltiple, - jaula de ardilla para cualquier potencia y par constante.	Condensador de velocidad múltiple.
	Arranque medio	Derivación, velocidad - ajustable - para potencia y par constante.	1.-Haula de ardilla de velocidad múltiple si es permisible para arrancar directamente a través de la línea para cualquier potencia y par constante. 2.-Alto par, velocidad múltiple, jaula de ardilla. 3.-Conmutador escobillas deslizantes para motor de inducción para par constante.	
	Elevado arranque.	Derivación, velocidad - ajustable - para cualquier potencia y par constante.	1.-Alto par, velocidad múltiple, inducción a jaula de ardilla para cualquier potencia y par constante. 2.-Conmutador escobillas deslizables de motor, de inducción para par constante.	

Elevado arranque que el cual requiere un par superior al 200% del par a plena carga.	Compuesto con el campo serie eliminándose después de arrancar.	Conmutador, - escobillas - deslizables - tipo inducción con resistencia en el secundario durante el período de arranque.	
Cargas intermitentes donde es deseable tener poca variación en las características de velocidad para prevenir exceso de sobrecarga en el motor.	Ligero o elevado sin frentes donde se desea tener poca variación en la duración.	Compuesto, 20% serie, 80% derivación.	Rotor de alta resistencia, rotor de inducción jaula de ardilla.
	Arranque elevado o arranque con frentes intervalos o períodos de arranque largo.	Compuesto, 20% serie, 80% derivación.	1.- Rotor devanado inductivo con alguna resistencia en el circuito del rotor. 2.-Alta resistencia en el rotor.
Velocidad variante para cualquier servicio donde es deseable tener disminución de velocidad con aumento de carga, siendo necesario un par elevado por cortos períodos y con algún control de velocidad.	Cualquier tipo de arranque.	1.-Compuesto, 50% serie, 50% derivación 2.-Si el motor serie está siempre bajo control del operador.	Rotor devanado 1.- Serie. 2.-Repulsión tipo escobillas deslizantes. 3.-Repulsión.

APLICACIONES REPRESENTATIVAS DE MOTORES C.D.

<u>DERIVACION</u>	<u>COMPUESTO</u>	<u>SERIE</u>
Agitadores	Empacadoras.	Puentes.
Copladores	Enrolladoras	Grúas
Transportadores.	Bulldozers.	Vagones
Ventiladores	Extracción.	Montacargas.
Impresoras.	De metal.	Dobladoras hidráulicas
Bombas	Troqueladoras	Tractores.
Mezcladoras	Cizallas.	
Máquinas para madera.		
Máquinas herramientas.		

APLICACIONES DE LOS MOTORES DE INDUCCION JAULA DE ARDILLA

Par normal, Arranque a corriente normal.	Par elevado - arranque a co rriente baja.	Par bajo, - Arranque a baja co- rriente.	Rotor alta resistencia.
Sopladores	Agitadores.	Sopladores.	Empacadoras.
Talladores.	Hornos.	Bombas.	Bulldozers.
Bombas.	Máquinas dulces.	centrifugas.	Transportadores
Máquinas madereras.	Transportadores	Ventiladores. metal.	
Máquinas herramientas.	Trituradoras.	Motogenerador.	Troqueladoras.
	Enlatadoras.		Cizallas.
	Elevadores		Elevadores.
	Mezcladoras.		Grúas
	Refrigeradores.		Montacargas.

APLICACION DE MOTORES ELECTRICOS.

APLICACION	TIPO DE CARGA
Agitadores:	
Líquidos puros	Uniforme
Líquidos y sólidos	Intermitente
Líquidos de densidad variable	Intermitente
Sopladores:	
Centrífugo	Uniforme
Lóbulo	Intermitente
Hélice	Uniforme
Destilación:	
Embotelladora	Uniforme
Marmita	Uniforme
Trituradora	Uniforme
Envasadora de lata	Uniforme
Cortadoras de caña	Intermitente
Grúas	Variable
Purificadores	Uniforme
Maquinaria para trabajar arcilla:	
Prensa para ladrillo	Variable
Trituradoras	Intermitente
Compresores:	
Centrífugos	Uniforme
Lóbulo	Intermitente

Reciprocantes :

Varios cilindros	Intermitente
Un cilindro	Variable

Transportadores.- Carga y alimentación uniforme :

Compuerta	Uniforme.
Montados	Uniforme
Banda	Uniforme
Cucharón	Uniforme
Cadena	Uniforme
Escalera	Uniforme
Tornillo	Uniforme

Transportadores.- Servicio pesado y con alimentación Variable.

Compuerta	Intermitente
Montados	Intermitente
Bandas	Intermitente
Cucharón	Intermitente
Cadena	Intermitente
Escalera	Intermitente

Enrolladoras :

Horno	Intermitente
Reciprocantes	Variable
Tornillo	Intermitente

Grúas y montacargas :

Servicio pesado	Variable
-----------------	----------

Servicio medio	Intermitente
Trituradoras:	
Minerales	Variable
Piedra	Variable
Dragas:	
Carretas de cable	Intermitente
Transportador	Intermitente
Malacates	Intermitente
Bombas	Intermitente
Bandas de tambor	Variable
Elevadores:	
Cubo - carga uniforme	Uniforme
Cubo - carga pesada	Intermitente
Cubo - carga continua	Uniforme
Descarga centrífuga	Uniforme
Escalera mecánica	Uniforme
Carga	Variable
Descarga por gravedad	Uniforme
Ventiladores:	
Centrífugo	Uniforme
Enfriadores de torre:	
Tiro inducido	Variable
Para minas	Intermitente
Uso industrial	Uniforme

Alimentadores:

Compuerta	Variable
Banda	Variable
Discoq	Uniforme
Reciprocante	Variable
Tornillo	Intermitente

Industria alimenticia:

Rebanadora de remolacha	Intermitente
Mezcladora de pasta	Intermitente
Molino de carne	Intermitente
Lavadoras	Intermitente
Lavadora de vasos	Intermitente

Máquinas herramientas:

Torno	Uniforme
Cepillo	Variable
Fresa	Variable

Metalurgia:

Carro de arrastre	Variable
Máquinas de moldeo	Variable
Cortadores	Intermitente
Máquina de aplanado y arrastre de alambre.	Intermitente
Máquina de enrollado	Intermitente

Molinos tipo rotatorio:

Cemento	Intermitente
Secadores y enfriadores	Intermitente
Piedra	Intermitente

Mezcladores:

Concreto	Intermitente
Densidad constante	Uniforme
Densidad variable	Intermitente

Industria del aceite:

Enfriadores	Intermitente
Bomba de aceite	Uniforme
Filtro parafina	Intermitente

Industria papelera:

Agitadores	Intermitente
Descortezadora hidráulica	Intermitente
Descortezadora mecánica	Variable
Batidora de pulpa	Intermitente
Blanqueadora	Uniforme
Prensas	Intermitente
Transportadores	Uniforme
Extendedora	Intermitente

Cortadoras:

Cilindros	Intermitente
Secadoras	Intermitente
Prensa	Uniforme

Lavadora	Uniforme
Ventiladores	Uniforme
Impresoras	Uniforme
Bombas:	
Centrífuga	Uniforme
Reciprocante:	
Tres o más cilindros	Intermitente
Doble acción, 2 ó más cil.	Intermitente
Rotatorias:	
Engrene	Uniforme
Lóbulo, hélice	Uniforme
Industria del caucho:	
Mezclador	Variable
Prensa para caucho	Intermitente
Cámaras	Intermitente
Equipo para distribución de aguas:	
Alimentadores químicos	Uniforme
Colectores	Uniforme
Colectores de 1 drenaje	Uniforme
Rompedores de espuma	Intermitente
Mezcladores lentos y rápidos	Intermitente
Colectores para lodo	Uniforme
Filtros de vacío	Intermitente

Cribas:

Filtro de aire	Uniforme
Rotatoria - piedra o grava	Intermitente
Surtidor	Uniforme

Industria Textil:

Tejedoras	Intermitente
Patinadoras	Intermitentes
Cardas	Intermitente
Máquinas de acabado	Intermitente
Secadora	Intermitente
Telar	Intermitente
Hilado	Intermitente

Uniforme = Carga ligera

Intermitente = Carga moderada.

Variable = Carga pesada.

aplicada fuerte, la frecuencia rotórica será mayor para períodos más largos y el motor no se acelerará tan rápidamente.

ARRANCADORES AUTOMATICOS PARA MOTORES SINCRONOS.

Puesto que el estator de un motor síncrono es el mismo que el de un motor de inducción, el motor síncrono polifásico puede ser puesto en marcha como un motor de inducción con sus devanados amortiguadores mediante uno de los métodos de arranque automático por primario de un motor de inducción de c.a.

En todos estos métodos de arranque por el estator, no obstante, es costumbre cortocircuitar la excitación de c.a. durante el período de arranque hasta que el rotor esté cerca de la velocidad de sincronismo. A esta velocidad el circuito de excitación puede abrirse automáticamente mediante un relé de control de la frecuencia y la tensión continua puede aplicarse a la excitación para permitir que lo lleve al sincronismo como motor síncrono. El circuito de arranque estatórico del primario se ha simplificado, para destacarlo y mostrar el arrancador a plena tensión. El arrancador de un motor síncrono se muestra en la figura 9.

CARACTERISTICAS DE MAQUINAS ELECTRICAS

Nomenclatura.

- R.- Tipo de motor.
 - S.- Rango H.P.
 - T.- Característica de velocidad %.
 - V.- Control de velocidad %.
 - W.- Corriente de arranque %.
 - X.- Par de arranque %.
 - Y.- Par máximo de funcionamiento momentánea %.
 - Z.- Aplicaciones típicas.
-
- R1.- Corriente directa, derivación, velocidad cons
tante.
 - S.- Hasta 200.
 - T.- Constante no más del 10% de vacío a plena car-
ga.
 - V.- 25% arriba de la normal con control de campo,-
la velocidad puede ser reducida abajo de la -
normal por control en la armadura pero la velo
cidad tiene una gran variación con carga.
 - W.- Muy alta, normalmente del 150% de la carga to-
tal con una resistencia de arranque en serie.
 - X.- Máximo a voltaje total, 250 a 300 con arranque
normal.
 - Y.- Limitado por conmutación a 200.
 - Z.- Constante - o ligeramente ajustable - veloci--
dad de servicio o pares de arranque medios.

- R2.- Corriente directa, en derivación, velocidad - ajustable.
- S.- Hasta 200.
- T.- No más del 15% de la velocidad de vacío a plena carga.
- V.- Relación de velocidad de 4:1 para todas las cargas por control de campo. La velocidad puede ser reducida con un control de armadura pero variará grandemente con carga.
- W.- Igual R1.
- X.- Igual R1.
- Y.- Igual R1.
- Z.- Como el anterior, para aplicaciones que precisen control de velocidad, o par constante o potencia constante.
- R3.- Corriente directa, compuesto, 20% serie, 80% derivación.
- S.- Hasta 200.
- T.- Ligera variación de velocidad, 25% de vacío a plena carga.
- V.- Igual R1.
- W.- Igual R1.
- X.- Es máximo con voltaje total; 300 a 350; cuando arranca en forma normal, promedio 170.
- Y.- Limitado a 300 por conmutación.
- Z.- Par de arranque elevado o cargas intermitentes o combinación de ambos.

- R4.- Corriente directa, compuesto, 50% serie, 50% derivación.
- S.- De 3 a 200.
- T.- Variante.
- V.- Igual R1.
- W.- Igual R1.
- X.- Máximo a voltaje total, 400; cuando arranca con control normal, promedio 200.
- Y.- Limitado por conmutación a 350.
- Z.- Par de arranque elevado o gran velocidad con cargas pesadas por cortos períodos alternado con cargas ligeras, velocidad ajustable.
- R5.- Corriente directa, serie.
- S.- De 3 a 200.
- T.- Variante.
- V.- Igual R1.
- W.- Igual R1.
- X.- Hasta 450.
- Y.- Limitado por conmutación hasta 400.
- Z.- Par de arranque elevado, servicio de velocidad variable ajustable.
- R6.- Polifásico, jaula de ardilla, par normal.
- S.- 1/10 a 400.
- T.- De 3 a 5 %.
- V.- Ninguno.
- W.- 500 a 1000.
- X.- De 105 a 150 %.

- Y.- 200 a 250.
- Z.- Servicio de velocidad constante sin control de velocidad.
- R7.- Polifásico, jaula de ardilla, par normal, arranque a baja corriente.
- S.- 7 1/2 a 200.
- T.- Igual R6.
- V.- Ninguno.
- W.- 500 a 550.
- X.- Igual R6.
- Y.- De 200 a 225.
- Z.- Velocidad constante, puede sustituir al R6 cuando al usarlo eliminara la utilización del arranque a voltaje reducido.
- R8.- Polifásico, jaula de ardilla, alto par, arranque a baja corriente.
- S.- 1 1/2 a 150.
- T.- Igual que R6.
- V.- Ninguno.
- W.- Igual R7.
- X.- 220 a 275.
- Y.- 200 a 250
- Z.- Velocidad constante, gran par de arranque con pocos intervalos y sí los períodos de arranque no son de mucha duración.

R9.- Polifásico, jaula de ardilla, bajo par, arranque a baja corriente.

S.- 40 a 100.

T.- Igual que R6.

V.- Ninguno.

W.- 350 a 550.

X.- 50 a 100.

Y.- 125 a 175.

Z.- Velocidad constante y arranque ligero.

R10.- Polifásico, jaula de ardilla, alta resistencia del rotor, deslizamiento medio.

S.- 1/2 a 150.

T.- 7 a 12.

V.- Ninguno.

W.- 400 a 800

X.- 300 a 400.

Y.- 300 a 400.

Z.- Gran par de arranque, para cargas intermitentes en menos de 25 veces por minuto.

R11.- Polifásico, jaula de ardilla, alta resistencia en el rotor, alto deslizamiento.

S.- 1 a 50.

T.- 12 a 17.

V.- Ninguno.

W.- 300 a 500.

X.- 225 a 250.

Y.- 225 a 400.

Z.- Gran par de arranque, cargas intermitentes de poca duración a gran duración donde las variantes de velocidad son satisfactorias.

R12.- Polifásico, jaula de ardilla, velocidad múltiple.

S.- 1/2 a 125.

T.- 5 de vacío a carga total en la más alta velocidad y 25 en la más baja velocidad.

V.- Controlada por el número de polos del estator.

W, X, Y.- Igual R6, R7, R8, R9.

z.- Par de arranque constante, potencia (caballaje, etc.).

R13.- Polifásico, jaula de ardilla, arranque automático.

S.- 1/2 a 75.

T.- 4 a 6.

V.- Ninguno.

W.- 350 a 375.

X.- 225 a 250

Y.- 200 a 250.

Z.- Velocidad constante, alto par de arranque sin intervalos y si los períodos de arranque no son grandes.

R14.- Polifásico, rotor devanado.

S.- 1/2 a 1000.

T.- 4 a 6.

V.- La velocidad puede ser reducida al 50% abajo de la normal a carga total por resistencia en el circuito del rotor.

W.- 250 a 300.

X.- 200 a 275.

Y.- 220 a 275.

Z.- Velocidad constante, diferentes tipos de servicios requieren diferentes resistencias (valores).

R15.- Polifásico, con conmutador, escobillas deslizables.

S.- 5 a 50.

T.- 5 a 25.

V.- 3:1 por corrimiento de descobillas.

W.- 125 a 175.

X.- 140 a 250

Y.- 140 a 250 a baja velocidad; 300 a 400 a alta velocidad.

Z.- Velocidad ajustable, par constante.

R16.- Sincrono, propositos generales, alta velocidad, factor de potencia unitario.

S.- 20 a 5000.

T.- Constante.

V.- Ninguno.

- W.- 400 a 800.
- X.- 100 a 125 para voltaje total para 500 H.P. en adelante; 80 a 100 abajo de 500 H.P.
- Y.- 150 a 175.
- Z.- Velocidad constante, para carga constante; para corrección del factor de potencia.

MANTENIMIENTO A MAQUINAS ELECTRICAS

Falla: Chispas en las escobillas.

Localizadas en: ESCOBILLAS.

Causa: No colocadas diametralmente opuestas.

Solución:

A.- Colocarlas apropiadamente.

B.- Puede ser hecho sí es necesario, mientras gira. Mover las escobillas hasta un lugar que no chisporrotee y ajustarlas.

No colocadas en puntos neutrales.

Moverlas hacia atrás y adelante hasta que cesen las chispas.

Desajustadas.

A.- Las escobillas deben de ser ajustadas correctamente antes de arrancar, si hay dos o más escobillas cualquiera puede ser removida y reajustada.

B.- Limpiar con alcohol o éter, pulir y colocar nuevamente.

Desalineadas.

Ajustar cada escobilla hasta que asiente y cuadre con el conmutador, ajustar igualmente en toda su extensión.

Falso contacto.

A.- Limpiar el conmutador de aceite y suciedad.

Ver que las escobillas hagan contacto.

B.- Ajustar la tensión de tornillos y resortes - para asegurar un contacto uniforme.

Localizadas en el conmutador.

Asperezas: gastado en canales o ranuras; imperfecto.

A.- Lijar con lija fina sobre un bloque curvo, y pulir con algodón. Nunca usar esmeril.

B.- Si es demasiado grande para lijar, utilizar - una lima.

Alta oposición.

Coloque hacia abajo la parte de oposición, - ajustar las tuercas fuertemente, o limar, lijar. - Una fuerte oposición puede causar ruidos.

Baja oposición.

Lijar o girar el conmutador hacia la superfi- cie de baja oposición.

Débil campo magnético.

A.-Circuito abierto		Reparar si es ex-
B.-Corto circuito	en bobinas	terno.
	de campo	Embobinar si es -
		interno.

Localizadas en la armadura.

Bobinas en corto circuito.

A.- Remover el polvo de cobre, soldadura u otros_

contactos metálicos entre las barras del conmutador.

B.- Ver que el ajuste de los anillos esté perfectamente libre, y el aislamiento de las barras del conmutador; sin polvo de cobre, aceite carbonizado, etc., para causar una fuga eléctrica.

C.- Hacer la prueba de corto circuito, y si es positiva embobinar la armadura.

D.- Ver que los porta escobillas están perfectamente aislados, sin polvo de cobre, de carbón, aceite o polvo, para que pueda causar una fuga eléctrica. (Ver 1, 2, 60).

FALLAS DE ARMADURA.

Circuito de bobinas abierto.

A.- Puentear la abertura temporalmente por las vibraciones de las escobillas hasta que la máquina pueda ser detenida y entonces reparar.

B.- Bajar la máquina si es posible, y reparar las partes móviles o la apertura del circuito de las barras del conmutador.

C.- Si la apertura de la bobina es interna, embobinar es el único remedio. Puede ser temporalmente reparado al conectarla a la siguiente bobina, a través de la mica.

D.- Soldar las jaladeras del conmutador juntas, o poner un saltador de corriente, y dejar la bobina abierta. (Ver 11).

Conexiones cruzadas.

Las conexiones cruzadas pueden tener efectos parecidos a un corto circuito, tratarlo como tal.

Excesiva corriente en la armadura.

Generador.

Carga excesiva.

A.- Reducir el número de lámparas y carga.

A tierra y pérdidas de corto circuito en la línea.

B.- Probar, localizar y reparar.

Línea muerta.

