

TESIS CON  
FALLAS DE ORIGEN

11  
2ej



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES**  
**CUAUTITLAN**

**MANTENIMIENTO DE MOTORES DE  
INDUCCION DE 350 A 6000 HP  
Y TENSIONES INTERMEDIAS**

**TESIS PROFESIONAL  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
P R E S E N T A N  
ELISEO MAYA GARDUÑO  
EULALIO LANDA SALGADO  
JOSE LUIS BARRETO GONZALEZ**

**ASESOR DE TESIS  
ING. ALFREDO LOPEZ TAGLE**

**CUAUTITLAN IZCALLI**

**MAYO 1986**



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.

## INDICE GENERAL

PAG.

### CAPTULO I

#### DESCRIPCION DEL MOTOR DE INDUCCION JAULA DE ARDILLA\*

1.1	CONSTRUCCION	1
1.2	RODAMIENTOS	7
1.3	ENFRIAMIENTO Y ENVOLVENTES	9
1.4	INTERRUPTORES	12
1.5	PROTECCIONES	21

### CAPTULO II

#### COMPORTAMIENTO DEL MOTOR DE INDUCCION\*

2.1	DIAGRAMA EQUIVALENTE	27
2.2	CURVAS DE COMPORTAMIENTO PAR-VELOCIDAD	37
2.3	DIAGRAMA CIRCULAR	39
2.4	DISEÑOS NORMALIZADOS	51

### CAPTULO III

#### MANTENIMIENTO PREVENTIVO\*

3.1	SUPERVISION EN OPERACION	56
3.2	LUBRICACION	56
3.3	SISTEMA ENFRIAMIENTO	57
3.4	EMBOBINADOS	59
3.5	ROTOR	68

## CAPITULO IV

### MANTENIMIENTO CORRECTIVO\*

4.1	FALLAS POSIBLES MAS FRECUENTES-----	69
4.2	CONSTRUCCION DE ENBOBINADOS-----	80
4.3	REEMBOBINADO-----	89
4.4	ENMETALADO DE CHUMACERAS-----	95
4.5	REPARACION DE JAULAS DEL ROTOR-----	100
4.6	CORRECCION DE ALINEAMIENTO DE FLECHA-----	102
4.7	CORRECCION DE CAJAS, TAPAS Y CARCAZAS-----	103
4.8	BLANCEO DE ROTOR-----	103

## CAPITULO V

### PUESTA EN SERVICIO\*

5.1	CIMENTACION-----	108
5.2	ALINEACION-----	109
5.3	ACOPLAMIENTO-----	114
5.5	VIBRACIONES-----	119
5.6	ARRANQUE-----	120
5.7	OPERACION-----	132

## CAPITULO VI

### CONCLUSIONES\*

6.1	IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO-----	137
6.2	RECOMENDACIONES SOBRE MTO. CORRECTIVO-----	137
6.3	CONSIDERACIONES SOBRE MONTAJE-----	138

BIBLIOGRAFIA	-----	140
--------------	-------	-----

## CAPITULO I

### 1.- DESCRIPCION DE MOTORES DE INDUCCION JAULA DE ARDILLA.-

#### \*INTRODUCCION\*

Como la mayor parte de la potencia eléctrica generada es C.A. (corriente Alterna), se diseñan la mayor parte de los motores para la operación en C.A.

Cuando Nikola Tesla inventó el motor de inducción en 1888, no se imaginó la importancia que tendría éste en el desarrollo de las plantas industriales, porque es el de más sencilla operación, resistente construcción y bajo costo en mantenimiento.

En estos motores sólo hay dos componentes que se desgastan más rápidamente y estos son los rodamientos.

El motor de inducción tomó su nombre del hecho de que las corrientes que fluyen en el secundario designado como rotor, se inducen por las corrientes que fluyen en el primario designado como estator. Es decir, las corrientes del secundario se inducen por la acción de los campos magnéticos generados en el motor por el devenado del estator. No existe conexión eléctrica entre el circuito primario y el secundario.

Estos motores, utilizan para el secundario el rotor tipo Jaula de Ardilla, debido a su bajo costo y a que es más seguro, además no requiere anillos, ni escobillas que puedan sufrir desgaste o fallas.

Pueden diseñarse para operar en sistemas monofásicos, bifásicos y trifásicos (polifásicos) de C.A., ya que todos trabajarán bajo el mismo principio.

Como estos motores nunca llegan a trabajar a velocidad síncrona, también se conocen como Motores Asíncronos.

#### 1.1. CONSTRUCCION.-

Los motores polifásicos se fabrican de 1/2 H.P., hasta tamaños más grandes que alcanzan varios miles de H.P., hay dos tipos de motores de introducción en uso general, y son:

1. MOTOR DE INDUCCION TIPO JAULA DE ARDILLA.
2. MOTOR DE INDUCCION TIPO ROTOR DEVANADO.

Los motores de inducción por lo general están constituidos por los -- siguientes elementos:

- 1.- ESTATOR
- 2.- ROTOR
- 3.- CARCAZA
- 4.- AUXILIARES: Tapa Anterior y Posterior, Chumaceras, Tornillos de - Sujeción, Caja de Conexiones, Base o soporte.

ESTATOR: El estator o campo del motor de inducción, está formado por laminaciones que son troqueladas en prensas en línea. La lámina es de Acero al Silicio de alta calidad que no presenta cambios en sus propiedades por - envejecimiento. Antes del tratamiento térmico se pasan por una lijadora para eliminar la rebaba. Después del recocido, se le aplica un proceso químico de adherencia al nivel molecular con un compuesto a base de fosfato de - Aluminio, para lograr una alta resistencia interlaminar. Esta película es - altamente resistente al calor, y a la presión, no afectándose tampoco por - la humedad, con lo cuál se obtiene un núcleo altamente confiable y con bajas pérdidas. El espesor de las láminas es usualmente de 0.35 mm., hasta -- 0.48 mm.

Para máquinas de pequeño diámetro las laminaciones del estator se troquelan de una sola pieza. Para diámetros mayores se usan siempre combinaciones en segmentos. La Fig. 1.1 muestra un troquelado de estator de una sola pieza y troquelados segmentados.

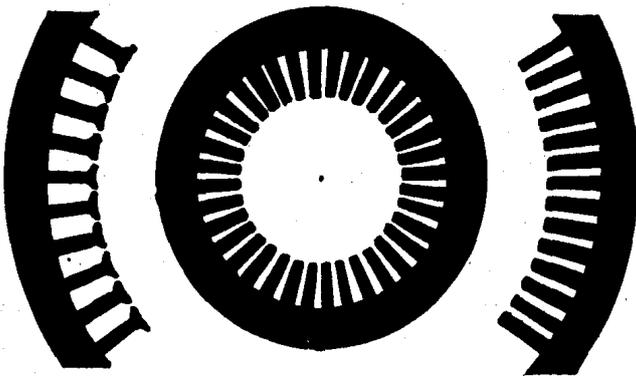


FIG. 1.1 REPRESENTA LOS TROQUELADOS DEL ESTATOR DE UN MOTOR DE INDUCCION.

Cuándo la longitud del núcleo del estator es grande, deberá dividirse en secciones, mediante ductos radiales de ventilación para asegurar el enfriamiento de núcleos y devanados.

Los ductos de ventilación son de 10mm de ancho para máquinas de tamaño moderado y de 13 mm. para máquinas grandes. La distancia entre centros de ductos, no deberá ser mayor de 7.5 cm. Se logra generalmente, un ducto de ventilación a cada extremo del estator por medio del soporte para los dientes.

Los arzones del estator para motores muy grandes, se hacen por regla general de placas de acero rolado y soldado.

La Fig. 1-2 muestra un estator con ranuras abiertas, en las cuales van colocados los embobinados. Cuando se introduce el rotor dentro del estator, debe existir una separación entre estos, esta separación se llama entrehierro el cual debe ser el mínimo posible, usualmente es de uno a tres mm.

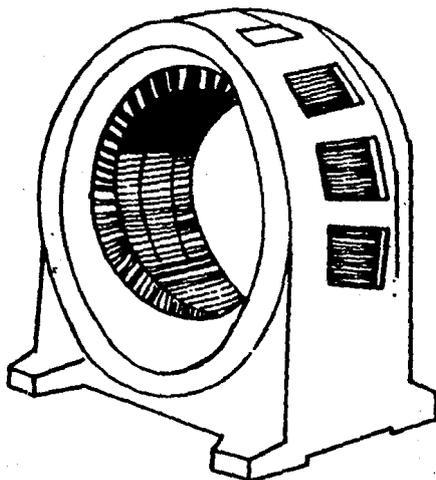


FIG. 1-2 ARMAZON DEL ESTATOR

**ROTOR.**— La construcción del rotor se hace de láminas de acero al -- Silicio, troqueladas generalmente de la misma manera que para el estator.

Para máquinas pequeñas se troquelan de una sola pieza y se ajustan -- en la flecha. Los troquelados de una sola pieza, se usan también para diámetros medianos y para las máquinas grandes, se usan los troquelados en -- forma de segmentos. Estos se arman sobre una araña y se sujetan entre 2 -- placas externas mediante tornillos largos.

Cuándo se necesitan ductos de ventilación en el estator, se pone un igual número de ductos del mismo tamaño en el rotor. Para rotores jaula de ardilla, las ranuras son generalmente angostas y poco profundas, y los soportes de dientes y ductos de ventilación, en cada extremo de la armadura, se omiten frecuentemente.

El devanado jaula de ardilla, se hace generalmente de cobre redondo, o de sección rectangular, en forma de barras unidas en cada extremo, por -- un anillo de cobre. Con este método de construcción, es posible usar un -- gran número de ranuras del rotor en diámetros pequeños, sin excesivas densidades en los dientes, debido a que pueden usar dientes con caras paralelas con ranuras trapezoidales.

La construcción del núcleo del rotor se hace utilizando las placas -- robustas de acero en sus extremos, para evitar que las barras conductoras de la jaula queden sujetas a esfuerzos debido al "floreo" de las laminaciones.

Los núcleos se montan en caliente y al contraerse quedan fijos sobre la flecha; además se usa cuña para evitar el movimiento del núcleo en la -- flecha.

Esta operación se usa después del proceso de soldadura entre los anillos de cortocircuito y las barras.

Para evitar que las barras de la jaula vibren dentro de las ranuras, se recalca cada barra para lograr un ajuste apretado dentro de la ranura. De no evitarse esta vibración, existe gran probabilidad de falla por fatiga de las barras. El proceso de soldadura se hace con flama de gas y con -- soldadura de plata de alta calidad, dada la gran importancia que tiene la obtención de una perfecta unión entre los anillos y las barras.

La extensión de las barras más allá del núcleo, y la forma y masa -- del anillo de cortocircuito, se han optimizado para obtener esfuerzos mínimos por efecto de la expansión térmica. Además en los casos donde se estima necesario, se utiliza anillos de retención de acero en rotores de alta-velocidad periférica.

La Fig. 1.3 muestra un rotor jaula de ardilla usado en los motores de inducción C.A., es extremadamente simple en construcción.

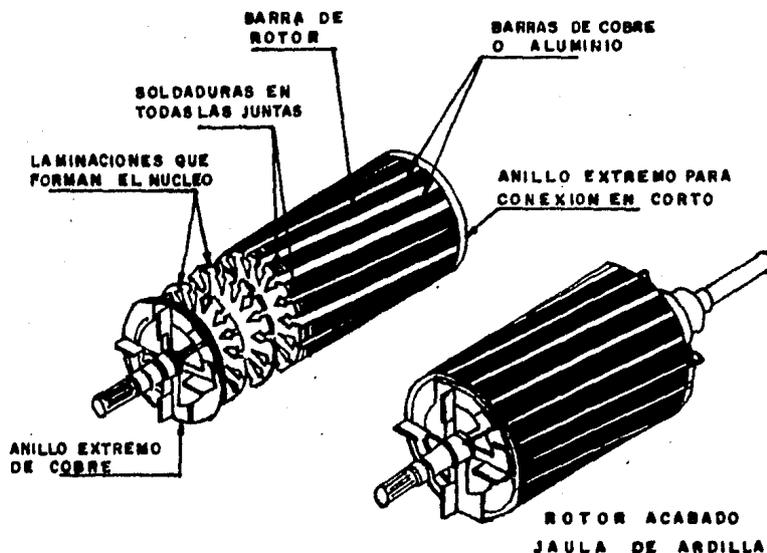


FIG. 1-3 ROTOR JAULA DE ARDILLA USADO EN LOS MOTORES DE INDUCCION

**CARCAZA.**— La carcasa recibe también el nombre de soporte por ser el elemento que contiene el estator y los elementos auxiliares del motor.

Las carcasas son de construcción sólida de fierro fundido que pueden tener aletas externas diseñadas para tener un máximo enfriamiento y gran facilidad de limpieza. Las orejas de levantamiento están integradas con la fundición de la carcasa.

El diseño de la carcasa y sus métodos de manufactura, son seleccionados especialmente para lograr la máxima transmisión de calor del núcleo — del estator a la carcasa para su disipación al medio ambiente.

Se diseñan especialmente ductos de aire en el interior de la carcasa para permitir la circulación interna de aire en circuito completo a través del rotor, con lo que se tiene un enfriamiento adicional de éste.

**AUXILIARES.**- Los elementos auxiliares del motor de inducción son elementos necesarios para el funcionamiento de éste, y dependen del tipo de motor. Las **TAPAS**, están construidas a base de fundición de fierro, teniendo un diseño plano para localizar el cojinete o chumacera en el mismo plano de la placa principal del refuerzo del amazón.

**CAJA DE CONEXIONES**, se suministran en varios tamaños para facilitar las conexiones. Se pueden surtir fabricadas de lámina de acero o de fundición, llevando además un empaque para lograr mejor protección contra el medio ambiente.

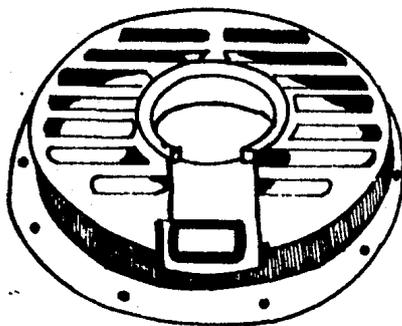
**LA BASE**, viene integrada en la carcasa, sirve para asentar el cuerpo del motor en una área determinada.

**LOS TORNILLOS DE SUJECION**, sirven para sujetar el motor y no se mueva cuándo el motor este funcionando.

La Fig. 1-4 muestran las tapas y caja de conexiones.

