



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

---

**Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan**

**FUNCIONAMIENTO Y MANTENIMIENTO  
DE UN MOTOR ELECTRICO  
DE INDUCCION**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL  
TITULO DE INGENIERO  
MECANICO ELECTRICISTA  
PRESENTA:**

**José Guillermo Contreras Larios**

**CUAUTITLAN IZCALLI 1985.**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

CUAUTITLAN

FUNCIONAMIENTO Y MANTENIMIENTO DE UN MOTOR ELECTRICO

DE INDUCCION

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

PRESENTA

JOSE GUILLERMO CONTRERAS MARIOS.

CUAUTITLAN IZCALI 1985.

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUANTITATIVAS

TEMA DE TESIS

Que como prueba de su exámen profesional para obtener el título de ING. MECANICO ELECTRICISTA, desarrollará el -  
C. Jose Guillermo Contreras Iarios, pasante de la carrera Ingeniería Mecánica Eléctrica.

Funcionamiento y mantenimiento del motor de inducción trifásico, sus elementos básicos. su funcionamiento en general , el mantenimiento preventivo y su organización.

La rápida comprensión de los conceptos fundamentales del funcionamiento de los motores de inducción para cualquier estudiante.

## PROLOGO

Desde los umbrales de la humanidad el hombre tuvo contacto con la electricidad y sus efectos, cuando veía y escuchaba los rayos en una tormenta, sin embargo, no es sino hasta el siglo XVII cuando el anatomista de la Universidad de Bolonia, el ilustre profesor Luigi Galvani se dedicó al estudio sobre la electricidad animal; en las ranas observó que las patas se les contraían al colocarlas en contacto con dos metales diferentes deduciendo que se aplicaba una corriente eléctrica en los nervios de las mismas, notó que la pata de rana cerraba un circuito eléctrico.

Posteriormente, el boloñés Alessandro Volta profesor de Pavia, inventa la pila eléctrica a partir del experimento de Luigi Galvani.

Varios siglos antes de la era cristiana se descubrió cerca de la ciudad de Magnesia, en Asia Menor, un trozo de mineral negruzco que tenía la extraordinaria propiedad de atraer y mantener adheridas partículas de hierro; además, los trozos de hierro frotados de cierta manera con ese mineral adquirían a su vez tan extraña propiedad. Debido a que el descubrimiento de ese raro mineral fué hecho cerca de la ciudad de Magnesia, a esa propiedad de atracción se le llamó magnetismo.

El primer empleo práctico de los imanes y del fenómeno natural del magnetismo se hizo en las brújulas, para indicar la dirección norte-sur, puesto que este fué uno de los primeros descubrimientos sobre las propiedades de la magnetita. Aunque no se han encontrado documentos históricos escritos que nos informen sobre la persona o personas que descubrieron esa propiedad, existen algunas indicaciones de que los chinos fueron los primeros que emplearon brújulas primitivas, hechas

con trozos de magnetita, para indicar la dirección norte-sur algunos miles de años antes de nuestra era.

Así, el descubrimiento y aplicación del magnetismo en las brújulas hizo posible la exploración de la tierra, alejándose los barcos cada vez más de las rutas conocidas, hasta los históricos viajes de Cristóbal Colón, que dieron por resultado el descubrimiento de América.

Mucho antes del descubrimiento de Volta los físicos se preguntaban si los fenómenos eléctricos y magnéticos eran esencialmente distintos. La estrecha conexión de ambos fenómenos fué revelada en 1820 por el físico danés Hans Christian Oersted quien después de una larga serie de vanos ensayos logró poner en evidencia la desviación de la aguja magnética bajo la acción de la corriente eléctrica. En la interpretación teórica de su descubrimiento Oersted llega a la trascendental conclusión de que el efecto magnético no puede estar confinado en el alambre conductor, sino que tiene su asiento en el espacio circundante, es decir el campo magnético.

Por ese tiempo André Marie Ampère demuestra que dos corrientes paralelas y del mismo sentido se atraen, mientras que las de sentido contrario se repelen. Experimentalmente demuestra que un solenoide, o sea, una bobina recorrida por una corriente se comporta como un imán.

Michael Faraday nace en 1791 es hijo de herrero y aprendiz de encuadernador, es el más eminente de los experimentadores del siglo XIX. fué autodidacta. Su ejemplo ofrece quizá la prueba más sorprendente de la completa independencia entre el genio creador y los conocimientos conferidos por la formación escolar. Un feliz azar le permitió aprovechar las lecciones del célebre químico Humphry Davy. De ayudante del maestro se transformó en su sucesor.

Cersted y Ampere habían obtenido magnetismo por electricidad y Faraday se propuso lo contrario es decir obtener electricidad a partir de magnetismo, en 1831 descubrió la inducción. Enrolló cobre en un anillo de hierro dulce en dos bobinas separadas, pero cercanas entre si, y conectó la primera con una batería de Volta, la segunda con un galvanómetro. En el momento de cerrar y abrir la corriente en la primera de las bobinas, la desviación de la aguja del galvanómetro indicó la presencia de una corriente inducida en la segunda bobina. Faraday modificó el dispositivo y muestra que al introducir una barra imanada en el interior de una bobina y al retirarla se obtienen igualmente corrientes inducidas.

El fecundo año de 1831 aún no había terminado y Faraday logra corrientes permanentes por inducción. Hace girar entre los polos de un potente imán un disco de cobre perpendicular al plano del imán y recoge la corriente por medio de alambres que rozan el eje y la circunferencia del disco. De este experimento de Faraday parte en línea recte el camino hacia las máquinas generadoras de corriente, cuyo primer modelo fue ideado pocos meses después por el italiano Pixii. Sus tentativas y otras similares culminaron con la construcción de el dínamo en los años de 1867 y 1869 siendo obra del alemán Siemens, del italiano Pacinotti y del francés Gramme.

Toda la industria eléctrica de nuestros días es tributaria del descubrimiento de Faraday, motores, transformadores, teléfonos, radios estan considerados en sus experimentos de 1831.

La historia de la Ingeniería conoce pocas hazañas que hayan tenido sobre la historia de la civilización una influencia tan profunda.

El cúmulo de nuevos conocimientos descubiertos por Faraday reclamaba una interpretación sintética. La brindó-

en 1837 con la admirable imagen de las líneas de fuerza. - Según su pensamiento, libre de fórmulas matemáticas, las líneas de fuerza se concretan en los efectos electro-magnéticos y pueden ser comparadas a hilos elásticos que al contraerse tienden a aproximar las superficies en que sus extremidades están fijadas. Estas extremidades representan las cargas eléctricas, una positiva y otra negativa. Del mismo modo, el espacio en torno del imán también está cruzado por líneas sometidas a dos tensiones:  
-una de atracción que tiende a acortarlas  
-otra de repulsión entre las líneas adyacentes que tienden a ensancharlas.

El conjunto de estas líneas define el campo magnético.

Si un conductor corta las líneas de fuerza del campo magnético, la perturbación provoca una corriente inducida y la fuerza electromotriz será tanto mayor cuanto más numerosas sean las líneas cortadas. La fecundidad de esta imagen es extraordinaria, sirve como segura guía en las múltiples formas de la inducción.

# I N D I C E

PROLOGO . . . . . 7

INTRODUCCION . . . . . 15

## CAPITULO I.- FUNCIONAMIENTO

I.1.-PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO . . . . . 23

I.2.-CAMPO GIRATORIO..... 29

I.3.-DESLIZAMIENTO..... 31

I.4.-COMPORTAMIENTO DEL MOTOR DE  
INDUCCION COMO TRANSFORMADOR . . . . . 33

I.5.-DEVANADO, RANURA Y ENTREHIE-  
RRO..... 35

I.6.-CIRCUITO EQUIVALENTE..... 40

## CAPITULO II TIPO DE MOTORES DE INDUCCION TRIFA- SICOS

	II.1.- CLASIFICACION DE LOS MOTORES DE INDUCCION .....	45
	II.2.- VARIACION DEL PAR EN EL MO- TOR JAULA DE ARDILLA.....	51
	II.3.- PAR CRITICO.....	54
	II.4.- ELEVACION DEL PAR EN EL MO- TOR AL ARRANQUE.....	57
CAPITULO	III.- DETERMINACION DE LAS CARACTE- RISTICAS DE UN MOTOR DE IN- DUCCION TRIFASICO POR EL DIA- GRAMA CIRCUIAR.....	62
	III.1.- DIAGRAMA CIRCUIAR.....	63
	III.2.- DETERMINACION DE LAS CARAC- TERISTICAS DE UN MOTOR DE - INDUCCION A PARTIR DEL DIA- GRAMA CIRCUIAR.....	64
	III.3.- INCONVENIENTES DEL TRATADO CIRCUIAR.....	67

	III.4.- TRAZADO DEL DIAGRAMA CIRCULAR DE UN MOTOR DE INDUCCION TRIFASICO.....	68
CAPITULO IV	EL MOTOR DE INDUCCION TRIFASICO EN SERVICIO.	
	IV.1.- EMPALME.....	75
	IV.2.- PUESTA EN SERVICIO DE LOS MOTORES DE INDUCCION.....	78
	IV.3.- ARRANQUE ESTRELLA-DEITA....	82
	IV.4.- ARRANQUE POR TRANSFORMADOR.	85
	IV.5.- ARRANQUE POR RESISTENCIA..	90
	IV.6.- ARRANQUE MAGNETICO A TENSION COMPLETA Y TENSION REDUCIDA.	93
	IV.7.- INVERSION DEL SENTIDO DE GIRO.....	97
	IV.8.- REGULACION DE LA VELOCIDAD DE LOS MOTORES DE INDUCCION.	98

CAPITULO V MANTENIMIENTO PREVENTIVO A -  
MOTORES DE INDUCCION.

V.1.- FUNDAMENTOS DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	104
V.2.- MANTENIMIENTO PREVENTIVO A -- MOTORES DE INDUCCION.....	107
V.3.- FALLAS DE MOTORES DE INDUC--- CION.....	119
V.4.- ORGANIZACION DEL MANTENIMIEN- TO DE MOTORES DE INDUCCION...	127
CONCLUSIONES	132
VOCABULARIO	135
BIBLIOGRAFIA	141

La ingeniería se define como el arte y la ciencia de desarrollar y utilizar los recursos naturales de la tierra en beneficio de la humanidad.

Dentro del campo de la Ingeniería Eléctrica es donde se presenta la oportunidad de proyectar dispositivos y procedimientos para convertir la energía de las corrientes de agua, de los combustibles al quemarlos, del viento, de las mareas, de la energía solar y recientemente de la energía nuclear, en una forma más cómoda para su empleo, en energía eléctrica, la cual puede ser enviada a grandes distancias, a través de montañas y desiertos para ser empleada en los lugares en donde la humanidad la necesita por ejemplo en las ciudades y zonas industriales.

La electricidad rinde hoy más trabajo a la humanidad que todas las otras formas de la energía juntas.

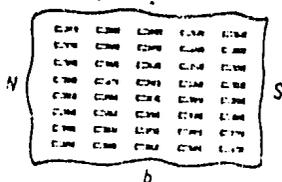
La electricidad y el magnetismo han llegado a ser indispensables en el mundo de hoy, y tienen influencia directa y muy importante sobre el aspecto económico y social de la vida moderna.

Sin la electricidad sería imposible la vida en las grandes ciudades y aún en la mayor parte de las comunidades menores. Esto significa que no tendríamos casi nada o absolutamente nada de todos los beneficios de la vida moderna.

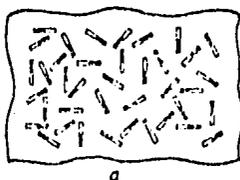
Esta es por excelencia, la era de la electricidad, puesto que el descubrimiento y dominio de esta formidable fuerza de la naturaleza para producir el trabajo del mundo, constituye una de las más grandes maravillas de la historia de la humanidad.

El magnetismo es uno de los fenómenos más importantes, tal vez, el más importante de todo el campo de la Ingeniería Eléctrica. Sin magnetismo no existirían generadores ni motores eléctricos y gran parte de la fuerza industrial lo constituyen precisamente estos elementos.

El magnetismo, según la "teoría molecular" del magnetismo o teoría de Weber, como se le llama, en honor del Profesor Willhelm Weber, de la Universidad de Gottinga es, -- que cada molécula de la sustancia magnética es un pequeño imán, con sus polos norte y sur. Considerando esto simplemente, se podría pensar que un trozo de hierro es automáticamente un imán: sin embargo, no ocurre tal cosa, y la teoría lo explica diciendo que el conjunto de átomos, que forman una barra de hierro, estén colocados en completo desorden y en forma irregular, como se ve en la figura, por lo que los imanes se neutralizan entre si y la acción total es nula.



Cuando la barra se imana, las molecular se mueven por efecto de la fuerza magnética y se ordenan en una forma regular, como se observa en la siguiente figura.



Golpeando la barra de acero, cuando está en un campo magnético, se favorece el ordenamiento de las moléculas y con ello la magnetización. En algunos casos, los imanes -- deben de tratarse con cuidado y no golpearlos, puesto que un golpe brusco puede desordenar las moléculas y hacer desaparecer la imanación;

Los generadores y motores eléctricos aplican importantes fenómenos magnéticos, electromagnéticos y de inducción electromagnética.

En lo que respecta a los principios fundamentales, el generador y el motor eléctrico son máquinas idénticas, lo que puede probarse fácilmente, pues muchos motores eléctricos pueden emplearse como generador o motor.

Las características de estas máquinas eléctricas pueden resumirse como sigue.

i) En un generador eléctrico, la energía mecánica aplicada al mismo se emplea para hacer mover los conductores del inducido dentro de un campo magnético; el movimiento -- hace que se induzca una fuerza electromotriz en los conductores, la que a su vez origina una corriente eléctrica que circula por el inducido y por el circuito externo conectado a los bornes del generador. La cantidad de energía eléctrica obtenida a la salida es proporcional a la energía mecánica aplicada para hacer funcionar el generador.

jj) En un motor eléctrico se hace circular una corriente a través de los conductores o arrollamiento del inducido colocados dentro de un campo magnético principal intenso; la interacción entre este campo magnético y el creado alrededor de los conductores por la corriente que -- circula por los mismos, tiende a expulsar a los conduc-

tores del inducido, del campo principal; esta tendencia se transforma en una fuerza de rotación, que se obtiene como energía mecánica en el eje de la parte giratoria o rotor del motor, la energía mecánica entregada por el motor es proporcional a la energía eléctrica con que se alimenta el mismo.

Al funcionar un motor eléctrico, se observa que al arrancar partiendo del reposo, se acelera rápidamente hasta alcanzar su velocidad normal y luego continúa funcionando a una velocidad aproximadamente constante. Si aplicamos instrumentos de medición en la línea de alimentación del motor observaremos lo siguiente:

- i ) Cuando el motor comienza a funcionar partiendo del estado de reposo, absorbe de la línea una corriente eléctrica muy intensa.
- ii ) Al alcanzar su velocidad máxima sin ninguna carga aplicada, la intensidad de la corriente que toma de la línea desciende hasta un valor relativamente pequeño comparado con la intensidad inicial.
- iii) Aplicando gradualmente una carga mecánica al motor, su velocidad se reduce un poco, y la intensidad de la corriente de la línea de alimentación, va aumentando a medida que aumenta la carga aplicada
- iiii) Si se sigue aumentando la carga la corriente aumentará cada vez más hasta llegar, cuando el motor se detiene, al valor que tenía al arrancar partiendo del estado de reposo; esta corriente es tan intensa que si no existe equipo de protección destruye al motor en pocos

instantes por el intenso calor que desarrolla.

La causa de las distintas intensidades de corriente -- que toma el motor de la línea en las distintas condiciones de carga se explica por los siguientes fenómenos:

- El movimiento de un conductor en un campo magnético, -- produce una f.e.m. inducida en el mismo, proporcional a la cantidad de líneas de fuerza del campo, que corta el conductor en la unidad de tiempo.
- Si se hace circular una corriente por un conductor colocado dentro de un campo magnético, la interacción -- entre los campos magnéticos --el existente y el originado por la corriente-- tiende a expulsar al conductor del campo, siendo esta tendencia o fuerza la que hace girar las partes rotativas de los motores.

En estos dos hechos esta la razón de las distintas intensidades de la corriente,

En un motor se presentan, a un mismo tiempo, los dos efectos: de generador y de motor, es decir, para hacer girar el motor aplicamos una fuerza electromotriz entre sus terminales, haciendo que circule una corriente a través de sus devanados para producir el campo magnético que lo hace girar: la rotación del motor hace que se induzca una fuerza electromotriz que actúa en sentido contrario a la fuerza electromotriz aplicada al mismo; luego, cuando el motor aumenta su velocidad, la fuerza electromotriz de oposición producida por la rotación denominada fuerza contraelectromotriz, aumenta proporcionalmente a la velocidad hasta que su valor se aproxima al de la f.e.m. aplicada.

En ese momento el motor alcanza, automáticamente, su velocidad normal de funcionamiento.

Cuando aplicamos la fuerza electromotriz entre las terminales estando el motor detenido, la fuerza contraelectromotriz es aún cero y, por lo tanto, no ofrece oposición a la circulación de la corriente que viene de la línea de alimentación.

Esto explica por qué la corriente es tan elevada en esos momentos.

Cuando la velocidad del motor va aumentando, la fuerza contraelectromotriz crece proporcionalmente a la misma, y va ofreciendo cada vez más oposición a la circulación de la corriente que proviene de la línea de alimentación, hasta que la fuerza contraelectromotriz llega a un valor menor que la f.e.m. aplicada, en la cantidad necesaria para permitir circular la intensidad de corriente dentro del motor para mantenerlo en rotación sin aumento posterior de la velocidad.