C.- Cuando no existe corriente en un circuito es probable que haya sido alcanzado el fusible por el corto circuito, quitar la corriente, localizar la falla, reparar antes de trabajar el generador y colocar un fusible nuevo.

Motor.

Excesivo voltaje.

D.- Utilizar la corriente apropiada así como el reostato, control y switch.

Excesiva corriente en un circuito de corriente - - constante.

E.- Verificar que el control son los adecuados y - con amplia resistencia.

Fricción.

Verificar que no hay fricción inadecuada o resistencia mecánica alguna.

Demasiada carga en la polea.

G.- Reducir la carga en el motor a su capacidad - real o menos.

Falla: Calentamiento de partes.

Armadura.

Sobre cargado.

Sobrecarga, demasiados amperes, o demasiada potencia siendo tomada de la máquina.

Corto circuito.

Cortocircuitado, generalmente sucio en las barras del conmutador.

Circuito abierto.

Circuito abierto generalmente causado por la rotura de bandas.

Corriente de Eddy en el núcleo.

El acero de la armadura más caliente que las bobinas después de girar. Construcción defectuosa.

Fricción.

Bujes calientes o espigas pueden afectar la armadura.

Bobinas de campo.

Excesiva corriente (Derivación).

A.- Disminución de voltaje en las terminales al reducir la velocidad. Aumentar la resistencia de campo al enrollar más alambre, o más fino alambre o colocando resistencias en serie con los campos.

(Serie)

B.- Disminuir la corriente a través del campo por derivación, remover alguno de los embobinados de campo o embobinar con alambre tosco (grueso).

Corriente de Eddy.

Piezas polares más calientes que las bobinas después de un corto tiempo de trabajo, propio de una construcción defectuosa, o corriente fluctuante.

Humedad en bobinas.

Las bobinas muestran menos de la resistencia normal, puede causar un corto circuito o contacto del cuerpo con el acero de la dinamo.

Cojinetes.Insuficiente y pobre engrase.

Verificar abundancia de grasa, filtros lim- -
pios y sin polvo.

B.- El cilindro de engrase o de vaselina puede ser
usado si es necesario con mezcla de sulfuro o plo-
mo, hidrato de potasio.

Suciedad y arena en los cojinetes.

A.- Lavar para quitar el polvo con aceite mientras
gira, después limpiar.

B.- Remover las cubiertas, limpiar y pulir las es-
pigas y cojinetes perfectamente, luego colocar.

C.- Cuando se saquen, si están calientes, remueva_
los cojinetes y déjeles enfriar, limpiar, raspe y_
pula y ensamble.

Espigas demasiado estrechas en los cojinetes. (Fle-
cha torcida.

Aflojar tornillos, colocarlos en línea y rea-
pretar hasta que se detenga, entonces rascar, res-
mar, como sea necesario o doblar o meterla al tor-
no o pulirla.

Presión final de la maza de la polea o collares de
la flecha.

A.- Ver que la base esté a nivel y la armadura ten_

ga libertad de movimiento.

B.- Lijar o limar para eliminar la posible rebaba.

Banda ajustada.

A.- Reducir la carga para que la banda sea aflojada y no se deslice. Evitar la colocación de bandas en posición vertical.

B.- Escoger una polea más grande y una banda más ancha y larga.

La vibración y golpeteo de las bandas ocasiona que las lámparas tengan destellos.

Armadura fuera del centro polar.

A.- Los baleros pueden estar gastados y necesitan cambiarse, lo cual origina un deslizamiento de la armadura.

B.- Centrar la armadura dentro del centro polar y ajustar los baleros nuevamente.

C.- Limar para dar espacio igual al de giro.

Armadura o polea fuera de balance.

Mala construcción, la armadura y la polea tendrán que ser balanceadas.

Golpeteo de la armadura o roce con las piezas polares.

A.- Torcida o apretada, revisar.

B.- Limar donde la armadura pega.

Collares o rebaba en la flecha o roce con la caja.

Los baleros pueden estar flojos o gastados. - Probablemente baleros nuevos sean necesarios.

Tornillos flojos.

Apretar todos los tornillos flojos y examinar diariamente.

Zumbido en las escobillas.

Aplicar vaselina, o grasa al conmutador.

B.- Mover las escobillas, hasta tener un contacto firme y libre de silbidos.

Sacudidas de banda.

Use una banda sin fin si es posible y ajustar.

Deslizamiento debido a la sobrecarga.

Ajustar la banda o reducir la carga.

Zumbidos en las sujeciones de la armadura.

Disminuir el campo magnético.

VELOCIDAD

Falla del motor al regularlo con variación de carga.

Ajustar el gobernador del motor para regularlo adecuadamente, de vacío a plena carga, o conseguir un motor mejor.

Motor serie, demasiada corriente y velocidad de desboque.

A.- Motor serie con corriente constante: 1.- Colocar en derivación y regularlo a la corriente apropiada; 2.- Usar un regulador apropiado para controlar el campo magnético para carga variable.

B.- Motor serie con potencia constante: 1.- Insertar una resistencia y reducir corriente; 2.- Usar un regulador apropiado o apagador; 3.- Cambiar a un motor de regulación de velocidad automático.

Motor shunt.

Reostato de campo no adecuado, corriente inapropiada, motor inadecuado.

A.- Ajustar el reostato de campo al control del motor.

B.- Usar corriente con el voltaje apropiado y un reostato apropiado.

C.- Conseguir un motor adecuado al tipo de trabajo que se quiere desarrollar.

Velocidad lenta.

45.- Falla del motor al regularlo.

46.- Sobrecarga.

47.- Corto circuito en la armadura.

48.- Golpeteo o roce de la armadura.

49.- Fricción.

50.- Débil campo magnético.

45 igual 42; 46 igual 14 A; 47 igual 11; 48 igual 35; 49 igual 3 B, 50 igual 10.

Motor

Fallas al arranque y paro.

Sobrecarga (ver 14 F y G).

Excesiva fricción (ver 25, 33, 35).

Abrir switch encontrar y reparar la falla.

En el motor en derivación el fusible quizás se fundió o la armadura se quemó.

Circuito abierto.

Fusible fundido o switch abierto.

Conexión o embobinado abierto.

Escobillas sin contacto.

Falla de corriente o no suministro de ella.

A.- Encontrar y reparar el problema después de abrir el switch, entonces colocar el fusible.

B.- Abrir el switch, encontrar y reparar el problema (ver 12).

C.- Abrir el circuito y ajustar (ver 5).

D.- Abrir switch y colocar al arrancador en la po-

sición de apagado, esperar la llegada de la corriente.

Corto circuito de campo, de armadura y de switch.

Probar y reparar si es posible. Examinar el aislamiento de las uniones y porta escobillas.

Pobre aislamiento, suciedad, aceite y polvo de cobre o carbón regularmente generan corto circuito.

Giro invertido. Conexiones equivocadas.

Conectar correctamente de acuerdo al diagrama si no se tiene diagrama, invierta las conexiones de las escobillas.

DINAMOS O GENERADORES

Magnetismo residual invertido.

Corriente invertida a través de las bobinas de campo.

Conexiones invertidas.

Proximidad de otra dinamo.

Escobillas en posición incorrecta.

A.- Usar corriente de otra máquina o una batería a través del campo en la dirección apropiada para corregir la falla. Probar la polaridad con una brújula.

B.- Si las conexiones y alambrado no se conoce, -
tratar de reparar, e invertir la corriente.

C.- Conectar de acuerdo al diagrama para la rota-
ción deseada, ver que las conexiones en derivación
y serie sean hechas apropiadamente (ver 57).

D.- Cambiar escobillas hasta que operen mejor. - -
(ver 1,2,3).

Magnetismo residual demasiado débil.

Igual 58 A. (59).

Corto circuito en la máquina.

Ver 11, 54, 56. (60).

Corto circuito en el circuito externo.

El socket de una lámpara, puede estar en cor-
to circuito o a tierra.

El campo de las bobinas están opuestos unos a los
otros.

Invertir las conexiones de uno de los campos_
de las bobinas y probar. Encontrar la polaridad -
con brújula: si es necesario. (ver 58 A, C, D.

Circuito abierto.

Alambres rotos..

Conexiones equivocadas.

Escobillas sin contacto.

Fusibles fundidos o abiertos.

Switch abierto.

Circuito externo abierto.

A.- Buscar y reparar (ver 12).

B.- Ver. 37.

C.- Ver. 5.

D.- Ver 53 A.

E.- Ver 53 D.

F.- Buscar y reparar la falla, con el circuito de la dinamo abierto hasta terminar la reparación.

Carga demasiado grande en la dinamo.

Reducir la carga y regular el voltaje (Ver 14 y 65).

Demasiada resistencia en el reostato de campo.

Llevar gradualmente hasta el voltaje requerido por medio del reostato.

CAPITULO VI.

MAQUINAS DE C. A.

Principio de funcionamiento.- Para los generadores y motores de C.A., el principio es el mismo señalado anteriormente para las máquinas de corriente continua. O sea que dependen de la acción de una bobina que atravieza un campo magnético, o de un campo magnético que atravieza una bobina. Es claro que siempre que exista un movimiento relativo entre un conductor y un campo magnético, siempre se producirá o generará voltaje.

A la parte que produce el campo magnético le denominaremos "campo" o "inductor" mientras que a la parte que produce el voltaje le denominaremos "armadura" o "inducido". Para que se genere el movimiento relativo entre un conductor y el campo magnético todas las máquinas generadoras eléctricas constan de dos partes mecánicas, el estator y el rotor.

Como hemos visto, en las máquinas de C.C. la armadura siempre es el rotor, en los generadores de corriente alterna o "alternadores" existen dos tipos, el de armadura giratoria y el de campo giratorio. El alternador de armadura giratoria es parecido en su construcción al generador de corriente continua en donde la armadura gira dentro de un campo magnético, la forma de cómo, se genera la co

corriente alterna en el alternador, se puede observar en la Fig. 1 de las máquinas de corriente continua.

Este tipo de alternador solo se le puede encontrar en alternadores de baja potencia y generalmente ya no se usan.

El alternador de campo giratorio, tiene una gran ventaja, puesto que la armadura es estacionaria, la tensión generada puede ser conectada directamente con la línea de carga, mientras que el campo está girando en el rotor. Como la armadura rotaría requeriría de anillos de contacto para transmitir la corriente desde la armadura hasta el circuito externo. Y puesto que los anillos de contacto están al descubierto, se producirían arcos y cortocircuitos al generarse altos voltajes. Por esta razón los alternadores de alta tensión suelen ser de campo giratorio. La tensión aplicada al campo giratorio es corriente continua de bajo voltaje y, por lo tanto, se evita el problema de la formación de arcos en los anillos de contacto.

Los rotores de los alternadores son de acuerdo a la velocidad que los acciona para su adecuado funcionamiento.

Cualquiera que sea el tipo de rotor que se use, sus bobinados, siempre son excitados por separado por medio de un generador de corriente contí-

nua llamado excitatriz.

La tensión generada (inducida) en la armadura produce una corriente en la misma. La fase de la corriente de la armadura o inducido respecto a la tensión generada por el alternador depende de la naturaleza de la carga eléctrica conectada entre los bornes del alternador.

La tensión generada por fase, E_{gp} ³, de un alternador polifásico o monofásico puede establecerse por medio de la suma vectorial $E_{gp} = V_p + I_p Z_p$ en que la V_p es la tensión en bornes por fase del alternador, $I_p Z_p$ es la caída de tensión debida a la impedancia síncrona interna del alternador.

En la Fig. A se puede ver el alternador de "armadura fija" o "inducido fijo" en la cual observamos que la salida de corriente alterna se obtiene por el estator.

La relación entre la tensión en bornes y la tensión generada en una máquina síncrona es -
-
 $E_{gp} = V_p + I_p Z_p$.

Para un alternador síncrono o polifásico, se puede expresar de la siguiente manera:

$$V_p = E_{gp} - I_a R_a - I_a (jX_a) + E_{ar} \text{ en donde:}$$

V_p es la tensión en bornes / fase.

E_{gp} = es la tensión generada en bornes/fase.

La R_a es la caída de tensión en el devanado del inducido que tiene una resistencia efectiva (c.a.) de R_a por fase.

La (JX_a) Es la caída de tensión en bornes debida a la reactancia del devanado del inducido ocasionada por la reactancia de dispersión.

E_{ar} es el efecto de la reacción de inducido (magnetizante transversalmente, o desmagnetizante) por fase.

A continuación se explican generalmente los alternadores monofásico, bifásico y trifásico.

El alternador monofásico tiene un inducido que consta de varios bobinados colocados simétricamente alrededor de "inducido" o "estator" y conectados en serie. Las tensiones producidas en cada bobinado se suman entre sí generando la tensión total en las dos terminales de salida.

El alternador bifásico consistente de dos fases cuyos bobinados están situados de tal manera alrededor del estator, que las tensiones producidas en ellos están fuera de fase en 90 grados.

El alternador trifásico los bobinados producen tensiones cuya diferencia de fase es de 120 grados. Estos alternadores son los que generalmente se utilizan para producir energía eléctrica alterna.

La frecuencia de la corriente alternada, producida por, el alternador depende de la velocidad de rotación y de la cantidad de pares de polos del rotor. La regulación de tensión del alternador es más deficiente que, la del generador de c.c. por la caída de tensión $I X_L$ en el bobinado de inducido.

La frecuencia se puede obtener por medio de la siguiente fórmula:

$$= \frac{N_p}{120} \times S \quad \text{donde:}$$

N_p es el no. de polo.

S es la velocidad del motor en R.P.M.

El principio de funcionamiento para motores de c.a. no importa que sea monofásico o trifásico, que la corriente alterna aplicada al motor produce un campo magnético giratorio, el cual a su vez, hace girar el rotor.

Los motores de c.a. son generalmente de dos tipos:

1) El motor sincrónico y 2) el motor de inducción.

El motor sincrónico funciona aplicando una c.a. al estator y en el rotor una c.c. Cuando se aplica la c.a. trifásica al estator provoca el establecimiento de un campo magnético giratorio alre

dedor del rotor, y como el rotor está accionado por c.c., entonces hace las veces de barra imantada que tratará de alinearse con el campo. Si el campo magnético giratorio es fuerte, ejercerá una fuerza intensa de rotación sobre la barra imantada.

La Fig. B nos muestra como se forma el campo magnético giratorio, y también porque gira al rotor.

El motor de inducción tiene el rotor independiente y no está conectado a ninguna fuente externa de tensión. Su nombre se debe a que el campo magnético giratorio del estator induce corrientes alternas en el circuito del rotor.

Su principio de funcionamiento es el siguiente: Cuando se aplica corriente alterna al estator se crea un campo magnético giratorio, el cual induce un campo magnético en el rotor. Entonces los dos campos reaccionan entre sí y hacen mover al rotor.

La Fig. C muestra lo dicho anteriormente.

En estos motores la velocidad del rotor siempre tiene que ser menor que la del campo magnético giratorio, para que pueda existir movimiento relativo entre ambos, o sea que el rotor siempre sigue al campo del estator, pero como el rotor no logra

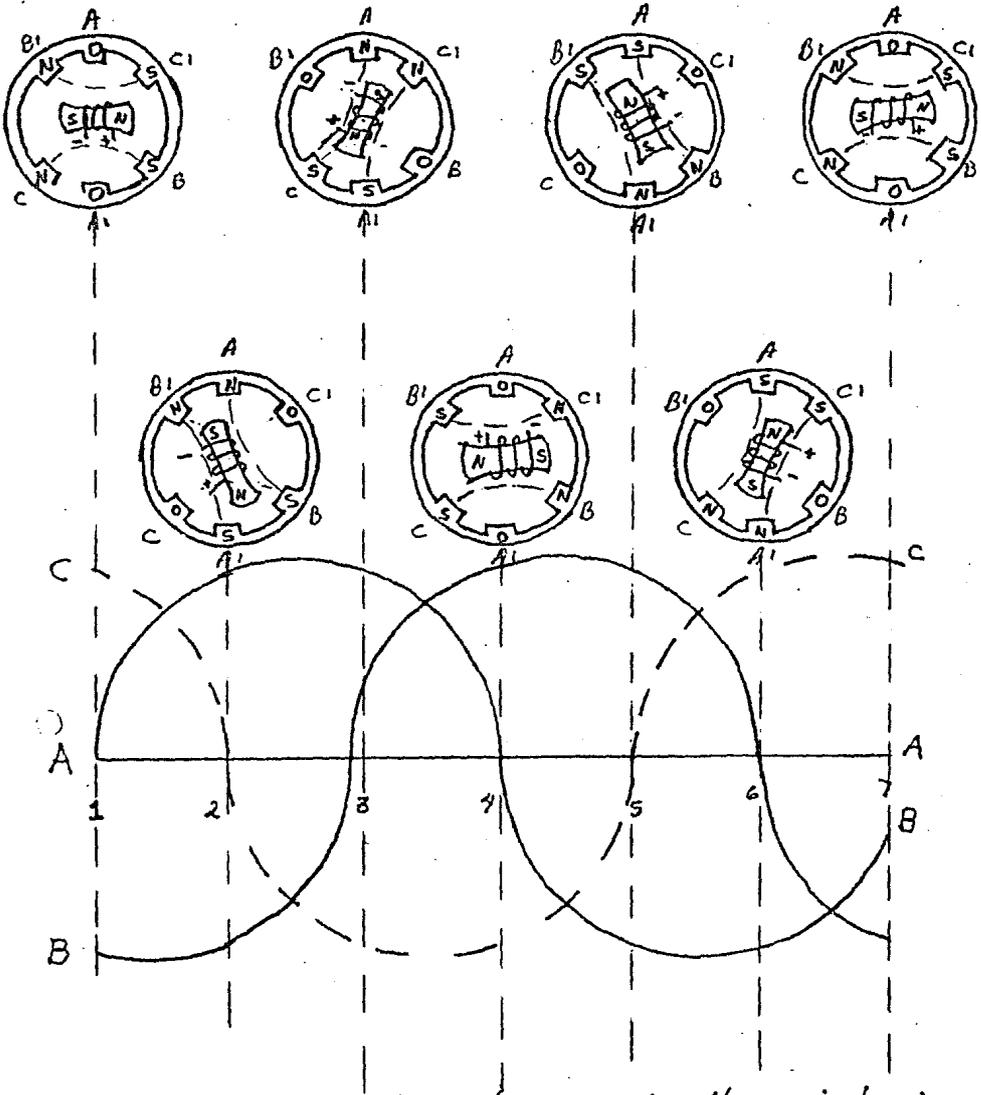


Fig. B.-- Formación del campo Magnético Giratorio en el motor sincrónico.

alinearse nunca, entonces siempre estará girando a menor velocidad, que el campo del estator.

Al porcentaje diferenciado entre la velocidad del campo rotativo del estator y la del rotor se lo denomina deslizamiento, el cual cuanto menor sea, más se acercará a la velocidad del rotor a la del campo del estator.

Con la siguiente fórmula obtenemos el deslizamiento.

$$= \frac{V_s - V_r}{V_s} \times 100\% \quad \text{donde:}$$

V_s es la velocidad sincronea.

V_r es la velocidad del rotor.

El deslizamiento lo podemos observar en la Fig. D.

En lo referente al par en los motores sincrónicos y de inducción podemos decir lo siguiente:

En el primero si el par resisten es tan grande que supera el par máximo desarrollando y si el rotor cae fuera de sincronismo, el motor sincrónico se parará. Así un motor sincrónico o gira a la velocidad sincrónica o no gira.