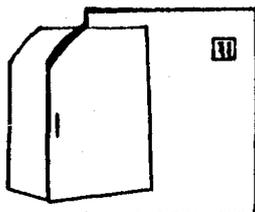
FIG. 1-4 ( a ) TAPAS DEL MOTOR

( b ) CAJA DE CONEXIONES



( a )

TAPAS DEL MOTOR



( b )

CAJA DE CONEXIONES

## 1-2 RODAMIENTOS\*

Existen dos tipos de rodamiento, los cuáles son mediante cojinetes o chumaceras.

**COJINETES.**- (Rodamientos antifriccionantes).- la selección de -- estos rodamientos de acero degasificado se hace en forma conservadora, -- para contribuir así a una larga vida del motor y disponer también de una capacidad de carga sobrada en una amplia variedad de aplicaciones. El -- sistema de lubricación incluye un impelente de grasa como auxiliar para la remoción de grasa vieja o excedente, cuándo se reengrase el motor en servicio. La grasera está en el lado exterior del cubo portachumacera, -- el cuál es el lado más frío, teniendo el otro lado una temperatura mayor con lo cuál la grasa vieja o excedente fluye fácilmente hacia el conducto del drene. Se evita así la posibilidad de una falla en el rodamiento-- debido al conocido problema de sobreengrase.

El siguiente dibujo muestra las partes que constituyen el cojinete:

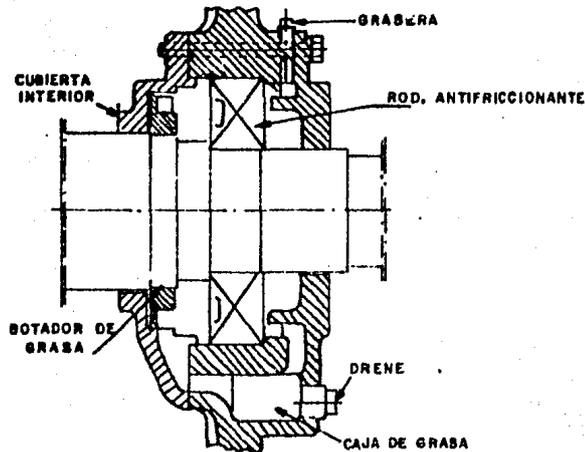


FIG. 1-5 PARTES QUE CONSTITUYEN EL COJINETE

CHUMACERAS.-Las chumaceras de la mayoría de las máquinas modernas, son del tipo de anillo de lubricación. Las chumaceras de bronce se usan para máquinas pequeñas; para motores grandes se usan chumaceras de un metal especial denominado babbitt.

Se están usando frecuentemente chumaceras de bolas o de rodillos.

Las chumaceras que se utilizan con mayor frecuencia son las chumaceras de manguito, este diseño de chumacera se ofrece en construcción -- bipartida, en atención a la ventaja que se tiene en esta construcción y que permite la inspección y el recambio sin que sea necesario desacoplar el motor de la máquina accionada.

Diseñadas también para una larga vida, incluyen un anillo elevador de aceite y un ducto igualador de presión en la caja de la chumacera, para evitar la migración del aceite hacia las partes internas del motor. Se dispone además de una mirilla para la inspección del anillo elevador de aceite, así como indicadores de nivel de aceite.

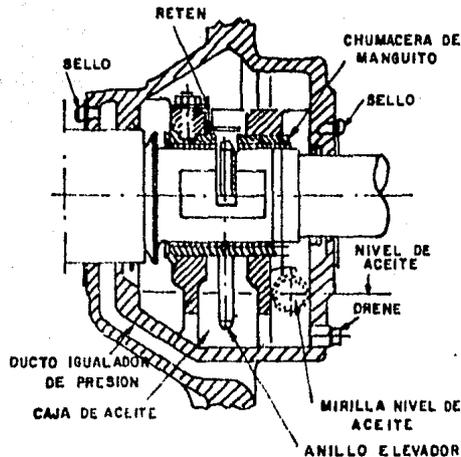


FIG. 1-6 PARTES DE UNA CHUMACERA DE MANGUITO

### 1-3 ENFRIAMIENTO Y ENVOLVENTE\*

**SISTEMA DE VENTILACION.**- Silencioso con un máximo de enfriamiento y un mínimo de ruido, estas características son el resultado de una atención especial al diseño del flujo de aire. Como se muestra en la figura 1-7:

El aire entra al motor a través de las ventilas de las tapas por -- ambos extremos y es dirigido a los cabezales de las bobinas del estator -- por las pantallas de fibra de vidrio reforzadas, eliminando así el ruido y la vibración que se presentan al usar pantallas metálicas.

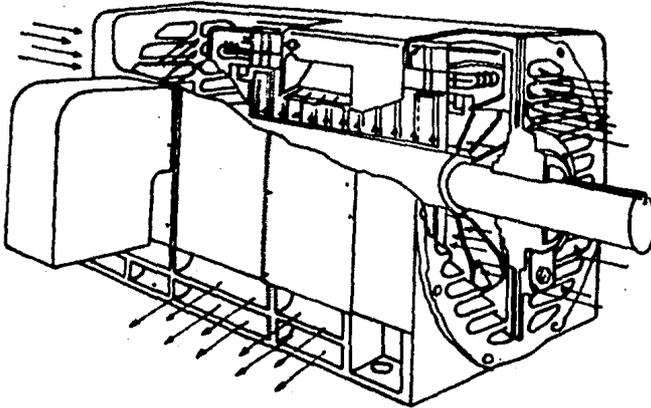


FIG. 1-7 MUESTRA COMO ENTRA Y SALE EL AIRE

El aire después pasa a través de los ductos radiales del núcleo -- del rotor y estator. Estos ductos se encuentran desalineados entre sí -- para asegurar un máximo enfriamiento y un mínimo de ruido. Finalmente el aire escapa a la atmósfera a través de las ventanas colocadas en los costados del amazón.

### ENVOLVENTE O CARCAZA.-

Los diferentes tipos de carcaza de los motores protegen a la máquina de los efectos dañinos del medio ambiente en que se colocan. Algunos de -- estos tipos protegen el área circundante de los resultados de lo que pasa dentro de la envoltura. Desde luego los lugares varían desde alrededores -- limpios y neutros hasta condiciones sumamente sucios o altamente explosi-- vos, las especificaciones para las carcazas se hacen cada vez más riguro-- sas, las más rígidas son de las máquinas que se usan en aplicaciones mine-- ras.

Los tipos principales de carcazas son: Las definiciones se basan en -- la Asociación Nacional de Manufacturas Eléctricas. (NEMA).

**MOTORES A PRUEBA DE GOTE:** En este tipo de carcaza tiene aberturas -- de ventilación que están dispuestas de tal manera que evitan la entrada de cualquier gota de líquido o sólido que caiga o llegue a la máquina dentro -- de un ángulo de 15° de la vertical. Cuando las aberturas de ventilación es-- tan cubiertas con una rejilla o tela metálica forman otra clase de envoltu -- ra, llamada protección a prueba de goteo.

Este último es el tipo de carcaza que se usa más, comúnmente por las siguientes razones:

- 1.- Costo inicial mínimo.
- 2.- Tamaño y peso mínimo.
- 3.- Factor de servicio máximo.
- 4.- Elevación mínima de temperatura en carcazas normales.

Las carcazas a prueba de goteo en los motores grandes y pequeños se usan de acero laminado.

**MOTORES A PRUEBA DE SALPIQUEO:** La carcaza a prueba de salpiqueo se -- define como una carcaza de tipo abierto, con aberturas de ventilación dis -- puestas de tal manera que las partículas sólidas o gotas de líquido no -- entren a la máquina, cuando lleguen en línea recta dentro de un ángulo de 100° con la vertical; ni tampoco, entren cuando choquen sobre una superfi -- cie y se deslicen a lo largo de ella. El factor de servicio de las máqui -- nas con la envoltura a prueba de salpiqueo es de 1.0 . La diferencia prin -- cipal entre la carcaza a prueba de salpiqueo y la carcaza típica a prueba -- de goteo reside en la restricción adicional, colocada en la entrada de la trayectoria del flujo de aire.

Ni los motores con carcaza a prueba de goteo como tampoco a prueba -- de salpiqueo son apropiados para usarse en una atmósfera que contenga --- polvos abrasivos, explosivos o inflamables o vapores.

**MOTORES A PRUEBA DE INTEMPERIE:** Como su nombre lo indica, una envoltura que se usa en instalaciones al aire libre, es de tipo abierto, con sus pasajes de ventilación dispuestos de tal manera que reducen al mínimo, o excluyen por completo, la entrada de nieve, lluvia o partículas suspendidas en el aire, a las partes eléctricas. El tipo I, por lo general proporciona mínima protección, en tanto que el tipo II, proporciona mayor protección. En general el aire entrante debe hacer el equivalente a tres vueltas en ángulo recto antes de llegar a los devanados.

**MOTORES TOTALMENTE CERRADOS:** Este tipo de carcaza se usa en atmósferas no peligrosas, cuando se desea excluir los contaminantes en ellas. Es completamente cerrado como para no permitir el paso del aire exterior de ventilación a las partes interiores del motor. En general, los motores mayores tienen ventiladores externos y nervaduras para dirigir el flujo de aire sobre la superficie de la carcaza y así ayudar a disipar el calor generado. En vez de los ventiladores externos para enfriamiento montados en la flecha los motores totalmente cerrados pueden ventilarse con aire forzado suministrado desde una fuente común y llevados directamente al motor por medio de ductos. Esto se usa cuando existe aire más limpio y/o más frío disponible a distancia razonable del motor. En los motores más grandes se usa un sistema de recirculación de aire con un cambiador de calor integral. En general el factor de servicio en los motores totalmente cerrados es 1.0.

**MOTORES A PRUEBA DE EXPLOSION:** La envoltura para servicio a prueba de explosión es aquella que está totalmente cerrada, diseñada y construida de tal manera que una explosión del gas o vapor determinado dentro de la envoltura, no encenderá el vapor y/o el gas exterior que rodea dicha carcaza. Debe observarse que las temperaturas de operación máxima en la superficie del motor deben ser apreciablemente menores que las temperaturas de ignición de los gases o vapor que la rodean. La construcción es esencialmente la misma que para la envoltura cerrada enfriada con ventilador, la única excepción es que todas las superficies correspondientes deben ser lo suficientemente grandes como para que no se transmita ninguna flama hacia el exterior, en el caso de que ocurra alguna explosión dentro de la carcaza.

Lo anunciado anteriormente es una lista parcial de los diferentes tipos de carcazas de motores. Hay tipos especializados adicionales de carcaza que sirven a ciertas necesidades específicas.

#### 1.4.- INTERRUPTORES (ARRANCADORES)

Si se arranca un motor de C.A. conectándolo directamente a la plena tensión de la red, absorberá inicialmente una corriente de dos a seis veces mayor que la corriente normal de régimen. En caso de que el motor esté diseñado y construido para resistir este choque de corriente inicial, no experimentará daño alguno; sin embargo, cuando se trata de motores de cierto tamaño, por lo general es conveniente tomar algunas medidas para reducir la corriente de arranque, pues de otro modo el golpe brusco de la puesta en marcha podría dañar mecánicamente la máquina impulsada por el motor, y el aumento súbito de corriente podría perturbar seriamente el funcionamiento de otros motores alimentados por la misma red.

Para el arranque de motores pequeños, o también para mayores, cuando la carga es capaz de soportar el choque inicial de arranque y no son de temer grandes perturbaciones en la red, pueden emplearse interruptores normales de accionamiento manual o bien automático. Como estos interruptores conectan a la red, se les llama arrancadores de conexión directa o a plena tensión.

Cuando se trata de motores grandes o conviene que el par de arranque se desarrolle paulatinamente, es preciso efectuar la conexión a través de un aparato que reduzca la tensión inicial aplicada al motor. Este aparato, que recibe el nombre genérico de arrancador a tensión reducida, puede llevar incorporado un grupo de autotransformadores o de resistencias, o bien consistir básicamente en un modificador de conexiones. Según sea el caso, se le designa respectivamente con la denominación de compensador, reóstato o cambiador.

En realidad, los combinadores se emplean más bien para invertir el sentido de giro del motor, para cambiar su velocidad y para protegerlo de sobrecargas, sobrecalentamientos y subtensiones.

**ARRANCADORES MANUALES:** En estos arrancadores, el operador acciona el cierre de los contactos, bien mediante un botón pulsador, bien mediante palanca unida mecánicamente a los contactos. El principal inconveniente del arrancador manual es la falta de flexibilidad de control. Debe ser accionado en el mismo emplazamiento del arrancador, y es muy limitado en cuanto a las posibilidades como control de protección.

**ARRANCADORES AUTOMÁTICOS:** El arrancador automático llamado también electromagnético, consta de un contactor con la adición de un control protector. Este arrancador funciona a base de atracción magnética de un electroimán para cerrar y mantener sus contactos de línea y auxiliares y ofrece una ilimitada flexibilidad de control. Es seguro y de larga duración con un mantenimiento razonable. Los dispositivos mecánicos que integran estos arrancadores son de gran variedad, perteneciendo su tipo a una de las dos clases generales en que se clasifican según el desplazamiento del núcleo magnético.

La primera de esta clase corresponde al de el tipo de armadura o palanca cuyos contactos móviles están accionados directamente por la armadura del electroimán que gira sobre un eje al ser atraída por el núcleo del electroimán produciendo el desplazamiento de los contactos móviles hasta encontrar los tipos que se hayan montados sobre la cara vertical posterior del arrancador.

La segunda clase corresponde al tipo de solenoide. Los contactos móviles son accionados por el núcleo en su desplazamiento vertical, hacia arriba cuando es empujado por el efecto magnético de la bobina al ser excitada, hasta encontrar los contactos fijos montados en el soporte horizontal de la parte superior de la plataforma del arrancador.

El circuito magnético consiste generalmente en una adaptación de una de las tres formas básicas, según se muestra en la siguiente figura 1.8:

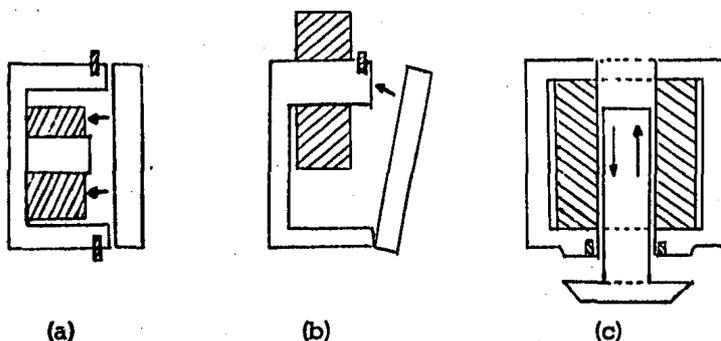


FIG. 1.8 TIPOS BASICOS DE ELECTROIMANES. (a) TIPO E. (b) TIPO C. (c) TIPO SOLENOIDE.