Si a continuación aplicamos más carga al motor, este comenzará a disminuir lentamente la velocidad reduciendo en la misma proporción la fuerza contraelectromotriz, lo que aumenta la intensidad de la corriente que circula dentro del motor, hasta alcanzar la intensidad suficiente para mantener el motor en rotación sin disminuir más la velocidad -suponiendo que el motor no ha sido cargado más allá de su capacidad-.

F U N C I O N A M I E N T O .

## CAPITULO I

### FUNCIONAMIENTO

I.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.

I.2 CAMPO GIRATORIO.

I.3 DESLIZAMIENTO.

I.4 COMPORTAMIENTO DEL MOTOR DE INDUCCION COMO TRANSFORMADOR

I.5 DEVANADO, RANURA Y ENTREHIERRO.

I.6 CIRCUITO EQUIVALENTE.

## I.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.

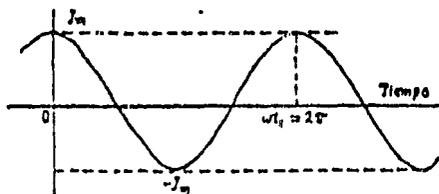
La expresión matemática para una corriente alterna - senoidal puede escribirse.

$$i = I_m \cos wt.$$

En cualquier tiempo  $t$ , la corriente es  $i$ ,  $I_m$  es la corriente máxima y es una constante,  $w$  es una constante - relacionada con la frecuencia ( $2\pi f$ ).

En la figura (3) se muestra a  $i$  como una función de  $t$ , un ciclo es el tiempo que hay de una cresta positiva a la siguiente cresta positiva.

La frecuencia común de la energía eléctrica es de -- 60 c/s.



Corriente alterna

fig (3)

La condición oscilante de la corriente alterna permite generar un campo rotatorio.

La estrecha relación entre los fenómenos eléctricos- y magnéticos como se menciona en antecedentes fué revelada en 1820 por el físico danés Hans Christian Oersted determina la existencia del campo magnético, al pasar una bruju la por un conductor por el cual circula una corriente

eléctrica observó que la aguja se movía o alteraba su posición en la misma forma que si se le hubiera aproximado un imán.

Este fenómeno se observa en la siguiente figura en - que la aguja tiende a colocarse en una dirección perpendicular a la de la corriente, las líneas de flujo magnético forman circunferencias que rodean al conductor, éstas circunferencias tienen su centro en el eje del conductor y -- están en un plano perpendicular a dicho eje, si se invierte el sentido de la corriente, se invierte también la posición de las agujas imanadas, lo que demuestra que la dirección del flujo magnético depende de la dirección de la corriente

Líneas de flujo alrededor de un conductor, la corriente es hacia dentro.



fig (4)

Las líneas de fuerza en un campo magnético generado por los polos N y S se ve en la figura.



fig (5)

El científico Ienz establece el principio básico que se especifica a continuación, por medio de figuras.

La figura representa un campo magnético de intensidad uniforme, en el cual está colocado un conductor, normal a la dirección del campo que no transporta corriente eléctrica.

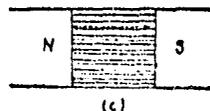


fig (6)



fig (7)

El conductor transporta una corriente, que tiene la dirección del observador hacia el papel, pero se ha suprimido el campo debido a los dos polos N y S, el conductor queda rodeado de su campo magnético cilíndrico debido a la corriente que por él circula.

Se representa el campo resultante, de la combinación del campo principal y el que produce la corriente en el conductor, como resultado de ello se produce una concentración del campo en la región situada inmediatamente por encima del conductor y una disminución de la densidad del flujo en la región situada por debajo de él, actuará una fuerza sobre el conductor que lo empujará hacia abajo como queda indicado por la flecha, este fenómeno se debe a la concentración de las líneas de fuerza a uno de los lados del conductor.

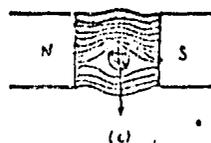
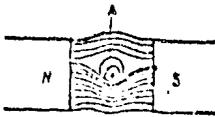


fig (8)



(d)  
fig (9)

Si se invierte la corriente del conductor, la concentración de las líneas -- tiene lugar por debajo del conductor, -- con tendencia a empujarlo hacia arriba como se indica en la figura.

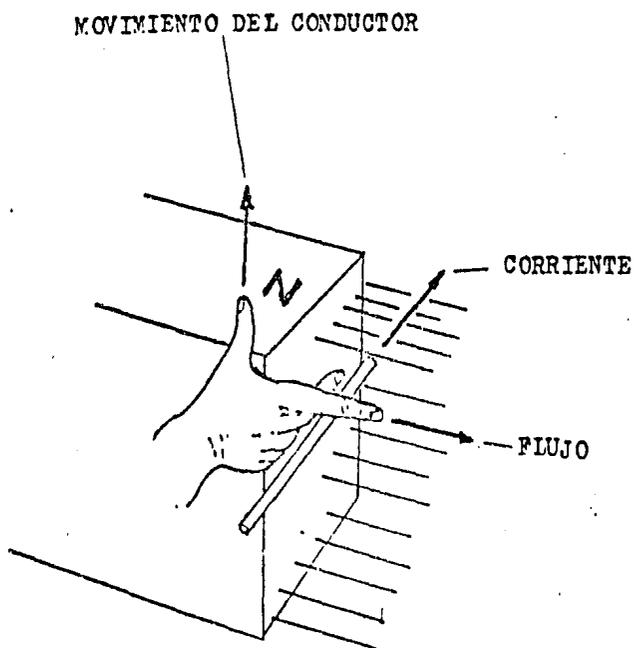
Todo conductor por el que circula una corriente y está situado en un campo magnético tiende a trasladarse en -- dirección normal a la del campo.

Este principio explica el funcionamiento del motor -- eléctrico.

Fleming descubrió el método para determinar el sentido de rotación de un motor conociendo el sentido de la corriente.

Esta relación se denomina regla de la mano derecha de Fleming para motores, y a continuación se explica; Extendiendo el pulgar, el índice y el dedo medio de la mano derecha formando ángulos rectos entre ellos, y colocando la mano de manera que el índice apunte en el sentido de -- las líneas de flujo del campo magnético, entonces el pulgar apuntará hacia el movimiento del conductor y el dedo medio en el sentido de la corriente que pasa por el conductor. Es evidente que si el sentido del campo magnético se desconoce pero se sabe el movimiento del conductor y el sentido de la corriente en el conductor, el índice tiene -- que apuntar en dirección del campo magnético si se coloca en posición correcta la mano derecha.

En la figura siguiente aparece la regla de la mano -- derecha de Fleming para motores.



RÈGLA DE LA MANO DERECHA PARA MOTORES

fig. (10)

Si se emplean dos polos que representen el estator o inductor y una bobina rectangular de una sola espira, cuyo plano es paralelo a la dirección del campo magnético y ésta representa al inducido o rotor de un motor de inducción, si la carcasa que sostiene los polos se hace girar por cualquier medio mecánico, las corrientes inducidas en la espira obligarán a ésta a girar en la misma dirección que la carcasa. fig (10)

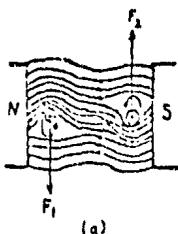
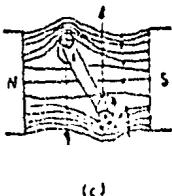


fig. (11)

Ni un conductor ni otro pueden moverse sin que la espira se deforme. Es una posición de par nulo, por que es nula la distancia del eje de rotación de la espira a la línea de acción de las fuerzas.



fig(13)

Sobre el conductor de la izquierda actúa una fuerza  $F_1$  que tiende a moverse hacia abajo, y en el de la derecha otra  $F_2$ , la acción del campo es de igual intensidad y  $F_1 = F_2$ .

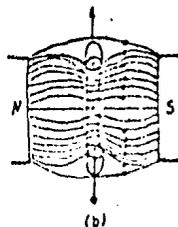


fig. (12)

Se desarrolla un par que tiende a continuar la rotación en el sentido contrario de las agujas del reloj.

## I.2 CAMPO GIRATORIO.

El campo giratorio trifásico representado en la fig (14) corresponde a la sección de un motor trifásico de inducción con cuatro polos en el devanado del estator

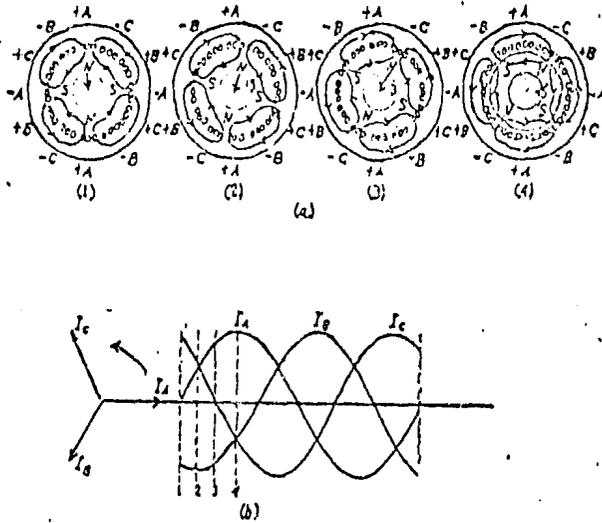


fig. (14)

Para la sección (a) se ve la sección de un motor trifásico de inducción con cuatro polos en el devanado del estator.

Las fases están señaladas con +A, -A, +B, -B, +C y -C el signo (+) en un grupo de conductores significa que la corriente circula por ellos hacia dentro cuando las corrientes son positivas y hacia fuera cuando son negativas, para los que llevan (-) sucede lo contrario.

En el inciso (b) de la fig (14) se representan las corrientes trifásicas por medio de vectores y curvas sinusoidales.

En 1:

La corriente  $I_A$  es nula, de manera que  $I_B$  e  $I_C$  son iguales y opuestas.

En 2:

El valor de las corrientes  $I_A$  e  $I_C$  son la mitad de sus máximos positivos, el campo es bajo estas condiciones simétrico.

Como puede observarse los grados entre los valores de la corriente 1-2, 2-3, y 3-4, son 30.

El devanado de una sola capa del estator para un motor trifásico se representa en la fig (15). Se señalan unie camente las conexiones completas de la fase A que es similar a la fase B y C.

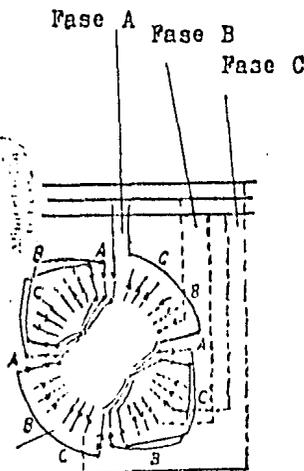


fig. (15)

Devanado imbricado de una capa y cuatro polos de un motor trifásico de inducción.

### 1.3 DESLIZAMIENTO.

La rotación del campo (estator) depende de la frecuencia de alimentación en períodos por segundos

$$N = \frac{120 f}{p}$$

Donde ;

120 = Es el ángulo entre fasores de las corrientes

f = frecuencia de la línea

p = Número de polos

N = Velocidad del campo giratorio, es la velocidad de sincronismo del motor.

Si el inducido de un motor alcanza la velocidad de rotación del campo, los conductores no cortarían el flujo magnético y no habría corriente en el rotor y por consecuencia no existiría par alguno.

De lo anterior se deduce que el inducido (rotor) para que funcione no puede alcanzar la velocidad de rotación del campo.

La diferencia entre la velocidad de rotación del campo y la velocidad del rotor se llama deslizamiento del motor.

Si llamamos  $N_2$  la velocidad del rotor y N la velocidad de sincronismo el deslizamiento es.

$$s = \frac{N - N_2}{N} \text{ r.p.m.}$$

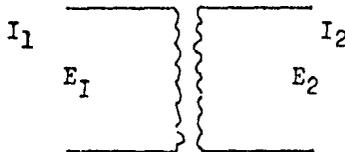
El deslizamiento, a plena carga, de los motores industriales varía entre el 1 % y el 10 % según su potencia y tipo.

En base a lo anterior se llega a determinar que la frecuencia del rotor  $f_r$  se obtiene mediante la expresión



#### I.4.- COMPORTAMIENTO DEL MOTOR DE INDUCCION COMO TRANSFORMADOR.

Si se compara un motor de inducción y un transformador tendrán un funcionamiento similar, el primario del transformador equivale al estator y el secundario sería el rotor, siendo su gráfica la siguiente



1:1

fig.(16)

Si se considera que la relación de transformación es la unidad, la corriente en el rotor es  $I_2$  a una tensión  $V_2$  y un factor de potencia  $\cos \theta_2$ .

El vector  $E_2$  que representa la f.e.m. inducida en el rotor, será igual a  $E_1$  es decir;

$$E_2 = E_1$$

El vector  $I_2$  que es la intensidad de la corriente en el rotor, está retrazado un ángulo  $\theta_2$  respecto a  $V_2$ , ángulo que corresponde al factor de potencia de la carga del rotor.

Hay una caída de tensión por resistencia del rotor.

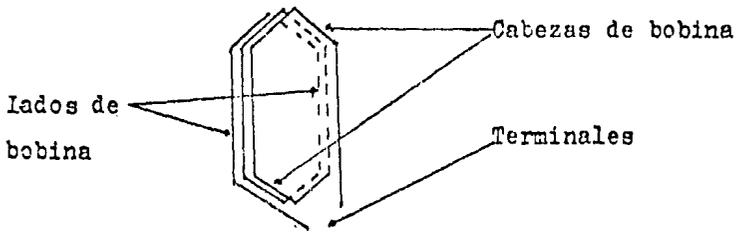
Como la f.e.m. inducida en el primario y en el secundario las genera el mismo flujo común  $\phi$  y como ambos devueltos tienen el mismo número de espiras, las f.e.m. inducidas serán iguales en magnitud y estarán en fase. Por lo tanto,  $E_1 = E_2$ .

Una f.e.m. inducida por variaciones sinusoidales del flujo con el tiempo es también sinusoidal y esta en retraso de fase de  $90^\circ$ , respecto al flujo, por lo tanto, el flujo común  $\phi$  tiene un adelanto de fase de  $90^\circ$  respecto a las f.e.m. inducidas  $E_1$  y  $E_2$ .

## 1.5 DEVANADOS, RANURAS Y ENTREHIERROS,

### DEVANADOS

El elemento mas sencillo de un devanado es la bobina simple y esta constituida por un hilo conductor provisto de un aislamiento superficial, que es cerrado sobre si mismo en un número determinado de veces.



Bobina

fig. (17)

El conductor que la forma es continuo, esto es tiene un principio P y un final F sin ningún añadido.

La corriente de los conductores de un lado siempre será opuesta a la del otro lado de la bobina.

### PASO DEL DEVANADO.

Al colocar una bobina en el estator o en el rotor, de un motor eléctrico uno de los lados de dicha bobina se aloja en una de las ranuras mientras que el otro lado se aloja en otra ranura que esta a cierta distancia de la primera.

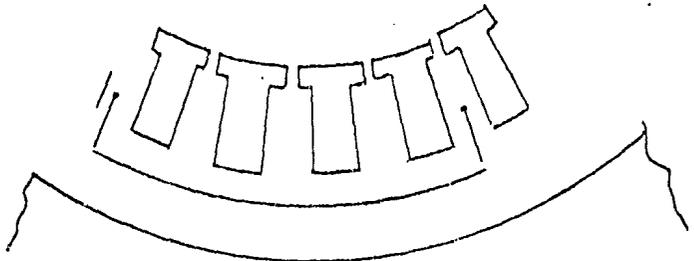


fig. (18)

Concepto de paso del devanado. Paso de cinco ranuras o sea  $y = 1 : 5$

Al referirse al paso del devanado se tienen tres nomenclaturas.

- i) Paso diametral
- ii) Paso acortado
- iii) Paso alargado.

- i) Paso diametral

Es el paso natural de un devanado, se obtiene siempre dividiendo el número total de ranuras por el número de polos  $2p$

$$\frac{\text{No. total de ranuras}}{2p} = x$$

$$y = 1 : x+1$$

- ii) Paso acortado

Quando se toma un paso que tenga menos ranuras intermedias de las de paso diametral.

$$\frac{\text{No. total de ranuras}}{2p} > x$$

- iii) Paso alargado

Un paso que tenga más ranuras intermedias.

$$\frac{\text{No. total de ranuras}}{2p} < x$$

Los lados de las bobinas cortan flujo magnético y contribuyen a la generación del movimiento.

Las bobinas se confeccionan antes de colocarlas en el inducido, esto reduce el costo del bobinado, las bobinas se impregnan de un compuesto aislante, como el asfalto, si han de soportar temperaturas muy elevadas du-

rante su funcionamiento, se emplean otros materiales aislantes, como la mica, cinta de papel, cinta de lana de vidrio.

Las ranuras se recubren con aislante y los conductores se sujetan firmemente, con cuffas de fibra u otro material no conductor.

Número de ranuras por polo y fase.

Se define como el número  $q$  de ranuras por polo y fase, al cociente

$$q = \frac{N}{2pm}$$

$N$  = ranuras,  $2p$  = polos,  $m$  = fases, en la fórmula anterior si  $m = 3$  se tiene

$$q = \frac{N}{6p}$$

En la siguiente figura las ranuras se representan por puntos alineados 1,2,3..... $N$  en el mismo orden que ocupan en el estator o rotor. La ranura  $N$  coincide, evidentemente con el número total de ranuras de la parte fija o móvil del motor.

Las bobinas se representan como si solamente consisten de un conductor, dibujando cada lado de cada bobina encima de la ranura en la cual se inserta.

El dibujo es el embobinado de un motor de;

$N = 36$  ranuras

$2p = 4$  polos

$m = 3$  fases

bobinas iguales.

Del embobinado se deducen importantes datos como son - Número de bobinas y grupos de bobinas que hay que devanar

- En que ranura hay que situar cada lado de cada bobina
- Donde están situadas las terminales.
- Que conexiones hay que efectuar.