Es claro entonces, que este motor debe llevarse a una velocidad suficientemente cercana a la velocidad sincronea, a fin de quedar en sincronismo

con el campo giratorio.

Hay cuatro formas para llevarlo a la velocidad correspondiente que son:

- (1) Un motor de c.c. acoplado al eje del motor síncrono;
- (2) el uso de excitatriz como motor de c.c.
- (3) un pequeño motor de inducción de, por lo menos un par de polos menos que el motor síncrono,
- (4) el uso de los devanados amortiguadores como motor de inducción de jaula de ardilla.

El par en el motor de inducción y la potencia generada en el rotor está dada por la relación:

$$hp = \frac{TS_r}{5252} \quad T = \frac{S^2 S^2 HP}{S_r} = \frac{S^2 S^2 Pd}{746 S_r} = \frac{7.04 Pd}{S_r}$$

pero: $Pd = Pent (1-S)$ $Pd =$ pot. desarrollada en el rotor.

$$\text{entonces } T = \frac{7.04 Pd}{S_r} = \frac{7.04 Pen (1-S)}{S_r} = \frac{7.04 Pent}{S_r (1-S)}$$

y $S = \frac{S_r}{1-S}$ entonces el par se puede expresar como

$$T = 7.04 \frac{Pent}{S}$$

P_{en} = pot. de entrada total al rotor.

S es la velocidad síncrona.

MOTORES DE INDUCCION BIFASICA.

Los motores de inducción se diseñan para funcionamiento trifásico, bifásico o monofásico.

En todos los casos la C.A. aplicada al estator debe generar un campo magnético giratorio que arrastre consigo al rotor.

El estator de motor de inducción bifásica - - consta de dos bobinados colocados en ángulo recto.

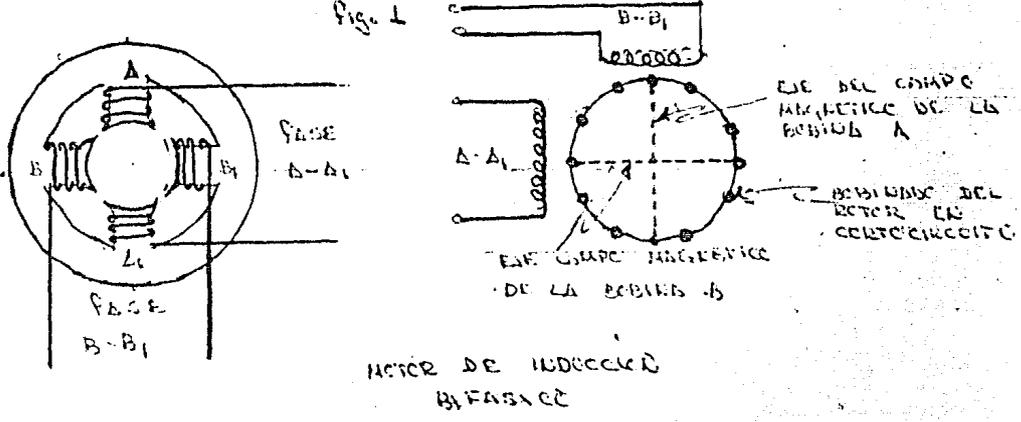
Si las tensiones aplicadas a las fases $A-A_1$ y $B-B_1$ (Fig. 1) están fuera de fase en 90° , las corrientes que circulen por las fases estarán desplazadas en 90 grados.

Como los campos magnéticos generados en las bobinas estarán en fase con sus corrientes respectivas, los campos magnéticos también tendrán entre sí una diferencia de fase de 90 grados.

Estos dos campos magnéticos fuera de fase, - cuyos ejes de las bobinas están en ángulo recto, - sumarán su acción en todo momento durante su ciclo para producir un campo resultante que recorrerá una revolución por cada ciclo de C.A.

En la fig. aparece un gráfico de los dos campos magnéticos alternos cuya diferencia de fase es de 90 grados.

Colocando dos bobinados en ángulo recto entre sí y excitando esos bobinados con tensiones con una diferencia de fase de 90 grados se produce un campo magnético giratorio.



MOTORES MONOFASICOS

El motor de inducción monofásico solo consta de una fase y funciona con corriente alterna monofásica.

Este motor se utiliza ampliamente en trabajos que requieren motores pequeños de poca fuerza.

Los motores monofásicos se dividen en dos grupos:

- 1.- Motores de inducción.
- 2.- Motores en serie.

Los motores de inducción tienen rotor en jaula de ardilla y un dispositivo de arranque adecuado.

Los motores en serie se parecen a las máquinas de C.C. porque tienen colectores y escobillas.

Los motores monofásicos de inducción tienen un solo bobinado en el estator.

Este bobinado genera un campo alterno a lo largo del eje del bobinado único, en vez de girar.

Si el rotor es fijo, el campo del estator en expansión y contracción induce corrientes en el rotor.

Estas corrientes producen un campo en el rotor de polaridad exactamente contrario a la del estator.

tor.

La oposición de los campos ejerce una fuerza de rotación en las partes superior e inferior del rotor, tratando de hacerlo girar 180 grados desde su posición.

Como estas fuerzas se ejercen a través del centro del rotor, la fuerza de giro es igual en ambos sentidos y, por lo tanto, el rotor no se mueve.

Sin embargo, si se le pone en marcha, el rotor seguirá girando en el sentido que se le ha impuesto, puesto que la fuerza de rotación en ese sentido es ayudada por la inercia del rotor.

El rotor adquiere mayor velocidad hasta que gire aproximadamente 180 grados para cada alternancia del campo del estator.

Como es necesario cierto deslizamiento para provocar corriente inducida en el rotor, a velocidad máxima el rotor gira algo menos de 180 grados cada vez, que el campo del estator cambia de polaridad. Fig. 3.

Como es poco práctico poner en marcha el motor accionándolo a mano, se debe incorporar un dispositivo eléctrico en el circuito del estator para que produzca un campo rotatorio en el arranque. Una vez que el motor funciona este dispositivo pue

de ser separado del estator, pues el rotor y el estator generan entre sí su propio campo rotativo para mantener al motor en funcionamiento.

El motor dotado de dispositivo de arranque se llama motor de inducción de fase partida, y emplea combinaciones de inductancia capacitancia y resistencia para desarrollar un campo giratorio.

MOTOR DE INDUCCION DE FASE PARTIDA ARRANQUE A CONDENSADOR.

El estator consta de un bobinado principal y de un bobinado de arranque Fig. 4, conectado este en paralelo con el principal y situado en ángulo recto con él.

La diferencia de fase eléctrica de 90 grados entre ambos bobinados se obtiene conectando el bobinado auxiliar en serie con un condensador y con un interruptor de arranque.

Para poner en marcha el motor se cierra el interruptor, colocando el condensador en serie con el bobinado auxiliar.

El condensador tiene una capacidad tal que el bobinado auxiliar forma con él un verdadero circuito resistivo-capacitivo en el cual la corriente adelanta a la tensión de línea en 45 grados aproximadamente.

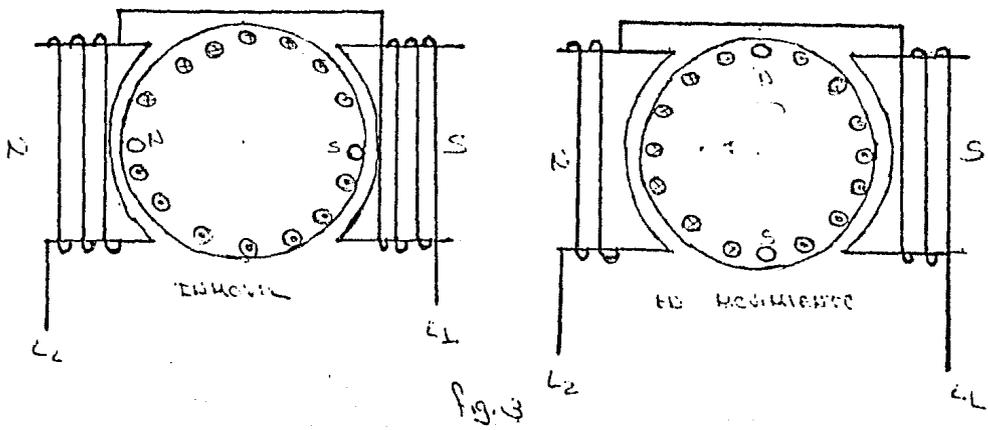
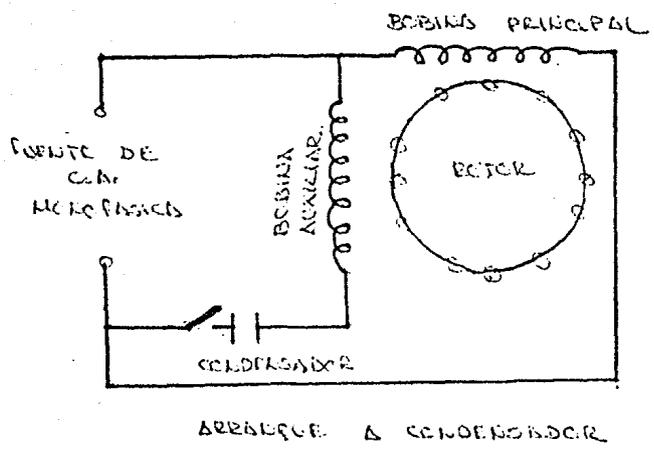


Fig. 4



El bobinado principal tiene inductancia suficiente como para que la corriente atrase a la tensión de línea en 45 grados.

Por lo tanto las dos intensidades están fuera de fase en 90 grados, sucediendo lo mismo con los campos magnéticos que generan.

Esto hace que ambos bobinados actúen como un estator bifásico y produzcan el campo giratorio necesario para poner en marcha al motor.

Una vez alcanzada la velocidad normal, un dispositivo desconecta el bobinado de arranque y el motor funciona como motor de inducción monofásico puro.

Como el bobinado especial de arranque es muy chico, el motor no desarrolla suficiente torsión como para poner en marcha cargas pesadas.

Como el motor de inducción bifásica tiene mayor rendimiento que el monofásico, a menudo conviene mantener al bobinado auxiliar permanentemente en el circuito para que el motor funcione como bifásico de inducción.

El condensador de arranque suele ser de tamaño suficiente para permitir que circule un flujo considerable de corriente en el bobinado auxiliar.

De esta manera el motor desarrolla un par de arranque grande.

Cuando el motor adquiere velocidad es innecesario que el bobinado auxiliar siga tomando toda la corriente de arranque y se puede reducir la capacidad del condensador.

Por lo tanto, para el arranque se emplean dos condensadores en paralelo, separando del circuito a uno de ellos cuando el motor adquiera velocidad.

Estos motores se llaman motores de inducción con condensadores de arranque y marcha.

ARRANQUE A RESISTENCIA.

Otro tipo de motor de inducción de fase partida es el de arranque a resistencia.

Este motor, además del bobinado principal de siempre, cuenta con un embobinado de arranque que se conecta y se desconecta con el circuito de la misma manera que el motor de arranque a condensador.

El bobinado de arranque está en ángulo recto con el bobinado principal. Fig. 5.

El cambio de fase entre las corrientes de los dos bobinados se obtiene haciendo que la impedancia de los bobinados sea desigual. El bobinado principal tiene gran inductancia y poca resistencia. Por lo tanto, la intensidad atrasa a la tensión en un ángulo grande.

El bobinado de arranque tiene comparativamente inductancia menor y gran resistencia.

Aquí la intensidad tiene un ángulo de retardo menor - con respecto a la tensión.

Cuando el motor adquiere velocidad, un interruptor - centrífugo desconecta de la línea el bobinado de arranque.

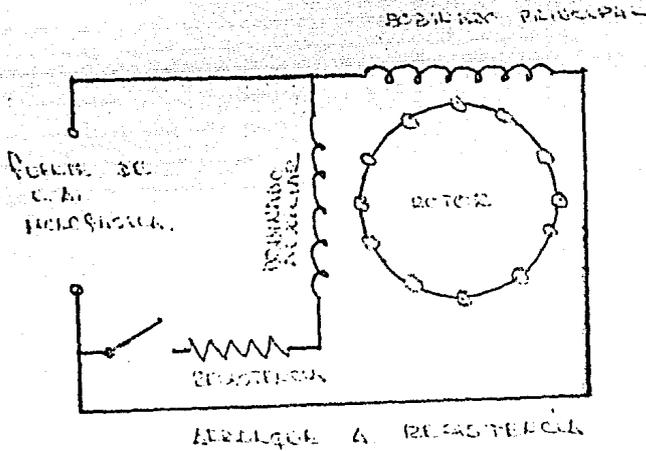


fig. 5

MOTOR DE INDUCCION CON ESPIRA EN CORTO CIRCUITO.

El efecto de un campo magnético giratorio se logra construyendo el estator de manera especial.

Este motor tiene piezas polares salientes como las máquinas de C.C. Además ciertas porciones de las superficies de las piezas polares están cubiertas por una banda de cobre.

La banda desplaza el campo hacia uno y otro lado de la pieza polar de la siguiente manera: - cuando el campo alterno del estator empieza aumentar su intensidad desde cero grados, las líneas de fuerza se expanden a través de la cara de la pieza y también cruzan la banda.

En la banda se induce una corriente que genera un campo contrario a la acción del campo principal.

Por lo tanto, a medida que el campo aumenta hasta el máximo de 90 grados, una gran porción de las líneas de fuerza magnética se concentra en la parte del polo desprovista de banda.

A los 90 grados el campo alcanza su valor máximo.

Como las líneas de fuerza han cesado su expansión, no se induce FEM en la banda y no se genera campo contrario.

A raíz de esto el campo principal se distribuye desigualmente a través del polo.

De 90 a 180 grados el campo empieza a decrecer o a contraerse hacia adentro.

El movimiento del campo de izquierda a derecha produce una débil torsión que pone en marcha el motor.

Debido a su débil torsión, estos motores se hacen de tamaños pequeños para accionar pequeños dispositivos, como ventiladores y relays.

MOTOR DE C.A. EN SERIE

Las características del motor en serie de C.A. son similares a los del mismo tipo para C.C.

Se trata de una máquina de velocidad variable, de baja velocidad para cargas grandes y de gran velocidad para cargas livianas.

El par de arranque también es muy grande. Como el motor serie C.A. tiene las mismas características generales que el de C.C. en serie, se ha diseñado un motor en serie para ambas corrientes.

Este motor se llama motor universal y tiene gran aplicación en aparatos eléctricos pequeños.

Los motores universales funcionan con menor rendimiento que los motores en serie de C.A. o C.C. puros y solo se hacen en tamaños chicos.

PRUEBAS PARA MOTORES ELECTRICOS DE INDUCCION

Son seis las pruebas que deben efectuarse es
 tos motores:

- 1.- Medición de resistencia entre terminales
- 2.- Saturación en vacío
- 3.- Saturación a rotor bloqueado
- 4.- Par - velocidad.
- 5.- Comportamiento
- 6.- Temperatura

MEASUREMENT OF RESISTANCE BETWEEN TERMINALS. - Es-
 ta prueba se efectúa antes de que el motor sea - -
 puesto en marcha, anotando la temperatura ambiente -
 a la cual se tomó la lectura. El objeto de esta - -
 medición es el de poder calcular posteriormente el -
 incremento de temperatura que experimenta el deva--
 nado después de operar bajo carga; sirve además pa--
 ra comparación de la resistencia calculada durante -
 el diseño.

Para efectuar esta prueba se requiere un termó-
 metro y un ohmmetro.

SATURACION EN VACIO. - Esta prueba es un índice
 del estado de saturación del circuito magnetico; --
 además nos ayuda a determinar, de que manera más o--
 menos exacta, las perdidas que por fricción y ven--
 tilación posee el motor asi como las pérdidas en
 el núcleo y en el cobre (estas últimas sin car-

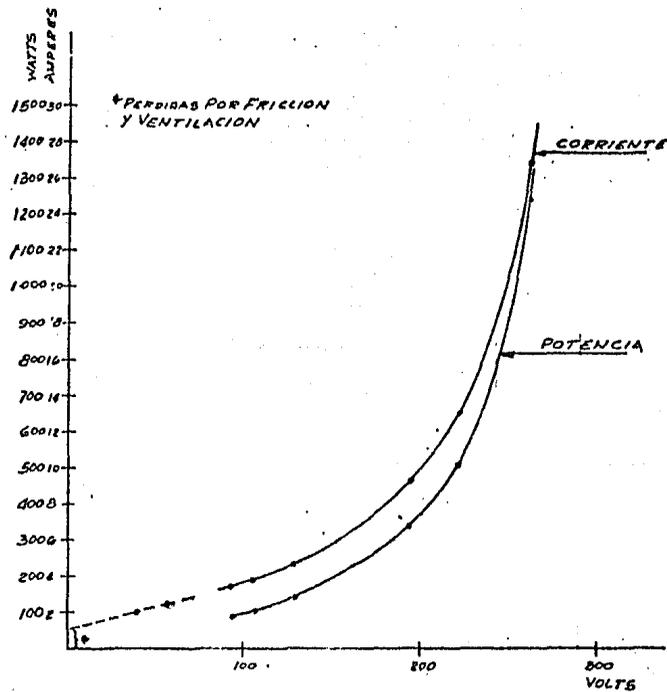
ga.)

Esta prueba consiste en operar el motor sin carga, aplicando primero pequeñas tensiones hasta conseguir que arranque; este valor particular de la tensión se denomina "tensión mínima de arranque" a continuación, se hace variar crecientemente la tensión aplicando valores escalonados y espaciando lo más uniformemente posible, haciendo las lecturas correspondientes de diferencia de potencial aplicando entre fases, amperes tomados por terminal y potencia consumida.

En una gráfica pueden trazarse 2 curvas, teniendo como abscisas las tensiones aplicadas y como ordenadas las intensidades de corriente y la potencia consumida.

De la curva de potencia contra tensión pueden obtenerse las pérdidas que por fricción y ventilación posee el motor. Para esto se considera que dichas pérdidas son constantes a la velocidad síncrona, mientras que las pérdidas en el núcleo y en el cobre, varían aproximadamente con el cuadrado de la tensión aplicada; por lo tanto la parte baja de la curva "tensión al cuadrado" contra "potencia" es una recta. El punto donde esta línea recta corta al eje de las ordenadas, nos da el valor de las pérdidas por fricción y ventilación.

Las pérdidas en vacío están constituidas por



GRAFICA N°1
SATURACION EN VACIO
BOBINAS DIAMANTE

fricción y ventilación, efecto Joule en el embobinado del estator y pérdidas en el hierro. Las segundas enumeradas son calculables. Así pues, conociendo la suma y dos de los tres sumandos que la componen, por simple diferencia se obtiene el tercero.

Frecuentemente es recomendable hacer esta prueba después de la de temperatura, la cual tiene una duración más o menos prolongada, ayudando así a que la temperatura del motor sea semejante a la que adquiere a plena carga.