En la mayoría de arrancadores del tipo de armadura se utilizan los tipos E o C, y el tipo E modificado o el de solenoide se utiliza en los arrancadores de acción vertical.

En el caso de ser excitada la de bobina por C.A., las piezas polares del electroimán están equipadas con una bobina de sombra, como lo muestra la figura 1.9.

Esta produce un desfase en el flujo que pasa por la porción de pieza polar abarcada por la misma forma que evita la desaparición del flujo cuando la corriente de la bobina pasa por el valor nulo, evitando de esta forma la vibración que se produciría en los contactos. Aunque este método evita la vibración de la armadura, muchos arrancadores para motores grandes emplean la alimentación por C.C. debido a la atracción constante de la

armadura evitando la vibración.

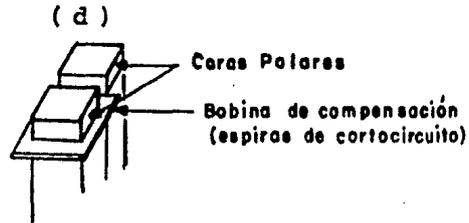


FIG. 1-9 PIEZA POLAR CON BOBINA DE SOMBRA

Hay también dos tipos básicos de contactos de uso general. En la mayoría de arrancadores pequeños se emplea el llamado tipo puente, que permite una buena alineación y una acción propia de limpieza del contacto, debido al deslizamiento entre ellos y que contribuye a prolongar la duración de los mismos. En general muchos de los motores grandes emplean contactos móviles que reciben la acción de los resortes o muelles destinados a producir la presión requerida de contacto. La necesaria acción de desplazamiento entre los contactos fijos y móviles para realizar la limpieza de los mismos, se consigue dando a los contactos la forma curva apropiada, que permite dicho deslizamiento en los momentos de cierre y apertura. Este tipo de contactos requiere un mantenimiento más esmerado para que conserven la correcta alineación una vez cerrados.

Es necesaria una buena alineación de los contactos a fin de evitar un arco o chispeo excesivo y el consiguiente picado de los contactos.

El arrancador electromagnético ha contribuido al perfeccionamiento de las máquinas de producción modernas. La fuente de energía utilizada puede ser independiente del circuito del motor pudiendo ser conectada o desconectada desde un punto cualquiera y por el medio que se desee.

#### ARRANQUE DEL MOTOR A TRAVÉS DE LA LÍNEA.-

El método más económico para arrancar un motor es a plena tensión conectándolo a través de un arrancador apropiado, directamente a la línea alimentadora. La desventaja de este sistema de arranque, es que toma entre 5 y 6 veces el valor de la corriente de plena carga al ser arrancados a plena tensión.

Esta fuerte demanda de energía y de corriente, puede ser indeseable por la elevada caída de tensión que se produce en las líneas de alimentación, causando disturbios en las luces y equipos sensibles a la variación de voltaje. Por lo general, el arranque directo sobre líneas se puede efectuar hasta 50 C.P. en 220 Volts y hasta 100 C.P. en 440 Volts. Arriba de estos límites se tendrá que usar algún sistema de arranque a tensión o voltaje reducido.

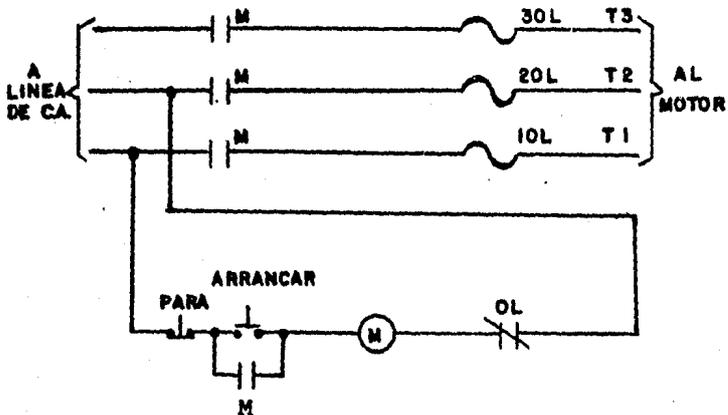


Fig. 1-10 REPRESENTA UN ARRANCADOR A PLENA TENSION

**ARRANCADORES A TENSION REDUCIDA:** Como su nombre lo indica, el arrancador de tensión reducida contiene algún medio de reducir la tensión de la línea que es aplicada al motor durante el período de arranque. Los requisitos para el uso del mismo, dependen de varios factores, los más obvios son la corriente, la tensión y la frecuencia nominales del motor y de los circuitos de control del motor.

Estas unidades se construyen de tipo manual o automático.

Los arrancadores manuales a tensión reducida tipo autotransformador para motores de jaula, comprenden un conmutador de dos posiciones y un autotransformador.

En la posición de arranque del conmutador el motor es alimentado por la línea a tensión reducida mediante un autotransformador, manteniéndose en esta posición hasta que el motor estabilice su velocidad, aplicándose en dicho momento la tensión nominal al pasar la maneta o dispositivo de mando a la posición de marcha o trabajo. El mecanismo de conmutación se mantiene en la posición de funcionamiento mediante un trinquete que puede ser liberado por un dispositivo de protección por baja tensión, por sobrecarga o bien manualmente. Generalmente estas mismas unidades se hayan alojadas en la misma caja diseñado para su montaje en la pared.

Estos arrancadores pueden tener muchas formas y están destinados generalmente a un tipo particular de motor y para una determinada aplicación. Los requisitos esenciales son que estén provistos de medios para conectar el motor a tensión reducida y luego, automáticamente, a la tensión de línea después de transcurrido el tiempo necesario para la aceleración.

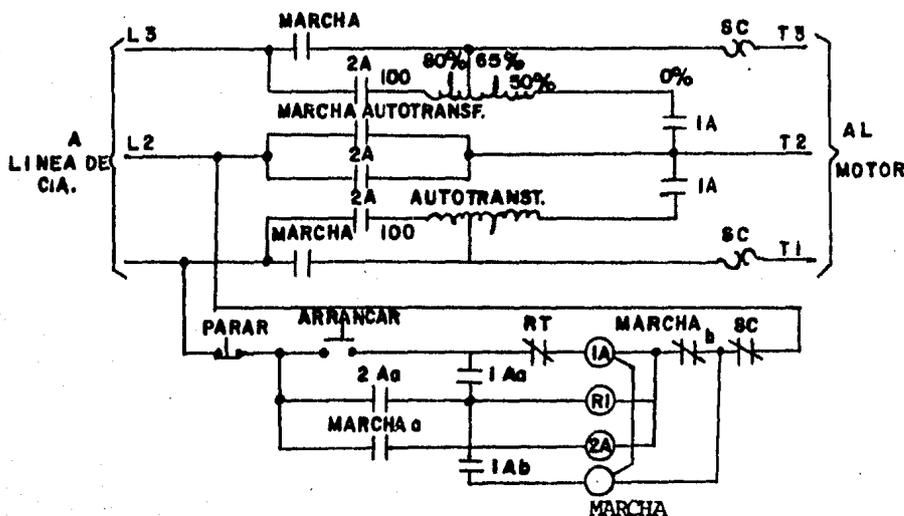


FIG. 1-11 REPRESENTA EL ARRANCADOR CON AUTOTRANSFORMADOR.

Cuando el arrancador emplea resistencias para obtener la tensión reducida, comprende un contactor tripolar que permite conectar el motor a la red en serie con las resistencias limitadoras de la intensidad de arranque y otro contactor de marcha o trabajo también tripolar que cortocircuita las resistencias, quedando conectado el motor directamente a la red.

La figura 1-12 representa el arrancador con resistencias primarias.

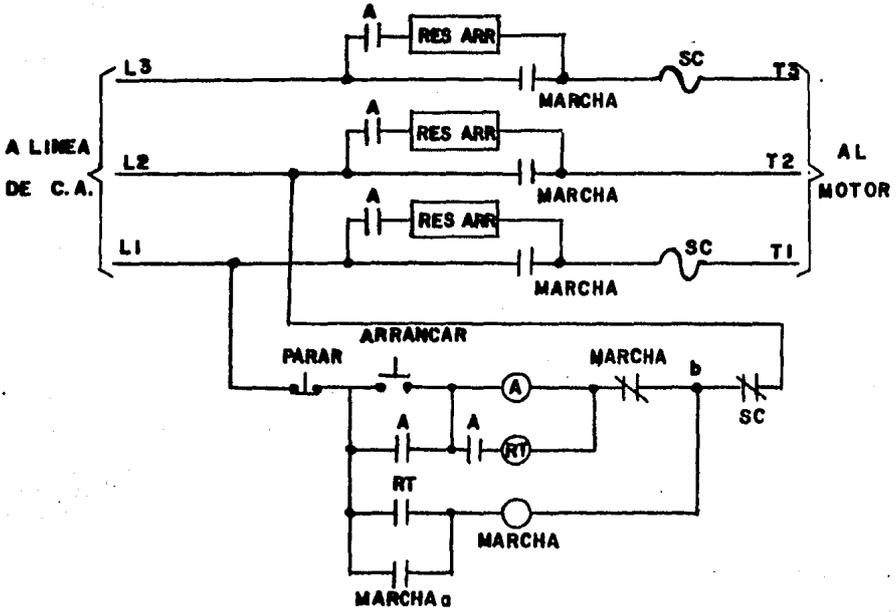
El arrancador tipo reactancia a tensión reducida tiene exactamente la misma disposición de contactos que el arrancador con resistencias. La única diferencia entre un arrancador con resistencia y uno del tipo reactancia a tensión reducida estriba en el uso de reactancia en lugar de resistencias.

El contactor de un arrancador del tipo de autotransformador debe ser de 5 polos o contactos, cuya misión puede deducirse de la figura 1-13.

Los contactos conectan el motor a la línea a través del autotransformador en conexión V o triángulo abierto. El contactor de marcha de este arrancador, que actuará a continuación, comprende tres contactos, los cuales permiten conectar el motor directamente a la red.

Los arrancadores automáticos deben estar provistos de algún medio -- para realizar automáticamente el cambio de la posición de arranque a la de funcionamiento en el instante correcto. Generalmente esto se consigue mediante el empleo de relés temporizados. En el caso de los arrancadores tipo resistencia o tipo reactancia, este relé sólo se necesita para excitar la bobina del contactor de marcha o funcionamiento. En el caso de un autotransformador, el relé debe interrumpir el circuito del contactor de arranque y luego establecer el circuito del contactor de marcha. El uso de este relé temporizado en este servicio proporciona un control de tiempo definido. En otro método, el uso de un relé de corriente que abre el contactor de arranque y cierra el contactor de funcionamiento cuando la corriente del motor disminuye hasta un nivel preestablecido. Este proporciona un control limitador de corriente.

Cuando se emplea el tipo resistencia o reactancia para el arranque a tensión reducida, no se interrumpe la corriente del motor, pero con el tipo de autotransformador de arranque a tensión reducida la corriente se interrumpe momentáneamente antes de conectar directamente el motor a la línea. Cuando no es interrumpida la corriente en la transición desde tensión reducida a tensión nominal, se dice que el arranque se efectúa por transición cerrada. Cuando se desconecta momentáneamente de la línea el motor y se interrumpe la corriente, se dice que el arranque se efectúa por transición abierta. Cuando la transición es de tipo abierto, es perfectamente posible que exista una sobrecorriente cuya intensidad sea el doble de la corriente de arranque a tensión nominal en el instante de aplicación de la tensión de la línea. Esta corriente se llama corriente de transición y -- constituye el principal inconveniente de tipo de autotransformador para -- arranque a tensión reducida. Cuando se hace la elección entre controladores manuales y automáticos de este tipo deberá tener en cuenta que cuando se instale un arrancador manual, debe ser colocado de modo que el operador pueda ver y también oír al motor, a fin de que pueda juzgar acertadamente cuándo debe aplicar la tensión de red. Esta limitación en la opción de emplazamiento puede ser solventada en cierto modo instalando un tacómetro de indicación remota, mediante el cual el operador puede determinar el valor de la velocidad del motor desde el puesto de control.



SECUENCIA DE LOS CONTACTORES

CONTACTOR	ARRANQUE	TRANSICION	MARCHA
A	0	0	
MARCHA		0	0

FIG. 1-12 ARRANCADOR CON RESISTENCIA PRIMARIA

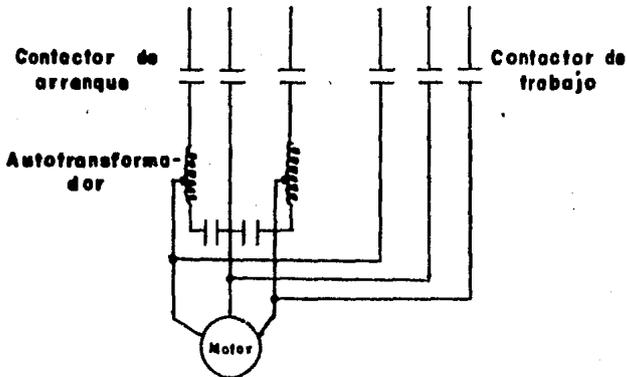


FIG. 1-13 CONEXIONES DEL ARRANCADOR CON AUTOTRANSFORMADOR

**ARRANCADORES PARA DEVANADO BIPARTITO;** Estos arrancadores proveen un sistema de arranque muy económico, cuando las necesidades de par durante el arranque pueden manejarse con el 50% del par a plena tensión. También pueden usarse con motores específicamente diseñados para este tipo de arranque en cualquier otro voltaje.

Cuando se usen motores "estándar" de voltaje dual, es necesario cerciorarse de que el par desarrollado durante el arranque (50%) es suficiente para acelerar la carga lo suficientemente sin producir un transiente indeseado al conectar todo el devanado a la línea, o bién un "tracazo" o golpe en la carga movida al ser ésta acelerada a pleno par.