El embobinado de la figura está formado por un total de 6 grupos de bobinas con tres bobinas por grupo. Con dos grupos para cada devanado parcial. .

El paso del devanado es  $y = 1:10$  o sea de 9 ranuras.

Clasificación de los embobinados de corriente alterna.

Considerando el número de lados de bobinas que contiene cada ranura, los embobinados se dividen en;

- Embobinados de una capa
- Embobinados de dos capas
- Embobinados mixtos.

Por la disposición geométrica de las cabezas de bobina.

- Embobinados con cabeza de bobina en 2 planos
- Embobinado con cabeza de bobina en 3 planos
- embobinado con cabeza de bobina solapados.

Por el paso de devanado.

Es decir el ancho de las bobinas que constituyen el embobinado.

- Embobinado con bobinas de paso constante.
- Embobinado con bobinas de paso variable.

Número de ranuras, es decir el valor del número  $q$  de ranuras por polo y fase.

- Embobinado entero, cuando  $q$  es un número entero
- Embobinado fraccionario cuando  $q$  no es entero.

## ENTREHIERRO.

El entrehierro de los motores de inducción se hace tan reducido como lo permita el juego que debe dejarse entre el estator y el rotor. La f.c.e.m. provocada en el estator varía sólo un pequeño porcentaje entre la marcha en vacío y a plena carga.

Esta f.c.e.m. la induce el flujo del entrehierro que corta los conductores del estator.

Como la velocidad de rotación del campo es constante, el flujo en el entrehierro debe ser prácticamente constante en vacío y a cualquier carga.

En un motor de inducción dado, la corriente de imitación es, por lo tanto, sensiblemente constante para todas las cargas.

Con ranuras muy abiertas se aumenta la reluctancia del entrehierro y se reduce el factor de potencia. Por lo tanto, por lo que se refiere a la corriente de imitación, es aconsejable emplear ranuras semicerradas, ranuras abiertas con cuñas magnéticas e incluso ranuras totalmente cerradas.

El inconveniente de cerrar las ranuras es que se aumenta la autoinducción del rotor y del estator y se reduce el par crítico y el par de arranque.

El pequeño juego mecánico entre el rotor y el estator hace necesario colocar eje y cojinetes muy fuertes y rígidos.

## 1.6 CIRCUITO EQUIVALENTE

Es posible realizar cálculos de corriente, potencia etc. de un motor tomando como base una combinación de -- impedancias que lleva el nombre de circuito equivalente del motor.

La siguiente fig. (19) muestra los componentes de dicho circuito.

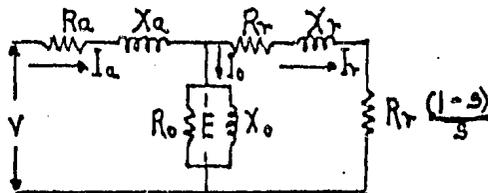


Fig. (19).

La corriente  $I_a$  se divide en  $I_0$  e  $I_r$ , cada una funciona como sigue:

La corriente  $I_0$ ;

Se dirige hacia la impedancia central, que representa el núcleo y se divide a su vez en dos componentes en -- cuadratura.

La que pasa por  $R_0$  produce una pérdida de energía que corresponde a pérdidas eléctricas

Mientras que la que fluye por  $X_0$  sólo tiene pérdidas magnetizantes.

La Corriente  $I_r$ ;

Sigue por la resistencia  $R_r$  del rotor, donde produce efectos Joule, por la reactancia ficticia  $X_r$  del rotor, --

para pasar por último por una resistencia, también ficticia

$$\frac{R_r (1-s)}{s}$$

En la que produce potencia mecánica en vez de calor.

La suma de las resistencias  $R_r$  y  $R_r \frac{(1-s)}{s}$  queda como sigue.

$$R_r + \frac{R_r (1-s)}{s} = \frac{R_r}{s}$$

que corresponden a la resistencia del rotor y la potencia - mecánica.



TIPOS DE MOTORES DE INDUCCION TRIFASICOS.

## CAPITULO II

TIPOS DE MOTORES DE INDUCCION TRIFASICOS.

II.1 CLASIFICACION DE LOS MOTORES DE INDUCCION.

II.2 VARIACION DEL PAR EN EL MOTOR JAULA DE ARDILLA.

II.3 PAR CRITICO

II.4 ELEVACION DEL PAR EN EL MOTOR AL ARRANQUE

## II.1 CLASIFICACION DE LOS MOTORES DE INDUCCION TRIFASICOS.

Existe una gran gama de motores eléctricos de inducción entre los que se puede seleccionar el más conveniente para una aplicación dada.

Los motores eléctricos son en la actualidad máquinas versátiles y su aplicación en las plantas industriales es enorme, debido a que es de sencilla operación, resistente construcción y alto rendimiento.

Por lo tanto, el motor de inducción tipo jaula de ardilla está conceptuado como el más común en toda la industria y se considera que éste tipo de motor solo tiene dos componentes que se desgastan rápidamente y éstos son los rodamientos.

Los motores de inducción, jaula de ardilla son de bajo costo y muy seguros.

De todos los motores de corriente alterna el de inducción es el más utilizado y por lo tanto el que más se produce.

La clasificación de los motores de inducción es la siguiente :

### POR SU CONSTRUCCION ELECTRICA.

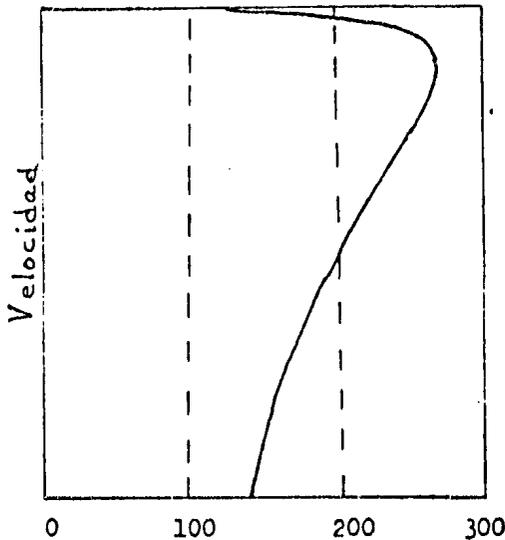
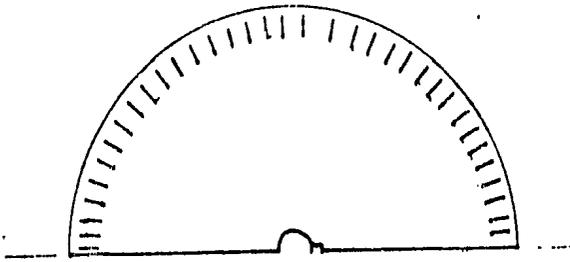
- Jaula de ardilla
- Rotor devanado

### POR SU CONSTRUCCION MECANICA

- Abierto a prueba de goteo
- Totalmente cerrado con sus variantes.

## CLASE A O TIPO NORMAL

Aplicaciones generales; corriente normal de arranque, de 5 a 7 veces la nominal; los de más de 7 1/2 CV, con tensión de arranque reducida; par normal de arranque alrededor del 150 % del de régimen; clasificación letras de F a RL.



% del par de plena carga.

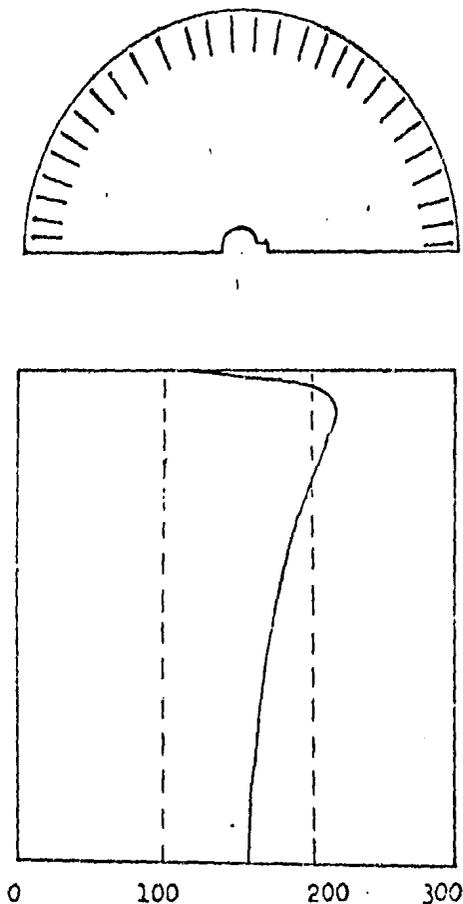
fig.(20)

Aplicaciones.

Máquinas herramientas, bombas centrífugas, grupos motor-generador, ventiladores, aspiradores, equipos que requieren un par de arranque bajo.

## CLASE B

Aplicaciones generales: alta reactancia; corriente de arranque reducida, 4 1/2 a 5 veces la nominal; Arranque a plena tensión; par normal de arranque, 150 % del nominal; clasificación: letras de - B a F2.



% del par de plena carga.

Aplicaciones.

fig-(21)

Las de la clase A. Nota: Muchos fabricantes hacen sólo motores de -  
clase B de más de 5 CV.

CLASE C

Doble jaula de ardilla, Baja corriente de arranque, 4,5 a 5 veces la nominal; arranque a plena tensión; elevado par de arranque, 225 % -- del nominal; clasificación: letras de B a E2.;

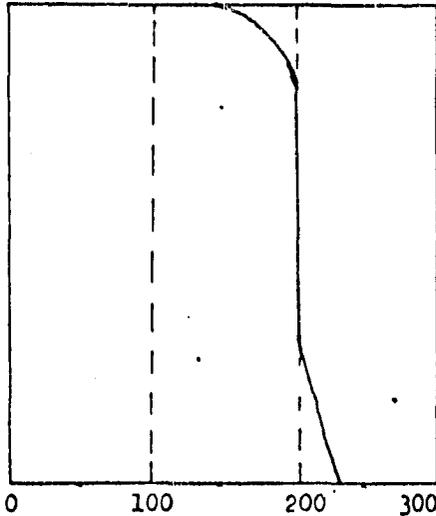
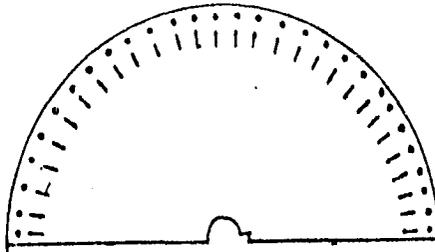


fig. (22)

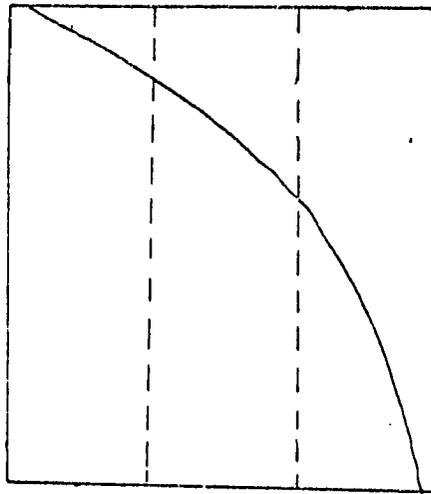
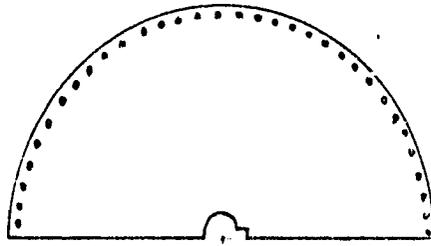
% del par de plena carga.

Aplicaciones.

Bombas de movimiento alternativo, trituradoras, mezcladoras, compresores de aire, transportadores que arrancan con carga, grandes máquinas-refrigerantes, equipos que requieren un gran par de arranque.

## CLASE D

Alta resistencia. Baja corriente de arranque; arranque a plena tensión elevado par de arranque, 275 % del nominal.



0 100 200 300 fig.(23)

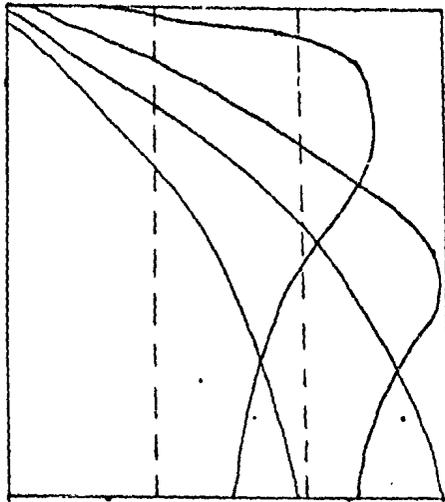
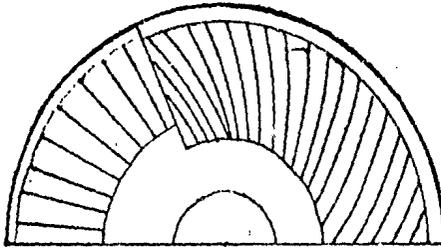
% del par de plena carga.

Aplicaciones.

Prensas de embutin, guillotinas, martinets, pequeñas grúas, máquinas con volante, máquinas de estirar metales, centrifugas de azucareras.

## ROTOR BIBINADO

Resistencia en el circuito del rotor para obtener un gran par de arranque con poca intensidad de corriente.



0 100 200 300 fig.(24)

% del par de plena carga.

Aplicaciones.

Ascensores, grúas, cabrestantes, laminadores, palas eléctricas, --  
cargadores de carbón y de mineral, grupos motor-generator con ----  
volante.

## II.2 VARIACION DEL PAR EN EL MOTOR JAULA DE ARDILLA.

Cuando el deslizamiento crece, se incrementa la reactancia del rotor, como la reactancia es proporcional a su frecuencia genera un ángulo  $\alpha$  de retardo de la corriente respecto con la f.e.m. inducida, variando también dicho ángulo. Dado que;

La intensidad de la corriente en un conductor cualquiera no alcanzará su máximo valor hasta  $\alpha$  grados después de que lo haya alcanzado la f.e.m., el ángulo está dado por:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2 \pi f s I_2}{R_2}$$

Al obtener la curva del par  $T$  multiplicando las ordenadas de las curvas de densidad de flujo  $B$  y de la distribución de la corriente  $I$  la curva del par es más baja en la figura (26), que en la figura (25) aún cuando sean los mismos valores de la intensidad y del flujo, esto se debe a los valores negativos del par y que no contribuyen al par positivo.

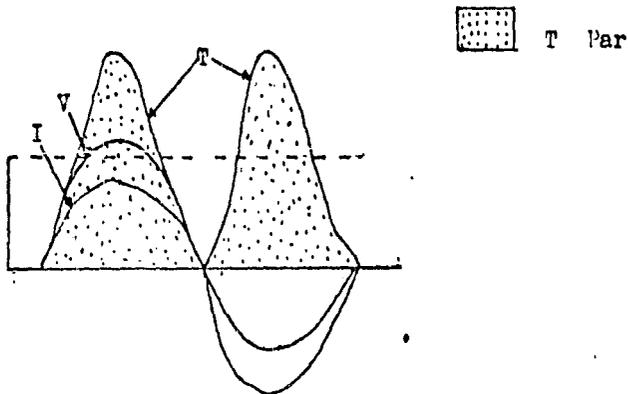
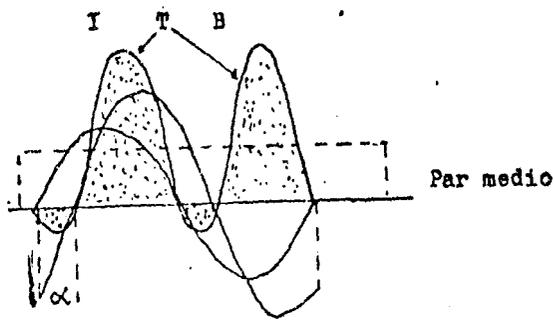


fig. (25)



Par Negativo  
Fig. (26)

Distribución de la corriente y de la densidad de flujo -  
cuando el ángulo entre ellos es  $\alpha$ .

#### DISTRIBUCION DE FLUJO MAGNETICO Y DIAGRAMA.

La figura (27) indica la distribución espacial del -  
flujo de un polo  $n$  que se mueve de izquierda a derecha a -  
lo largo del entrehierro de un motor de inducción.

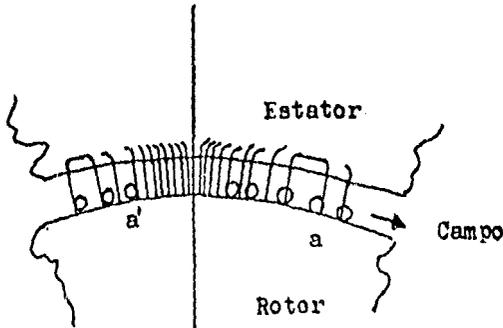


Fig. (27)

Corriente en fase espacial con la densidad de flujo.

Se observa que la distribución de la densidad de flujo en el entrehierro y la distribución de la intensidad de la corriente en los conductores, es proporcional a la densidad de flujo de la región del campo donde se encuentra el conductor.

La dirección de la fuerza debida a cada conductor en la figura anterior se indica con una flecha indicada junto al mismo.

#### DESPLAZAMIENTO GRANDE.

Cuando la intensidad de la corriente de un conductor cualquiera no alcanza su máximo valor hasta  $\alpha$  grados de tiempo después que lo haya alcanzado la f.e.m. Inducida, existe un intervalo en que la f.e.m. y la corriente alcanza sus respectivos valores máximos y la curva de flujo se ha movido  $\alpha$  grados espaciales.