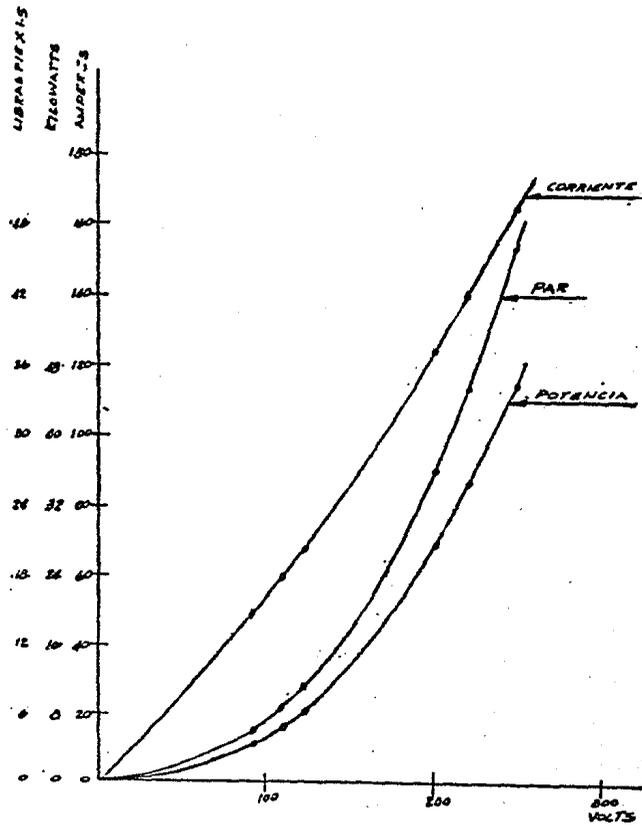
Otra alternativa es la de dejar correr en vacío con un Wattmetro conectado para medir la energía consumida. Cuando la lectura en dicho instrumento permanezca constante la temperatura del motor se habrá estabilizado, además las chumaceras se habrán asentado y podrá procederse a la prueba de saturación en vacío.

El equipo necesario para la prueba anterior se compone de wattmetro, voltmetro, amperímetro y regulador de voltaje.

SATURACION A ROTOR BLOQUEADO.- El objeto de esta prueba es el de determinar la intensidad de corriente, el par y el factor de potencia en el arranque. Se comprende que estando el rotor frenado, los devanados se calentarán intensamente durante esta prueba; por ello no es recomendable hacer-

la a tensión normal a menos que se trate de máquinas pequeñas o de baja velocidad, sin embargo, cuando esta prueba se requiere a tensión normal y los correspondientes valores no pueden ser obtenidos directamente, pueden calcularse por extrapolación, aceptando que la intensidad de la corriente varía con el cuadrado de la tensión aplicada y que la potencia es consumida a un factor de potencia constante. Para poder trazar las curvas par y corriente contra tensión, son suficientes unos 5 ó 6 puntos para cada una de ellas, debiendo iniciarse la prueba con la tensión máxima por aplicar y después se disminuye ésta hacia la mínima, evitando así en lo posible, que la temperatura de los devanados se eleve peligrosamente durante la prueba, y si esto ocurriese, aún queda el recurso de operar el motor en vacío hasta que su propia ventilación lo deje en condiciones de continuar la prueba. Los valores de la tensión aplicada generalmente son de 120, 100, 80, 60, 40 y 20% de la tensión normal.

Cuando se están tomando las lecturas para una tensión intermedia (digamos 60%), es conveniente determinar si el motor tiene puntos muertos, para lo cual se aplica energía al motor colocando al rotor en unas cuatro posiciones sucesivas, de tal suerte que todas aquellas cubran el arco comprendido entre dos ranuras consecutivas. Estas cuatro



GRAFICA N°2
SATURACION A ROTOR BLOQUEADO
BOBINAS DIAMANTE

lecturas para la misma tensión deben dar pares muy semejantes.

De lo dicho al describir la esencia de esta prueba se comprende la necesidad del uso del siguiente equipo: regulador de voltaje, wáttmetro, amperímetro, vóltmetro y una báscula sobre la que apoye la palanca que transmite el par del motor o bien, el brazo fijo a la carcasa del electrodinamómetro, en el caso de que se disponga de éste.

PAR - VELOCIDAD.- Esta es otra de las pruebas en que debido a las condiciones anormales a que se sujeta al motor, la temperatura de los devanados también se eleva como en el caso anterior, así pues, se prefiere que sea de las primeras, y sobre todo antes de la de temperatura que es, en general, la de más larga duración.

El objeto primordial de esta prueba es la de la obtención del valor del par máximo que el motor puede desarrollar; aunque en muchos casos se toma un gran número de lecturas para trazar las curvas, unos diez o doce puntos bien elegidos son suficientes.

El electrodinamómetro, que es indispensable en esta prueba, se va exitando lenta y progresivamente para cargar al motor acoplado a él hasta el punto es que el par leído sobre la báscula deje de

aumentar aunque la velocidad siga disminuyendo.

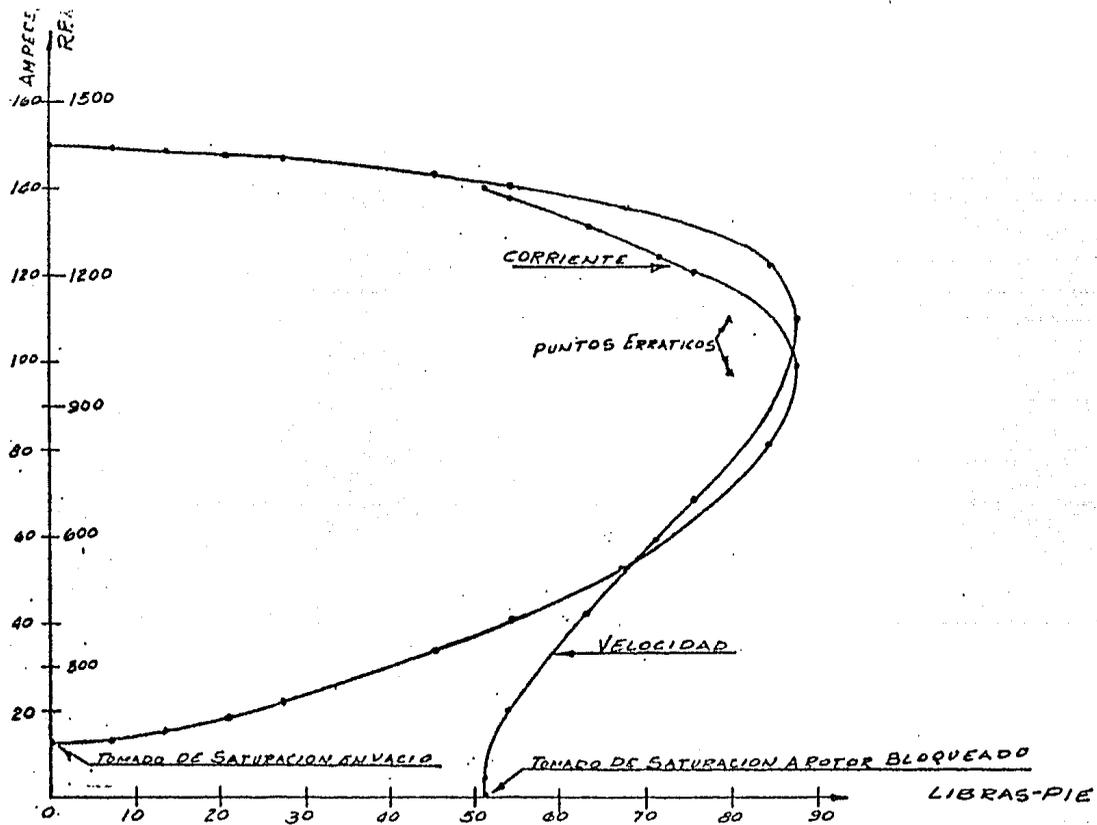
La lentitud de la aplicación de la carga, sobre todo en las cercanías de este punto tiene por objeto evitar lecturas falsas de pares mayores, debidas a la energía cinética de rotación del conjunto motor electrodinamómetro. Después de este punto, y a velocidades menores, se tomarán otras lecturas.

En algunos diseños existe un par mínimo, menor aún que el de arranque y su valor, así como el de la velocidad a la que ocurre necesitan conocerse. Para obtener estos datos, se arranca al motor con la máxima carga que resista (casi frenado) y se disminuye lentamente la excitación del electrodinamómetro, hasta que el par leído sea el mínimo, aunque la velocidad siga aumentando; este sería el par buscado.

Para la parte superior de esta curva, se utilizan los valores obtenidos de otra de las pruebas; la de comportamiento, y el par de arranque se toma de la curva de rotor bloqueado.

Esta prueba se lleva a cabo a tensión aplicada constante y lo más cerca posible de la nominal. Cuando esto no sea posible, los valores de par e intensidad de corriente se corregirán por esa variación de tensión.

Las dos curvas que se trazan tienen como va-



GRAFICA N° 3
PAR VELOCIDAD BOBINAS DIAMANTE

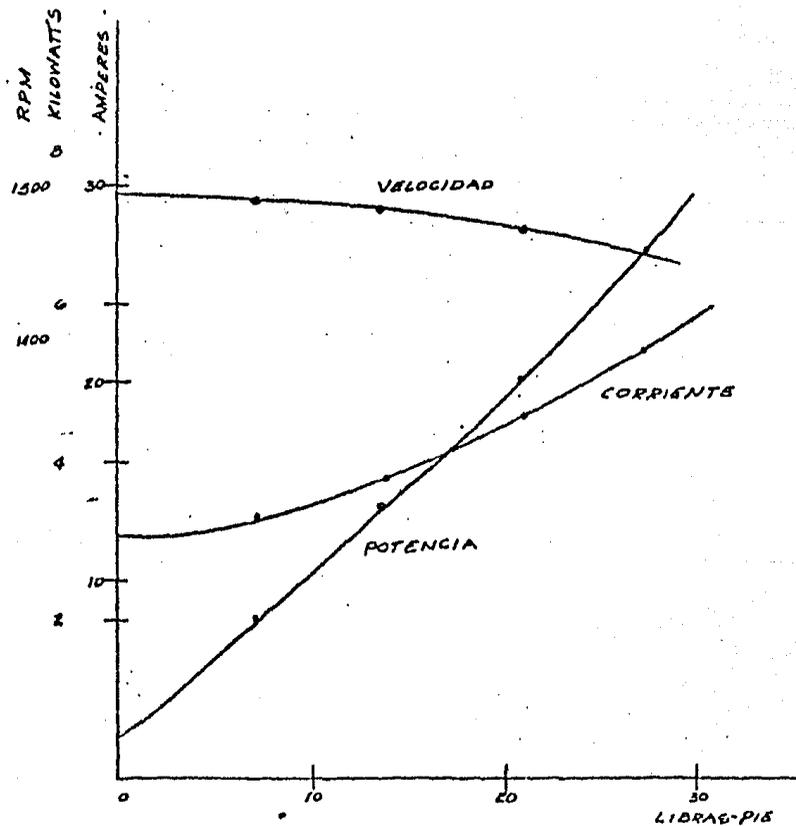
riables independientes al par; y las respectivas ordenadas son: velocidad angular e intensidad de corriente.

El equipo necesario para esta prueba es: electrodinamómetro, amperímetro, voltmetro y tacómetro.

COMPORTAMIENTO. - Esta prueba es prácticamente indispensable en todo motor de inducción ya que proporciona una idea clara sobre la variación en potencia, intensidad de corriente, deslizamiento, factor de potencia, y eficiencia cuando varía la carga aplicada, es decir, la potencia exigida al motor. De este conocimiento puede deducirse la clase de trabajo para el cual es adecuado el motor.

El uso del electrodinamómetro también es muy aconsejable en esta prueba. Se aconseja que dicho aparato tenga un par menor que el doble a plena carga del motor bajo prueba. Para el buen desarrollo de esta prueba es obvio mencionar la necesidad de un buen alineamiento entre motor y electrodinamómetro para evitar pérdidas adicionales por fricción.

Antes de tomar lectura alguna, es conveniente permitir al motor que alcance una temperatura cercana a la normal de trabajo, después de lo cual se toman unos seis juegos de lecturas (velocidad, co-



GRAFICA N° 4
COMPORTAMIENTO BOBINAS DIAMANTE

rriente y potencia contra par) partiendo de la correspondiente al 150% de carga y disminuyendo sucesivamente en pasos de 25%. La tensión y frecuencia de la energía aplicada deben permanecer constantes a lo largo de esta prueba.

En vista de que la variación de la velocidad, en porcentaje, es pequeña durante esta prueba, se opta por medir el deslizamiento con la ayuda de una lámpara estroboscópica, de una misma frecuencia que la de la energía aplicada al motor; así pues, la flecha y el rotor aparentarán girar lentamente en sentido contrario al de la rotación. Se toma el tiempo de unas diez revoluciones de este movimiento aparente y de allí se deduce la respectiva velocidad.

En cálculos precisos es necesario corregir el deslizamiento por temperatura.

De las lecturas y curvas obtenidas con la prueba anterior, puede, mediante cálculos sencillos, determinarse la eficiencia y el factor de potencia del motor para cualquier porcentaje de carga.

Del contenido de la descripción de esta prueba se deduce la necesidad de usar el mismo equipo que el usado en la prueba par-velocidad efectuando el cambio del tacómetro por la lámpara estroboscópica.

TEMPERATURA.- Sirve para determinar la elevación de la temperatura en los devanados del motor; elevación cuyos límites permisibles dependen fundamentalmente de la aplicación a que se destina el aparato así como de las características de los materiales aislantes empleados en la construcción.

La forma más común de cargar al motor durante la prueba es mediante el uso de un generador el cual se acopla o conecta por medio de banda. El electrodinamómetro es ideal para el caso, y solo cuando se trata de motores muy grandes deja de usarse.

Cuando se dispone de dos máquinas de la misma capacidad y velocidad, puede usarse una de ellas como carga para probar a la otra, acopladas mecánicamente y conectando una de ellas a la fuente de energía y la otra a un alternador síncrono cuya frecuencia pueda variarse.

Para medir la temperatura de los devanados así como la de algunas otras partes del motor (chumaceras, aire de ventilación entrante y saliente, hierro del estator, etc.), pueden emplearse termómetros termo pares, y la de los devanados en particular, puede ser deducida a partir de la variación de la resistencia ohmica que experimenta.

Es necesario cuidar que la temperatura ambiente permanezca lo más constante posible, así como -

evitar que corrientes de aire producidas por otras máquinas la afecten. Además de los termómetros y termopares que se colocan en los puntos clave se deben situar otros que registren las variaciones del ambiente aconsejándose que sus bulbos estén a la misma altura que el centro del motor.

Tanto en esta prueba como en la de par-velocidad y comportamiento el generador o electrodinómetro usado puede ser descargado en una resistencia y aunque esto representa una pérdida de energía, para máquinas medianas es la forma más común y popular de descarga.

Una vez arrancado el motor, se verifica que la tensión, frecuencia y par desarrollados, tengan los valores correctos, después de lo cual se toma el primer juego de lecturas, tanto de los instrumentos como de todos y cada uno de los termómetros. Media hora después es conveniente tomar el segundo juego de lecturas para cerciorarse de que la prueba está siendo conducida correctamente, y después, cada hora.

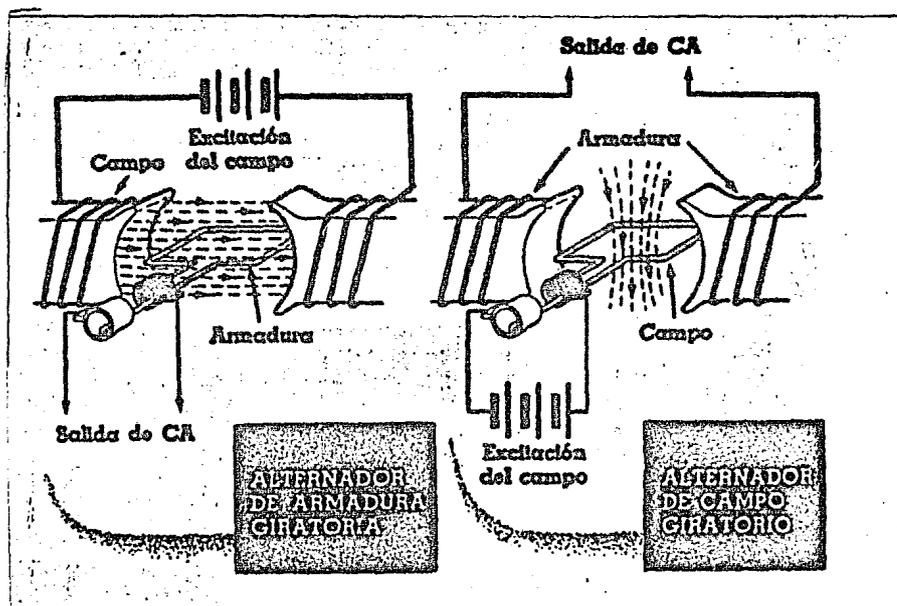
La longitud en tiempo de estas pruebas es muy variable (entre 3 y 9 horas) dependiendo del diseño de que se trate; luego, para finalizarla, no es el tiempo el factor determinante, sino la estabilización de la temperatura. Esto quiere decir que cuando dos o tres lecturas consecutivas no acusen

elevación alguna (para un medio ambiente constante), entonces puede darse por terminada la prueba. No hay que olvidar que esta terminación coincide con el principio de la curva de enfriamiento.

GENERADORES SINCRONOS

Hay dos tipos de alternadores, el de campo giratorio. El alternador de armadura giratoria sólo se encuentra en los alternadores de poca potencia y por lo general no se usan.

El alternador de campo rotatorio tiene el bobinado de la armadura fijo y el bobinado de campo giratoria. La ventaja de que la armadura sea estacionaria radica en que la tensión generada puede conectarse directamente con la línea de carga. La armadura rotatoria requeriría anillos de contacto para transmitir la corriente desde la armadura hasta el circuito externo. Como los anillos de contacto están al descubierto, se producirían arcos y cortocircuitos al generarse altos voltajes.

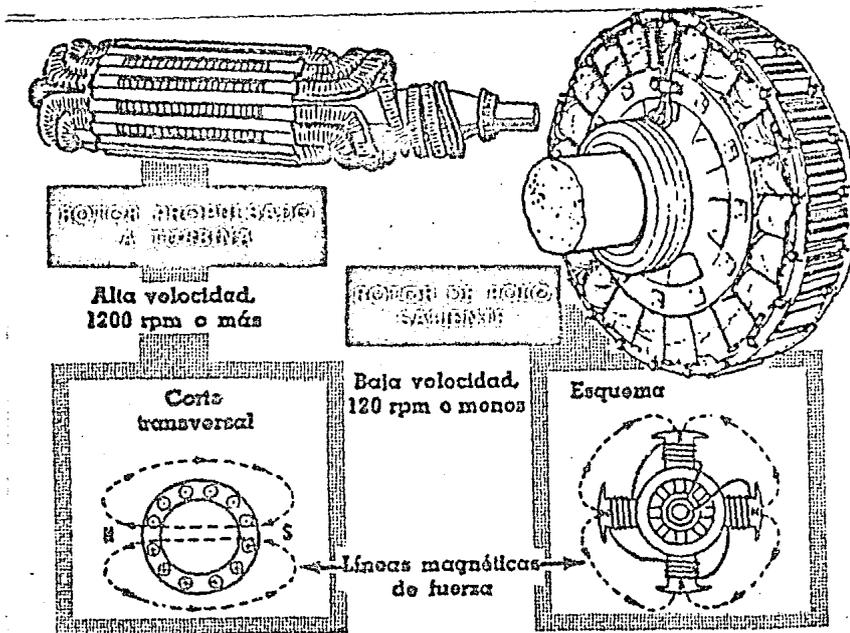


La corriente máxima que puede suministrar el alternador depende de la pérdida máxima de calor que soporte la armadura. Esta pérdida de calor (que es una pérdida de potencia dada por I^2R) calienta los conductores y, en caso de ser excesiva, destruye la aislación.