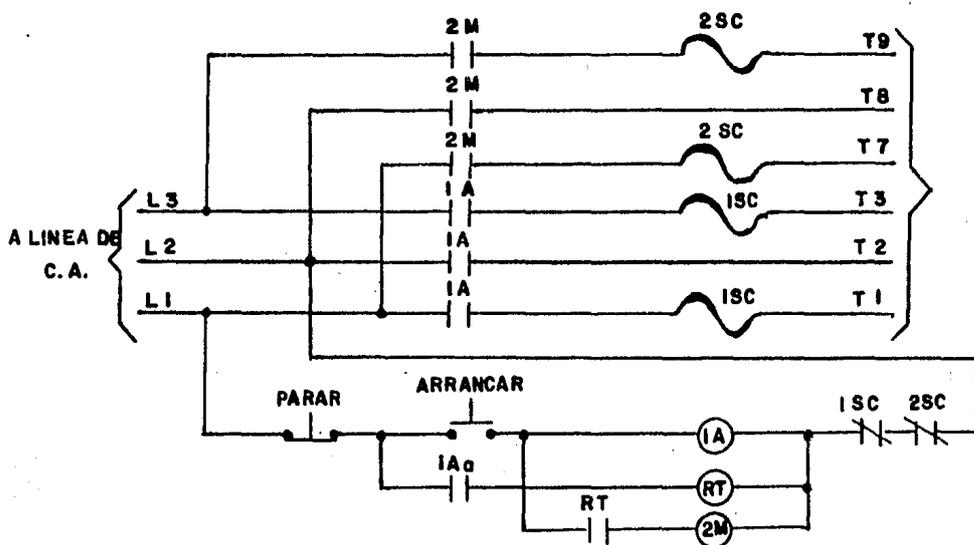


FIG. 1-14 ARRANCADOR PARA DEVANADO BIPARTIDO

**ARRANCADORES ESTRELLA DELTA:** Estos arrancadores son menos económicos que el arrancador de devanado bipartido, ya que requieren por lo menos de un contactor de más de 2 polos. Se usan en aquellos casos en que los requerimientos de par durante el arranque son bajos (33% del par de arranque a plena tensión), pero el período de aceleración es prolongado debido a la alta inercia de la carga.

Se puede usar con motores conectados en Delta para operación normal y que estén provistos con 6 puntas de salida. Al arrancarse el motor conectado en Estrella se aplica aproximadamente el 58% del voltaje de línea a los devanados y el motor toma el 33% de la corriente normal de arranque y desarrolla 33% del par de arranque a plena tensión. Una vez que el motor ha acelerado,-

se reconecta en Delta para operación normal.

Si la transición abierta es objetable, debido a los inconvenientes - ya apuntados, se puede construir este arrancador con transición cerrada, - pero resulta relativamente caro por el equipo adicional requerido ( un con tactor de 3 polos y 3 resistencias de transición ). En este caso, conviene analizar cuidadosamente, si no es más económico usar un arrancador de auto transformador con transición cerrada.

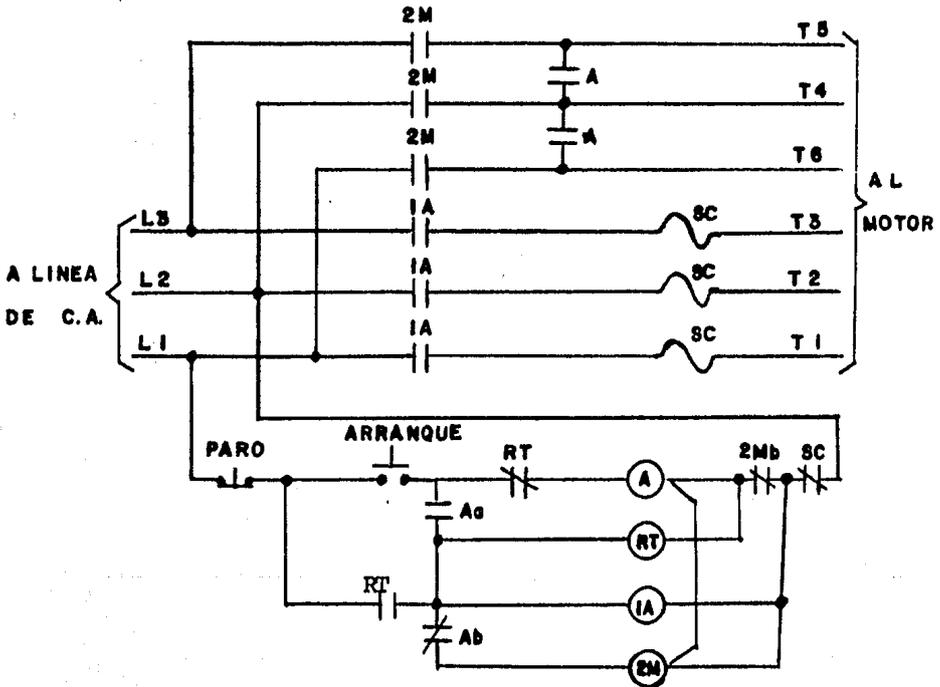


FIG. 1-15 ARRANCADOR ESTRELLA-DELTA (TRANSICION ABIERTA )

### 1.5.- PROTECCIONES.-

**PROTECCION CONTRA LA SOBRECARGA:** La sobrecarga de un motor puede ser de origen mecánico o eléctrico; por consiguiente, la protección contra la sobrecarga debe satisfacer a ambas. La corriente que absorbe de la línea un motor es proporcional a la carga aplicada al motor, así pues, si esta corriente se emplea para activar el dispositivo de protección contra la sobrecarga, la máquina y el motor estarán protegidos.

Generalmente la protección contra las sobrecargas se obtiene conectando elementos térmicos bimetálicos en serie con dos conductores del motor, por lo menos en los motores trifásicos. Estos elementos térmicos, al calentarse debido a la intensidad, actúan sobre contactos que abren el circuito de la bobina excitadora de un contactor electromagnético. Cuando se utilizan en arrancadores o controladores manuales, los elementos térmicos disparan un dispositivo mecánico que abre los contactos del interruptor de línea.

Este tipo de dispositivo contra sobrecarga es sensible al porcentaje de sobrecarga; por lo tanto, una pequeña carga tardará algún tiempo en disparar el relé, mientras una sobrecarga grande abrirá casi instantáneamente el circuito. Sin embargo el relé contra sobrecargas no proporciona protección en caso de cortocircuito. Es muy posible que en condiciones de cortocircuito el relé se mantenga atraído durante suficiente tiempo para que el motor y el equipo sufran un daño considerable.

La siguiente figura 1.16, muestra los elementos protectores contra sobrecarga para motores trifásicos:

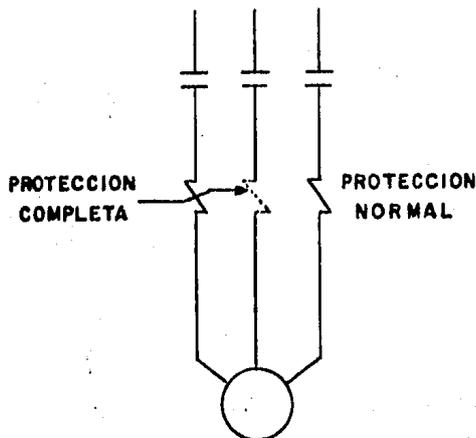


FIG. 1-16 ELEMENTOS PROTECTORES CONTRA SOBRECARGA PARA MOTORES TRIFÁSICOS.

En la elección de los elementos térmicos de los relés de sobrecarga habrá que atenerse a la intensidad nominal de funcionamiento indicada por el fabricante del motor.

Cuando falle una fase de un circuito del motor, éste trabajará como monofásico, lo que sea causa de una intensidad excesiva en los otros arrollamientos y conductores del motor. En la mayoría de los casos, la sobreintensidad hará que se disparen las unidades de sobrecarga, desconectando así el motor de la línea e impidiendo que se quemen sus devanados. En ciertas condiciones de carga es posible que el rotor trabaje como monofásico por la falta de una fase, sin que lleguen a actuar los dispositivos -- térmicos y se quemen sus devanados, aunque el dispositivo de protección disponga de dos elementos térmicos. Por esta razón, muchos ingenieros y constructores consideran la necesidad de un tercer elemento térmico para mejorar la protección en caso de fallo de una fase.

**PROTECCION CONTRA CORTOCIRCUITOS:** Los motores de jaula y otros de C.A. pueden absorber hasta 600% de la intensidad nominal en condiciones severas de arranque. Cualquier carga que exceda de este límite se considera como corriente de cortocircuito. Como los relés térmicos que necesitan un cierto tiempo para entrar en acción, no pueden proporcionar protección contra los cortocircuitos. La línea que alimenta a un motor debe estar provista de cortacircuitos fusibles o de un dispositivo automático que interrumpa rápidamente la corriente en el caso de cortocircuito en el motor. Los fusibles deben abrir el circuito mucho más rápidamente que los relés de sobrecarga en condiciones de cortocircuito. Probablemente -- la mejor protección se obtiene con un dispositivo doble que comprenda el fusible para el caso de cortocircuito y un elemento interruptor que actúe en caso de sobreintensidad.

La siguiente figura 1.17, muestra el fusible tipo cartucho con dos elementos.

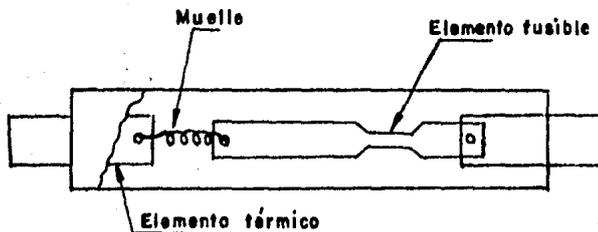


FIG. 1-17 FUSIBLE TIPO CARTUCHO

El cortacircuito mostrado en la figura anterior, está formado por dos elementos, un fusible que en caso de cortocircuito fundirá y abrirá rápidamente el circuito, y un elemento térmico que actuará con cierto retardo abriendo el circuito en el caso de una sobreintensidad que no afecte al fusible. El resultado definitivo del uso del cortacircuitos indicado en el circuito del motor, es obtener protección contra cortocircuitos mediante el elemento fusible y además un grado de protección contra sobrecargas mediante el elemento térmico. Este tipo de fusible se emplea extensamente como único medio de protección en motores pequeños de potencia fraccionaria.

El uso de estos dispositivos para la protección contra cortocircuitos ofrecen un retardo de tiempo que permite la sobreintensidad de arranque sin que se abran los contactos del mecanismo térmico. Este retardo es inversamente proporcional a la intensidad de la corriente. Cuando mayor es la sobrecarga, más corto es el tiempo necesario para que se abra el circuito.

**PROTECCION POR ENCLAVAMIENTO:** El enclavamiento evita que un motor pueda ser puesto en marcha antes que otro, si en ello hay inconveniente, y en general que pueda realizarse una maniobra antes o después del momento que le corresponda.

El enclavamiento puede ser eléctrico, mecánico o combinación de ambos. Los arrancadores inversos en que ambos arrancadores están en la misma caja tienen generalmente un enclavamiento mecánico y algunas veces un enclavamiento eléctrico. Cuando las dos unidades deben ser mutuamente enclavadas están en dos cajas separadas, es necesario el enclavamiento eléctrico. Este se obtiene conectando un contacto auxiliar en un arrancador, en serie con el circuito de la bobina del segundo arrancador.

Aunque aquí nos referimos únicamente al enclavamiento aplicado a los motores, es de señalar que el enclavamiento se utiliza en todas las fases de las conexiones de control cuando interviene en el arranque de un motor o en el cierre de válvulas en una instalación de control de proceso. El uso del control de enclavamiento asegura la sucesión o secuencia correcta de las operaciones en todo el sistema de control.

La figura 1.18 muestra dos arrancadores con enclavamiento que permite el arranque automático del motor 2 una vez que funcione el motor 1.

**PROTECCION DE MINIMA TENSION Y TENSION NULA:** La tensión de la línea que alimenta los circuitos del motor puede disminuir hasta valores peligrosamente bajos o puede anularse en un instante imprevisto. Cuando la tensión es demasiado baja, los arrollamientos del motor se pueden deteriorar gravemente si quedan conectados a la línea. Por esta razón algunos motores de gran potencia emplean un relé especial de tensión para desconectar el motor en el caso de que la tensión descienda a valores peligrosos para el motor.

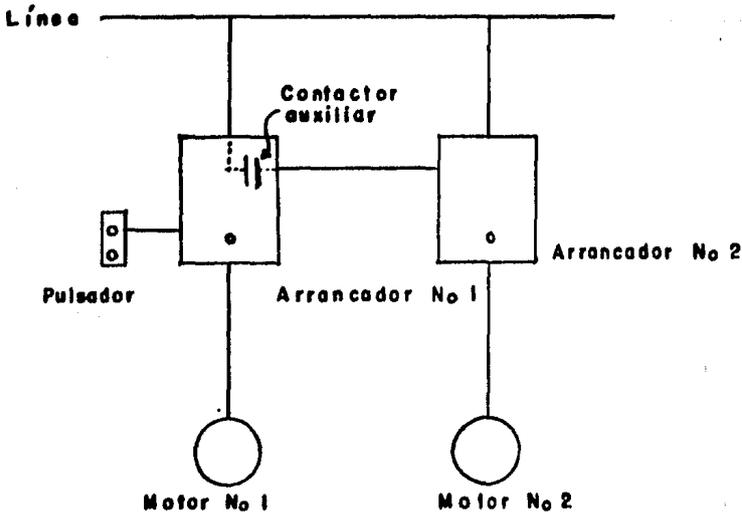


FIG. 1-18 DOS ARRANCADORES CON ENCLAVAMIENTO QUE PERMITE EL ARRANQUE AUTOMÁTICO DEL MOTOR 2 UNA VEZ QUE FUNCIONE EL MOTOR 1.

Si el circuito de control es tal que el motor se pone por sí sólo en marcha cuando la tensión de la línea vuelve a tener su valor correcto, la protección se le denomina de desconexión por mínima tensión. El uso de dispositivos piloto de contacto mantenido en los arranques electromagnéticos proporciona este tipo de protección.

Si la protección utilizada requiere que el motor sea puesto nuevamente en marcha a mano, el dispositivo protector se llama protección por tensión nula. El uso de dispositivo piloto de contacto momentáneo en los arranques electromagnéticos proporciona este tipo de protección. En cualquier máquina en que haya el más ligero riesgo para ella o para la seguridad del operador por un arranque inesperado, se deberá emplear protección de tensión nula.

**PROTECCION CONTRA EL FALLO DE FASE:** Cuando en un motor trifásico se interrumpe la corriente en una fase, se dice que éste queda en funcionamiento monofásico. Ordinariamente las unidades de protección contra sobrecarga dispararán el arrancador y desconectarán de la línea al motor. Sin embargo, puede suceder que la intensidad debida a la carga que en ese momento tenga que soportar el motor, no sea la suficiente para actuar las protecciones de sobrecarga.

Esto ocurre generalmente con el 65% de carga en la mayoría de los -- motores de jaula. Para motores de gran potencia se dispone un relé de tensión para cada fase, y sus contactos se conectan en serie, con la bobina -- de retención del contacto del arrancador inmediatamente.