Como resultado algunos conductores como el  $a$  de la fig. (27) se halla en un campo de dirección opuesta por lo que desarrolla un par de sentido contrario a los restantes conductores del grupo. También el conductor  $a'$  correspondiente al grupo contiguo ejerce un par opuesto debido a la dirección de su corriente. Los pares de los conductores como  $a$  y  $a'$  dan origen a los tramos negativos de la curva del par.

POR LO TANTO, PARA OBTENER EL PAR MAXIMO CORRESPONDIENTE A VALORES DADOS DE LA INTENSIDAD DE LA CORRIENTE Y DEL FLUJO, LA CURVA DE LA INTENSIDAD DE LA CORRIENTE DEL ROTOR DEBE DE ESTAR EN FASE ESPACIAL CON LA DENSIDAD DEL FLUJO.

## II. PAR CRITICO.

En los motores de inducción existe un par máximo el cual puede apreciarse en una gráfica, éste par se conoce como par crítico ya que no es estable dicho par.

En la siguiente figura puede apréciarse el par ---- crítico en el punto máximo del par, se aprecia la variación del par con deslizamiento para tres valores distintos de la tensión de alimentación. El deslizamiento va de valores pequeños hasta la plena carga al observar la gráfica se nota que el par es sensiblemente proporcional al deslizamiento, después de alcanzar el par crítico el par decrece y el deslizamiento crece.

El motor desarrolla un par decreciente, al crecer la carga llegará a pararse, si no se le desconectara de la carga.

En reposo el deslizamiento es igual a uno ó cien -- por ciento y el par es relativamente pequeño.

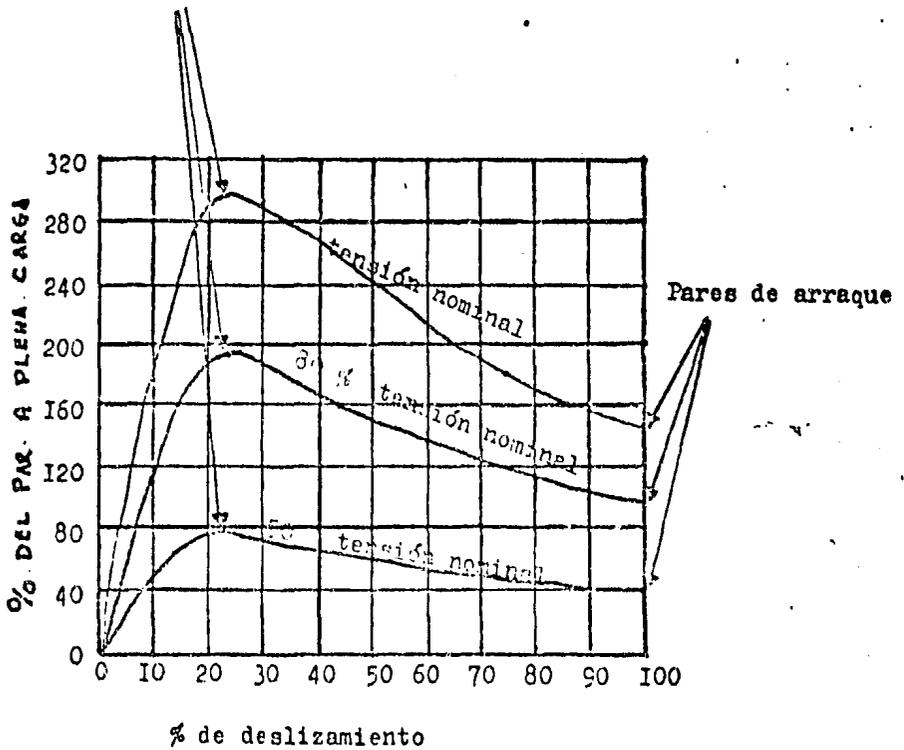
Al iniciar su funcionamiento el motor existe un pequeño par de arranque esto es originado por la reactancia del estator y además del rotor.

La frecuencia del rotor  $f_2$  es proporcional al deslizamiento por lo tanto cuando el deslizamiento crece, -- la reactancia del rotor crece proporcionalmente.

Al aumentar la reactancia aumenta la diferencia de fase entre las corrientes del rotor y las f.e.m. inducidas que las producen.

Por lo anterior se concluye que el par crítico de un motor de inducción se puede reducir aumentando la -- reactancia del rotor ó a la inversa, el par aumenta si se reduce la reactancia.

Pares críticos



Características de deslizamiento-par para motor de jaula de ardilla.

fig. (28)

El efecto de cada uno de los pares críticos viene -  
 dado por la fórmula.

Par crítico:

$$T \text{ máx} = \frac{KV^2}{r_1 + \sqrt{r_1^2 + (X_1 + X_2)^2}}$$

Siendo:

K una constante;

V la tensión en terminales,

$r_1$  la resistencia del estator y

$X_1$  la reactancia del estator

$X_2$  la reactancia del rotor en reposo, lo anterior prueba  
 que:

- " El par crítico es proporcional al cuadrado de la ten--  
 sión de alimentación".
- " El par crítico se reduce al aumentar la resistencia --  
 del estator y las reactancias del estator y del rotor".
- " El par crítico es independiente de la resistencia del -  
 rotor".

## II.4 ELEVACION DEL PAR EN EL MOTOR AL ARRANQUE.

Cuando está en marcha el motor de inducción jaula - de ardilla tiene excelentes características para responder a las necesidades de trabajo, sin embargo el arranque no es eficiente ya que el par es reducido y la absorción de corriente es intensa.

El motor de rotor devanado tiene un gran par de arranque y buenas características de marcha pero el costo en relación al de inducción es más elevado.

Lo ideal es combinar las características de los dos tipos de motor.

Este planteamiento se buscó desde los primeros tiempos.

Si se aumenta la resistencia del rotor se obtienen mayores valores del par con mayores deslizamientos o menores valores de velocidad pero implícitamente al aumentar la resistencia del rotor se reduce el rendimiento a plena marcha.

Al colocar dos embobinados en el rotor, uno de elevada resistencia colocada en la parte alta de las ranuras y otra de baja resistencia colocada en el fondo de las mismas, da como resultado un gran par de arranque y buenas características de marcha.

En la siguiente figura se aprecia una ranura típica profunda con un estrangulamiento intermedio.

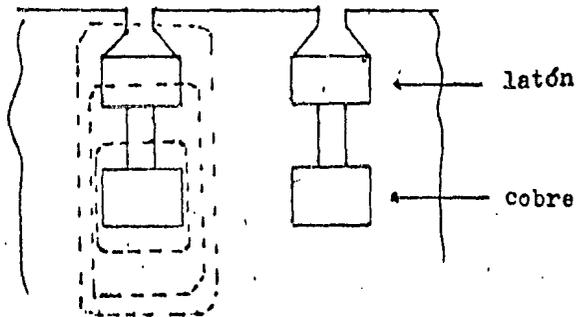


fig (29)

El embobinado de gran resistencia, que puede construirse con un metal de alta resistividad como el latón, se coloca en la parte superior de la ranura de manera que una fracción relativamente pequeña del flujo de dispersión por amperio abraza este arrollamiento, con lo que su autoinducción baja. El arrollamiento de poca resistencia se instala en el fondo de la ranura. La dispersión es reducida como se aprecia en el esquema anterior, especialmente através del estrangulamiento de la ranura, de manera que el flujo de dispersión por amperio que abraza este conductor profundo es relativamente grande y también su autoinducción.

Otra forma de lograr un resultado similar al anterior es colocar un puente magnético de chapa de hierro - entre las barras superior e inferior y por lo tanto la - autoinducción de la segunda es mucho mayor que la de la - barra superior.

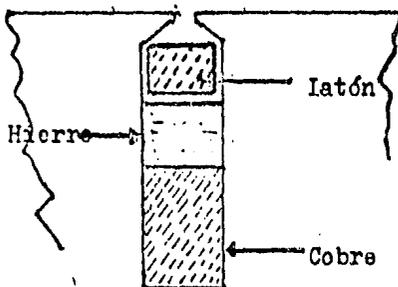


fig.(30)



DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS DE UN MOTOR DE  
INDUCCION TRIFASICO POR EL DIAGRAMA CIRCULAR

## CAPITULO III

DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS DE UN MOTOR DE  
INDUCCION TRIFASICO POR EL DIAGRAMA CIRCULAR.

III.1 DIAGRAMA CIRCULAR.

III.2 DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS DE UN MOTOR  
DE INDUCCION A PARTIR DEL DIAGRAMA CIRCULAR.

III.3 INCONVENIENTES EN EL TRATADO CIRCULAR.

III.4 TRAZADO DEL DIAGRAMA CIRCULAR DE UN MOTOR DE IN-  
DUCCION TRIFASICO.

### III.I.- DIAGRAMA CIRCULAR.

Si el lugar geométrico de impedancia es un círculo o una línea recta, el lugar geométrico de admitancia es, o un círculo o una línea recta. (La línea recta se considera un círculo de radio infinito.)

La búsqueda de un método sencillo para determinar las características de marcha de un motor de inducción por medio de un circuito equivalente llevó a la determinación del diagrama circular.

Partiendo del circuito equivalente aproximado en el cual el circuito shunt está conectado fuera de la impedancia del estator como se muestra en la figura.

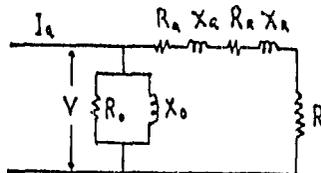


fig. ( 30 )

Circuito equivalente aproximado de un motor de inducción

La circunstancia que da lugar a la representación circular es que la impedancia primaria y secundaria quedan en serie y pueden ser substituidas por una sola, formada por reactancia constante y resistencia variable.

### III.2.- DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS DE UN MOTOR DE INDUCCION A PARTIR DEL DIAGRAMA CIRCULAR.

El diagrama de Heyland o diagrama circular se define por el siguiente postulado principal;

Para poder dibujar el diagrama Heyland o diagrama circular se requiere de un estudio de medidas experimentales como tensión, intensidad y potencia para tres estados del motor que son:

Rotor bloqueado (a)

Rotor en sincronismo (s)

Marcha en vacío (v)

Estos puntos se obtienen de pruebas de laboratorio y son los valores más comunes en pruebas a motores.

Se marcan a partir del eje O-U, según el sistema de coordenadas polares, con lo cual quedan marcados los puntos "a", "s" y "v" del figura (31)

Por "s" se traza una normal a O-U y en ella se traza el centro del círculo a la mitad de "s"- "e", siendo "a"- "e" normal a "s"- "a".

En seguida se baja de "a" una normal al eje O-D paralela a O-U y se sitúa el punto "b", de tal manera que divida el segmento "a"- "c" en dos porciones "a"- "b" y "b"- "c" que guarden entre sí la misma relación que la resistencia del rotor a la del estator.

Por último, se unen los puntos "a" y "b" con "s" y "v", cada uno de aquellos con cada uno de éstos, con lo que se concluye el diagrama.

Tal principio ha sido corroborado por la experiencia y por el cálculo, significa que, si la carga de un motor es variada, pero con la tensión y la frecuencia de alimentación constantes, la corriente puede ser "o"- "m", "o"- "v", "o"- "s", "o"- "x", "o"- "y", o cualquier otro vector que parta del origen y termine en la circunferencia.

De acuerdo a cada operación corresponde un punto en la circunferencia.

El punto "a" indica el arranque directo.

El punto "m" representa carga elevada.

El punto "v" corresponde a marcha en vacío

El punto "s" es operación en sincronismo

El punto "x" representa factor de potencia cero

El punto "y" es marcha supersincrónica con regeneración

El punto "e" revela deslizamiento infinito.

La tensión aplicada al motor queda representada por el eje O-U, por fase, y la distancia de cualquier punto al origen representará, a una escala determinada, la corriente.

La ordenada de un punto indica la componente en fase de esa corriente, y también la potencia recibida se mide a una escala 3V veces mayor, siendo V la tensión por fase.

La ordenada de "s" a la escala de watts es la pérdida en el núcleo.

La ordenada de "v" a la misma escala, es la pérdida total en vacío, es decir la suma de la pérdida en núcleo y la causa por fricción y ventilación.

La ordenada de "a" es la pérdida total en reposo, -- compuesta del efecto joule en rotor y estator y pérdidas en el núcleo, como éstas son constantes, ( en el circuito simplificado ) estarán representadas por "d" - "c" y "c" - "a" indicará efecto joule total. Por construcción "b" - "a" corresponderá al rotor, y "c" - "b" al estator.

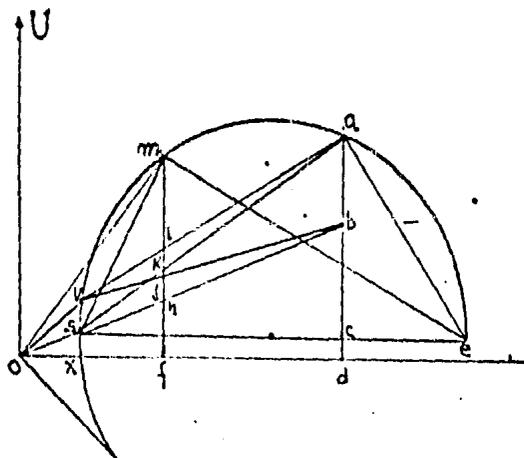


fig (31)

### III.3 INCONVENIENTES EN EL TRATADO CIRCULAR.

Dentro de los inconvenientes del tratado circular -- se encuentran los siguientes:

- El diagrama debe de trazarse a la escala adecuada para poder hacer deducciones a operación normal.
- La potencia normal está determinada, en primer lugar -- por el calentamiento de la máquina, y el diagrama no puede sustituir a la prueba física, por muy preciso y claro-que éste sea.
- Aunque se use una escala muy grande los errores básicos del diagrama de Heyland no desaparecen.

Sin embargo no se introducen en el diagrama errores- apreciables, sus fallas son despreciables si se considera su utilidad.

### III.4.- TRAZADO E INTERPRETACION DEL DIAGRAMA CIRCULAR DE UN MOTOR DE INDUCCION TRIFASICO EN LA PRACTICA.

Para el trazado del diagrama el eje O-U representa la tensión aplicada al motor, por fase, y la distancia de cualquier punto al origen representa a una escala determinada, la corriente. Por lo que, la ordenada de un punto indica la componente en fase de esa corriente, y también la potencia recibida si se mide a una escala 3V veces mayor, siendo V la tensión por fase.

La corriente primaria en el circuito que sirve de base es la suma de la corriente de excitación en sincronismo,  $\underline{o-s}$  y la corriente secundaria, de donde resulta que esta es un vector que tiene su origen en  $\underline{s}$  y termina en la circunferencia.

Los demás parámetros del diagrama circular se señalan en el ejemplo.

Ejemplo.

Un motor de tres fases, 60 ciclos, 4 polos, 220 v. toma en vacío; 10 amperes y 840 watts.

" en sincronismo; 9.95 amperes y 710 watts

con rotor frenado: 140 amperes y 16000 watts.

Esta última prueba en realidad no fué hecha con 220 volt sino con 136, proporcionados por el compensador de arranque; pero las lecturas fueron corregidas multiplicando la intensidad por  $220/136$ , y la potencia por  $(220/136)^2$ .

Los puntos  $\underline{v}$ ,  $\underline{s}$  y  $\underline{a}$  quedan determinados por sus coordenadas polares como sigue:

IO Amps. 840 / 1.73 / 220 / IO = 0.22 ; =90-12°45'  
 9.95 Amps. 710 / 1.73 / 220 / 9.95 = 0.188 ; =90-10°50'  
 I40 Amps. 16000 / 1.73 / 220 / I40 = 0.30 ; =90-17°30'

Debido a la pequeña distancia que existe entre s y y se situó el centro del círculo sobre la horizontal que pasa por y y se dividió a-c en dos partes, a-b y b-c que representa el 55 % y 45 % del efecto Joule, para el rotor y estator respectivamente, este dato complementario es obtenido en la prueba del motor.

En base al diagrama los resultados son fig. (32).

Par máximo  $\overline{qm} = 12 \text{ kg-m}$ , a la velocidad de 1.  
 I800-I800x  $\overline{qw} / \overline{qm} = 1500 \text{ r.p.m.}$  ( m es el punto más distante de la recta vb ).

Potencia máxima;  $\overline{pn} = 18850 \text{ watts}$ , a la velocidad de  
 I800 - I800 x  $\overline{rp} / \overline{rn} = 1550 \text{ r.p.m.}$  ( n es el punto más lejano de la recta y, a ).

Factor de potencia máximo ;  $\overline{xt} / \overline{ot} = 0.885$  ( t es el punto de tangencia de una recta que pasa por o ).

Relación de par máximo a par de arranque ;  $\overline{qm} / \overline{ba} = 2.56$  .

Por la posición de las líneas y-a y y-b y por la relación hallada, se trata de un motor tipo A. Si se admite una relación de 230 % para el par máximo respecto al normal, éste será de 5.18 Kg-m y corresponderá a una potencia útil de  $5.18 \times 1760 / 0.975 = 9340 \text{ watts}$ , o sea 12.5 H.P. aproximadamente.

Si se lleva sobre p-n una distancia de 9340 watts a partir de p, y se traza una paralela a y-a por ese punto la intersección izquierda con la circunferencia marcará el punto z que representa, la operación normal.



La corriente resulta de 31 amperes, con un factor de potencia de 0.884.

Aunque se usara una escala mucho mayor, los errores básicos del diagrama de Heyland no desaparecen.



EL MOTOR DE INDUCCION TRIFASICO EN SERVICIO.

## CAPITULO IV

### EL MOTOR DE INDUCCION TRIFASICO EN SERVICIO.

IV.1 EMPAIME.

IV.2 PUESTA EN SERVICIO DE LOS MOTORES DE INDUCCION.

IV.3 ARRANQUE ESTRELLA-DELTA.

IV.4 ARRANQUE POR TRANSFORMADOR.

IV.5 ARRANQUE POR RESISTENCIA.

IV.6 INVERSION DEL SENTIDO DE GIRO.