Los alternadores de gran potencia son propulsados por turbinas de alta velocidad. El propulsor primario de este tipo de alternador es una turbina de vapor de alta velocidad accionada por vapor a alta presión. Debido a la gran velocidad de rotación el rotor del alternador de impulsión a turbina es el cilíndrico de escaso diámetro y de bobinados firmemente asegurados en las ranuras de su superficie. Los bobinados están dispuestos de manera que forman dos o cuatro polos distintos. Únicamente con este tipo de construcción el rotor sin romperse puede soportar la tremenda fuerza centrífuga desarrollada por las grandes velocidades.

En los alternadores de menor velocidad accionados por motores, energía hidráulica, turbinas con engranaje y motores eléctricos, se emplea el rotor de polo saliente. En este tipo de rotor varias piezas polares bobinadas por separado están abulonadas con el bastidor del rotor. Los bobinados de campo van conectados en serie o en grupos en serie pero conectados a su vez en paralelo. Los bobinados están conectados con anillos de contacto montados en el árbol del rotor. Cualquiera que sea el tipo de rotor que se emplee, sus bobinados siempre son excitados por separado mediante una dinamo de CC llamada "excitatriz".

La armadura estacionaria o estator del alternador contiene los bobinados que son atravezados por el campo magnético rotativo. El voltaje generado en la armadura a raíz de este desplazamiento transversal es la corriente alterna que se aplica a la carga.



ALTERNADOR MONOFASICO

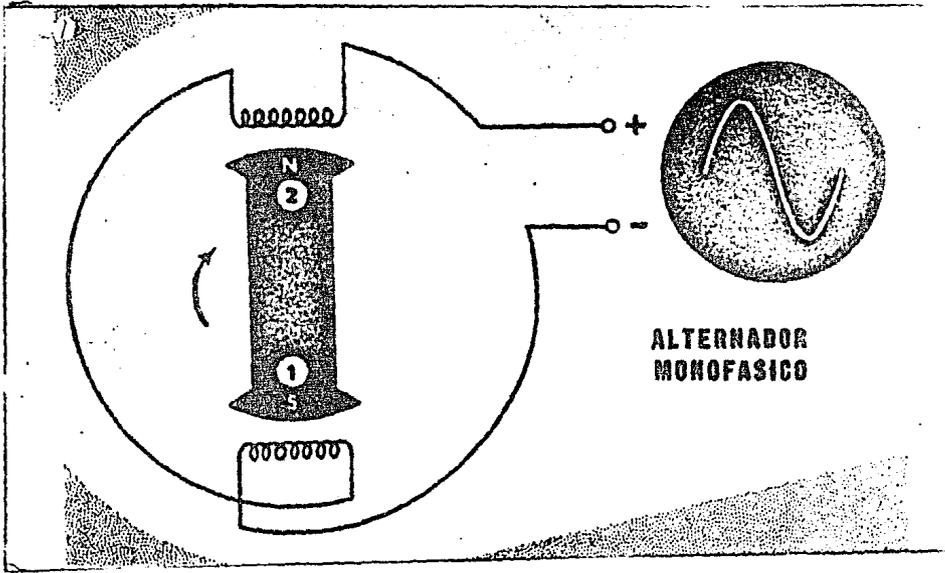
El alternador monofásico tiene todos los conductores del inducido conectados en serie o en paralelo; esencialmente un solo bobinado en el cual se genera un voltaje de salida.

El estator es bipolar porque el bobinado forma dos grupos polares distintos, estando devanados ambos polos en el mismo sentido alrededor de la carcasa del estator.

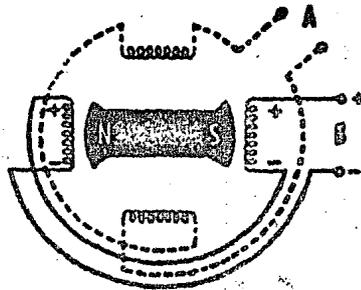
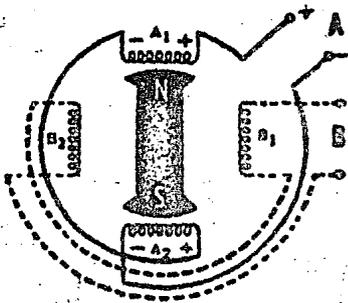
Cuando el rotor gira, sus polos inducen voltajes alternos en las bobinas del estator. Como un polo del rotor está en la misma posición con respecto a un polo del estator del rotor del que cualquier otro polo del rotor, los dos polos del estator con cortados por una cantidad igual de líneas magnéticas de fuerza en uno de los dos polos del bobinado del estator tiene la misma amplitud o valor en un instante dado. Los dos polos del bobinado del estator están conectados entre sí, de manera que las tensiones de CA están en fase, o se "suman en serie".

Supongamos que el polo 1 del rotor, o polo sur induce un voltaje con la polaridad que aparece en el polo 1 del estator. Como el polo 2 del rotor es norte, inducirá en el polo 2 del estator una tensión de polaridad opuesta con relación a la ten

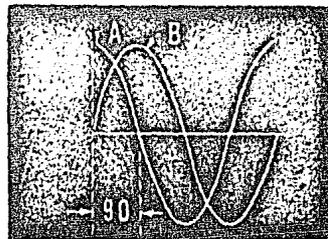
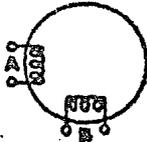
sión inducida en el polo 1 del estator. Para que las tensiones de los dos polos se sumen en serie, los polos 1 y 2 van conectados según se ve en la figura.



Los alternadores polifásicos tienen dos o más bobinados monofásicos espaciados simétricamente alrededor del estator. En el alternador bifásico hay dos bobinados monofásicos espaciados de manera que la tensión alterna inducida en uno de ellos esté 90 grados fuera de fase con la tensión inducida en el otro.

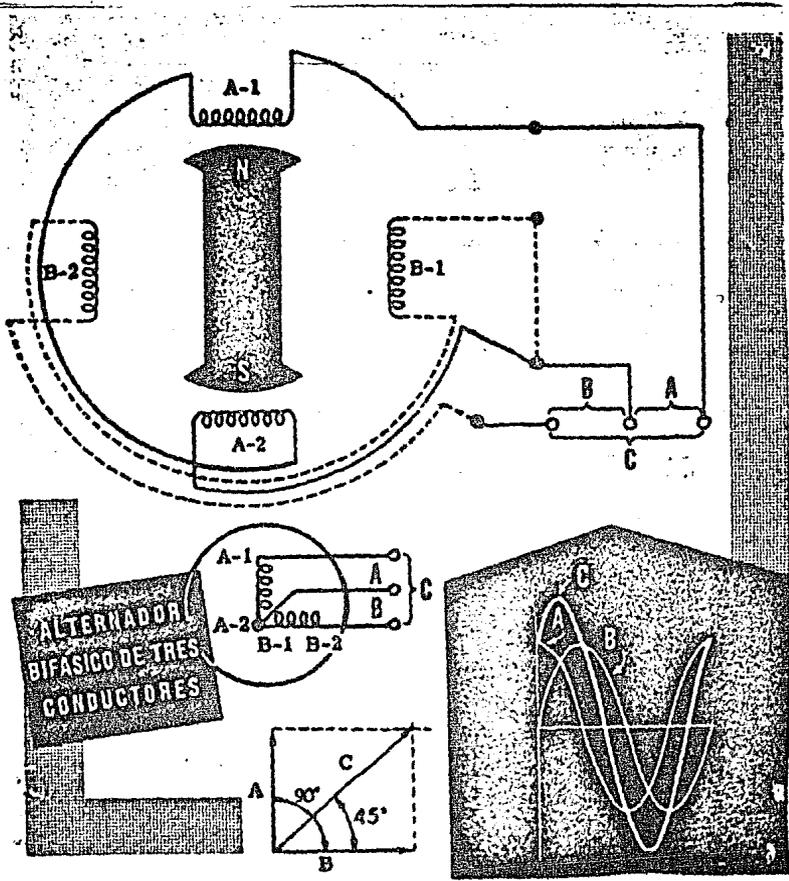


ALTERNADOR DIPOLAR BIFASICO



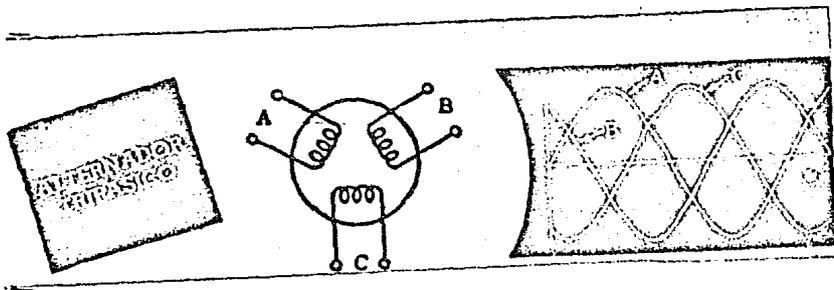
Si las fases del alternador bifásico se conectan de manera que salgan al exterior tres conductores, en vez de los cuatro originales, entonces el alternador se denomina "bifásico" de tres conductores.

Los tres conductores posibilitan tres conexiones de carga distintas, A y B entre cada una de las fases, y C entre ambas fases. La tercera tensión representa la suma vectorial de las tensiones de las dos fases su magnitud es mayor que cualquiera de los dos voltajes de fase y tiene un desplazamiento de 45 grados con respecto a las dos fases que la componen.



El alternador trifásico, como su nombre lo indica tiene tres bobinados monofásicos espaciados - de manera que la tensión inducida en cualquiera de ellos tiene un desplazamiento de fase de 120 grados con respecto a las otras dos.

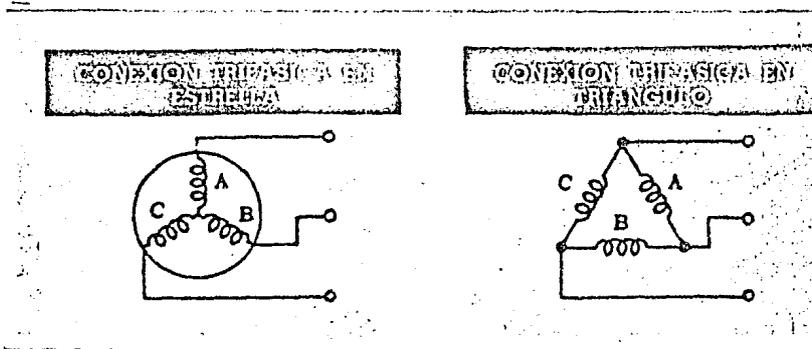
Las ondas de voltaje generadas en cada fase - aparecen en el gráfico con un desplazamiento de - 120 grados entre ellos. El alternador trifásico de este esquema es esencialmente un conjunto. Las tres fases son independientes entre sí.



En vez de hacer salir seis terminales del alternador trifásico, los mismos terminales de cada fase se conectan entre sí formando una "Y" o conexión en "estrella". El punto de conexión se denomina neutro, mientras que la tensión de fase. La tensión total o tensión de línea es 1.73 veces mayor que la tensión de fase. Como los bobinados sólo ofrecen un camino único a; flujo de corriente en-

tre fases, las corrientes de línea y de fase son iguales.

El estator trifásico también se puede conectar de manera que las fases estén unidas en los extremos. Esto se llama conexión "en triángulo". En la conexión en triángulo las tensiones de línea son iguales a la tensión de fase pero las intensidades de línea serán iguales a la suma vectorial de las intensidades de fase. Como las fases están 120 grados fuera de fase la intensidad de línea será 1.73 veces la intensidad de fase.



La frecuencia de la corriente alterna generada por el alternador depende de la cantidad de polos y de la velocidad del rotor.

La frecuencia (f) puede determinarse por la siguiente ecuación:

$$f = \frac{NP \times S}{120}$$

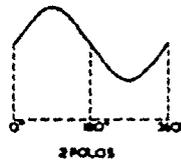
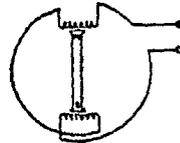
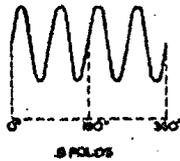
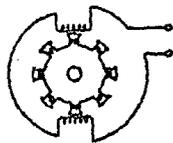
DONDE:

NP = número de polos

S = velocidad del rotor, RPM

Cuanto más polos haya menor será la velocidad de rotación para una frecuencia dada.

AMBOS ALTERNADORES ESTAN GIRANDO A LA MISMA VELOCIDAD



La magnitud de la tensión generada por el alternador se modifica haciendo variar la fuerza del campo.

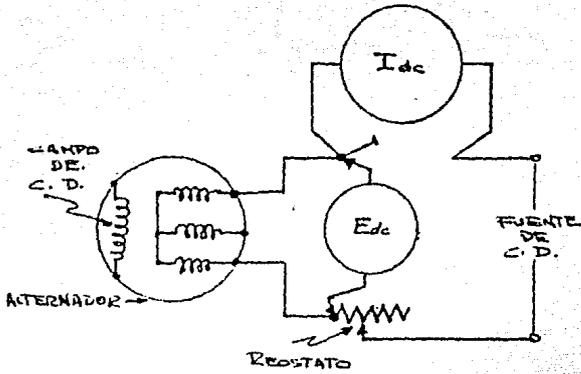
En el alternador, la tensión de salida varía de acuerdo con la carga. Además de la caída IR , también se produce en los bobinados otra caída de tensión que se denomina caída IX . La caída IX , se debe a la reactancia inductiva de los bobinados. Las caídas IR_L e IX_L reducen la tensión de salida a medida que aumenta la carga. La modificación que experimenta la tensión desde carga cero hasta plena carga se denomina regulación de voltaje del alternador. Puede mantenerse una tensión de salida constante del alternador variando la fuerza de campo según lo exijan los cambios en la carga.

PRUEBAS PARA GENERADORES DE CORRIENTE ALTERNA

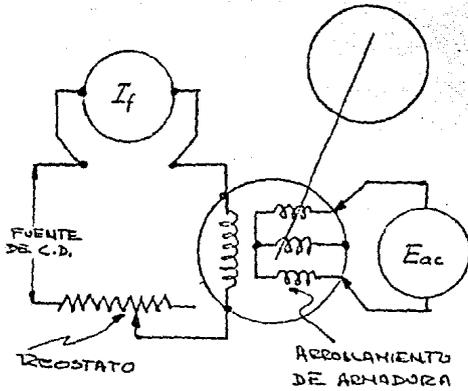
Son tres las pruebas que se realizan y son necesarias para obtener datos para los cálculos de la regulación del alternador:

- a) Prueba de resistencia de armadura
- b) Prueba de circuito abierto
- c) Prueba de corto circuito

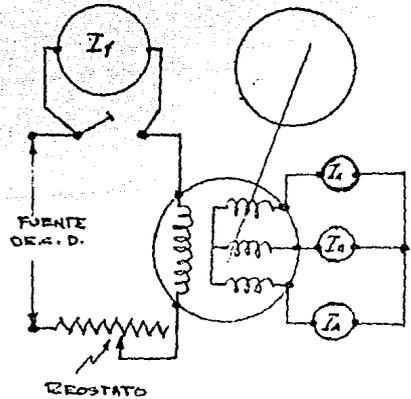
Prueba de la resistencia.- Asume que el generador está conectado en Y si es trifásico (No importa si está o no actualmente conectado en Y o en no importa que el resultado final; el mismo valor será obtenido con cualquiera de las dos, aunque la Y permite cálculos más simples). Con el arrollamiento de campo de corriente directa abierto, medir la resistencia de corriente directa entre cada par de terminales. El promedio de los tres conjuntos de valores de la resistencia es llamado R_t . Divida este valor de R_t entre 2 para obtener la resistencia por fase R_a . Debido a que la resistencia es muy baja, será necesario usar un reóstato de alta corriente para ajustar la corriente a aproximadamente el valor de régimen, un amperímetro de corriente directa de rango apropiado, y un voltmetro de lecturas bajas. El alternador debe estar en reposo. En la práctica es costumbre multiplicar la resistencia de corriente directa por un factor de 1.25 a 1.75 para obtener un valor más cercano al -



(a) Circuito para prueba de resistencia



(b) Prueba de corto circuito



(c) Prueba de circuito abierto

de la resistencia de armadura cuando lleva corriente alterna.

Prueba de circuito abierto.- Con el circuito de arrollamiento de armadura abierto, opere el alternador a velocidad síncrona. Conecte una fuente de corriente directa al campo, haciendo la provisión de ajustar la corriente de campo para que, comenzando en cero, pueda incrementarse hasta el voltaje de corriente alterna entre cualquier par de terminales del arrollamiento de armadura que sea cualquiera arriba de la fem. de régimen. Registrar los datos de I_f y E_{ac} para un número suficiente de puntos para trazar la llamada "Curva de saturación de circuito abierto". Antes de trazar la curva, divida E_{ac} entre 3 para obtener el voltaje de fase la cual da la curva de voltaje de circuito abierto $E_c/3$ contra I_f .

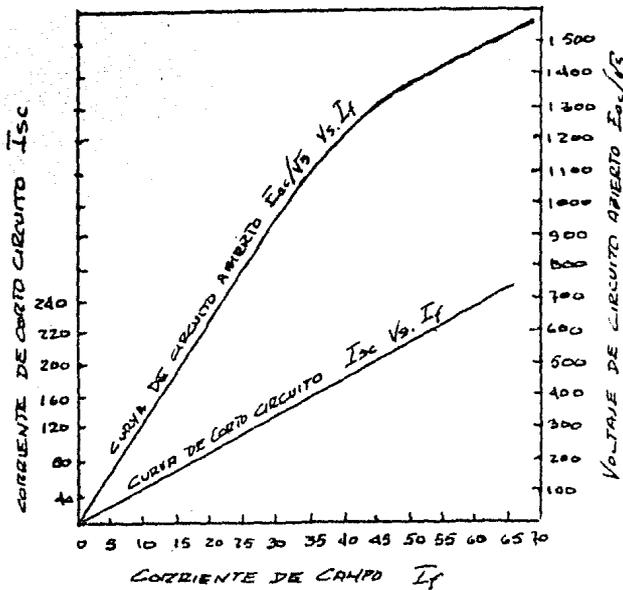


Fig. 1. Curvas de circuito abierto y corto circuito para un alternador.

Prueba de corto circuito.- Realice esta prueba con mucho cuidado. Refiriéndose a la figura C, inserte un reóstato de valor ohmico suficientemente alto en el circuito de campo de corriente directa para mantener la corriente de ese circuito muy baja. Conecte tres amperímetros similares en Y a las terminales del arrollamiento de armadura; cada amperímetro debe tener un rango suficientemente -

alto para registrar una corriente excedida del valor de régimen a plena carga. Opere el alternador a velocidad síncrona. Comenzando con una muy baja corriente de campo directa, incremente progresivamente su valor en tanto que el amperímetro de corriente alterna incrementa sus deflexiones a la corriente de régimen y por arriba. Registre I_f y el promedio de los tres amperímetros, trace la característica de corto circuito I_{sc} contra I_f usando la figura 1 como guía.