El uso de tres unidades de relé de sobrecarga en el arrancador proporciona una protección contra el fallo de fase que se considera generalmente adecuada para la mayoría de las instalaciones.

**PROTECCION CONTRA INVERSION DE FASE:** Algunas máquinas pueden resultar gravemente deterioradas cuando los motores giran en sentido contrario, como ocurriría con una inversión de fases. Aunque no es muy utilizado este tipo de protección, cuando sea necesario debe utilizarse para evitar mayores daños.

La protección contra la inversión de fase se puede conseguir utilizando un relé sensible a la fase con sus contactos en serie con la bobina del contactor del arrancador.

**PROTECCION CONTRA SECUENCIA INCOMPLETA:** Cuando se utiliza el arrancador a tensión reducida en un motor, hay peligro de que los arrollamientos -- de éste o del autotransformador o ambos se deterioren por funcionamiento -- prolongado a tensión reducida. Para impedirlo y asegurar que se complete el ciclo de arranque, se conecta un relé térmico a la línea durante el -- arranque. Este relé está proyectado y conectado de modo que el arranque -- prolongado haga que la unidad térmica del relé abra sus contactos y desconecte al arrancador. Este tipo de protección es también necesario en los arrancadores de motores síncronos.

Otro método de obtener una protección contra secuencia incompleta en el arranque de motores es el uso de un relé temporizado que desconecta el motor si no se ha completado su secuencia de arranque en un intervalo de -- tiempo predeterminado.

LAS SIGUIENTES FIGURAS MUESTRAN DOS TIPOS DE MOTORES DE INDUCCION  
JALIA DE ARDILLA .

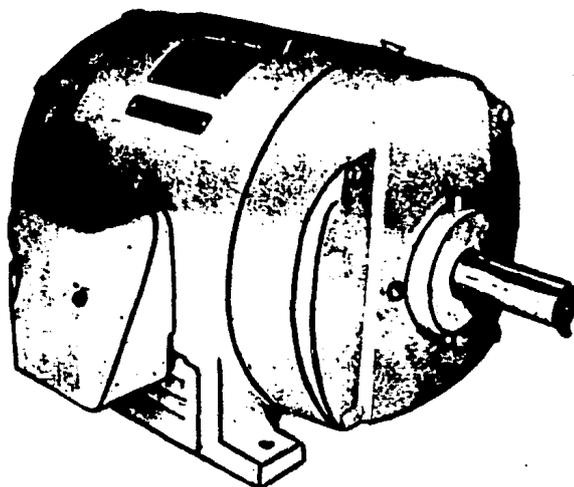


FIG. 1-19 MOTOR DE INDUCCION CON CARCAZA DE HIERRO FUNDIDO A  
PRUEBA DE SALPIQUEO.

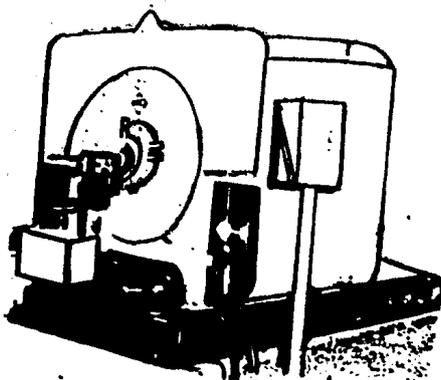


FIG. 1-20 MOTOR DE INDUCCION CON CARCAZA DEL TIPO DE PROTECCION  
CONTRA INTemperIE.

## CAPITULO II

## \* COMPORTAMIENTO DEL MOTOR DE INDUCCION \*

## 2-1.- DIAGRAMA EQUIVALENTE \*\*\*

Para llegar a la deducción del diagrama equivalente del motor de inducción, es necesario analizar ciertos puntos de importancia para un mejor entendimiento de este diagrama.

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE INDUCCION.-

El motor de inducción funciona debido principalmente a dos factores:  
 Primero.- En el estator contiene tres enbobinados con ejes separados  $120^\circ$  entre sí, y es alimentado por tres corrientes trifásicas balanceadas - (o sea ondas eléctricas separadas  $1/3$  de ciclo en el tiempo entre sí). Esta combinación produce un flujo magnético rotatorio a la velocidad síncrona y de magnitud constante. Esta magnitud es  $3/2$  el valor máximo del flujo senoidal que produce cada fase.

Segundo.- Se dispone en el rotor un devanado (generalmente tipo jaula de ardilla) en corto circuito. Al girar el flujo magnético del estator corta los conductores del rotor, induciendo fuerzas electromotrices y por estar en corto circuito, corrientes. Estas corrientes magnetizan el rotor - de modo que se convierte en un electroimán. El flujo magnético rotatorio - del estator entonces atrae al rotor y lo hace girar.

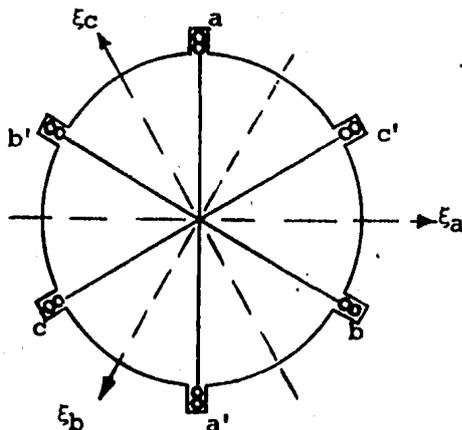
PRODUCCION DEL FLUJO MAGNETICO ROTATORIO.-

FIG. 2-1 ARREGLO DE DEVANADOS DE ESTATOR EN UN MOTOR DE DOS POLOS

En la figura 2-1, si alimentamos las corrientes trifásicas:

$$i_a = I_m \cos \omega t$$

$$i_b = I_m \cos (\omega t - 120^\circ)$$

$$i_c = I_m \cos (\omega t - 240^\circ)$$

El flujo magnético total en una posición angular  $\theta$  suma de los flujos de las corrientes de cada fase se expresa en la ecuación:

$$F(\theta) = F_a \cos \theta + F_b \cos (\theta - 120^\circ) + F_c \cos (\theta - 240^\circ)$$

Los flujos de cada fase son:

$$F_a = KNI_m \cos \omega t = F_{\max} \cos \omega t$$

$$F_b = KNI_m \cos (\omega t - 120^\circ) = F_{\max} \cos (\omega t - 120^\circ)$$

$$F_c = KNI_m \cos (\omega t - 240^\circ) = F_{\max} \cos (\omega t - 240^\circ)$$

O sea que son proporcionales a una constante  $K$  que depende de la reluctancia del circuito magnético, los factores de paso y de distribución del embobinado,  $N$  representa el número de conductores de la bobina o número de espiras.

Efectuando la substitución de los flujos de cada fase en el flujo total queda lo siguiente:

$$F(\theta, t) = F_{\max} \cos \theta \cos \omega t + F_{\max} \cos (\theta - 120^\circ) \cos (\omega t - 120^\circ) \\ + F_{\max} \cos (\theta - 240^\circ) \cos (\omega t - 240^\circ)$$

Los flujos que producen las fases son flujos estacionarios y pulsantes.

Aplicando la identidad trigonométrica:

$$\cos \alpha \cos \beta = 1/2 \cos (\alpha - \beta) + 1/2 \cos (\alpha + \beta)$$

a cada uno de los tres términos  $F(\theta, t)$  tendremos:

$$\begin{aligned}
 F(\theta, t) &= 1/2 F_{\max} \cos(\theta - \omega t) + 1/2 F_{\max} \cos(\theta + \omega t) \\
 &+ 1/2 F_{\max} \cos(\theta - \omega t) + 1/2 F_{\max} \cos(\theta + \omega t - 240^\circ) \\
 &+ 1/2 F_{\max} \cos(\theta - \omega t) + 1/2 F_{\max} \cos(\theta + \omega t - 480^\circ)
 \end{aligned}$$

los términos en  $(\theta + \omega t)$ ,  $(\theta + \omega t - 240^\circ)$  y  $(\theta + \omega t - 480^\circ)$  son tres ondas desplazadas  $120^\circ$  entre sí cuya resultante es cero, por tanto el flujo total queda:

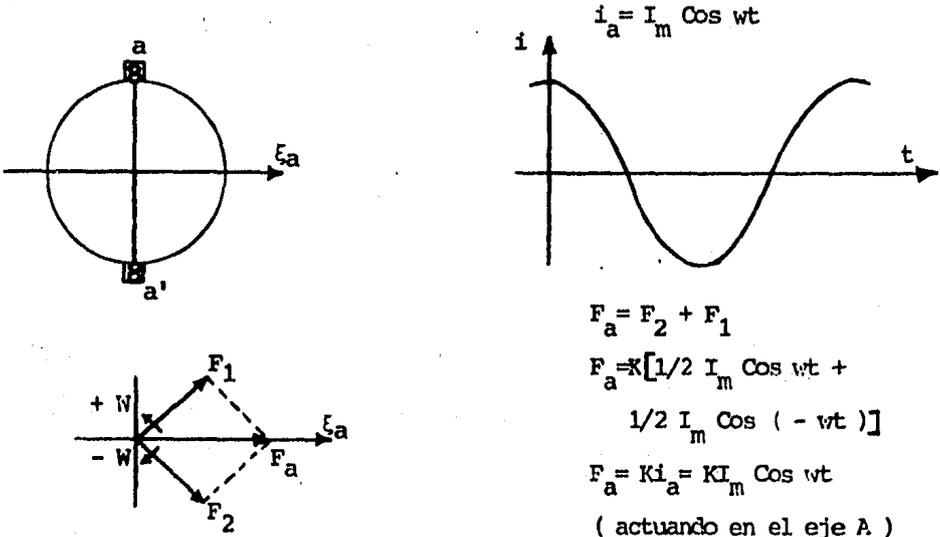
$$F(\theta, t) = 3/2 F_{\max} \cos(\theta - \omega t)$$

O sea un flujo que va a ser rotatorio por  $\omega t$ , para una posición cualquiera, de amplitud constante igual a  $3/2 F_{\max}$  o sea  $3/2$  el flujo máximo de cada fase.

### PRODUCCION DEL FLUJO MAGNETICO POR COMPONENTES DE SECUENCIA POSITIVA

#### Y NEGATIVA.-

Consideramos el flujo magnético que produce una fase del motor, este flujo actúa sobre el eje de la bobina, y es pulsante, senoidal en el tiempo.



$$\begin{aligned}
 F_a &= F_2 + F_1 \\
 F_a &= K \left[ 1/2 I_m \cos \omega t + \right. \\
 &\quad \left. 1/2 I_m \cos(-\omega t) \right]
 \end{aligned}$$

$$F_a = K i_a = K I_m \cos \omega t$$

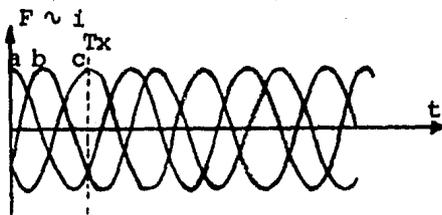
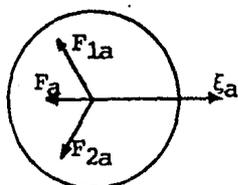
(actuando en el eje A)

FIG. 2-2 PRODUCCION DE FLUJO MAGNETICO POR COMPONENTES DE SECUENCIA + y -

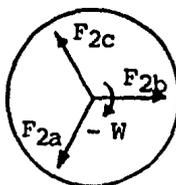
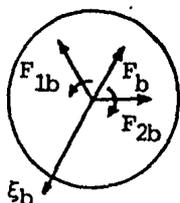
O sea que el flujo que produce  $i_a$  se puede producir o descomponer - en dos flujos que giren alrededor del estator con velocidades síncronas - en sentido contrario.

Si aplicamos este principio a las tres fases, gráficamente se puede construir el flujo total como se ve:

Flujo fase A en Tx

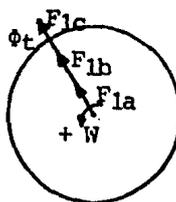
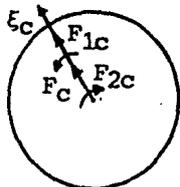


Flujo fase B en Tx



Suma componentes  
-w secuencia (-)  
( se anula )

Flujo fase C en Tx



Suma componentes  
+w secuencia (+)

FIG. 2-3 REPRESENTACION DE FLUJOS EN CADA FASE

Observando lo anterior se puede deducir claramente que durante la - operación balanceada de las tres fases, las componentes de secuencia (-) no se manifiestan, pero en caso de desbalance sí aparecerán ( girando en sentido contrario al flujo normal ) y provocando calentamientos en el rotor altamente peligrosos.

#### EL DESLIZAMIENTO DEL ROTOR.-

Si recordamos el principio de funcionamiento del motor de inducción observamos que el flujo magnético rotatorio al cortar los conductores del rotor induce una FEM y esta a su vez las corrientes que magnetizan el rotor es arrastrado a girar en el sentido que gira el flujo magnético del estator.

Luego el rotor se acelera acercándose al flujo magnético rotatorio. Pero, ¿ que pasaría si el rotor alcanzara el flujo magnético rotatorio ? pues que al ir los dos a la misma velocidad ya no habría corte de líneas de flujo sobre los conductores del rotor, y la FEM inducida en el rotor se haría cero, desmagnetizándose el rotor y perdiendo la atracción magnética que lo mantiene en movimiento, y perdería un poco de velocidad hasta tener otra vez corte de líneas de flujo.

Por lo tanto, el rotor en un motor de inducción, lleva siempre una velocidad menor que la velocidad síncrona del flujo magnético.

El deslizamiento es el porciento de velocidad síncrona que se atraza - el rotor.

$$S\% = \frac{W_s - W_r}{W_s} \times 100$$

$$S\% = \frac{W_{sincr} - W_{rotor}}{W_{sincr}} \times 100$$

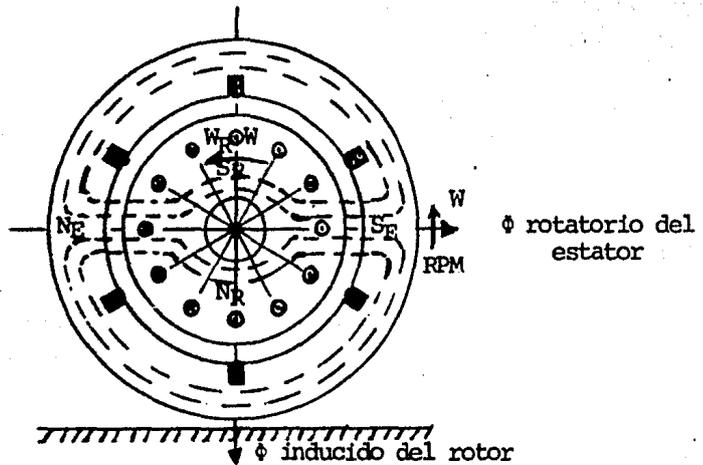


FIG. 2-4 DESLIZAMIENTO DEL ROTOR

El deslizamiento como veremos más adelante es una magnitud que nos determina si un motor está operando correctamente, está fallando o está sobrecargado; la velocidad del rotor es un parámetro que debe verificarse en las puestas en servicio y cuando se dude de la correcta operación de un motor.