IV.7 REGULACION DE LA VELOCIDAD DE LOS MOTORES DE INDUCCION.

#### IV.1.- EMPALME.

El problema del arranque de un motor de baja capacidad, se resuelve conectando directamente el motor a la línea, porque a pesar de que la corriente puede tener 6 ó 7 veces más intensidad que la normal, la caída de potencial que ésta corriente exagerada produce, apenas causa un ligero "parpadeo" en una lámpara de la misma instalación.

Un motor de gran capacidad alimentado por una línea adecuada a la demanda considerando que se conecta directamente, causará una perturbación comparable a la que causa el motor de baja capacidad en su respectiva línea.

En realidad la perturbación es menor, por que el motor de gran capacidad al arranque toma solamente cerca de 4 veces la corriente normal y como consecuencia la perturbación es muy pequeña.

El par es proporcional a la intensidad de la corriente y a la densidad de flujo magnético, para un motor pequeño la intensidad será pequeña, para un motor de gran capacidad la intensidad de alimentación será de la misma naturaleza

Estudiando las características que presenta el arranque directo de motores muy grandes no es únicamente de fluc

tuación de potencial, debido a que la línea es de gran capacidad, también, no es de calentamiento, porque las pérdidas son menores en un motor grande, relativamente, y en cambio la masa es mayor.

No es de tiempo, porque las aceleraciones pueden ser comparables a las de un motor pequeño,

No es de resistencia mecánica, porque el motor grande generalmente es más robusto que el pequeño.

El problema es de PAR, principalmente.

Para el par de arranque directo del motor de jaula es suficiente para las necesidades de la carga, el arranque directo se impone.

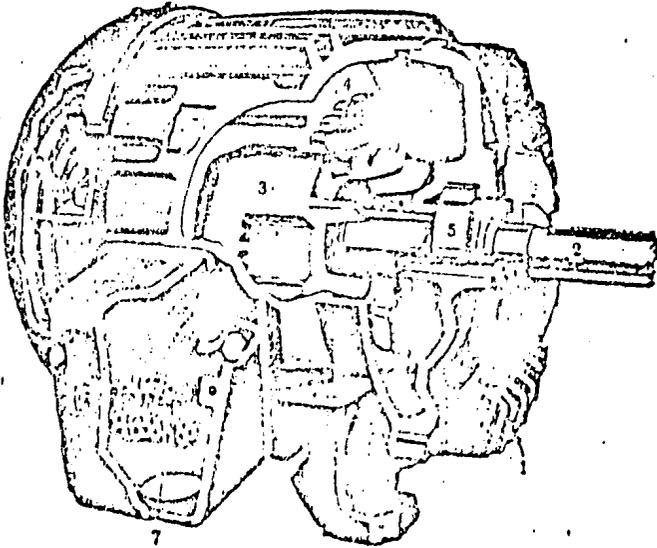
Cuando el par de arranque directo es insuficiente para la carga, el arranque con reóstato en el secundario o el rotor de doble jaula de ardilla es necesario.

En ciertas condiciones el empleo de resistencias, en lugar de compensador es conveniente.

Lo demás es de importancia menor, excepto en casos especiales, en que es necesario modificar las reglas anteriores de acuerdo con las circunstancias.

Cuando el par de arranque directo es sobradamente grande para las necesidades iniciales de la carga, el arranque por medio de compensador se impone.

## MOTOR TRIFASICO DE INDUCCION.



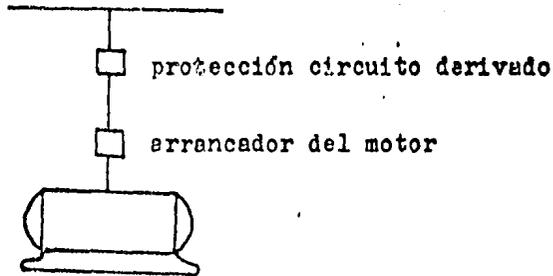
- 1.- Coraza o caja metálica, en que se encuentra colocado el estator, fabricado por un conjunto de láminas con ranuras.
- 2.- Flecha de acero en donde se coloca la polea, engrane cople para mover la máquina a que está destinado.
- 3.- Rotor o inducido, que está formado por un tambor de láminas, provistas de ranuras, en las que van alojadas barras de cobre o aluminio, cerradas en sus dos lados anterior y posterior por anillos del mismo metal, para cerrar en cortocircuito todo el inducido.
- 4.- Es el estator o inductor
- 5.- Baleros
- 6.- Caja de conexiones de salida, 7.- Salida de los devanados

## IV.2.- PUESTA EN SERVICIO DE LOS MOTORES DE INDUCCION.

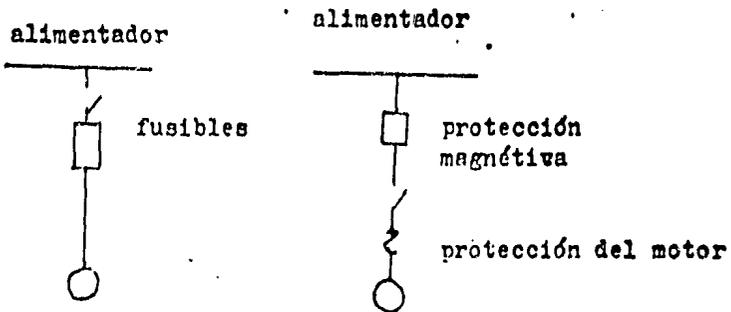
### Arranque directo.

Se efectúa directamente sobre la línea mediante arrancadores de línea (cuchillas o magnéticos) es el método de control más usado y económico, pero está limitado por las compañías que suministran la energía eléctrica, a los motores de mediana capacidad (hasta 75 H.P.)

### Control del motor de inducción.



### Control normal.



fig(33)

## PROTECCION

PROTECCION {  
Fusibles  
Interruptores  
Termomagnéticos o electromagnéticos.

ARRANCADOR {  
Cuchillas                    Voltaje pleno  
Magnético                    {  
                                  Voltaje pleno  
                                  Voltaje reducido.

La sencillez del equipo de control es bastante reducido y se compone básicamente de un interruptor operado por corriente máxima, con dos ajustes de intensidad y de tiempo, el primer ajuste es de acción instantánea y funciona con corrientes mayores de 6 veces la normal; el segundo es de acción retardada hasta 40 segundos, y funciona con corriente 10% mayores que la normal. De éste modo, el arrancador no opera ninguno de los ajustes, porque el motor toma solo 4 ó 5 veces la corriente normal y por que el arranque dura solo 2 a 10 segundos, naturalmente que cuando hay falla de aislamiento o sobrecarga prolongada en el motor.

Es interesante hacer notar que algunos de los inconvenientes del arranque directo han sido atenuados en parte haciendo que la jaula del motor sea de resistencia lo más elevada posible durante el arranque y de baja resistencia durante la marcha.

Este cambio de resistencia se debe al cambio de pérdidas en el cobre y fierro adyacentes, causado por cambio de frecuencia, la figura (35) describe una forma de ranura con la disposición interior empleada en cierto tipo de motor que ha sido objeto de una patente.

En la ranura que se muestra se encuentra una barra de gran sección A, en la parte baja, y una corta sección B, en la alta parecida a una "I". Cerca a ella se ha puesto una cuña magnética C, de histeresis elevada y que favorece el paso de flujo a través de la parte B de la barra.

" Considerando que la corriente en la barra tiene una frecuencia cercana a la normal, lo que sucede en el arranque, la parte A adquiere una elevada reactancia y rechaza a la corriente hacia la parte B y al mismo tiempo causa elevadas pérdidas por histeresis en la cuña y -

fuertes corrientes de Foucault en la parte B. todo se --  
 une para darle a la barra una resistencia efectiva nota--  
 blemente mayor que la ohmica, y para limitar la corrien--  
 te de arranque y aumentar el par. En marcha plena la fre--  
 cuencia baja a la 30a. ó 40a. parte de la normal, y los --  
 fenómenos desaparecen , prácticamente , quedando la barra  
 con su resistencia ohmica, apenas aumentada, y con las--  
 partes A y B en paralelo.

Hay dos fuerzas importantes como se ven dos líneas -  
 en la figura.

- a) La una envuelve a la parte A y le da inductancia
- b) La dos envuelve tanto a la parte A como a la B y origi--  
 na las pérdidas mencionadas.

Su importancia disminuye con la intensidad de la co--  
 rriente.

Es posible aprovechar algunas otras causas más de pé--  
 rdidas indeterminadas que dependen de la corriente.

La saturación de los dientes, los rotores de preferencia,  
 por que los del estator al saturarse, solo contribuyen a--  
 disminuir la corriente sin aumentar el par.

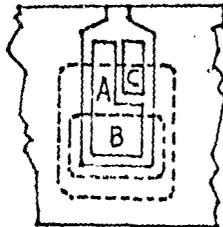


fig. (35)

#### IV. 3. -ARRANQUE ESTRELLA-DELTA

Debido a la necesidad de reducir la corriente de arranque esto ocasionado en los motores de jaula de ardilla por funcionar como un transformador en corto circuito, es necesario reducir la corriente de arranque en los motores de gran potencia.

El arranque estrella-delta se forma de la combinación de conexiones, en primer lugar en estrella y después en delta.

Por medio de un interruptor tripolar de dos posiciones se conecta primero el devanado en estrella a los terminales de la línea, lo que equivale a aplicar sólo  $1 : \sqrt{3} = 58\%$  de la tensión normal de alimentación a cada uno de los enrollamientos y con ello que la corriente de línea sea  $1 : 3$  del valor que tendría si se hubiese conectado el motor directamente

En estas condiciones funciona hasta que el motor tiene la suficiente velocidad, en ese momento se cambia la posición del interruptor y el motor queda conectado en triangulo a la línea.

Dentro de las características no favorables del enrollamiento estrella-delta la de su falta de flexibilidad.

A continuación se muestran los diagramas correspondientes.

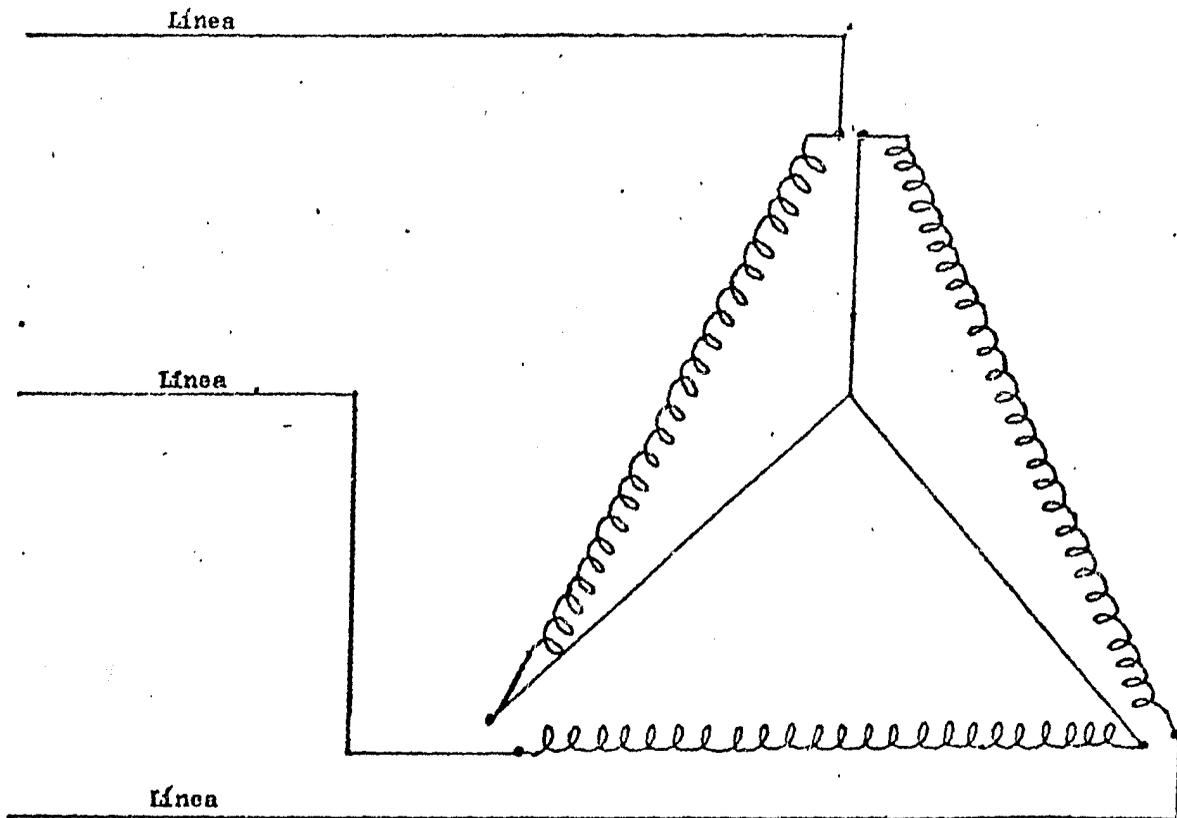
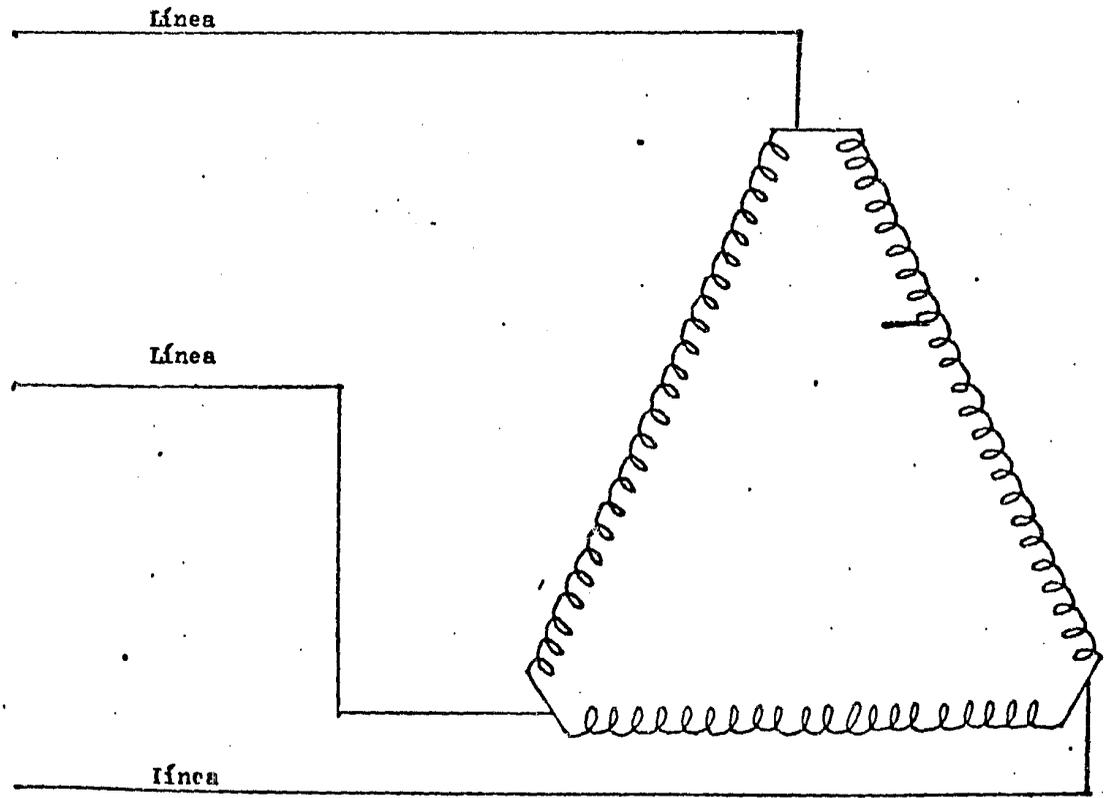


FIG. 36-a

Plena marcha del motor de inducción por el método ESTRELLA-DI LTA.

FIG. 36-b



Arranque del motor de inducción por el método ESTRELLA-DELTA.

#### IV.4.- ARRANQUE POR TRANSFORMADOR,

El empleo de transformador para el arranque es uno de los métodos cuando no es posible el arranque por conexión directa y es muy usado en los motores de jaula de ardilla, todas las clases de motores de jaula de ardilla pueden ser usados para arranque con compensador. Sin embargo algunas de ellas se prestan mucho mejor que otras en ciertas condiciones de trabajo.

La clase A es el tipo indicado para;

Impulso de bombas

Ventiladores

compresoras con descargador.

Al analizar el trabajo a realizar se ve que requiere un alto par máximo y eficiencia y dado que estas máquinas no necesitan un par mayor que el de plena carga al arrancar señala el empleo de transformador.