Para determinar el valor de Z_s por fase, encuentre el valor de I_{sc} a la corriente de campo que proporciona el voltaje terminal de régimen por fase del alternador; Z_s será entonces igual al voltaje de circuito abierto dividido por la corriente de corto circuito a la corriente de campo que proporciona la fem de régimen por fase.

EFICIENCIA DEL ALTERNADOR

La eficiencia de un alternador se calcula exactamente del mismo modo que la eficiencia del generador de corriente directa, esto es: la eficiencia de un generador es la razón de la potencia eléctrica de salida $E_t \times I_1$ a la potencia mecánica proporcionada.

$$\% = \frac{\text{Watts de salida}}{\text{Watts de entrada}}$$

ya que Watts de entra = Watts de salida + pérdidas:

$$\% = \frac{\text{Watts de salida}}{\text{Watts de salida} + \text{Watts de pérdidas}} \times 100$$

$$\% = 1 - \frac{\text{Watts de pérdidas}}{\text{Watts de salida} + \text{Watts de pérdidas}} \times 100$$

Se recalca que es necesario primero determinar las diversas pérdidas en la máquina; con el alternador operando bajo carga. Estas pérdidas incluyen:

1.- Pérdidas Rotacionales.

- a) Fricción y ventilación
- b) Fricción de las escobillas en los anillos del colector de campo.
- c) Ventilación para enfriar la máquina.

d) Histeresis y corrientes de Eddy en el estator.

2.- Pérdidas Eléctricas.

a) Arrollamiento de campo

b) Arrollamiento de armadura

c) Contactos de escobillas.

3.- Pérdidas en el excitador usado para la excitación de campo.

4.- Pérdidas por carga dispersa.

PRUEBAS PARA GENERADOR SINCRONO DE CORRIENTE ALTERNA NA DE 3 FASES Y 2 POLOS.

Las pruebas básicas para determinar las características de los generadores síncronos son las siguientes:

Prueba de Circuito Abierto.

Esta prueba es llevada a cabo sin ninguna carga externa aplicada al generador. Aunque el voltaje de línea es medido a través de dos fases únicamente, se asume que las tres fases son simétricas. Esto puede ser checado durante la prueba acoplado el voltímetro a través de cada par de terminales de fase en cuestión.

Se conecta el motor conductor, llevando su velocidad hasta 1500 rev./min. y se mantiene en este valor durante la prueba. Se conecta el suministro de corriente directa al rotor y se incrementa la corriente desde cero, tomando lecturas, por etapas, del voltaje de línea de corriente alterna y la corriente del rotor en cada etapa. Resultados típicos de la prueba se muestran en la gráfica anexa.

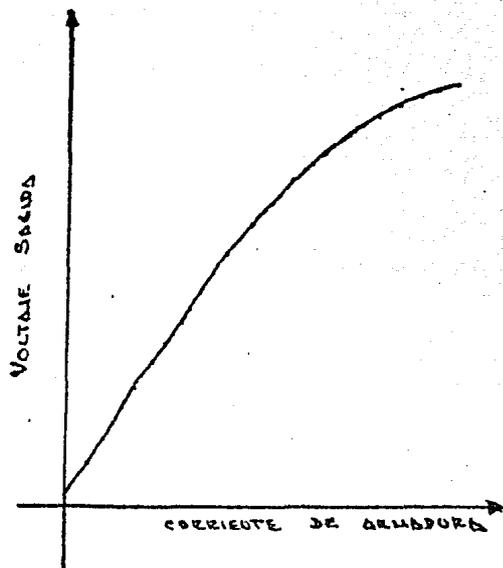
Prueba de Corto Circuito.

Las tres terminales de línea están cortocircuitadas en esta prueba ya sea directamente o a

través de un amperímetro de corriente directa.

Con la velocidad de conducción mantenida a 1500 rev./min. se conecta el suministro de corriente directa al rotor y se incrementa la corriente, por etapas, desde cero, tomando lecturas de la corriente de salida en corto circuito y la corriente de rotor, en cada etapa. La gráfica de la corriente de corto circuito contra la excitación de campo debe ser una línea recta pasando a través del origen.

Si se permite que la velocidad de conducción varía durante la prueba se encontrará que tiene poco efecto en la corriente de corto circuito. A excitación constante el voltaje generado internamente es proporcional a la velocidad de la flecha y la reactancia del estator, la cual forma la mayor parte de la impedancia de corto circuito, es proporcional a la frecuencia y por consiguiente también a la velocidad de la flecha. La razón de los dos, que determina la corriente de corto circuito, es entonces casi independiente de la velocidad rotacional.



Característica para generador de C.A.

Prueba de Carga

En esta prueba el generador es de nuevo conducido a velocidad constante y la carga se grafica contra la corriente de rotor para un voltaje terminal constante.

Conecte la resistencia de carga trifásica a las terminales del generador y colóquelo inicialmente a la máxima resistencia. Arranque el motor de conducción y mantenga la velocidad constante a 1500 rev./min. durante la prueba. Conecte el suministro de corriente directa al rotor y coloque la corriente a un valor que dé, digamos 60 volts en la línea a través de la resistencia de carga. Mida el voltaje de línea, la corriente de línea y la corriente de rotor a esta carga, luego decremente las resistencias de carga en etapas, reajuste la corriente de rotor en cada etapa para mantener el voltaje terminal constante y se repiten las lecturas de arriba. Los resultados son luego graficados para dar corriente de línea contra corriente de rotor a voltaje terminal constante y velocidad de la flecha.

ARRANCADORES MANUALES DE C.A.

Dependiendo de los valores nominales de la potencia, pequeños o grandes motores pueden ponerse en marcha manualmente utilizando disyuntores principales o reguladores de tambor. Cuando la potencia útil de la fuente trifásica sea suficiente y también en el caso de pequeños motores de inducción, se emplea el arranque a plena tensión, como se muestra en la figura 3-9a. utilizando interruptores de dos posiciones (FUERA y MARCHA) con accionamiento de tambor o de levas para cerrar los contactos a-d, b-b' y c-c' simultáneamente en la posición de MARCHA.

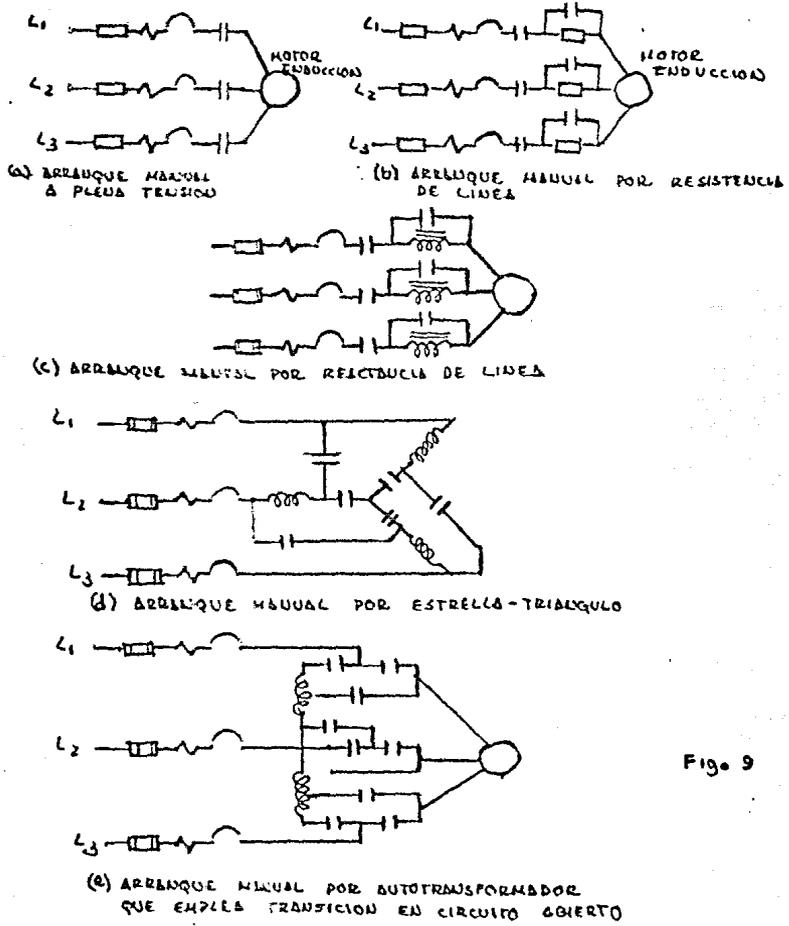


Fig. 9

El arranque por resistencia en el primaria* - mediante conexión manual se muestra en la figura - 3-9b. Todos los contactos están abiertos en la posición de FUERA. Los contactos S están cerrados en la posición de ARRANQUE y, después de un adecuado espacio de tiempo, se cierran los contactos R en la posición de MARCHA.

Es tipo de conexión, como se muestra en el - diagrama de la secuencia de conexiones de la figura 3-9b, se denomina conexión por transmisión en - circuito cerrado, porque los contactos S que alimentan el estator del motor se cierran durante la transición de las posiciones de ARRANQUE a la de - MARCHA del interruptor.

El arranque por self del primario* se realiza con la misma secuencia de conexiones empleada en el arranque por resistencia del primario, por medio de la conexión manual, como se muestra en la - figura 3-9c.

El arranque por conexión estrella-triángula* - mediante conexión manual se muestra en la figura - 3-9d. Este método de conexión necesita la transición en circuito abierto de la posición de ARRANQUE a la de MARCHA.

El arranque por autotransformador* que emplea la transición abierto se muestra en la figura 3-9c.

El estator recibe una tensión reducida (del auto-- transformador cuando los contactos S están cerra-- dos) cuya magnitud y corriente resultante en el - arranque varía con la toma escogida.

El arranque por devanado parcial* en el que - el motor se arranca utilizando la mitad de la tota-- lidad del devanado trifásico del estator con la -

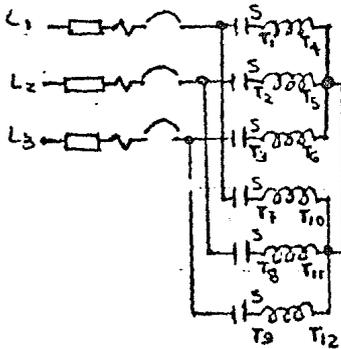


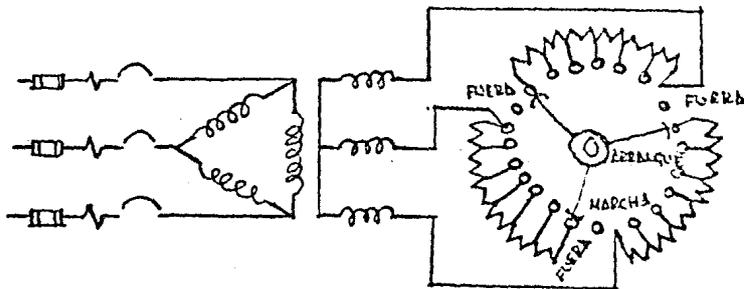
Fig. 10

ARRANQUE MANUAL POR DEVANADO PARCIAL DE UN MOTOR DE INDUCCION

consiguiente reducción de la corriente en el arranque. Se muestra en la figura 3-10a. La conexión - por transición en circuito cerrado se muestra en - la figura 3-10b y el diagrama de la secuencia, en - la figura 3-10c. Los contactos S se cierran cuando el interruptor está en las posiciones de ARRANQUE - y de MARCHA, mientras que los contactos R se cie-- rran sólo en la posición de MARCHA.

ARRANQUE MANUAL DE MOTORES DE INDUCCION DE ROTOR - BOBINADO.

De la misma manera que los motores de c.c., - los WRIMs más pequeños pueden arrancarse utilizando arrancadores manuales planos como se muestra en la figura 3-11a. y también los motores más grandes pero utilizando reguladores de tambor como se muestra en la figura 3-11b.



ARRANCADOR MANUAL PLANO POR
RESISTENCIA DEL SECUNDARIO

Fig. 11

Si se desea utilizar el arrancador de la figura 3-11a. para fines de control de la velocidad, - entonces las resistencias se normalizarían para - servicio continuo según el valor continuo de la co rriente del rotor a cualquier valor de deslizamiento*.

ARRANQUE MANUAL DE MOTORES SINCRONOS POLIFÁSICOS.

Puesto que el estator de un motor síncrono es el mismo que el de un motor de inducción, el motor síncrono polifásico puede ponerse en marcha como un motor de inducción con sus devanados amortiguadores por uno de los métodos SCM descritos previamente en la sección 3-7. Sin embargo en todos estos métodos, el circuito de excitación está cortocircuitado (desexcitado durante el período de arranque) hasta que el rotor está cerca de la velocidad de sincronismo. En este punto, el circuito de excitación de c.c. es abierto y le queda aplicada la tensión de c.c., llevando el motor al sincronismo. Como se muestra en devanado de excitación está cortocircuitado a través del contacto R, normalmente cerrado, a una resistencia de descarga. Por tanto, durante el período de arranque, el circuito de excitación actúa en el mismo sentido para ayudar al devanado amortiguador (en el arranque del motor como en un motor de inducción de jaula) hasta que el rotor se acerca a la velocidad de sincronismo.

El método de arranque mostrado en la figura 3-12a. corresponde a un arrancador manual por autotransformador de tensión reducida que utiliza la transición en circuito cerrado.

ARRANQUE MANUAL DE MOTORES MONOFASICOS.

La conexión manual para motores serie o universal monofásicos puede ser la misma que se muestra para el motor serie de c.c. Los motores monofásicos del tipo de inducción que necesitan arranque a tensión reducida también se conectan en forma análoga al motor de inducción polifásico considerado anteriormente.

ARRANCADORES AUTOMÁTICOS DE C.A.

Los arrancadores automáticos de motores de c. a., la mayoría de ellos son del tipo en bucle - - abierto, empleando aceleración de tiempo fijo; la mayor parte de arrancadores de motores de c.a. con tienen relés de c.a. que funcionan bajo los mismos principios que los relés de c.c.

Además de la utilización de c.c. en los circuitos de control es costumbre emplear tensión reducida para los circuitos de mando de máquinas de c.a. de tensión más elevada. Los arrancadores de c.a., tanto monofásicos como polifásicos, que tienen tensiones nominales de 220 V o más suelen usar transformadores para conseguir una tensión inferior (generalmente 115 V) para los circuitos de control de c.a. de c.c.

En las tres clasificaciones generales de arranque a plena tensión o en bornes de la red arranque a tensión reducida y arranque por devanado parcial. No es posible examinar los arrancadores de motores de inducción polifásicos sin considerar las diversas clases de motores de inducción de jaula (SMIMs) basados en el par y la corriente en el arranque*.La tabla 5-1 clasifica por letras las diferencias constructivas del rotor de acuerdo con las normas NEMA y muestra el efecto de dichas diferencias - -

constructivas en el par y corriente en el arranque rendimiento etc.

El examen de las aplicaciones de la tabla 1 - revela que las modificaciones del rotor se realizaron para conseguir el arranque a plena tensión. Solo el SCIM NEMA Clase A, puede necesitar un arrancador por tensión reducida.

ARRANCADOR MAGNETICO AUTOMATICO A PLENA TENSION PARA SCIMx POLIFASICOS

Un arrancador automático a plena tensión que utiliza tensión de control reducida, se muestra en la figura 1. Los arrancadores de este tipo se pueden conseguir en las graduaciones que han sido normalizadas por las especificaciones NEMA.

Los arrancadores NEMA catalogados en la tabla 5-2 se pueden obtener con una variedad de protecciones. En su forma más sencilla, los arrancadores NEMA llevan un contactor magnético, tripolar M, con un contacto auxiliar M y dos relés de sobrecarga y sus respectivos contactos como se muestra en la figura 5-1. El transformador reductor es opcional y se emplea exclusivamente en motores de tensión elevada.

El arranque a tensión reducida puede emplearse en todos los SCIMs donde los arranques frecuen-

TABLA 5-1. CLASIFICACIONES NEMA Y CARACTERISTICAS DE LOS SCIMS POLIFASICOS BASADAS EN LA CONSTRUCCION DEL ROTOR.

LETRA CLASE NEMA	CONSTRUCCION DEL ROTOR Y TIPO	PAR		CORRIENTE DE ARRANQUE	DESPLAZAMIENTO	FACTOR DE POTENCIA	RENDIMIENTO	GAMA DISPONIBLE DE LOS TAMAÑOS COMERCIALES	APLICACIONES SEGUN LAS CARACTERISTICAS
		Arranque (% a plena carga)	Máximo (% a plena carga)	(% a plena carga)	(% a plena carga)	(% a plena carga)	(% a plena carga)	(HP)	
A	Rotor normal, par y corriente de arranque normales.	105-150	200-250	500-1000	3-5 bajo	85-90 elevado	88-92	0-200	A. Generalmente necesita un arrancador por tensión reducida pero puede arrancarse a plena tensión cuando la capacidad lo permite. Es óptica para cargas a velocidad constante que necesitan un par de arranque elevado, tales como herramientas mecánicas, sopladoras y ventiladores.
B	Rotor universal baja corriente de arranque.	105-150	190-250	500-550 baja	3-5 bajo	82-87	87-89	Igual que el anterior	B. Puede arrancar a plena tensión. Las aplicaciones son análogas a los de Clase A con las características de un factor de potencia y corriente de arranque algo inferiores.
C	Dos jaulas, par elevado, baja corriente.	200-250	200-230	500-550 baja	3-7	82-84	82-84	1-200	C. Par de arranque elevado, carga a velocidad constante tales como bombas, compresores, equipos refrigeradores, trituradores, bandas transportadoras y cadenas de montaje. Pueden arrancar a plena tensión.
D	Jaula única, rotor de reactancia elevada, par elevado, deslizamiento elevado.	250-350	Igual que el par de arranque	300-800	7-18	50-75	50-75	0-150	D. Par de arranque y de aceleración muy elevados pero deslizamiento muy grande de todo tipo. Prensa punzonadora, cizallas y trinquetes de chapa gruesa y otras cargas de inercia elevada, tales como montacargas, grúas y ascensores. Pueden arrancar a plena tensión.
F	Dos jaulas, par pequeño, baja corriente de arranque	50-80	150-180	350-500 muy baja	2-4 baja	82-88	87-90	40-200	F. Cargas de poca inercia y pequeño par de arranque tales como bombas centrífugas, sopladoras y ventiladores. Elevado rendimiento y pequeño deslizamiento. Pueden arrancar a plena tensión.

TABLA 2. VALORES NOMINALES DE ARRANCADORES
TIEMA A PLENA TENSIÓN
POTENCIA CORRESPONDIENTE A LAS
TENSIONES DE LÍNEA INDICADAS:

NÚMERO DE TARJETA	Valor nominal de la corriente del conductor (A)	TENSIONES DE LÍNEA INDICADAS:		
		110 V. Intensidad (A)	220 V. Intensidad (A)	440/550 V. Intensidad (A)
01	9	0	1,5	2
0	18	3	3,0	5
1	27	3	7,5	19
2	45	—	15	25
3	90	—	30	50
4	135	—	50	100
5	270	—	100	200
6	540	—	200	400
7	810	—	300	600
8	1215	—	450	900
9	2250	—	800	1600

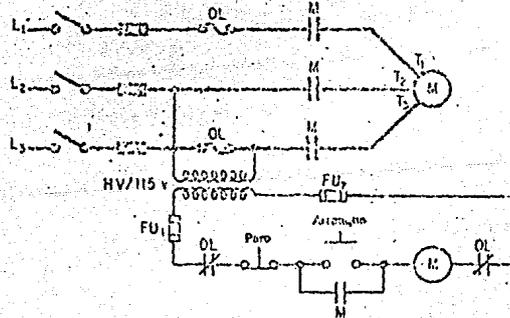


Figura 2-1
Arrancador automático a plena tensión

tes se traducen en molestas fluctuaciones de la tensión debido a la corriente de arranque excesiva.