LA RESISTENCIA EQUIVALENTE DE LA CARGA MECANICA.-

Consideramos las ecuaciones de la FEM de estator y rotor, cuando el rotor está en reposo en función del flujo rotatorio:

$$\text{ESTATOR: } E_1 = 4.44 K_{b1} K_{p1} f_1 N_1 \phi$$

$$\text{ROTOR : } E_2 = 4.44 K_{b2} K_{p2} f_1 N_2 \phi$$

En caso de que el rotor empiece a girar, su frecuencia dependerá de su velocidad relativa con respecto al flujo o sea dependerá del deslizamiento:

$$W_{\text{relativa}} = W_{\text{sinc}} - W_{\text{rotor}}$$

$$f_{\text{rotor}} = S f_1$$

Luego la FEM del rotor será:

$$E_2' = 4.44 K_{b2} K_{p1} S f_1 N_2 \phi$$

Si calculamos la corriente tenemos que considerar que la reactancia inductiva del rotor variará con la frecuencia del rotor y por lo tanto es función del deslizamiento de éste:

$$X_2' = 2\pi f_2 L = 2\pi S f_1 L = S X_2$$

O sea la reactancia en movimiento del rotor es proporcional al deslizamiento por la reactancia del rotor en reposo, luego:

$$I_2 = \frac{E_2'}{R_2 + jX_2'}$$

$$I_2 = \frac{S E_2}{R_2 + jS X_2} = \frac{E_2}{\frac{R_2}{S} + jX_2}$$

$$\text{Si } \frac{R_2}{s} = R_2 + R_2 \frac{1-s}{s}$$

$$\text{Por lo tanto: } I_2 = \frac{E_2}{R_2 + R_2 \left(\frac{1-s}{s}\right) + jX_2}$$

El término  $R_2 \left(\frac{1-s}{s}\right)$  representa una resistencia que depende del deslizamiento

$$R_L = R_2 \left(\frac{1-s}{s}\right)$$

Si  $s = 1$  el rotor está en reposo y  $R_L = 0$

Si  $s = 0$  el rotor lleva la velocidad síncrona y  $R_L = \infty$

#### EL DIAGRAMA FASORIAL DEL MOTOR DE INDUCCION.-

El diagrama fasorial expresa las relaciones fundamentales de los fasores del rotor, del flujo magnético y del estator.

Las relaciones del rotor se observan entre tensión y corriente atrasada.

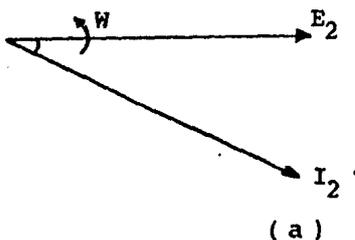


FIG. 2-5 DIAGRAMA FASORIAL: a) TENSION Y CORRIENTE, b) FLUJOS MAGNETICOS

Las relaciones de los flujos magnéticos se pueden establecer en base a sus fuerzas magnetomotrices de rotor, de estator y resultante. Esta simplificación se puede hacer debido a que se tiene entrehierro constante y una reluctancia constante, luego:

$$F_{mm} = \Phi R$$

el flujo y la fuerza magnetomotriz son proporcionales.

Estrictamente las fuerzas magnetomotrices se expresan como sigue: -

$$\text{ESTATOR: } A_1 = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} K_{b1} K_{p1} M_1 N_1 I_1$$

$$\text{ROTOR: } A_2 = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} K_{b2} K_{p2} M_2 N_2 I_2$$

Donde  $K_b$  y  $K_p$  son factores de distribución y de paso, "M" el núm. de polos y "N" es el núm. de conductores, por lo tanto podemos simplificar a lo siguiente:

$$A_1 = N_1' I_1$$

$$A_2 = N_2' I_2$$

Sus relaciones fundamentales son las siguientes:

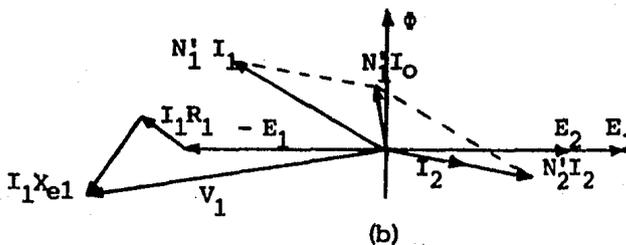
$$N_1' I_1 + N_2' I_2 = N_1' I_0$$

Que será la relación fasorial de flujos magnéticos y eslabona la corriente de estator y rotor.

Y por último la ecuación del estator:

$$V_1 = I_1 (R_1 + jX_{e1}) - E_1$$

El diagrama fasorial queda de la siguiente forma:



EL CIRCUITO EQUIVALENTE DEL MOTOR DE INDUCCION.-

Con las ecuaciones anteriores del diagrama fasorial y planteando unas relaciones de transformación, es posible encontrar un circuito eléctrico que tenga un comportamiento totalmente equivalente al del motor; este circuito permite al Ingeniero Electricista predecir el comportamiento de su motor utilizando la herramienta matemática de análisis de circuitos.

Así como tenemos para el transformador las relaciones de transformación de tensiones, corrientes e impedancias, podemos tener relaciones análogas para el motor de inducción.

Estas relaciones de transformación son las siguientes:

<u>TRANSFORMADOR</u>	
$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = a$	
$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{a}$	
$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{(N_1)^2}{(N_2)^2} = a^2$	

<u>MOTOR DE INDUCCION</u>	
$\frac{E_1}{E_2} = \frac{K_{b1} K_{p1} N_1}{K_{b2} K_{p2} N_2} = a_m$	
$\frac{I_1}{I_2} = \frac{M_2 K_{b2} K_{p2} N_2}{M_1 K_{b1} K_{p1} N_1} = \frac{M_2}{M_1} \frac{1}{a_m}$	
$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{M_1}{M_2} = a_m^2$	

Con el uso de estas relaciones, aplicadas a las ecuaciones del motor de inducción tendremos:

$$I_{2e} = \frac{M_2}{M_1} \frac{1}{a_m} I_2$$

$$V_{2e} = a_m V_2$$

$$z_{2e} = \frac{m_1}{m_2} a_m^2 z_2$$

Por lo tanto, las nuevas ecuaciones quedan de la siguiente forma: -

$$I_{2e} = \frac{-E_{2e}}{\frac{R_{2e}}{s} + jX_{2e}}$$

$$I_o = \frac{-E_1}{R_o + jX_o} = -E_1 (G_o - jB_o)$$

$$V_1 = -E_1 + I_1 (R_1 + jX_1)$$

De estas ecuaciones resulta la siguiente expresión:

$$V_1 = \left( R_1 + jX_1 + \frac{1}{(G_o - jB_o) + \frac{1}{\frac{R_{2e}}{s} + jX_{2e}}} \right) I_1$$

Esta expresión corresponde al circuito equivalente del motor de inducción, a continuación se representa este circuito.

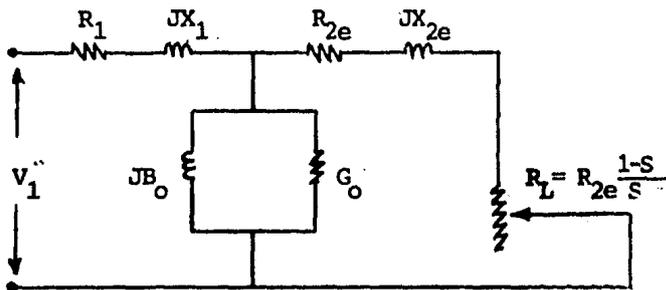


FIG. 2-6 DIAGRAMA EQUIVALENTE DEL MOTOR DE INDUCCIÓN

## 2.2.- CURVAS DE COMPORTAMIENTO PAR - VELOCIDAD.

En la siguiente gráfica se representa el par electromagnético en función de la velocidad, en esta gráfica se observará la curva de operación de un motor de inducción.

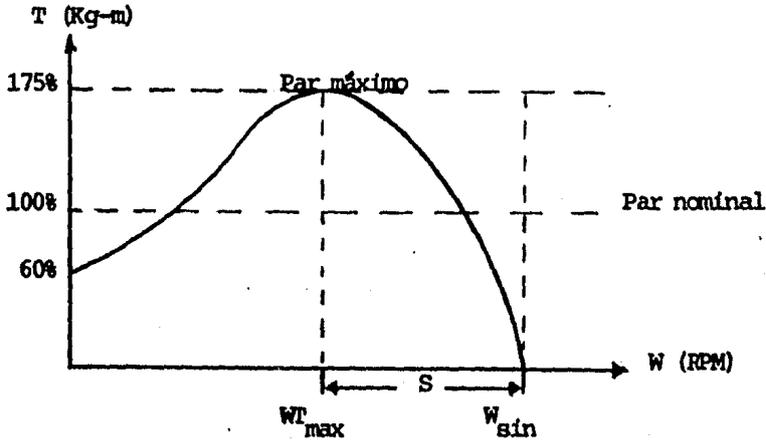


FIG. 2-7 GRAFICA PAR - VELOCIDAD

PAR DE ARRANQUE:

$$T_{arr} = I_{2e}^2 \frac{R_{2e}}{W_s}$$

PAR MAXIMO:

$$T_{max} = \frac{v_1^2}{W \left[ R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2)^2} \right]}$$

DESLISAMIENTO DEL PAR MAXIMO:

$$S_{T_{max}} = \frac{R_{2e}}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_{2e})^2}}$$

De las expresiones anteriores podemos observar lo siguiente:

a) - Para un aumento de  $R_{2e}$  aumenta el par de arranque.

- b)- El par máximo es independiente de la resistencia del rotor.  
 c)- El deslizamiento donde ocurre el par máximo, es proporcional a  $R_{2e}$  o sea que aumenta al incrementar la resistencia del rotor.

El efecto de un aumento de resistencia del rotor se puede observar - en las curvas siguientes:

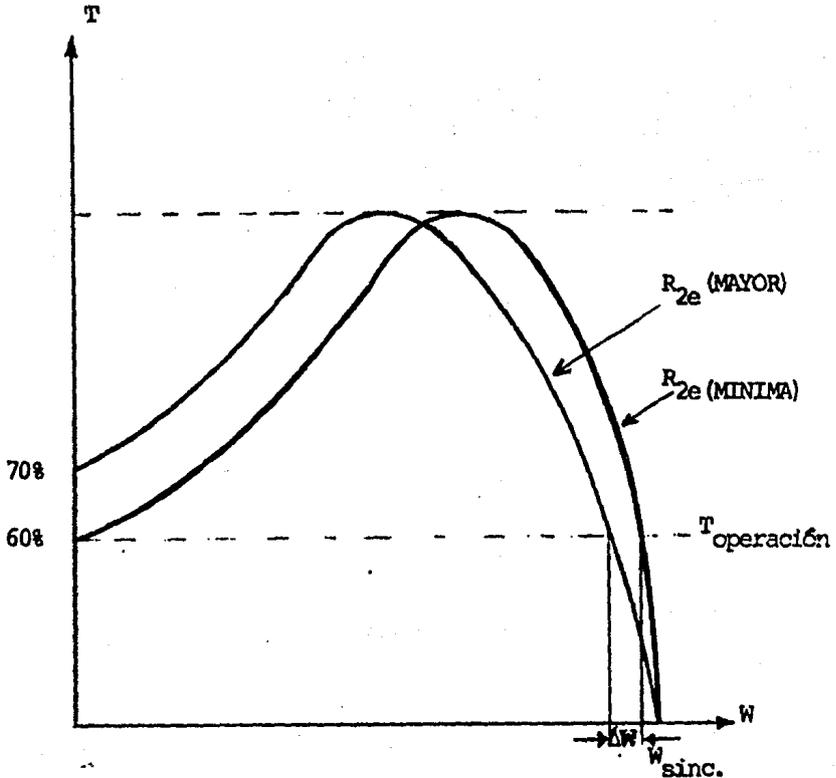


FIG. 2-8 CURVAS DE RESISTENCIA DEL ROTOR DURANTE LA OPERACION

De lo anterior se puede concluir que al incrementar la resistencia - en la jaula de ardilla, provocará un mayor deslizamiento del rotor, esto - quiere decir que al trabajar el motor a plena carga bajará su velocidad.



nismo ( $s = 0$ ) cuando la resistencia de carga ficticia  $R_{2e} (1-s)/s$  es infinita.  $S$  es el punto de reposo ( $s=1$ ) y corresponde a condiciones de corto circuito con tensión total aplicada al primario.

Cuando la carga es tal que la corriente del primario tiene algún valor general tal que  $OC$ , la potencia de entrada al motor por fase es proporcional a la componente en fase de la corriente  $CD$  y mediante la adecuada elección de la escala,  $CD$  puede leerse en vatios o en HP.

De la misma forma resulta evidente que  $GD$ , la componente en fase de la corriente en vacío  $OA$ , es proporcional a las pérdidas en el núcleo y las debidas a la resistencia pasivas, de los que se deduce que la diferencia  $CG$  entre la potencia de entrada  $CD$  y las pérdidas constantes  $GD$ , representa la salida de potencia más las pérdidas en cobre de los devanados en el estator y el rotor.

En condiciones de reposo con plena tensión la entrada de potencia por fase representada por  $SM$  se consume únicamente en las pérdidas en el núcleo y en las pérdidas en el cobre, ya que no existen pérdidas debidas a las resistencias pasivas. Sin embargo, la parte de la potencia de entrada en reposo representada por  $IM-GD$  puede considerarse que representa las pérdidas en el núcleo en reposo con razonable exactitud, puesto que la ausencia de pérdidas debidas a las resistencias pasivas queda prácticamente compensada por el aumento de las pérdidas en el núcleo del rotor en condiciones de reposo, de lo que se deduce que la parte de la potencia de entrada al rotor fijo representada por  $SL$  son las pérdidas en el cobre en reposo.