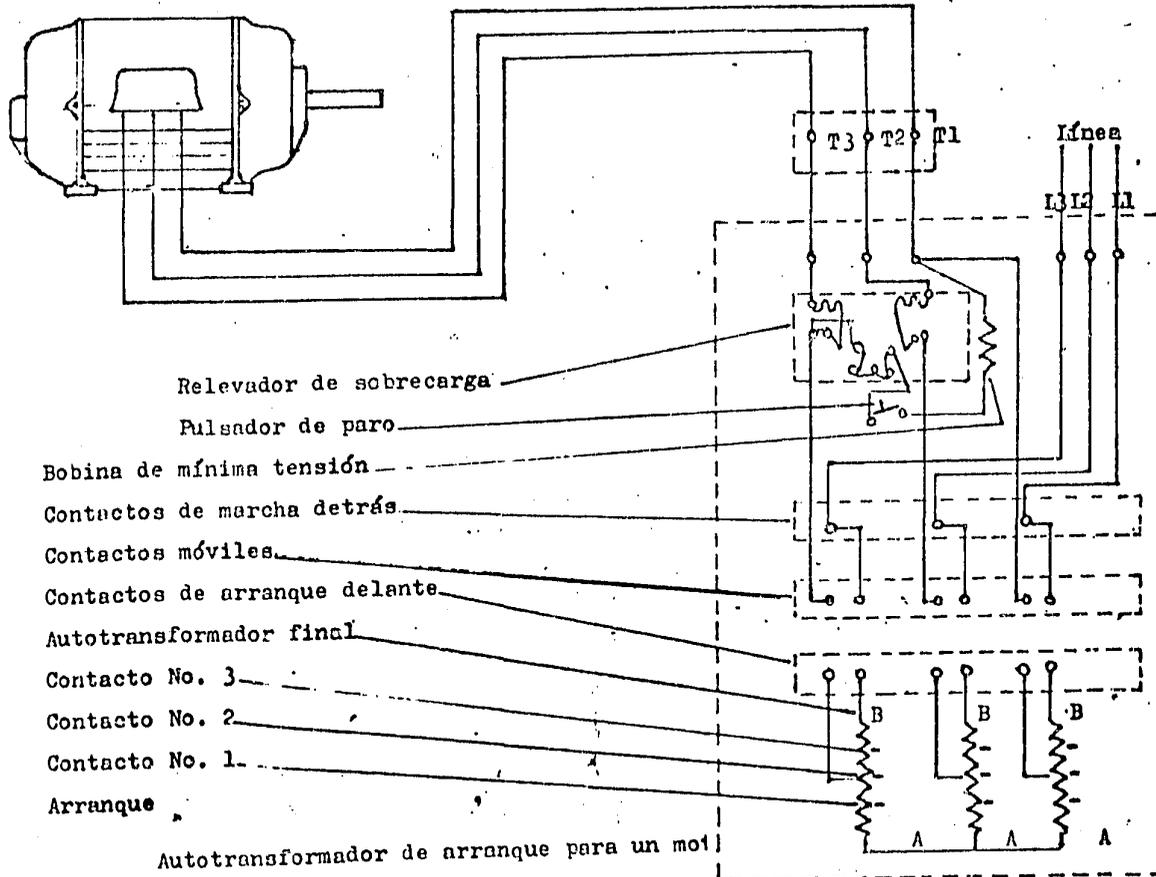
Un compensador de la "General Electric" se conectan en estrella los arrollamientos de un transformador trifásico. cuando el interruptor está en la posición de arranque, el compensador se conecta a la línea sin más protección que los fusibles. En estas condiciones, los tres conductores terminales del motor se conectan a tres contactos, unidos a cada una de las fase del transformados. por consiguiente, la tensión apli

cada la motor queda reducida aproximadamente al medio de su valor nominal. Cuando el interruptor está en posición de funcionamiento el compensador queda totalmente desconectado de la línea, y el motor empalmado directamente a ella a través de los fusibles de marcha normal.

El relevador de sobrecarga está constituido por dos láminas bimetalicas que cierran contactos en serie con la bobina de tensión nula, las dos láminas se mueven por la acción del calor desarrollado por dos resistencias en serie con cada uno de los conductores. Si el motor está sobrecargado durante un período suficiente, el calor de las resistencias provoca la apertura de los circuitos que cierran las láminas bimetalicas, dejando sin energía el electroimán de baja tensión y provoca la apertura del circuito. Es de hacerse notar que un compensador que alimenta a un motor con la mitad de la tensión nominal reduce la intensidad de la corriente de la línea a 1:4 de su valor normal. El motor, con el 50 % de tensión absorbe la mitad de la corriente que absorbería si estuviese directamente conectado a la línea.

Como esta corriente sale del secundario de un transformador de relación 2;1 la intensidad de la corriente de líneas sólo la mitad de la del motor y vale, por lo tanto, la cuarta parte que absorbería el motor conectado directamente de la línea.

motor trifásico



Relevador de sobrecarga

Pulsador de paro

Bobina de mínima tensión

Contactos de marcha detrás

Contactos móviles

Contactos de arranque delante

Autotransformador final

Contacto No. 3

Contacto No. 2

Contacto No. 1

Arranque

Autotransformador de arranque para un motor de inducción de rotor jaula de ardilla

La explicación para un compensador de arranque o un auto-transformador polifásico, combinado con varios interruptores -- simples y de cambio,

En los siguientes diagramas se presentan de tres maneras diferentes y consecutivas, por la maniobra de una palanca de control.

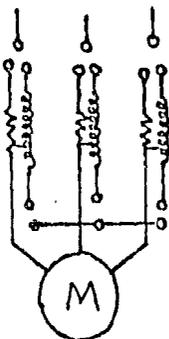
Posición (a), el motor está desconectado de la línea, y en reposo. Al moverse la palanca a la posición de arranque, el motor M recibe una fracción de la tensión de la línea de magnitud  $D/(D+S)$ , siendo D la parte de arrollamiento del compensador en derivación con el motor, y S la parte del mismo en serie con la línea.

La posición (b) se obtiene por medio de los interruptores de tres polos A y B, y la alimentación del motor se hace sin incluir en el circuito los elementos de protección P, cuando estos son de simple corriente máxima, sin retardo.

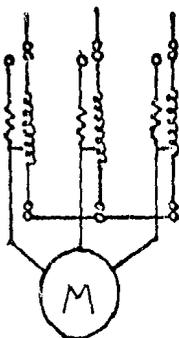
Una vez que el motor ha alcanzado la velocidad límite, se cambian las conexiones por medio de la palanca de control, y el motor queda directamente alimentado por la línea, a través de las bobinas de protección como se indica en (c). Al mismo tiempo se abre el circuito del autotransformador, para evitar pérdidas.

Es de hacerse notar que la palanca de control tiene un cerrojo automático que impide sea llevada a la posición de ma

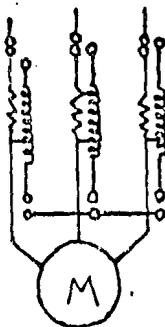
cha (c) sin haber pasado antes por la de arranque (b) y habitualmente tiene un mecanismo de retorno a la posición (a), -- cuando falta potencial en la línea. Esto tiene por objeto evitar que el motor arranque inesperadamente, en condiciones normales, al quedar restablecida la tensión de la línea.



Motor desconectado de la línea en reposo.



(b)  
Posición de arranque



(c)  
Posición de velocidad límite  
motor directamente alimentado a la línea.

fig (38)

#### IV.5.-ARRANQUE POR RESISTENCIA.

La resistencia o reactancia tienen una función de reductor de potencial, dicho empleo de resistencias, o reactancias, intercaladas entre el motor y la línea, tiene algunas características muy especiales, principalmente si el motor es de tipo C.

Si se trata de una resistencia actúa como un disipador de energía.

En el caso de una reactancia actúa como un reductor de potencial.

El par se reduce con el cuadrado de la tensión útil como en un compensador, pero la corriente es tan grande en el motor como en la línea, de manera que en proporción se reduce mucho más el par que la corriente.

Sus ventajas son su costo menor y el hecho de que se puede conseguir una aceleración suave poniendo los contactos sucesivamente en corto circuito, de modo que el circuito del motor no queda abierto.

De las consideraciones anteriores se deduce que entre la resistencia y la reactancia hay diferentes características que producen diferentes resultados al combinarse con la corriente del motor, muy atrasada al arrancar y poco atrasada en marcha.

Como se señaló en párrafo anterior en algunas instalaciones la resistencia o reactancia de arranque está dividida en varias fracciones que son alimentadas progresivamente del circuito por medio de contadores operados por un reloj. Al dar la orden de cerrar el circuito todas las --

fracciones están en serie, pero el motor no echa a andar por que la corriente es insuficiente.

Uno o dos segundos después, es eliminada una de las fracciones, pero el motor aún no se mueve., Otro instante después es eliminada la segunda fracción y el motor arranca y acelera con velocidad. Después de algunos segundos son eliminadas las fracciones restantes, hasta quedar el motor conectado directamente a la línea. Así de esta forma se hace insensible la variación de potencial que podría ser intolerable si de un golpe se tomara de la línea la corriente de arranque necesaria, Especialmente si la regulación de potencial del sistema se obtiene por medio de reguladores de tipo rápido a los que se da tiempo de actuar y corregir la variación conforme van siendo eliminadas las fracciones de resistencia o reactancia.

Para bombas y ventiladores centrífugos de arranque fácil con motores tipo A o B en combinación al sistema de arranque en cuestión y con motores tipo C para elevadores de carrera corta, con baja aceleración y cargas medianamente pesadas, particularmente cuando se necesita eliminar la interrupción en el impulso que acompaña al empleo del compensador de arranque de tipo convencional.

Un caso del arranque por resistencia es el arranque de un motor trifásico de inducción con arrancador automático primario del tipo resistencia en el cual se siguen los pasos ya indicados como el circuito siguiente.

En el circuito se ven las siguientes componentes;

M son los contactores de la línea de alimentación.

$M_b$  es la bobina de retención de los contactores  $M$  y  $M_a$

$M_{cl}$  los contactores de selló.

A son los contactores que ponen en corto circuito las resistencias reductoras de voltaje.

$A_b$  es la bobina de retención de los contactos A.

TR son los contactos de tiempo defirido que, junto con la  $M_b$  constituyén un relevador de tiempo definido.

OI es el dispositivo de seguridad de sobrecorriente.

Los contactores  $M$ ,  $M_a$ , A y Tr se abren cuando;

- a) Se oprime el botón de paro.
- b) Hay sobrecorriente.
- c) Hay bajo voltaje.

### ARRANQUE DE UN MOTOR TRIFASICO DE INDUCCION CON ARRANCADOR AUTOMATICO PRIMARIO DE TIPO DE RESISTENCIA.

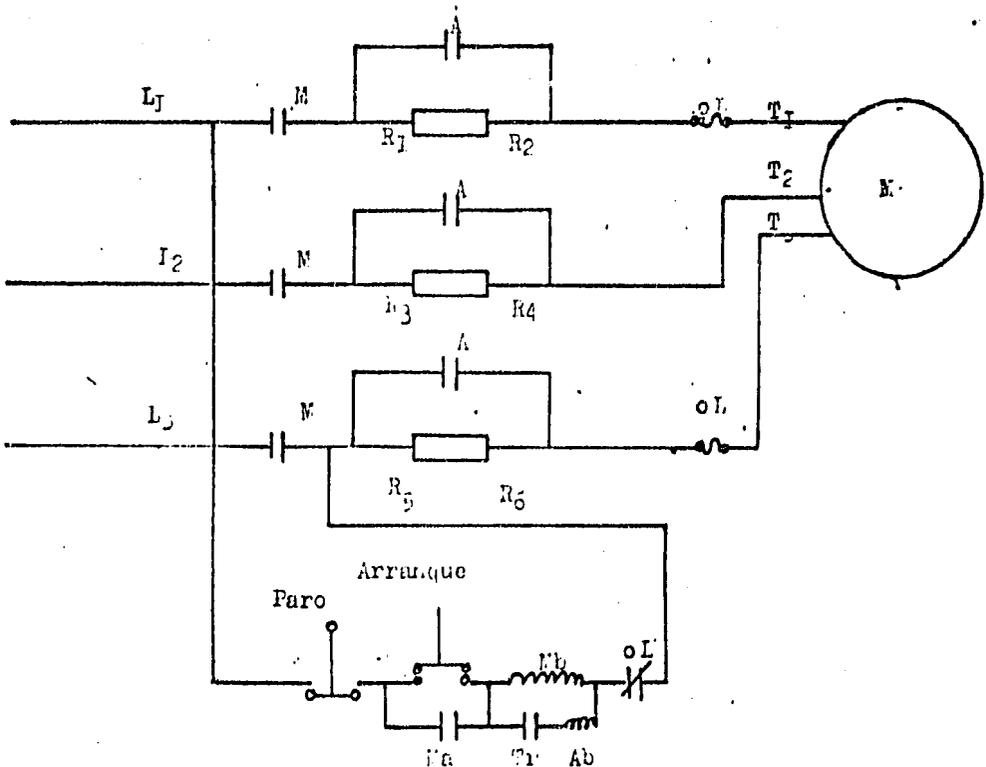


fig (39)

#### IV.6.-ARRANQUE MAGNETICO A TENSION COMPLETA

Para la conexión de motores eléctricos mayores de 1/2 HP hasta 10 HP inclusive, se recomienda protegerlos con -arrancadores a tensión completa, conocidos tambien como --arrancadores a tensión plena. 4A

En el diagrama siguiente se muestra el arrancador cuya secuencia de operación es;

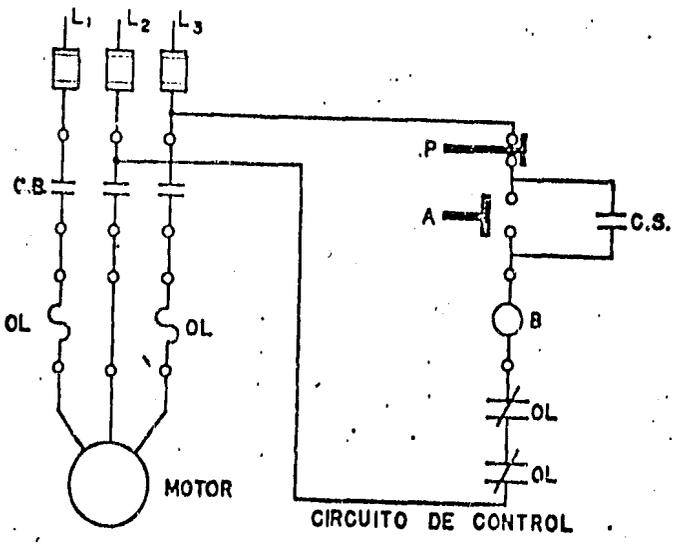
Al apretar el botón de arrancar (A), instantáneamente se cierra el contacto de enclave o tambien conocido como -contacto de sello (C.S.), se energiza la bobina (B), se cierran los contactos de bobina (C.B.) quedando el motor conectado a la línea.

(OI) = Elementos térmicos de los relevadores de sobrecarga.

OL = Relevadores de sobrecarga.

Para facilitar al máximo la interpretación del diagrama de conexión, se ha separado el circuito de control del -circuito de fuerza.

DIAGRAMA DE CONEXION DE UN MOTOR TRIFASICO PROTEGIDO  
 CON UN ARRANCADOR MAGNETICO A TENSION COMPLETA.



-  Contacto de Operación de la Bobina..
-  Fusible de Control.
-  Relevador de Sobrecarga.
-  Elementos Térmicos de los Relevadores de Sobrecarga.

fig.40

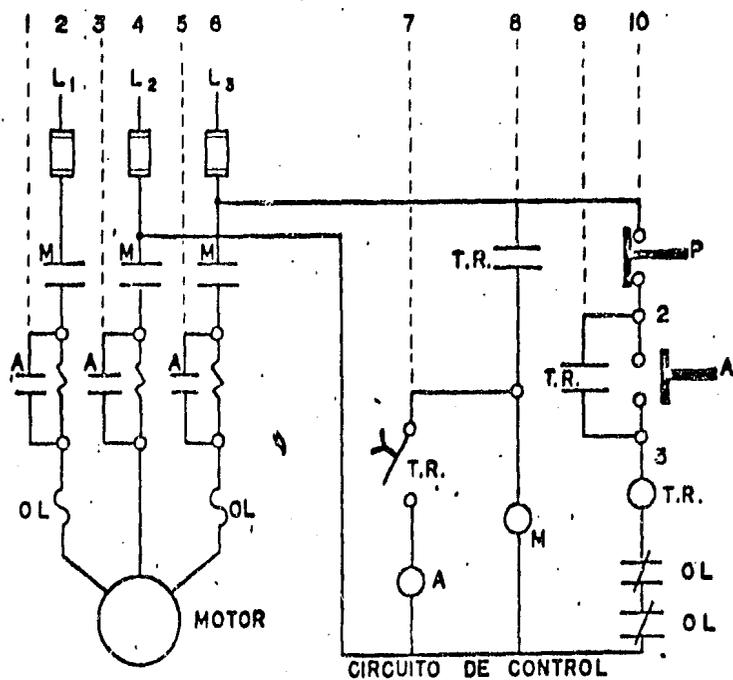
## ARRANQUE MAGNETICO A TENSION REDUCIDA.

Para motores de 15 HP en adelante, por requerimiento de Dirección General de Electricidad, es necesario el uso de arrancadores a tensión reducida para que al arrancar no produzcan perturbaciones en el sistema eléctrico.

En el diagrama siguiente se muestra el arrancador -- cuya secuencia de operación es:

Al oprimir el botón de arranque, se energiza la bobina T.R. en 10, se cierran los contactos T.R. en 8 y 9, el contacto en 9 es de enclave, el contacto en 8 energiza la bobina M que cierra sus contactos en 2, 4 y 6, quedando -- el motor conectado a través de las resistencias, las que provocan una caída de tensión haciendo que el motor quede alimentado a tensión reducida. El mismo contacto en 8 --- deja preparado el circuito para que el contacto T.R. en 7 que es el relevador de tiempo, al cerrar energiza a la -- bobina así el motor alimentado a la tensión de la línea.

DIAGRAMA DE CONEXION DE UN MOTOR TRIFASICO PROTEGIDO  
CON ARRANCADOR MAGNETICO A TENSION REDUCIDA.



 Contacto de Operación de la Bobina.

 Fusible de Control

 Relevador de ---  
Sobrecarga

 Bobina.

fig.41

#### IV.7.- INVERSIÓN DEL SENTIDO DE GIRO.

Si consideramos un motor que está girando a una velocidad considerable si en ese momento sucede la siguiente operación, el campo se establece en sentido contrario a la rotación del motor, esta situación se logra invirtiendo o intercambiando dos de las terminales de alimentación del estator.