ARRANCADORES AUTOMÁTICOS DE ACELERACION DE TIEMPO FIJO DE TENSION REDUCIDA DE C.A.

En aquellos casos en que la energía de la fuente lo permite incluso pueden ponerse en marcha motores de inducción extragrandes automáticamente a plena tensión sin perjudicar el motor. Sin embargo, cuando el flujo de corriente en el arranque produce reducciones momentáneas de la tensión que afectan a otros dispositivos eléctricos o electrónicos, se requiere algún método de arranque por tensión reducida.

Cualquier circuito de control que proporcione (1) el cierre de un grupo de contactos de ARRANQUE (2) un medio de proporcionar un retardo y luego (3) el cierre de un grupo de contactos de MARCHA, puede utilizarse universalmente para el arranque por resistencia del primario, reactancia del primario, estrella triángulo, autotransformador y devanado parcial.

ARRANQUE DE UN MOTOR DE INDUCCION DE ROTOR BOBINADO (WRIM).

El circuito de relés de la figura 2 en que TD_1 , TD_2 y TD_3 , se excitan en secuencia de retardo definida, también puede usarse una pequeña modificación para cortocircuitar de una manera efectiva las resistencias del secundario del rotor.

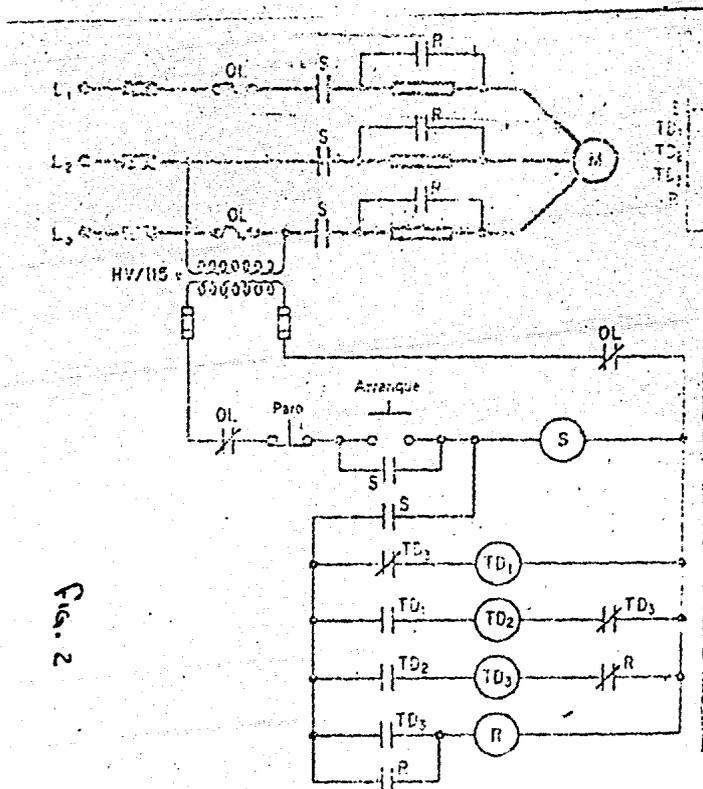


Fig. 2

Los relés de acción retardada de c.a. funcionan por transición en circuito cerrado y pueden emplearse para accionar una transición de cuatro etapas en circuito cerrado para cualquier tipo de arranque de motores de c.a. por acción retardada predeterminada.

Otro principio, se base en la utilización de relés de descarga de constante de tiempo RC. Este tipo de arranque puede emplearse bien en motores de c.c. o bien de c.a. para proporcionar una secuencia de transición en circuito cerrado.

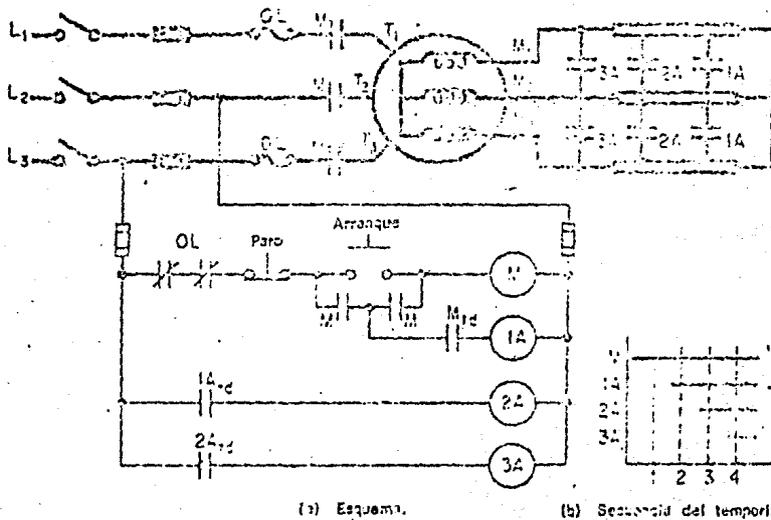


Figura 5-5
Arrancador por resistencia del secundario de un rotor bobinado empleando relés de acción retardada de tiempo fijo.

El arrancador de un motor de rotor bobinado - de la figura 5-6 funciona en la posición de MARCHA solamente con un circuito de control de c.a., excitado. Si el motor se para por cualquier motivo, todos los contactos del circuito de control se cierran, desexcitado por relés del circuito de control de c.a. Un interruptor de línea desconecta el motor y el arrancador de la fuente de c.a. para - que, cuando no estén en servicio, el circuito de - c.c. también quede desexcitado.

ARRANCADORES DE WRIM EN BUCLE CERRADO

A excepción del principio del temporizador - de neón, los arrancadores de c.a. analizados anteriormente eran del tipo en bucle abierto. Aunque - la mayor parte de dichos arrancadores, son del tipo en bucle abierto, se ha ideado un grupo de arrancadore**s** basados en los principios de bucle cerrado o realimentación. Un arrancador que emplea relés - serie de acción rápida, de c.a., es capaz de sensibilizar un responder a las corrientes transitorias de c.a. originadas en la resistencia del rotor durante los períodos de arranque y de aceleración. - El relé serie es un tipo de acción rápida, capaz - de abrir y cerrar en intervalos de tiempo más cortos que los relés de tensión. La figura 7 mues--tra un arrancador que se sirve de relés serie de - c.a.

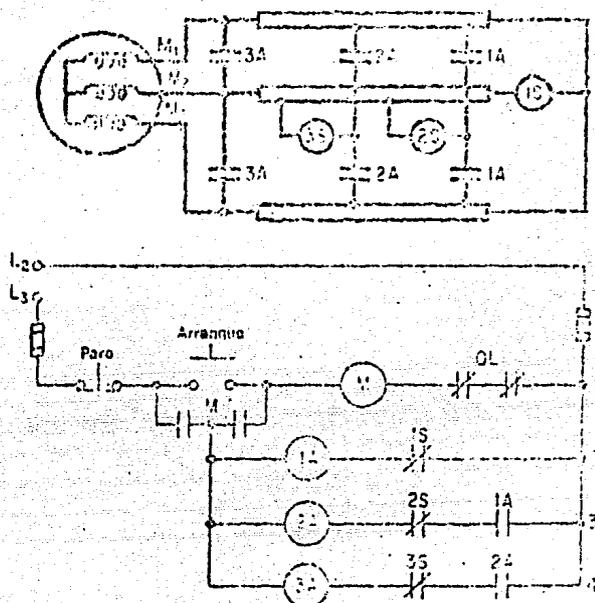


Figura 5-7

Arranque de aceleración por limitación de la corriente del rotor bobinado, utilizando solén serie de ca.

Otro principio en bucle cerrado que puede emplearse en motores bobinados es el que utiliza re l é s de control de frecuencia.

El relé de control de frecuencia, al ser inductivo, está formado por parte de un circuito resonante serie cuya respuesta en frecuencia se sintoniza por medio de un condensador en serie y cuya

respuesta en tensión se ajusta por mediación de una resistencia conectada en serie, como se muestra en la figura 8. El circuito de relés se conecta a un anillo colector y a una toma en otra línea de la resistencia del rotor.

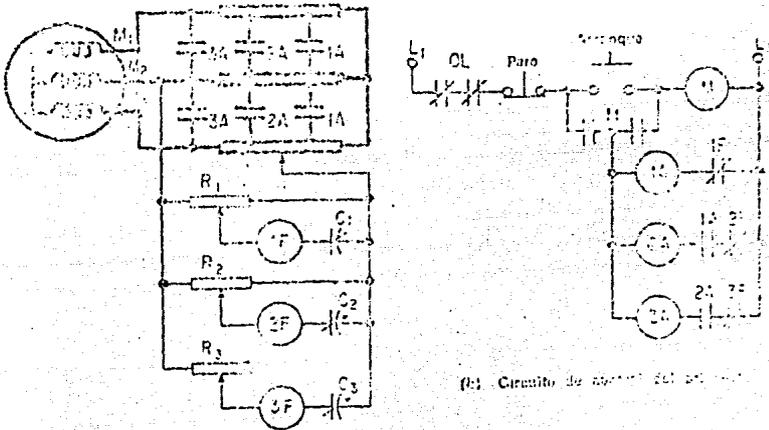


Figura 5-3
Ajustación de un motor de rotor bobinado que se basa en la frecuencia, utilizando relés de frecuencia.

Resulta sencillo sintonizar o ajustar los relés de control de frecuencia así como la tensión a la que pasarán al reposo. Además la ventaja de un control de bucle cerrado se logra sensibilizando la frecuencia en vez de la corriente. Por tanto, si la inercia de la carga es grande y la carga

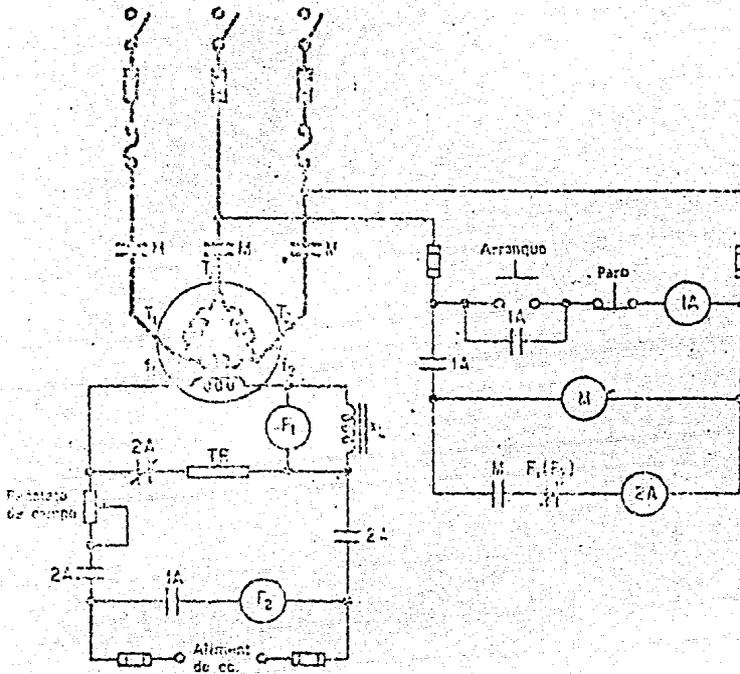


Figura 2-6
Arrancador de un motor síncrono empleando relés de frecuencia polarizados.

El relé de frecuencia polarizado o de sincronismo funciona, por tanto, como un transductor de frecuencia, y sincroniza el motor síncrono en el momento adecuado para el sincronismo en vez de a un intervalo de tiempo definido predeterminado.

CAPITULO VII

DISEÑO DE UNA MÁQUINA ELÉCTRICA

Función de la máquina..... motor.
 Potencia..... 1 H.P.
 Tensión de línea..... 120 volts.
 Velocidad de operación..... 1000 r.p.m.

CÁLCULO ROTOR (1)

Tabla 1 (teoría, funcionamiento y cálculo de máquinas por Guilbert) se dan los valores del entrehierro en función del diámetro y el número de polos.

D (mm)	Polos	e (mm) entrehierro
60	2	0.6 a 0.7
100	2	1.3
150	2	3
60	4	0.4
100	4	0.7 a 0.8
200	4	2
350	4	3.5 a 4

Cálculo de la corriente nominal y de vfa del devanado ondulado.

$$P = 1 \text{ H.P.} = 746 \text{ watts.}$$

$$N = 1000 \text{ rpm.} = 1000 / 60 = 16.677 \text{ rps.}$$

$$V = 120 \text{ volts.}$$

$$\text{Si } P = V I \quad I = P / V = 745 / 120 = 6.216 \text{ Amp.}$$

Corriente por vfa de devanado;

$$I_d = I / 2 (p) = 6.216 / 2 = 3.108 \text{ Amp.}$$

La fem es;

$$\text{fem} = p N n \phi 10^{-8} \text{ volt.}$$

N = revoluciones por segundo.

p = número de polos.

n = número de conductores en la armadura.

ϕ = flujo util.

y teniendo en cuenta que la potencia electromagnética es;

$$P = E I \quad \text{por lo tanto } P = p N n i_d l \quad 10^{-8} \quad (w)$$

Potencia específica es constante e igual a la potencia por vuelta:

$$P_o = P / N = 745 / 16.667 = 44.70 \quad w/v$$

$$P_o = p n \phi i_d l \quad 10^{-8} \quad (w)$$

$n i_d l = \pi D (K i_d l)$ Amperios-conductores en la periferia del inducido.

El flujo es;

$$\phi = B \pi D L B_m$$

B = relación (arco polar/paso polar)

B_m = inducción media en el entrehierro.

L = longitud del inducido.

D = diámetro del inducido.

y si $B = 2/3 = 0.66$

$$\text{por lo tanto } P = NB \pi^2 D^2 L B_m (K i_d l) \quad 10^{-8}$$

$$\text{y } P_o = B \pi^2 D^2 L B_m (K i_d l) \quad 10^{-8}$$

Esta ecuación se le introdujo un coeficiente de utilización definido por;

$$X = (P_i / N_m D^2 L) \quad 10^6, \quad P = kv, \quad N_m = \text{RPM} \quad -(10)$$

De la ecuación (9) tenemos:

$$D^2 L = 10^8 P_o / B \pi^2 B_m (K i_d l) \quad -(11)$$

Si la ecuación media en el entrehierro B_m , se encuentra comprendida en el siguiente rango, determinadas del tratado de pruebas de M. de Pistoye; en relación a los circuitos magnéticos:

Máquina grande	8000 a 9000 gauss
Máquina mediana	6000 a 8000 gauss
Máquina chica	4000 a 5500 gauss

Así como los valores de amperios conductores:

Polos de conmutación 350 a 500 amp/con.

Sin polos de conmutación 250 amp/con.

Sustituyendo valores;

$$D^2 L = 10^8 (44.70) / (2/3) \pi^2 (4100) (250) = 662.788$$

Sustituyendo en;

$$P = 745 = N B \pi^2 D^2 L B_m (K_i 1) 10^{-8}$$

$$745 = 745$$

Donde el coeficiente de utilización será;

$$X = 745 (1) 10^6 / 1000 (662.78) = 1.124$$

El diámetro del inducido está en consideración máxima y mínima de acuerdo a los datos específicos del proyecto.

$D^2 L$ está en función del volumen del inducido.

$$V = \pi D^2 L / 4 \quad (12)$$

$$V = \pi (662.78) / 4 = 520.553 \text{ cm}^3$$

Si se busca ante todo el mínimo de peso de cobre en el inducido, se fija la proporción a priori:

$$L = 1.4 A \quad (13)$$

L = longitud del inducido

A = paso polar

$$\text{Considerando; } A = \pi D / 2p \quad (14)$$

a = distancia del mínimo peso del inductor.

Sustituyendo 14 en 13;

$$L = 1.4 \pi D / 2p \quad (15)$$

sustituyendo 15 en 11;

$$D^2 (1.4 \pi D) / 2p = 10^8 P / B \pi^2 N B_m (K_i 1) \quad (16)$$

despejando D^3

$$D = 1/\pi \sqrt[3]{3pP 10^8 / 1.4 N B_m (K_i 1)} \quad (17)$$

Calculando el diámetro mínimo del inducido;

$$D_{\min} = 1/\pi \sqrt[3]{(6) (745) (10^8) / (1.4) (16.667) (4100) (250)}$$

$$= 8.447 \text{ cm.}$$

El diámetro máximo será proporcional a (Kl_d) y esté proporcional a P_o .

$$D_{\max} = 11.5 \sqrt[4]{44.70 / 60} = 10.68 \text{ cm.} \quad 11.5 = \sqrt[4]{P_o / 60}$$

Se tomará para desarrollo de cálculo $D = 9 \text{ cm.}$

sustituyendo en;

$$n l_d = \pi D (Kl_d)$$

$$n = \pi D (Kl_d) / (l_d) = 9 (250) / 3.104 = 2277 \text{ conduc.}$$

n = número de conductores.

l_d = corriente por vía de devanado.

Kl_d = amperio conductor por cm.

D = diámetro del inducido.

(2)

Cálculo longitud del inducido.

Haciendo la sustitución del valor del diámetro en la ecuación 15

$$L = 1.4 \pi D / 2p = 9.9 \text{ cm.}$$

(3)

Cálculo del devanado.

Para evitar secciones muertas en la conexión del devanado de armadura consideramos el número de ranuras y de secciones por ranuras IMPAR.

Esto es una característica del devanado ondulado en serie.

$r = 27$ ranuras con 3 secciones por ranura por lo que el número de láminas en el colector será de;

$$s = 27 (3) = 81 \text{ láminas.}$$

Una sección de ranura es la parte del devanado comprendido entre dos láminas del conductor existiendo por lo tanto, tantas secciones como láminas en el colector.

por lo cual; 3 secciones = 1 bobina.

81 láminas = 81 secciones = 27 ranuras por 3 secciones.

Si consideramos el número de espiras por sección, debe de ser impar, tomamos como valor un número menor al número de ranuras, espiras por sección igual a 13.

El número de conductores por ranura será;

$$nr = 13 (2) (3) = 78$$

Y como el número de ranuras es igual al número de bobinas;

27 ranuras = 27 bobinas, se tiene entonces;

78 conductores = 1 bobina.

Calculando el total de conductores del inducido;

$$n = 78 (27) = 2106 \text{ conductores.}$$

Calculando el número de pasos de ranura;

$$2106 / 13 = 162 \text{ pasos por ranura.}$$

Calculando el paso diametral del devanado

$$162 / 27 = 6.$$

El paso de devanado será de la ranura 1 a la ranura 6.

Si consideramos que los amperes conductores por centímetro son;

$$K |d| = 250 \text{ amp. con. / cm.}$$

y la corriente por vfa de devanado es;

$$|d| = 3.104 \text{ por lo que; } K = K |d| / |d| = 250 / 3.104 = 80.54 \text{ Cond./cm}$$

El paso polar según fórmula 15 es;

$$A = \pi D / 2p = 7.068$$

Circunferencia del inducido;

$$C = \pi D = \pi (9) = 28.27 \text{ cm.}$$

El número de amperios conductores en la periferia del inducido será; $(K |d|) (C) = (250) (28.27) = 7067.5 \text{ amp. cond.}$

Este devanado se construirá de alambre puro electrofítico con aislamiento de esmalte tipo Formand de característica NEMA 15 C con barniz tipo D (doble) para 105° C. de temperatura.