De los triángulos semejantes  $AEG$  y  $ASL$  (FIG.2-9) se deduce que:

$$\frac{EG}{SL} = \frac{AG}{AL} = \frac{AC \operatorname{sen} \theta_2}{AS \operatorname{sen} \theta_2s}$$

Viéndose así mismo que:

$$AC = AB \operatorname{sen} \theta_2$$

$$AS = AB \operatorname{sen} \theta_2s$$

de la que

$$\frac{\operatorname{sen} \theta_2}{\operatorname{sen} \theta_2s} = \frac{AC}{AS}$$

de donde

$$\frac{EG}{SL} = \frac{(AC)^2}{(AS)^2} = \frac{I_{2e}^2}{I_{cc}^2} = \frac{I_{2e}^2 (R_1 + R_{2e})}{I_{cc}^2 (R_1 + R_{2e})}$$

llegándose a la conclusión de que si SL a escala de potencia son las pérdidas del cobre en reposo cuando la corriente es AS la línea EG es las pérdidas en el cobre cuando la corriente es AC.

Si ahora dividimos la línea SL en el punto K en dos partes SK y KL, proporcionales respectivamente a  $R_{2e}$  y  $R_1$  (utilizando por ejemplo, la construcción indicada por las líneas de trazos en la parte derecha de la figura 2-9) debe deducirse necesariamente que para cualquier corriente general tal que  $I_{2e} = AC$ , las pérdidas en el cobre del secundario  $I_{2e}^2 R_{2e}$  se representan por EF, mientras que las pérdidas en el cobre del primario  $I_{2e}^2 R_1$  lo son por FG.

Así pues, de la potencia total de entrada por fase CD, la parte EG representa las pérdidas en el cobre del primario y del secundario por fase, GD representa las pérdidas en el núcleo y las debidas a las resistencias pasivas por fase y el resto, CE debe representar la salida de potencia mecánica por fase. Por lo tanto, la línea AS que es el lugar geométrico de todos los puntos tales como E, recibe el nombre de línea de potencia de salida.

Las ecuaciones que aparecen en éste capítulo demuestran que el par es proporcional a la entrada de potencia eléctrica al secundario y vemos que esta entrada es  $P + I_{2e}^2 R_{2e}$ , que en la figura 2-9 se representa por la línea CF. El lugar geométrico de los puntos F a medida que C se mueve alrededor del círculo, es la línea AK que, por lo tanto, recibe el nombre de línea del par motor.

En la figura 2.10 que es en parte una reproducción de la figura 2-9, sirve para determinar por construcción gráfica el deslizamiento, el rendimiento y el factor de potencia. Las líneas verticales AQ y O'Y se han trazado de la siguiente forma: la primera por el punto en vacío A y la segunda por el punto O' donde la línea de rendimiento AS (prolongada hacia la izquierda) corta el eje de referencia. Desde cualquier punto conveniente P sobre la línea de rendimiento, se traza PQ paralela a la línea del par motor, mientras que PY se traza paralela al eje de referencia; entonces, tanto PQ como PY se dividen en 100 partes iguales, como se indica en el diagrama. La línea AC que representa la corriente del secundario correspondiente al punto de carga C se prolonga entonces hasta que corta a QP en el punto R.

Análogamente se prolonga la línea  $O'C$  hasta que corte a  $PY$  en el punto  $X$ . Así pues, sólo nos queda demostrar que para las condiciones de carga definidas por el punto  $C$ ,  $OR$  es el tanto por ciento de deslizamiento y  $PX$  el porcentaje de rendimiento para las escalas determinadas por  $OP=PY=100$ .

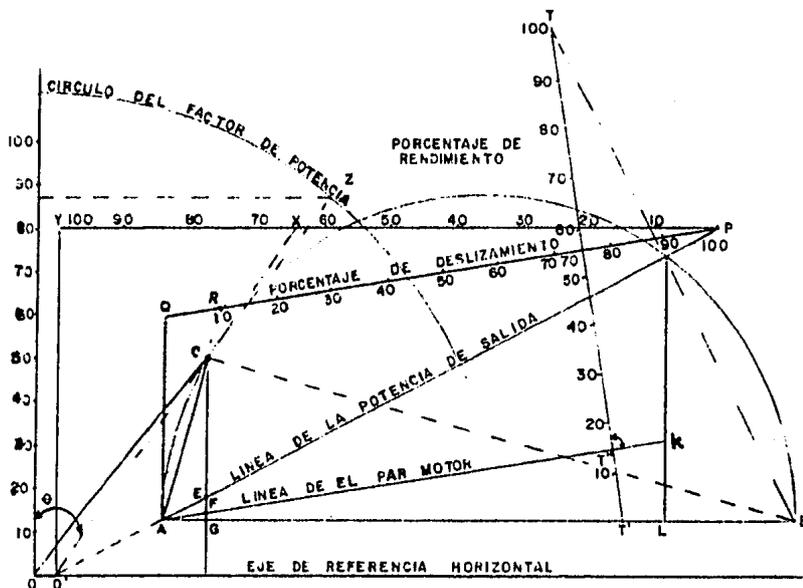


FIG. 2-10 DIAGRAMA CIRCULAR: DESLIZAMIENTO, RENDIMIENTO Y FACTOR DE POTENCIA.

Para demostrar que  $OR$  es una medida del deslizamiento, observese que los triángulos  $CFA$  y  $AQR$  son semejantes, por lo que

$$\frac{CF}{FA} = \frac{AQ}{OR}$$

y que los triángulos  $EFA$  y  $AQP$  son, asimismo, semejantes, por lo que

$$\frac{EF}{FA} = \frac{AQ}{PO}$$

dividiendo la segunda ecuación por la primera tenemos:

$$\frac{EF}{CF} = \frac{OR}{OP}$$

Pero se ha demostrado que el deslizamiento es proporcional a las pérdidas en el cobre del secundario  $EF$  divididas por el par motor  $CF$ ; por tanto,  $OR$  es el deslizamiento en función de  $OP$  como unidad, o sea, el 100 por 100.

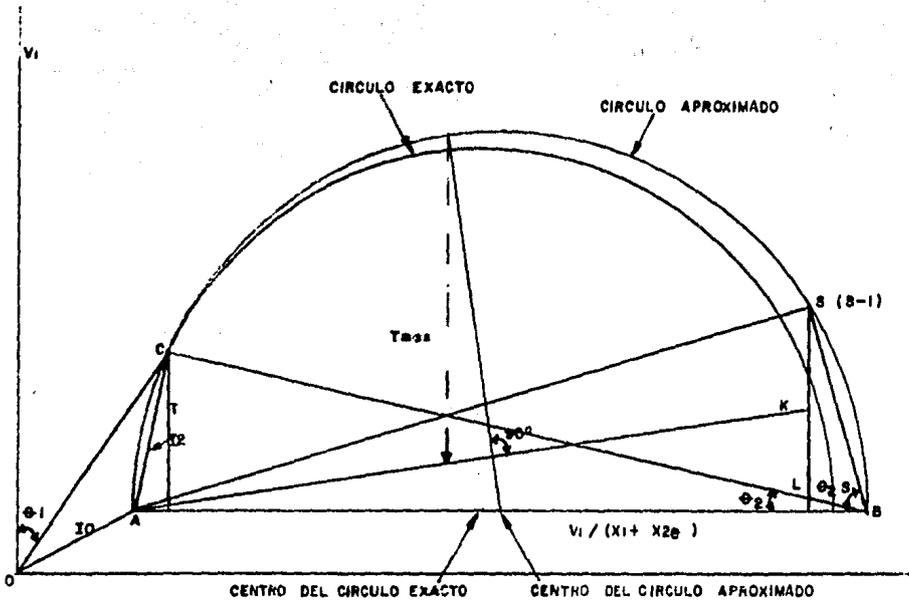


FIG. 2-11 RELACION ENTRE EL DIAGRAMA CIRCULAR APROXIMADO Y EL EXACTO PARA MOTOR TIPOICO

Existe otro método gráfico para determinar el deslizamiento que en algunos aspectos es mejor que el que acabamos de describir. Así, supongamos que la línea BS se prolonga hasta un punto conveniente T de tal forma que la línea TT' trazada perpendicular a la línea del par AK se haga igual a 100 sobre cualquier escala adecuada. Entonces, la línea CB cortará a TT' en el punto T'', por lo que la línea T'T'' será el porcentaje de deslizamiento para la misma escala para la que T' representa 100. La prueba de esta afirmación se deduce fácilmente del hecho de que los triángulos AQP- y BT'T son semejantes, puesto que sus lados correspondientes son mutuamente perpendiculares, lo que es asimismo cierto con respecto a los triángulos AQR y BT'T''.

El rendimiento viene dado por la razón:

$$\frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} = \frac{CE}{CD} = \frac{CD - ED}{CD} = 1 - \frac{ED}{CD}$$

Por los triángulos semejantes EDO' y O'YP

$$\frac{ED}{O'Y} = \frac{O'Y}{PY}$$

y por los triángulos semejantes CDO' y O'YX

$$\frac{CD}{O'D} = \frac{O'Y}{XY}$$

de donde por división

$$\frac{ED}{CD} = \frac{XY}{PY}$$

$$\text{o sea, RENDIMIENTO} = \frac{CE}{CD} = \frac{PX}{PY}$$

El factor de potencia se halla fácilmente mediante el trazado de un cuadrante de círculo con centro en O y un radio igual a 100 unidades arbitrarias. Al prolongar el vector corriente del primario OC hasta que corte a dicho cuadrante en el punto Z sobre la escala vertical, quedará determinado el factor de potencia.

Se habrá observado que las proporciones de las figuras 2-9 y 2-10 se han exagerado intencionalmente por razones de claridad el diagrama verdadero se puede ver mejor en la Fig. 2-11.

En lo que se refiere al diagrama circular, sería bueno también analizar - dos puntos muy importantes que nos muestran el por qué de la importancia de éste diagrama, estos puntos son los siguientes:

a) Diagrama circular exacto.

La deducción del diagrama circular de la figura 2-9 se basa en el circuito equivalente aproximado, por tanto, podría caerse en el error de creer que la forma circular sencilla del lugar geométrico de la corriente es una consecuencia de tal aproximación; sin embargo, es un hecho que el circuito equivalente más exacto también proporciona un lugar geométrico circular de la corriente. Pero antes de entrar en una demostración de este hecho, es conveniente señalar algunas limitaciones del llamado circuito equivalente exacto, que lo más que consigue es una mayor aproximación a la verdad y no una representación matemáticamente exacta de la realidad física.

Una de las limitaciones ya ha sido mencionada y surge del hecho de que la admitancia de excitación, formada por la conductancia de excitación  $G_0$  y la susceptancia de excitación  $B_0$  no es estrictamente constante, sino que varía ligeramente con la carga a causa de las pérdidas variables en el núcleo y las debidas a las resistencias pasivas. Además debe recordarse que  $R_1, X_1, R_2$  y  $X_2$  están asimismo sometidos a variaciones con la carga. Por ejemplo, las resistencias que han de utilizarse en los cálculos no son las puras resistencias óhmicas que deberían ser medidas por un puente de Wheatstone o por el método de la caída de potencial, sino que son resistencias efectivas que siempre son mayores que las sencillas resistencias óhmicas a causa de la verdadera distribución no uniforme de la corriente en la sección transversal del conductor. La distribución no uniforme de la corriente es una manifestación del efecto pelicular, que es originado por la acumulación de la corriente hacia las capas de la superficie debido al campo magnético; este efecto se acentúa, especialmente en el rotor en condiciones de reposo, es decir, en el momento del arranque, porque, entonces el secundario está sometido al efecto inductivo de un campo magnético que alterna a frecuencia de línea en contraste con las condiciones en las proximidades del sincronismo cuando la frecuencia del secundario se ha reducido considerablemente. En realidad, la variación de la resistencia efectiva del secundario entre reposo y plena velocidad puede hacerse tan exagerada mediante el adecuado proyecto, como para hacer que el par de arranque sea considerablemente mayor que en otras condiciones, sin que por ello resulten debilitados el rendimiento y la regulación de la velocidad en condiciones normales de funcionamiento.

De la misma forma, las reactancias de dispersión del primario y del secundario son función de la magnitud y distribución del flujo de dispersión que, a su vez, dependen de la permanencia de los caminos de dispersión. La variación de las condiciones de la carga produce variaciones en la corriente y, por lo tanto, en la permeabilidad de los dientes y del hierro contiguo, lo que afecta a las reactancias.

A pesar de estos efectos perturbadores, la hipótesis de que las llamadas constantes del circuito equivalente ( $G_0, B_0, R_1, X_1, R_2, X_2$ ), permanecen invariables, proporciona resultados notablemente exactos (exactos, decimos, comparados con las medidas reales). Este estricto convenio obedece a diversas razones: en primer lugar, las variaciones de las constantes son de una magnitud de segundo orden y las que más varían (como  $R_2$ ) son tan pequeñas en comparación con las restantes que el efecto queda considerable-

mente enmascarado en condiciones normales de funcionamiento; en segundo lugar, las condiciones normales de funcionamiento comprenden una parte tan pequeña de la escala total entre reposo y sincronismo, que reduce aún más las discrepancias; y en tercer lugar, las observaciones reales deben efectuarse con instrumentos que no son absolutamente exactos, aparte de que las lecturas están sujetas a errores personales de observación. En resumen, la diferencia entre la verdad absoluta ( si es que existe ) y los hechos observados no está perfectamente delimitada y la zona más o menos nebulosa de inexactitud existente entre ellos sirve para simplificar hipótesis y errores de observación.

Así, pues, no debe suponerse que un análisis basado en el llamado circuito equivalente exacto es riguroso en sentido matemático; la palabra exacto es en realidad, un error de nombre, pero se suele utilizar para distinguir este caso del conocido circuito aproximado. Es de esperar que proporcionará resultados muy semejantes a los ya deducidos, mediante el circuito aproximado. Por lo tanto, el principal valor del análisis más completo se deriva, no de una mayor exactitud, sino de ciertos principios y procedimientos que tienen gran aplicación e importancia intrínseca por sí mismos.

b).-Deducción analítica del diagrama circular exacto.

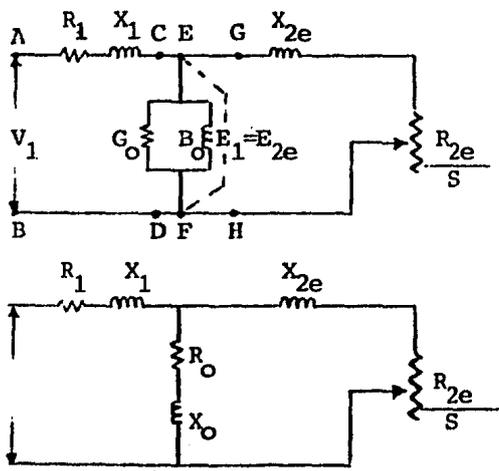


FIG. 2-12 FORMAS ALTERNATIVAS DE CIRCUITO EQUIVALENTE EXACTO DEL MOTOR POLIFASICO DE INDUCCION.