Por lo tanto al haber oposición en los movimientos del campo y de los conductores, se producen en estos conductores corrientes de mayor intensidad que la normal, y en consecuencia esfuerzos electromagnéticos poderosos que reducen la velocidad del rotor con la rapidez de un freno extraordinario, acto seguido llega a una velocidad cero e invertir el giro definitivamente.

En este intervalo de tiempo de contramarcha el deslizamiento es mayor que la unidad y puede llegar hasta muy cerca de dos.

#### IV.8.-REGULACION DE LA VELOCIDAD DE LOS MOTORES DE INDUCCION

Los múltiples usos en diferentes procesos requiere muchas veces de la variación de la velocidad en los motores de inducción trifásicos, como ejemplo se tiene el de un motor de un torno que constante rompe las pastillas y hay necesidad de quitar el portaherramientas para cambiar dichas pastillas perdiendose un valioso tiempo de producción. la solución, variar la velocidad de giro del motor, la velocidad del rotor más exactamente que esta expresada de la siguiente manera y por los siguientes parámetros.

$$N_2 = \frac{f \cdot 120}{p} (1 - s)$$

- a) - Siendo  $N_2$  en r.p.m.
- b) -  $f$  en periodo por segundo
- c) -  $P$  el número de polos
- d) -  $s$  el deslizamiento

Como se puede observar son tres los factores - ( frecuencia, deslizamiento, y número de polos ) - que determina la velocidad del motor de inducción trifásico, para cambiar la velocidad es necesario por lo menos, variar uno de ellos.

Cambio de Polos.

Si hay un cambio de reembobinado de un motor para un cambio de velocidad requiere tambien cambiar el número de polos, debido a que se necesita el mismo flujo en el entrehierro.

$$\phi_2 P_2 = \phi_1 P_1$$

En forma práctica por medio de un interruptor conveniente, las conexiones del estator se pueden variar de mane--

ra que se modifique el número de polos, con lo que se varía a la velocidad de sincronismo del motor y, por lo tanto la velocidad del rotor.

Si el número de polos se hace variar en la relación de 3 a 2 el devanado estará previsto probablemente para un paso de dos tercios a la velocidad más alta que correspondera al paso entero para la velocidad menor.

A continuación se indica el procedimiento para gran-velocidad y poca velocidad por medio de "polos consecuentes" en la figura siguiente, En (a) se representan las conexiones para un devanado de paso mitad y 4 polos, empleando para la velocidad más alta; las espiras se conectan alternadamente a los mismos terminales.

Cuando las direcciones de los valores instantáneos de las corrientes son inversas, como se ve en (a), se forman dos polos N y dos polos S.

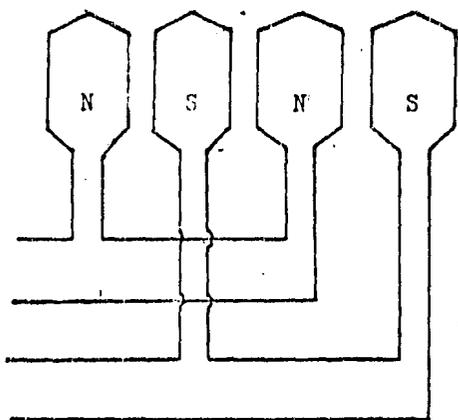
Invirtiendo la dirección en uno de los devanados, como se indica en (b), se forma un devanado de paso entero y media espira, que da origen a 8 polos, la mitad de los cuales, los polos S en la figura son polos consecuentes.

La velocidad de sincronismo con la conexión (b) será la mitad que con la (a).

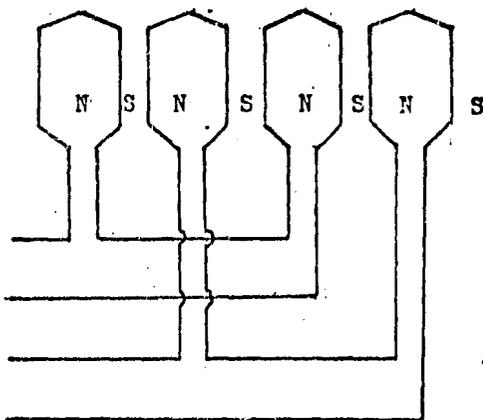
Han de sacrificarse características convenientes en este tipo de motores ( inducción ) y no se obtienen las mejores condiciones posibles de operación, tales como un factor de potencia elevado a una cierta velocidad.

Con el fin de que el motor tenga buenas condiciones cuando funciona a la otra velocidad como se dijo anteriormente se sacrifica el factor de potencia elevado.

Por causa de las dificultades inherentes al cambio de conexiones no es conveniente obtener más de dos velocidades



(a) Gran velocidad

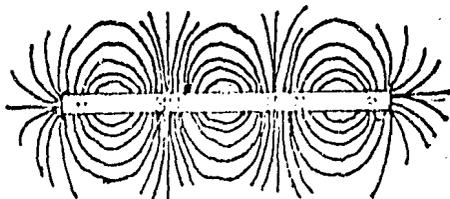


(b) Poca velocidad

Variación de la velocidad por medio de " polos consecuentes

fig (42)

Polos consecuentes. Son aquellos que se presentan en puntos intermedios de los imanes en lugar de los extremos como se ve en la figura, los polos consecuentes se componen en realidad al hecho de que las barras imanadas están constituidas por dos o más imanes dispuestos de modo que existan dos polos N y dos S en la misma porción del imán.



Polos consecuentes.

fig (43)



**MANTENIMIENTO PREVENTIVO A MOTORES DE INDUCCION.**

## CAPITULO V

### MANTENIMIENTO A MOTORES DE INDUCCION.

V.1 FUNDAMENTOS DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO.

V.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO A MOTORES DE INDUCCION.

V.3 FALLAS DE MOTORES DE INDUCCION.

V.4 ORGANIZACION DEL MANTENIMIENTO DE MOTORES DE INDUCCION.

## V.1.- FUNDAMENTOS DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO.

Se define como mantenimiento preventivo al conjunto de técnicas que nos garantizan el buen funcionamiento de edificios e instalaciones de una planta productiva, sin tener -- que recurrir a parar el proceso productivo es decir previniendo probables fallos.

Toda actividad del mantenimiento tiene como objetivo -- el lograr con el menor costo el mayor tiempo de servicio de las Instalaciones y Maquinaria para lo cual el equipo humano responsable debe conservar permanentemente una concepción del servicio superior al simple cumplimiento de una labor y considerar que dicha actividad es fundamental para el funcionamiento de todas las demás actividades y que muchas veces requiere esta actividad del sacrificio en el cumplimiento de dicha labor para no afectar las demás departamentos de la planta, principalmente a producción.

De lo anterior se puede decir que el mantenimiento es no solo el mantenimiento que consigue que todo funcione bien sino que es el equipo que asegura que todo funcione bien.

Las condiciones de funcionamiento deben ser ideales -- pero esto, es poco probable de encontrarse debido a diferentes aspectos como los siguientes :

Las máquinas eléctricas a veces tienen defectos de construcción, montaje con lo que hay pérdidas en los primeros -- meses de utilización.

Para mantener las instalaciones en buenas condiciones es necesario disponer de ellas, es decir, repararlas durante un cierto número de horas al año, mes.

A lo anterior se agrega que el equipo es confiado a -- personal con ciertos conocimientos del equipo con lo que en

en un caso de dificultades de maniobra con el equipo lo daña.

#### ORGANIZACION DEL MANTENIMIENTO.

Actualmente toda actividad que realice el departamento de mantenimiento sobre el equipo está sujeto a una carrera contra el tiempo, factor que exige el departamento de producción para la elaboración del producto.

Esta situación en años anteriores cuando el primitivo sistema exigía un ilimitado sacrificio por parte del departamento de Mantenimiento el cual trabajaba constantemente en excitación nerviosa provocada por que no se localizan los repuestos necesarios, por que los talleres no estaban organizados con las existencias correspondientes, en resumen en la improvisación y como consecuencia la pérdida de un tiempo precioso del proceso productivo.

Actualmente el mantenimiento requiere de unadinámicas - acorde a los lineamientos exigidos por los volúmenes de producción para lo cual requiere de la recopilación de datos, de la confección estadística, de la organización hasta en <sup>B</sup> sus mas mínimos detalles del equipo de trabajo de Mantenimiento.

De los factores más importantes que han hecho necesario el Mantenimiento Planificado destacan.

- 1.- Creciente Mecanización
- 2.- Procesos a tres turnos
- 3.- Proceso en cadena
- 4.- Elevado costo de Mano de obra.

Como toda actividad tiene un fin especificado así el fin del mantenimiento en general de cualquier equipo industrial es cumplir en una línea de producción con el menor número de interrupciones por falla del equipo para obtener

los mejores volúmenes de producción. Si se cumple con esta meta se habrá cumplido con el Departamento de producción en los objetivos de mayor eficiencia.

## V.2.- MANTENIMIENTO PREVENTIVO A MOTORES DE INDUCCION.

El motor de inducción es dentro de sistema de energía eléctrica el elemento activo por excelencia, ya que es la máquina que lleva a cabo la transformación de energía eléctrica en movimiento mecánico, concretiza así el trabajo de tener una fuerza mecánica primero para crear después energía eléctrica y posteriormente el transportar dicha energía hasta el lugar donde se necesita.

En general todos los motores de inducción tienen un conjunto de elementos que es necesario supervisar periódicamente algunos y constantemente otros, para el buen funcionamiento de los motores de inducción. A continuación se da una lista de los elementos que deben supervisarse.

- 1.- Cojinetes
- 2.- Entrehierro
- 3.- Carcasa
- 4.- Arrollamiento de inducido
- 5.- Arrollamiento del inductor
- 6.- Caja de bornes
- 7.- Lubricación
- 8.- Tornillos de fijación
- 9.- Bulones.

Estos elementos son los que se revisan periódicamente para tener los parámetros necesarios y determinar el estado de normalidad, o sea una especie de historia clínica que -- mantiene cada uno de los motores de inducción, para lo cual es de gran utilidad la estadística y las gráficas.

La meta a sido anular el mantenimiento de rotura o sea aquel mantenimiento que por muy rápido que se pretenda realizar la reparación ya nos ha interrumpido el proceso productivo.

La eficiencia del mantenimiento en el proceso productivo como meta aumentó a partir de 1940 cuando los países que intervinieron en la segunda guerra mundial pedían de la industria la continuidad de una máxima producción.

Citaré a continuación algunos de los puntos más importantes que han hecho necesario un Mantenimiento planificado.

a) Creciente mecanización que si bien disminuye los costos de la mano de obra directa por unidad producida, exige -- que una parte de este beneficio conseguido sea invertido en conservar las instalaciones y maquinaria.

- b) Los procesos continuos en muchas industrias, cuyo trabajo a tres turnos no deja tiempo para reparar entre una jornada y otra de trabajo.
- c) La existencia de procesos en cadena en donde el paro de una máquina o puesto de trabajo paraliza, toda la instalación productiva.
- d) Las interrupciones en los productos terminados que pueden ser causa de incumplimientos de plazos de entrega convenidos, con graves consecuencias y posibles pérdidas de clientes.
- e) La corrección de las condiciones defectuosas no solo hace que disminuya el costo de las reparaciones, sino que mantiene el rendimiento de la maquinaria en cuanto a cantidad y calidad.
- f) Los gastos de los servicios de aire, electricidad y agua etc. se reducen considerablemente con una intervención -- continua y planificada.
- g) Racional y completo empleo del personal de mantenimiento sólo conseguido si puede programarse su empleo durante toda la jornada de trabajo.
- h) El elevado costo de la mano de obra, que impone un trabajo sin interrupciones con la máxima productividad.
- i) La legislación y el sentir general de evitar accidentes.-- una de cuyas causas puede ser el deficiente estado de la

maquinaria e instalaciones.

- j) La planificación de las operaciones de mantenimiento asegurará la existencia en almacén de las piezas de cambio necesarias.

Este servicio se considera como protección y seguro del capital invertido, y en los presupuestos de la empresa debe ser incluido como valor conocido como concepto de "imprevistos" asignando el posible valor de las averías consideradas como inevitables.

El término de mantenimiento a motores de inducción debe entenderse como el conjunto de técnicas que aseguran la correcta utilización del motor de inducción y el continuo funcionamiento de dicho equipo.

Se deduce de lo anterior que uno de los factores primordiales a lograr es el objetivo de mantener el motor de inducción en perfectas condiciones de mantenimiento.

Son deberes del mantenimiento a motores de inducción los siguientes.

- 1.- Mantener en perfecto estado de funcionamiento las máquinas eléctricas, procurando prever las fallas que pudieran presentarse en los circuitos.
- 2.- Localizar y reparar fallas tanto en el motor de inducción como en su equipo de protección, siempre procurando que la reparación sea efectiva y no provisional -- pues a la larga, ésta perjudica más la economía de la empresa, por las continuas pérdidas de tiempo para producción.
- 3.- Estar constantemente observando y corrigiendo las cargas de las fases y las temperaturas del motor de inducción, procurando tener un factor de potencia lo más cercano a la unidad.
- 4.- Proponer mejoras que se hagan necesarias.

En términos generales el mantenimiento incluye conceptos como son los siguientes.

- a).- El objetivo del mantenimiento es lograr con el mínimo costo el mayor tiempo de servicio de los motores de inducción.
- b).- El mantenimiento es un estado de ánimo, una conciencia una sistematización de operaciones para conservar en buenas condiciones el motor de inducción.
- c).- El mantenimiento ideal es aquel que consigue que, en los años que una unidad de producción está en servicio dé a la empresa su pleno rendimiento. Y esto es lo -- que siempre es rentable.

## PRUEBAS A LOS MOTORES DE INDUCCION TRIFASICOS.

Para las pruebas de motores eléctricos trifásicos se -- hace necesario disponer de equipo eléctrico de medición los cuales son los siguientes.

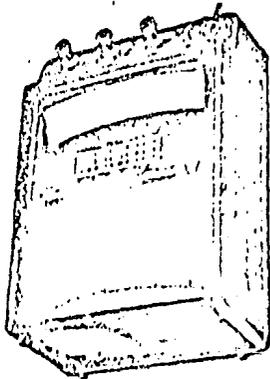
- 1.- Voltímetro
- 2.- Amperímetro
- 3.- Voltamperímetro de gancho ( inducción )
- 4.- Freno
- 5.- Tacómetro
- 6.- Termómetro
- 7.- Vatímetro.

En electricidad industrial no hace falta que los ins--- trumentos sean de gran precisión ya que por ejemplo, si tene mos un motor y el fabricante indica que a plena carga debe - trabajar con 220 volts y 280 amp., pero nuestros aparatos -- indican una lectura de 225 volts y 285 amp., hay un porcenta je del 5 % de más del indicado, lo cual no reviste importan- cia ya que la tolerancia que da el fabricante debe ser mayor por tal motivo estos aparatos no tienen la precisión de los electrónicos por ejemplo sino que son un poco menos precisos

Es de especial importancia tener cuidado antes de hacer la medición, verificar que la aguja indique cero y si no es así hacer la corrección pertinente para que así sea.

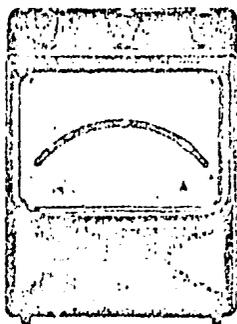
Cuidar que la escala sea la adecuada, buscar el ángulo óptimo para poder realizar la lectura correctamente, cuidar la posición para el empleo del aparato, para determinar con mayor rapidez la falla de que se trate.

A continuación se muestran las ilustraciones fotográficas correspondientes al equipo eléctrico.



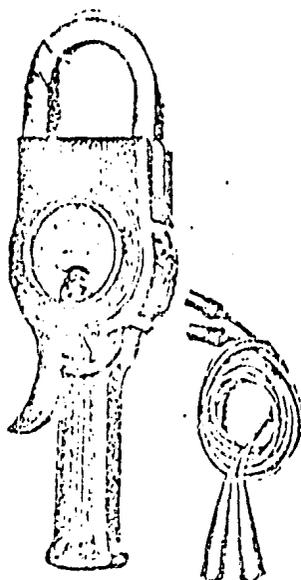
Voltímetro

Fig. (14)



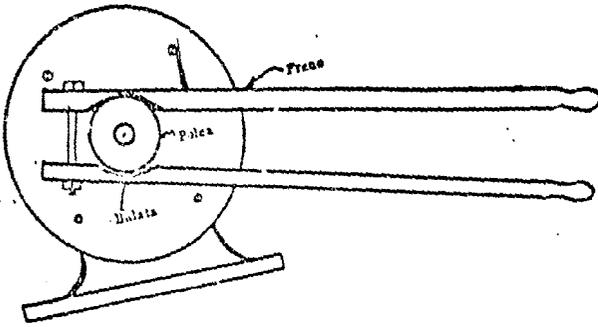
Amperímetro

fig.(45)



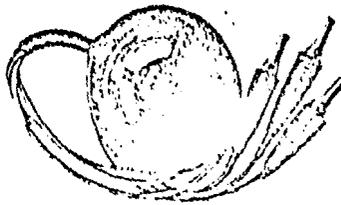
Voltamperímetro de  
Gancho (Inducción)

fig.(46)



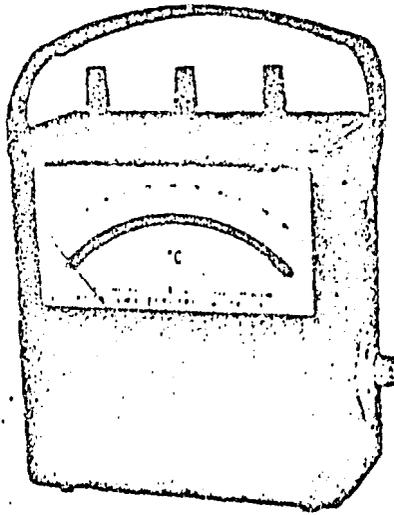
Freno

fig. (47)



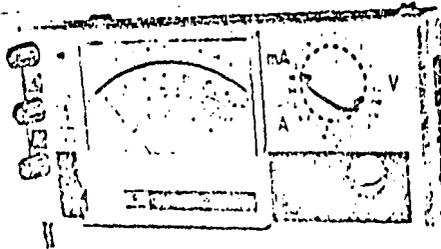
Dinómetro

fig. (48)



Termómetro

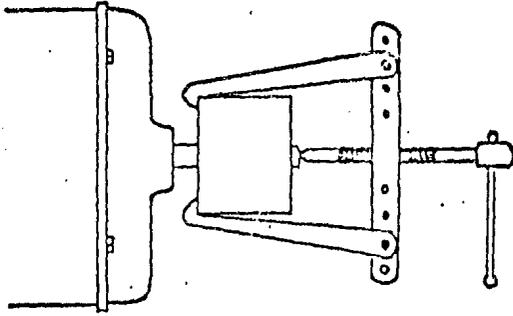
fig.(49)



Wattímetro, Voltímetro y Amperímetro

De Inducción Trifásica.

fig.(50)



Sacando la Polea por medio de un  
Extractor.

fig.(51)

### V.3.- FALLAS DE MOTORES DE INDUCCION.

Para poder llevar a cabo estas pruebas es necesario - contar con el equipo adecuado empezando con el voltímetro- y demás elementos de medición eléctrica.