Con una sección de igual $a = I_d / J = 3.104 / 6 = 0.517 \text{ mm}^2$

$J = a$ la densidad de corriente en amp./mm²

Esta sección corresponde a un alambre desnudo calibre # 20 AWG y para nuestro cálculo se le dará un 10% de abundamiento del aislante.

Para que se cumplan los requisitos para un devanado ondulado en serie, es necesario considerar;

$$2s = p (Y_1 + Y_2) \pm 2p. \quad (19)$$

$s =$ número de láminas, $Y_1 = 1/2$ paso del colector por vuelta

$Y_2 = 1/2$ paso del colector por vuelta.

$p =$ número de polos.

Como el paso por vuelta puede ser indiferentemente, positivo o negativo sin que cambie el razonamiento tenemos;

$$2s = p (Y_1 + Y_2) \pm 2 \quad (20)$$

Siendo $\pm Y$ el sentido de la progresión directa o inversa y en este caso la polaridad de las escobillas se cambian.

Otra condición es el número de conductores debe de ser par pero no cualquiera, por que es necesario que los pasos Y_1 y Y_2 determinados por (20) sean impares.

Además la suma de $Y_1 + Y_2$ debe ser necesariamente par, pero si $Y_1 + Y_2 / 2$ es impar, se pueden tomar dos pasos iguales a;

$$Y_1 + Y_2 / 2 = Y'$$

Y si es par se tomarán pasos desiguales tan vecinos como sea posible, al sustituir valores queda;

$$162 = 2 (Y_1 + Y_2) \pm 2$$

$$Y_1 + Y_2 = 80$$

$$Y_1 + Y_2 = 82$$

con lo que se cumple este tipo de devanado y deduciendo el paso de colector se tendrá;

$$Y1 + Y2 = 80 / 2 = 40 \quad \text{y} \quad Y1 + Y2 / 2 = 82 / 2 + 41$$

por lo que consideraremos este paso de colector.

Calculando el flujo que circula por un polo.

$$FEM = p n N \phi 10^{-8} \quad \text{v} \quad (21)$$

$$\text{Si } FEM = V - I R = 120 - (6.21) (0.6) = 116.28 \quad \text{v.}$$

despejando ϕ de 21 y sustituyendo el valor de FEM;

$$\phi_p = FEM 10^8 / 2 n N \quad (22)$$

$$\phi_p = 116.28 (10^8) / 2 (2106) (16.667) = 165 636.85 \quad \text{max.}$$

y como el flujo total es el que fluye en todos los polos;

$$\phi_t = 4 \phi_p = 4 (165 636.85) = 662 547.43 \quad \text{maxwells.}$$

Calculando la superficie total del entrehierro.

$$e = \phi / B_m = 662 547.43 / 4 4 100 = 161.60 \quad \text{cm}^2.$$

Obteniendo el entrehierro bajo cada polo;

$$e = \phi_p / B_m = 165 636.85 / 4.100 = 40.40 \quad \text{cm}^2.$$

Que corresponde a la superficie de las masas polares

Si el paso polar (14) es $A = \pi D / 2_p$, si se sustituyen en la relación;

$$B = \text{arco polar} / \text{paso polar} = 2/3$$

$$\text{por lo que; } 2/3 = \text{arco polar} / (\pi D / 2_p)$$

$$\begin{aligned} \text{arco polar} &= 2 (\pi D) / 3 (2_p) = 2 \pi (9) / 3 (4) \\ &= 4.712 \quad \text{cm.} \end{aligned}$$

Siendo el arco polar la distancia entre un cuerno y otro de la pieza polar, la longitud de los polos será;

$$l_p = e / \text{arco polar} = 40.40 / 4.71 = 8.573 \quad \text{cm.}$$

Considerando un abundamiento del 15% por calentamiento y oxidación;

$$l_p = 8.57 + 1.33 = 9.9 \quad \text{cm.}$$

Longitud que comparándola con la del inducido es igual, puesto que el polo debe abarcar toda la superficie del inducido.

Para la construcción de estas masas polares consideraremos la-

minillas de 1 mm. de espesor con un abundamiento del 15% antes mencionado lo que corresponde a 90 laminillas de acero fundido. Con la elección del entrehierro (e) de 0.7 mm. el arco polar - real o corregido será de:

$$\text{arco polar real} = \text{arco polar} + e = 4.712 + 0.07 = 4.782 = 4.8 \text{ cm.}$$

El paso dentario en la periferia del Inducido será;

$$\text{Paso dentario} = \pi D / r = \pi 9 / 27 = 1.047 \text{ cm.}$$

La distancia entre un cuerno polar, de un polo y el de otro será del paso polar.

El número de dientes bajo un polo será;

$$\text{arco polar} / \text{paso dentario} = 4.712 / 1.042 = 4.5$$

(4)

Cálculo de las ranuras y dientes de la armadura.

Si tenemos 78 conductores por ranura con una sección de 0.517 mm². el área total ocupada por los conductores será;

$$0.517 \times 78 = 40.32 \text{ mm}^2.$$

Considerando 20% de abultamiento, la sección ocupada será;

$$40.32 + 8.06 = 48.38 \text{ mm}^2.$$

si esta cantidad significa el 60% de llenado de la ranura (puesto que hay que considerar la cuña para cerrar la ranura) el área total por ranura será;

$$48.38 \times 100 / 60 = 78 \text{ mm}^2 = 0.78 \text{ cm}^2.$$

El área total de un paso dentario es;

$$\begin{aligned} \text{área} &= \text{área del Inducido} / r = \pi D^2 / 4 r = \pi 9^2 / 4 (27) \\ &= 2.356 \text{ cm}^2, \end{aligned}$$

Altura del diente;

$$\text{área de ranura} (b + a) h / 2$$

h = altura del diente

b = la base mayor de la ranura

a = base menor de la ranura

$$h = 2 (\text{área de ranura}) / b + a$$

$$\alpha = 360^\circ / 27 \text{ ran.} = 13.333^\circ / \text{ran.}$$

en radianes $13.333 = 0.232 \text{ rad.} / \text{ran.}$

Si consideramos de la figura 1 que X está en función de la altura y del área de la ranura;

$$X = (0.232) (h + 1) \text{ si } h = 3 \text{ cm.}$$

$$X = (0.232) (3) = 0.696 \text{ cm.}$$

por lo que $h_2 = 4.5 - 3 = 1.5 \text{ cm.}$, que sería la altura del diente comprobando que esta altura es la adecuada tendremos;

$$\text{área del paso dentario} = 2.356 \text{ cm}^2.$$

$$\text{área de la ranura} = 0.78 \text{ cm}^2.$$

por lo que el área será; con esta altura;

$$Z = \pi ((4.5)^2 - (3)^2) / 27 = 1.3089 \text{ cm}^2.$$

Área que es correcta ya que se acomodan perfectamente la ranura y el diente, de (25) y de

$$b + a = 2 (\text{área de la ranura}) / h = 2 (0.78) / 1.5 = 0.97 \text{ cm.}$$

considerando que $X = 2 a$ y $X = 0.696 \text{ cm.}$ tendremos

$$a = 0.696 / 2 = 0.348 \text{ cm.}$$

con esto consideramos que la base del diente y de la ranura son iguales, por lo que, $b = (0.232) (4.2) - 0.348 = 0.627 \text{ cm}$
Calculando la inducción que los atraviesa;

$$B_d = \phi_p / 0.92 (L) \text{ (dientes por polo)}$$

$$= 165\,636.84 / (0.92) (0.348) (4.583) = 11\,410 \text{ gauss}$$

(5)

Cálculo del colector.

Como se tienen 81 láminas se debe tener un diámetro un poco mayor de las 2/3 del diámetro del inducido.

$$D_c = D / (2/3) = 6 \text{ cm.}$$

Se considera el diámetro mínimo del colector, considerando que el espesor de las láminas es de 2 a 2.5 mm y las laminillas de mica de 1 mm y que tendrá un abudamiento del 15% por lo cual determinamos que será;

$$D_c = 7 \text{ cm.}$$

El espesor de las escobillas es según el manual de M. de Pistate de 2.5 veces el paso dentario, esto es;

$$\text{Espesor de escobillas} = 1.047 (2.5) = 2.61 \text{ cm.}$$

La periferia del colector es;

$$C_c = \pi D_c = \pi 7 = 21.99 \text{ cm,}$$

Y teniendo 81 láminas y 81 laminillas, el espesor de éstos será $21.99 / 81 = 0.2741 \text{ cm.}$

Lo que corresponde a láminas de 2 mm de espesor y laminillas de mica de 0.7 mm.

La longitud del colector será, considerando la categoría de las escobillas que para nuestro diseño se eligieron del tipo electrográficas semiduras de dimensiones 10 x 8 con una densidad que es de 1.66 amp./cm².

Colocando dos de estas escobillas en línea da una longitud de 16 mm, que corresponde a una longitud de colector de;

$$L_c = 8 \times 2 = 16 \text{ mm} = 1.6 \text{ cm.}$$

Calculando tensión de reactancia de las dos líneas de escobillas;

$$E_{rc} = 13.44 (n^2 N L_c l_d) 10^{-8} / s \\ = 13.44 (2106)^2 (16.667) (1.6) / 81 = 0.196 \text{ v}$$

Tensión entre láminas.

$$V_1 = VP / s = (120) (4) / 81 = 5.926 \text{ v.}$$

El par electromagnético es;

$$T = 2 (n \phi l \times 10^{-8}) / 2$$

$$= 2 (2106) (662\ 547.93) (6.21) 10^{-8} / 6.281$$

$$T = 27.88 \text{ julios.}$$

Resistencia de armadura.

$$R_a = (V - FEM) / I = (120 - 116.28) / 6.2 = 0.6 \text{ ohm.}$$

Cálculo del estator.

Como la anchura del arco polar es de 4.8 cm. entonces se dará una altura de 0.4 cm. a los ensanchamientos de su base y de 0.25 cm. en el cuerno.

Si la velocidad admisible en las máquinas pequeñas es de 1.3 m/s en las masas polares y el flujo por polo es de 165 636.85 maxwells, tenemos que el flujo en los núcleos es de;

$$\phi_n = V \phi_p = 1.3 (165\ 636.85) = 215\ 327 \text{ maxwells.}$$

La anchura de estos núcleos para una inducción de 11 500 gauss sabiendo que su longitud es de 9.9 cm. será;

$$a = \phi_n / B_p l_p = 215\ 327.84 / 11\ 500 (9.9) = 1.89 \text{ cm.} = 2 \text{ cm.}$$

Inducción en el estator.

$$B_p = \phi_n / a l_p = 215\ 327.84 / 2 (9.9) = 11\ 897 \text{ gauss}$$

Si la carcasa solo admite 1.2 m/s con un flujo de

$$\phi_c = 1.2 (\phi_p) / 2 = 1.2 (165\ 636.85) / 2 = 99382.1 \text{ max.}$$

Y conociendo que su longitud es del mismo tamaño que la de los polos $l_p = 9.9 \text{ cm.}$ su inducción será;

$$B_c = \phi_c / l_c (0.7) = 99\ 382.1 / 9.9 (0.7) = 14\ 340 \text{ gauss}$$

siendo 0.7 cm. el espesor de la carcasa.

La longitud de la línea de fuerza media de la armadura será de 3 cm. con una inducción aproximada de 15 000 gauss, según la curva del anexo 1 para acero fundido Girod, con la que se tendrá por la curva de magnetismo de De Pistoye para láminas ordinarias, 23 ampers vuelta/cm en el interior de la armadura, lo que corresponden a 23 (3) = 69 amp-vueltas.

Para los dientes, la inducción aparente es de 11 410 gauss - por la fórmula 26, lo que corresponde según la curva de magnetismo a 6 amp. -vuelta/cm. y considerando que el diente - tiene 1.5 cm. de altura, los amp.-vuelta será $1.5 (6) = 9$ - amp.-vuelta.

Para el entrehierro, se tendrá que considerar su sección de 40.40 cm^2 . y un entrehierro de 0.7 mm. para los siguientes - amp.-vuelta:

$$0.1 e (\delta_p) / 0.4 \text{ H s e} = 0.07 (165\ 636.84) / 0.4 \text{ H} (40.40) \\ = 228.3 \text{ amp-vueltas.}$$

Lo que corresponde para los dientes y el entrehierro,
 $9 + 228.3 = 237.32$

Ahora si la línea de fuerza media en la carcasa y masas polares es de 7.3 cm. con una inducción de $B_c = 14\ 340$ gauss - (curva 2) se tendrá.

$$\text{amp.- vuelta} = 17 (7.3) = 124.1 \text{ amp.-vuelta.}$$

El total de excitación a carga nominal.

$$69 + 9 + 228.3 + 124.1 = 430.40 \text{ amp.-vuelta por polo.}$$

Al estar conectado el embobinado de excitación en serie las - vueltas por polo de las bobinas será de $430.40/6.21 = 69$ espiras por polo pero como los inductores tienen el 50% de amp-vueltas en derivación en funcionamiento nominal;

$$69 / 2 = 34.5 \text{ espiras.}$$

Por lo que se consideran bobinas de excitación de dos secciones la de arriba con 34 espiras y la de abajo con 35 espiras, lo que da un total de 60 espiras.

RESUMEN DE CALCULOS DETERMINADOS.

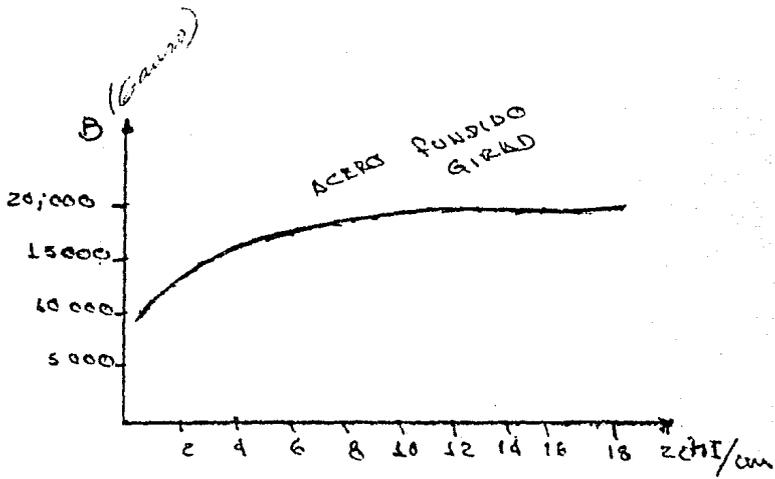
Potencia	745 w.
Revoluciones por segundo	16.667
Tensión de línea	120 v.
Corriente nominal	6.216 A
Corriente por vía de devanado	3.108 A
Fuerza electromotriz	116.28 v
Número de polos	4
Número de conductores	2 106
Flujo útil	662 547.93 max.
Potencia específica	44.70 w
Diámetro del inducido	9 cm.
Conductores por cm.	80.54
Arco polar/Paso polar	2/3
Inducción en el entrehierro	4 100 gauss
Coefficiente de utilización	1.124
Ampers por conductor	250 A
Volumen del inducido	520.53 cm ³
Longitud del inducido	9.9 cm.
Número de ranuras del inducido	27
Número de láminas en el colector	81
Número de conductores por ranura	78
Longitud del colector	1.6 cm.
Paso diametral	6
1 bobina 3 secciones 1 ranura	78 conductores
Paso polar	7.068 cm.
Circunferencia del inducido	28.27 cm.
Ampers conductores en el inducido	7.067

Paso del colector	41
Flujo por polo.	165 636.85 max.
Entrehierro	0.07 cm.
Superficie del entrehierro	40.40 cm ² .
Longitud de los polos	9.9 cm.
Arco polar	4.712 cm.
Arco polar corregido	4.8 cm.
Paso dentario.	1.047 cm.
Area de ranura	0.78 cm ² .
Inducción en los dientes	11 410 gauss
Diámetro colector	6 cm.
Tensión de reactancia	9.19 v
Tensión entre láminas	5.926 v
Par electromagnético	27.88 julios
Resistencia armadura	0.6 ohms
Flujo en los núcleos	215 327.84 max.
Anchura de los núcleos	2. cm.
Inducción en los polos	11 897 gauss
Flujo en la carcasa	99 382 max.
Inducción en la carcasa	15 000 gauss
Ampers vueltas en la armadura	69
Ampers vuelta en los dientes	9
Ampers vuelta en el entrehierro	228.3
Ampers vuelta en la carcasa	124.1
Devanado de excitación	69 espiras
Conductor devanado del inducido	20 AWG.
Conductor devanado de excitación	20 AWG.

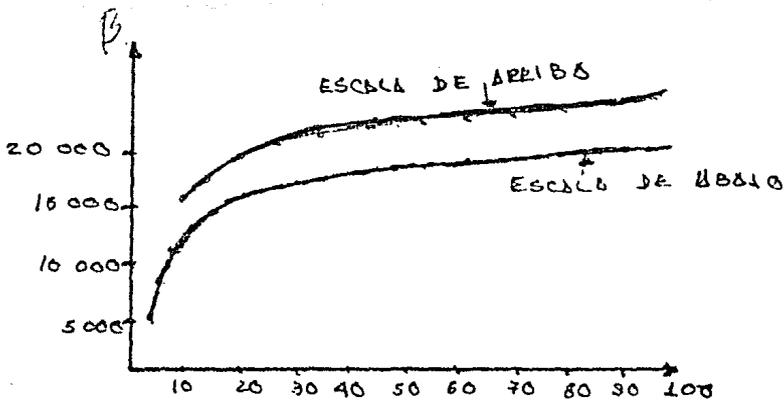
CONCLUSION.

El motor tiene una tensión constante, corriente constante, pero sobre todo su gran variación de velocidad en función de la carga.

Otra de las ventajas de este motor, es que está construido con un circuito magnético laminado, lo que disminuye considerablemente las pérdidas por corrientes parásitas o de Foucault y además, que trabaja indistintamente bajo la misma tensión, con corriente continua y con corriente alterna, por lo que también es aplicable a aparatos caseros como: aspiradoras, ventiladores, máquinas de coser y refrigeradores, esto es funciona como motor universal.



CURVA 2



BIBLIOGRAFIA

- 1.- Curso de transformadores y motores trifásicos de inducción, Gilberto Enriquez Harper, Ed. Limusa.
- 2.- Control de máquinas eléctricas, I.L. Kosow. Ed. Reverte.
- 3.- Máquinas eléctricas y transformadores, I.L. Kosow. Ed. Reverte
- 4.- Manual standard del ingeniero electricista, A.E. Knowlton, Ed. Labor, Tomo I.
- 5.- Comunicación electrónica, Robert L. Shrader, McGraw-Hill.
- 6.- Conversión de energía electromecánica, Vembu - Gourishankar. Ed. Representaciones y servicios de ingeniería.
- 7.- Electricidad, Harry Mileaf, Ed. Limusa, Vol.6 y 7.
- 8.- Electricidad básica, Van Valkenburgh, Ed. C.E. C.S.A. Vol. 5.
- 9.- Máquinas eléctricas, George J. Thaler y Milton L. Wilcox, Ed. Limusa.
- 10.- Máquinas de corriente alterna, Michel Liwschitz Garik y Clyde C. Whipple, Ed. C.E.C.S.A.