Se enumeran algunas de las fallas más comunes de un - motor de inducción de tres fases.

#### a) Falla

Hay calentamiento en el motor de un momento a otro, no obstante que trabajó correctamente durante varios meses.

Las causas son;

- 1.- Baleros o chumaceras en mal estado.
- 2.- Sobrecargas
- 3.- Mayor o menor voltaje de alimentación
- 4.- Algunas o alguna barra del rotor se encuentran abiertas
- 5.- Falta de una fase en la línea de alimentación

#### b) Falla

El motor fundió los fusibles súbitamente o se disparó el sistema de protección.

Las causas son;

- 1.- Arco de corriente entre el rotor y el estator

- 2.- La máquina que acciona se frena
- 3.- Falta de una fase en la línea de alimentación
- 4.- Dispositivo de protección o fusibles inadecuados

c) Falla

El motor toma en una o en dos fases una corriente muy elevada y el zumbido no es el normal.

Las causas son;

- 1.- Parte de su devanado se encuentra cruzado
- 2.- Si el motor tiene 6,9,12 o más puntas de salida y se pretendió hacer cambio de conexiones, significa que la unión de dichas puntas no es el correcto.

## LOCALIZACION DE LAS FALLAS.

Para la falla (a), lo primero es ver la corriente - que toma el motor por medio del amperímetro de inducción o sea el de mordaza o gancho, que es uno de los aparatos- mas útiles en electricidad industrial.

Se mide fase por fase, y si cada una de éstas indi- ca una lectura mayor al 10 % del amperaje marcado en la- placa de características, nos esta indicando una sobrecar- ga.

Posteriormente con el mismo voltamperímetro que es- tamos usando se comprueba el voltaje que no sea mayor o - menor que el de diseño; es decir, que no tenga ni menos - ni más del 10 % , del voltaje indicado en la placa de ca- racterísticas.

Para llevar a cabo esta inspección se mueve el selec- tór a la escala de voltaje ya que originalmente se encon- traba en amperes, se toman los dos cables que para este - objeto traen estos instrumentos, se buscan las partes vi- vas, o sea, se abre el interruptor y en los bornes se ha- ce la medición.

Es de hacerse notar que la medición para el voltaje- puede tomarse como norma que al estar frente al interrup-

tor de izquierda a derecha contaremos;

1 , 2 y 3

luego la primera fase es;

1 con 2

la segunda;

1 con 3

y la tercera fase

2 con 3

si el voltaje no es el de placa o rebasa la tolerancia, -  
será la causa de la falla, pero si las lecturas tanto del  
amperaje como del voltaje están dentro de la tolerancia,-  
nuestro siguiente paso es;

Revisar el sistema de refrigeración del motor, ya sea

- Ventilador roto
- El ventilador se patina
- Los ductos de ventilación están obstruidos ( en fábricas textiles).

Si la falla no se localiza todavía el paso siguiente  
es quitar la carga que acciona el motor, es decir quitar -  
las bandas, cople, engrane, o cualquier otro elemento de -  
sujeción y se prueba en vacío, a voltaje y ciclaje de dise  
ño.

El amperímetro debe indicarnos un valor tal que al --

dividir el amperaje de vacío entre el de plena carga no sea mayor de; -

0.60 ni menor de 0.30

lo ideal es una relación de;

0.4. a 0.50

en el último de los casos no debe de rebasar las tolerancias indicadas.

Ejemplo;

El amperaje indicado en la placa ~~psvdecigeeeksdéedise-~~ño es de 74 amperes, el amperímetro indica 24 amp. tenemos entonces

$$\begin{array}{r} \text{voltaje de vacío} \quad 24 \\ \text{---} = 0.32 \\ \text{voltaje de diseño} \quad 74 \end{array}$$

relación aceptable ya que está dentro de la tolerancia.

Quando una tolerancia rebasa el límite menor de 0.30 sucede que;

El motor no tendrá la capacidad manifestada en la placa y si un tiempo trabajó perfectamente sin calentamiento lo más seguro es que no tenía toda su carga y al aplicarle ésta tuvo que manifestar falla.

Quando la tolerancia rebasa el límite superior de ---- 0.60 sucede que:

Trabajo bien durante un cierto tiempo es que no estaba trabajando a plena carga y al aplicársela se manifestó la falla y en ésta el motor tiene más potencia, sólo que el conductor de su devanado tiende a calentarse porque es para un amperaje menor. Si las mediciones fueron normales, se pone a trabajar en vacío y ya sea con la polea o sobre la flecha solamente se coloca el freno calculando el esfuerzo o sea - si con el mínimo, de acuerdo con su potencia el amperímetro indica un valor mayor que el de plena carga, esto indicará que tiene una o más barras abiertas.

## MODO DE EMPLEO DE EL FRENO.

En la figura siguiente se representa el freno;

-los números 1 y 1' representan las tiras de madera

-el 2 el tornillo

-el 3 corresponde a las bandas o balatas.

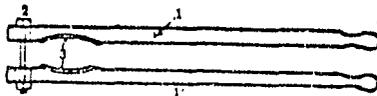


fig. (52)

Al estar funcionando el motor, las ramas del freno van presionandose hasta escuchar que el motor empieza a perder velocidad, señal de que la carga supera a la potencia; en ese momento, vuelve a aflojarse la presión un poco y ayudados del amperímetro veremos la potencia del motor, restando 30 %, que es la sobrecarga que comunmente soportan los motores.

Si el amperímetro indica un valor mayor que el de tolerancia que es el de plena carga, esto indicará como ya se señaló anteriormente que el rotor tiene una o más barras abiertas.

Si trabajó bien durante un cierto tiempo es que no -  
estaba trabajando a plena carga y al aplicarsela se mani-  
festó la falla.

En este caso el conductor de su devenado tiende a ca-  
lentarse porque es para un amperaje menor.

Si las mediciones fueron normales, se pone a traba--  
jar en vacío y se procede como sigue;

Se coloca el freno en la polea o sobre la flecha so-  
lamente, calculando el esfuerzo que se ejerce sobre los -  
brazos de sujeción sea el mínimo para la potencia del mo-  
tor y si en estas condiciones el amperímetro indica un va-  
lor mayor que el de plena carga, esto indicará que tiene  
el rotor una o más barras abiertas.

#### V.4.- ORGANIZACION DEL MANTENIMIENTO DE MOTORES DE INDUCCION

Dentro del equipo eléctrico por muy avanzado que sea el mantenimiento preventivo siempre existirá la avería y paro del equipo productivo.

Para lograr un mejor mantenimiento es necesario considerar los factores siguientes.

- Organización administrativa
- Suministro de repuestos a través del almacén de recambios y el taller auxiliar de mantenimiento.
- Herramientas y utensilios adecuados para efectuar los trabajos.
- Formación y calidad del personal para la detección de averías

##### Organización Administrativa.

Para cualquier tipo de actividades es necesario para desarrollar una buena actividad contar con la información necesaria en archivo en los documentos que de acuerdo a nuestro criterio deben de tenerse.

Cuando se presenta una avería en un motor eléctrico lo primero que debe de registrarse es una hoja de "parte de averías".

Esta hoja consta de anverso y reverso, en la parte anterior podemos apreciar los datos que han ocasionado la avería en el motor eléctrico y en el reverso anotar la intervención en la reparación, tanto en mano de obra como en materiales - empleados; es decir, el costo de la reparación.

Razón social		PARTE DE AVERIAS	Nº	
Fabricación	Maquina		Máquina	
	Tipo		Marca	
	Codigo de urgencia		Código	
Mantenimiento	Informe data reparacion			
	-----			
	-----			
	-----			
EMISION	RECEPCION	REPARACION	OBSERVACIONES	IMPUTAC.
Fecha	Fecha	Fecha		
Firma	Firma	Firma		

fig (53)

COSTE DE LA REPARACION							Imputac.	
No de Operario	dia	cat	tiem	MATERIALES			Pts.	Mts
<b>Total Ptes</b>				<b>Total Materi</b>			<b>Total Reparación</b>	

Este documento será emitido por los responsables de Fabricación, cubriendo los siguientes apartados.

- a) Datos de la máquina eléctrica ( referencia )
- b) Línea a la que pertenece ( Micelaneos )
- c) tipo de avería observada
- d) Urgencia de la reparación
- e) Marcará la fecha y hora de emisión y firmará a Manto el original

El electricista asignado para llevar a cabo el trabajo cubrirá los siguientes datos.

- a) Su número de nómina en la empresa
- b) Tiempo empleado en la reparación.
- c) Emitirá un informa detallado de los trabajos llevados a cabo en la reparación.
- d) Adjunto a ésta hoja unirá copia de los vales de materiales que han utilizado.
- e) El responsable de Mantenimiento recogerá en el parte diario de trabajo las horas invertidas en cada uno de estos partes de averías.

El departamento de mantenimiento debe hacer un balance de los siguientes datos.

- a) Valoración de la mano de obra empleada en la reparación
- b) Valoración del material empleado
- c) Valoración total de la reparación.

## FICHA DE HISTORIAL DE AVERIAS

Esta ficha consta de anverso y reverso . En el anverso -  
figuran los datos técnicos y económicos de las diferentes in-  
tervenciones realizadas por averías en cada máquina o equipo-  
En el reverso figuran los recambios de la máquina.

Esta hoja figura en un fichero en la oficina de manteni-  
miento conteniendo una ficha por máquina , sobre la cual se -  
cubren los siguientes datos

- a) Fecha y número de parte de avería.
- b) Zona donde estuvo localizada la falla
- c) Detalle de los trabajos realizados
- d) Hora de parada de máquina, considerando el tiempo en que  
se notifica de la falla y el momento en que se realiza --  
1 la reparación
- e) Horas invertidas por el personal en su especialidad (elec-  
trico )
- f) Importe de la mano de obra empleada
- g) Importe de los materiales empleados
- h) Importe total de la reparación efectuada.

## CONCLUSIONES.

El presente estudio lleva como finalidad la rápida - comprensión de los conceptos fundamentales del funciona - miento de los motores de inducción para cualquier estudian - te o persona en general.

Quando se conocen los elementos y se comprende el --- funcionamiento de un sistema de ingeniería como es el caso del motor de inducción se optimiza y facilita el manteni - miento y reparación del mismo.

El desarrollo de la presente tesis se realizó por ca - pítulos los cuales llevan una secuencia lógica, desde los - conceptos básicos y fundamentales del fenómeno electro-mag - nético para continuar con la estructura del motor de induc - ción describiendo el proceso matemático correspondiente, - hasta concluir con el diagrama circular de gran utilidad - para conocer los parámetros de cualquier motor.

Los últimos capítulos se refieren al motor de induc - ción en servicio y mantenimiento preventivo.

El capítulo número uno trata sobre el funcionamiento del motor eléctrico de inducción empezando por la naturaleza del fenómeno electro-magnético en el que se considera la fuerza electromotriz y la fuerza contraelectromotriz - conceptos de capital importancia para la comprensión del funcionamiento del motor eléctrico posteriormente se analiza el campo giratorio en el motor trifásico se estudia el deslizamiento y la similitud con el transformador, en forma general se analiza el devanado, ranuras y entrehierro.

La clasificación de los motores de inducción es el tema tratado en el capítulo dos, como primer aspecto trata los motores "A", "B", "C", "D", y rotor bobinado, se analiza la variación del par, el deslizamiento, el par crítico, la elevación del par.

El diagrama circular se utiliza para determinar rápidamente alguna característica de un motor de inducción, el capítulo tres trata sobre el diagrama circular, la determinación de las características y el trazado del mismo.

Se mencionan los inconvenientes del tratado circular que son despreciables si se considera su utilidad.

El estudio del motor de inducción trifásico en servi-

cio es uno de los fines del estudio ya que funcionando realiza un trabajo que es la finalidad del motor, se analiza el empalme, arranque por estrella-delta por transformador y resistencia, la inversión del sentido del giro y la regulación de la velocidad de los motores de inducción trifásicos.

Finalmente se estudia el mantenimiento preventivo a motores de inducción en el que se consideran los fundamentos, criterios y conceptos en general.

Se señalan los elementos que hay que revisar, las fallas más comunes, se insertan formas de la documentación requerida para la optimización en la eficiencia de dicho servicio.

Se insertan a través de la tesis fotografías y gráficas de diferentes motores de inducción.

## VOCABUARIIO.

### REGIA DE LA MANO IZQUIERDA PARA LOS VOTORES.

Es la regla que dice; Si se colocan el pulgar, índice y medio de la mano izquierda en ángulo recto entre sí y el índice en la dirección de las líneas de fuerza del campo magnético, el medio en la dirección de la corriente (del positivo al negativo), el pulgar indicará la dirección hacia la cual se moverá o tenderá a moverse el conductor por el cual circula la corriente.

### MOVIMIENTO DE UN CONDUCTOR POR EL CUAL CIRCULA CORRIENTE DENTRO DE UN CAMPO MAGNETICO.

El conductor tiende a moverse formando ángulo recto con las direcciones de la corriente que circula por el mismo y de las líneas de fuerza del campo.

### FUERZA CONTRAELECTROMOTRIZ.

Es la fuerza electromotriz inducida que siempre actúa oponiéndose a la f.e.m. aplicada, reduciendo la intensidad de la corriente que circularía en el circuito por efecto de la f.e.m. aplicada.

### FUERZA ELECTROMOTRIZ INDUCIDA.

Es la tensión o fuerza electromotriz (f.e.m.) producida en un conductor por un cambio en el campo magnético que lo rodea; la magnitud depende del número de líneas de fuerza cortadas por el conductor en un segundo.

### CORRIENTE INDUCIDA.

Es la corriente que circula por un conductor de acuerdo con la magnitud y dirección de la f.e.m. inducida, cuando el conductor forma parte de un circuito cerrado. La dirección de la corriente depende de la dirección en que se corten las líneas de fuerza.

## REGLA DE LA MANO DERECHA O DE FLEMING.

Es la regla para determinar la relación entre las direcciones del campo magnético, movimiento del conductor y de la corriente inducida, y está representada por la disposición de tres dedos, pulgar, índice y medio, -- colocados en ángulo recto entre sí (en tres direcciones diferentes); el pulgar indica la dirección del movimiento del conductor dentro del campo magnético, el índice -- la dirección de las líneas de fuerza magnéticas, y el -- medio la dirección de la corriente inducida que marcha -- hacia el extremo negativo del conductor.

## INDUCCION MUTUA.

Es la generación de una f.e.m. inducida y la correspondiente corriente en un circuito, producida por cambios en el campo magnéticos común, que se obtienen variando -- la intensidad de la corriente en el otro circuito.

## LA LEY DE LENZ.

Se puede enunciar de las siguientes maneras; una corriente inducida establece alrededor del conductor un campo magnético que se opone al campo magnético que produce la corriente inducida; o también: la corriente inducida circula en una dirección tal, que el campo magnético creado por la misma trata de oponerse al movimiento o a las variaciones del campo que produce la corriente inducida.

## AUTOINDUCCION O " SELF-INDUCCION".

Es la producción de f.e.m. inducida y su correspondiente corriente en un circuito por cambios en el campo magnético del mismo.

## INDUCTANCIA.

Es la propiedad de un circuito o conductor de generar una f.e.m. inducida cuando varía la intensidad de la corriente en el mismo.

## FUERZA ELECTROMOTRIZ AUTOINDUCIDA.

Es la f.e.m. producida por la autoinducción; también se la suele llamar fuerza contraelectromotriz cuando se opone a la f.e.m. primaria aplicada al circuito.



B I B L I O G R A F I A .

-Capacidad de Conductores y Conduit.

Código Nacional Electrico de E. U.

Ed. Square de México.

-Circuitos en Ingeniería Electrica

Hugh Hildreth Skilling.

Ed. C.E.C.S.A.

-Manual de Mantenimiento Eléctrico Industrial

Pedro Camarena M.

Ed. C.E.C.S.A.

-Manual de Mantenimiento de Máquinas y Equipos Eléctricos

Francisco Rey Sacristán.

Ed. C.E.A.C.

-Manual de Motores de Inducción

Tecnología Westinghouse-I.E.M.

-Máquinas Eléctricas y sus Aplicaciones

J. Hindmarse B. Sc. ( Eng. ).

-Máquinas Eléctricas.

George J. Thaler y Milton L. Wilcox.

Ed. Limusa

-Tratado de Electricidad I, II.

Chester L. Dawes

Ed. Gustavo Gili S. A.

-Transformadores y Motores Trifásicos de Inducción

Gilberto Enriquez Harper.

Ed. L.I.M.U.S.A.