En el circuito equivalente de la figura 2-12, la admitancia medida entre los bornes AB, que es equivalente a una resistencia total de  $G/(G^2 - B^2)$  ohmios en serie con una reactancia total de  $B/(G^2 - B^2)$  ohmios. Entre los puntos CD, esta resistencia total se reduce a  $R_1$  ohmios y la reactancia total se reduce a  $X_1$  ohmios. Continuando de este modo por todo circuito, los resultados pueden disponerse de la siguiente forma tubular:

PARTE DEL CIRCUITO	RESISTENCIA O CONDUCTANCIA	REACTANCIA O SUSCEPTANCIA	UNIDAD
AB	G	B	MHO
CD	$\frac{G}{G^2 + B^2} - R_1 = \alpha$	$\frac{B}{G^2 + B^2} - X_1 = \beta \text{ ---1}$	OHM
EF	$\frac{\alpha}{\alpha^2 + \beta^2} - G_0 = \gamma$	$\frac{\beta}{\alpha^2 + \beta^2} - B_0 = \delta \text{ ---2}$	MHO
GH	$\frac{\gamma}{\gamma^2 + \delta^2} = \frac{R_{2e}}{s}$	$\frac{\delta}{\gamma^2 + \delta^2} = X_{2e} \text{ ---3}$	OHM

Empezando por la ecuación # 3, y eliminando sucesivamente  $\alpha, \beta, \gamma$  y  $\delta$ , - el resultado es:

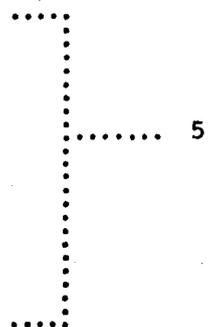
$$\left(G - \frac{N}{M}\right)^2 + \left(B - \frac{P}{M}\right)^2 = \left(\frac{1}{2M}\right)^2 \dots\dots\dots 4$$

donde

$$N = R_1 X_{2e} Y_0^2 + R_1 B_0 + X_{2e} G_0$$

$$P = X_1 X_{2e} Y_0^2 + B_0 (X_1 + X_{2e}) + 1/2$$

$$M = X_1 + X_{2e} \left[ 1 + Y_1^2 Y_0^2 + 2(R_1 G_0 + X_1 B_0) \right] + Z_1^2 B_0$$



..... 5

La ecuación # 4 demuestra que el lugar geométrico de las variables  $G$  y  $B$  es un círculo de radio  $1/2M$ , siendo las coordenadas del centro  $N/M$  y  $P/M$ .

Si multiplicamos  $G$  y  $B$  por  $V_1$ , los productos serán, respectivamente, iguales a los componentes en fase y en cuadratura de la corriente del primario. Lo mismo que en todos los diagramas circulares que hasta ahora hemos estudiado, la posición y tamaño del círculo son independientes de la resistencia del secundario siendo el papel de esta última (más exactamente que el de  $R_{2e}/s$ ) determinar las posiciones de ciertos puntos sobre el lugar geométrico. Dos de estos puntos son de esencial interés, que son los correspondientes al sincronismo ( $s=0$ ) y al reposo ( $s=1$ ).

Por lo tanto, resulta muy conveniente considerar las posiciones relativas de estos puntos con el mayor detalle y, al mismo tiempo considerar las relaciones entre los diagramas exacto y aproximado con objeto de calcular el error introducidos por el empleo del diagrama aproximado.

En primer lugar, es preciso obtener una idea general de las magnitudes relativas de las resistencias y reactancias que son características de los motores comerciales ordinarios. Eligiendo el tipo en jaula de ardilla y potencia para fines generales que no precisa un elevado par de arranque, pueden considerarse como típicos los siguientes datos:

- a. Par máximo = 2.5 X par de plena carga.
- b. Deslizamiento a plena carga, 3%
- c. Factor de potencia a plena carga, 90%
- d. Rendimiento a plena carga, 90%

Es preciso tener en cuenta, que los datos relativos al rendimiento no pueden formularse de una forma totalmente caprichosa, porque todas las características de funcionamiento son función de la configuración geométrica del diagrama circular, y, por lo tanto, mutuamente relacionados. El círculo queda completamente determinado cuando se fijan sobre él tres puntos cualesquiera; por lo tanto, los datos deben determinar tres puntos y únicamente tres. La imposición de una o más exigencias adicionales elegidas al azar conduciría, naturalmente, a contradicciones.

Aplicando las especificaciones dadas al diagrama aproximado tenemos:

$$\frac{T_{\max}}{T} = \frac{(R_1 + R_{2e}/s)^2 + (X_1 + X_{2e})^2}{2 \frac{R_{2e}}{s} \left[ R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_{2e})^2} \right]} = 2.5 \text{ ----- } 6$$

Para fines prácticos resulta suficientemente exacto suponer  $R_1 = R_{2e}$  y  $X_1 = X_{2e}$ ; al sustituir estas relaciones en la ecuación # 6, al mismo tiempo que en la especificación de que a plena carga  $s=0.03$ , el resultado es

$$X_1 = 3,12 R_1$$

donde

$$\operatorname{tg} \theta_{2s} = \frac{X_1 + X_{2e}}{R_1 + R_{2e}} = \frac{X_1}{R_1} = 3.12 \quad \text{-----} \quad 7$$

Analizando la figura 2-11, podemos ver que, se traza un semicírculo sobre cualquier diámetro elegido arbitrariamente AB, que representa  $V_1/(X_1 + X_{2e}) = V_1/2X_1$ , se hallará el punto de reposo trazando BS de modo que forme un ángulo  $\theta_{2s}$  con AB. Las líneas de potencia y de par motor se terminan bisecando la perpendicular que cae desde S hasta AB y trazando las líneas AS y AK. Entonces el punto de plena carga C se localiza trazando BC de modo que forme un ángulo  $\theta_2$  con BA, tal que

$$\operatorname{tg} \theta_2 = \frac{X_1 + X_{2e}}{R_1 + R_{2e}/s} = \frac{2X_1}{R_1(1+1/0.03)} = \frac{0.06X_1}{1.03R_1} = 0.181 \quad \text{-----} \quad 8$$

Entonces la corriente en el secundario  $I_2$ , viene representada por AC e

$$I_2 = \frac{V_1}{2X_1} \operatorname{sen} \theta_2 = 0.089 \frac{V_1}{X_1} \quad \text{-----} \quad 9$$

Las componentes en fase y en cuadratura de  $I_2(\operatorname{sen} \theta_2, \operatorname{cos} \theta_2) = (\frac{1}{X_1}) 0.087V_1$ , e  $I_2 \operatorname{sen} \theta_2 = 0.0158V_1/X_1$ , respectivamente, y si a ellas les sumamos las componentes en fase y en cuadratura de  $I_0$  que son, respectivamente,  $V_1G_0$  y  $V_1B_0$ , los resultados son las componentes en fase y en cuadratura del primario  $I_1$ . Puesto que el ángulo de fase de  $I_1$  queda determinado por la especificación c de que  $\operatorname{cos} \theta_1 = 0.90$ , se deduce que

$$\operatorname{tg} \theta_1 = \frac{V_1B_0 + 0.0158V_1/X_1}{V_1G_0 + 0.087V_1/X_1} = 0.484 \quad \text{-----} \quad 10$$

Como se ha especificado que el rendimiento a plena carga es el 90 %, la potencia de salida es  $0.9V_1I_1\cos\theta_1$ ; por lo tanto, según la relación

Potencia de entrada = Potencia de salida más pérdidas

tenemos  $V_1I_1\cos\theta_1 = 0.9V_1I_1\cos\theta_1 + V_1(V_1G_0) + I_2^2(R_1 + R_{2e})$  o bien, puesto que  $\cos\theta_1 = 0.9$

$$0.09V_1I_1 = V_1^2 G_0 + 2R_1 \left( \frac{0.089V_1}{X_1} \right)^2 \text{ ----- 11}$$

Sustituyendo en la ecuación anterior la siguiente relación:

$$I_1 = V_1 \left[ \left( B_0 + \frac{0.0158}{X_1} \right)^2 + \left( G_0 + \frac{0.087}{X_1} \right)^2 \right]^{1/2}$$

el resultado es:

$$0.0081 \left[ \left( B_0 + \frac{0.0158}{X_1} \right)^2 + \left( G_0 + \frac{0.087}{X_1} \right)^2 \right] = \left( G_0 + \frac{0.00508}{X_1} \right)^2 - 12$$

Las ecuaciones 10 y 12 nos proporcionan ahora medios para despejar  $G_0$  y  $B_0$ , siendo el resultado

$$\begin{aligned} G_0 &= \frac{0.00966}{X_1} \\ B_0 &= \frac{0.03098}{X_1} \end{aligned} \text{----- 13}$$

Las coordenadas del centro del círculo aproximado son

$$V_1 \left[ B_0 + \frac{1}{2(X_1 + X_{2e})} \right]$$

y  $V_1 G_0$  y el radio es  $\frac{1/2V_1}{X_1+X_{2e}}$ ; tomando  $X_1=X_{2e}$ , substituyendo los valores  $G_0$  y  $B_0$ , según las ecuaciones # 13 y eliminando factor común  $V_1$ , las coordenadas del centro y del radio, ambas expresadas en función de la admitancia-equivalente toman los valores que se muestran en la tabla que se expone a continuación.

Calculando las coordenadas y radio correspondientes del círculo exacto mediante las ecuaciones 5,6 y 12 toman los valores que se muestran, asimismo, en la tabla, viéndose que las diferencias son muy pequeñas. Los dos círculos contruidos con las dimensiones dadas en la tabla se muestran en la figura 2-11, que es una reproducción del dibujo original, el cuál fué trazado a una escala mayor a fin de conseguir exactitud. Dentro de la escala de trabajo desde vacío a plena carga es prácticamente imposible distinguir los dos círculos. Más allá de plena carga, aumenta la diferencia entre ellos, no es en modo alguno muy grande. Por lo tanto, resulta evidente que el error debido al empleo del circuito equivalente aproximado y del diagrama circular a él correspondiente, se encuentra dentro del límite de tolerancia necesario para fines prácticos, por lo que el circuito aproximado puede utilizarse con suficiente exactitud.

DIMENSIONES	Círculo	Círculo
	Aproximado	Exacto
Coordenada horizontal (en cuadratura) del centro	$\frac{0.281}{X_1}$	$\frac{0.268}{X_1}$
Coordenada vertical (en fase ) del centro - - - -	$\frac{0.0097}{X_1}$	$\frac{0.0095}{X_1}$
Radio - - - - -	$\frac{0.25}{X_1}$	$\frac{0.238}{X_1}$

2.4.- DISEÑOS NORMALIZADOS.-

El análisis profundo del comportamiento de los motores de inducción, sirvió como base para determinar la normalización del diseño de motores.

El desarrollo del rotor de doble jaula de ardilla determinó una versatilidad en el proyecto del rotor del motor de inducción que ha permitido obtener una gran variedad de características par - deslizamiento. Dimensionando apropiadamente el devanado de doble jaula, los fabricantes han desarrollado numerosas variantes del proyecto del rotor de fundición simple o normal. Estas variantes dan lugar a pares de arranque mayores o menores que el de proyecto normal y también a corrientes de arranque reducidas.

Con el objeto de distinguir entre los diversos tipos disponibles el National Electrical Manufacturer's Association ( NEMA ), ha establecido un sistema modificado a base de letras, según el que cada tipo de SCIM ( motor de jaula de ardilla ) se fabrica de acuerdo con una norma de proyecto particular y se clasifica en una clase determinada, designada mediante una letra.

Puesto que cada letra especifica una diferencia en la construcción del rotor, la descripción que sigue servirá para aclarar la elección del SCIM para los diversos tipos de servicio.

#### DISEÑO CLASE "A"

Se utiliza sólo en motores pequeños. Con un par de arranque normal, deslizamiento pequeño, corriente de arranque normal y devanado de jaula de baja resistencia, el deslizamiento nominal es del orden del 2 %.

Es un SCIM normal o standard fabricado para ser utilizado a velocidad constante, tiene secciones de grandes ranuras (para facilitar la disipación del calor) y barras en el rotor con ranuras muy profundas. Durante el período de arranque, la densidad de corriente es elevada cerca de la superficie del rotor; durante el período de marcha, la densidad de corriente se distribuye bastante uniformemente. Esta diferencia determina una resistencia elevada y una reactancia reducida en el arranque, dando lugar a un par de arranque aproximadamente de 1.5 a 1.75 veces el par nominal ( a plena carga). El par de arranque elevado y la pequeña resistencia del rotor originan una aceleración bastante rápida, hasta la velocidad nominal. Como se puede ver en la figura que nos muestra la gráfica de par - velocidad el SCIM de clase "A" posee la mejor regulación de velocidad ( alrededor del 3 al 5 %) desgraciadamente en el arranque varía de 5 a 7 veces la corriente nominal normal, haciéndolo menos apropiado para el arranque directo, en particular en los motores de gran potencia. Sin embargo en motores inferiores a 5 Hp el SCIM de la clase "A" se arranca frecuentemente conectándolo directamente a la red y, debido a su rápida aceleración, no produce los efectos de las corrientes extremadamente elevadas, que son indeseables.

#### DISEÑO CLASE "B"

Es el diseño más utilizado, tiene un par de arranque normal, deslizamiento pequeño, baja corriente de arranque. Su par de arranque es igual al del diseño clase "A" pero su corriente de arranque es menor. Generalmente su corriente de arranque es de 600 a 700 % de la corriente nominal, esto se logra con mayor resistencia en el rotor, y por lo tanto un poco más de pérdidas en el cobre.

Es un motor de aplicación general, como podemos ver en las curvas de la gráfica par - velocidad, la curva para el clase "B" es muy parecida a la curva del clase "A". Su rotor esta embobinado algo más profundamente en --

ranuras que en el SCIM normal de la clase "A" y la mayor profundidad tienen de aumentar la reactancia de arranque y de marcha del rotor. El aumento de reactancia en el arranque reduce el par de arranque un poco, pero asimismo, reduce la corriente de arranque. En este motor también se utiliza un valor ligeramente inferior de la excitación del campo, a fin de producir la corriente de arranque reducida y las características indicadas en la gráfica.

Como decíamos anteriormente las corrientes de arranque oscilan entre 6 y 7 veces la corriente nominal, y en los tamaños superiores por encima de los 5 Hp, aún se utiliza el arranque a tensión reducida en esta clase de motor. Debido a la corriente algo inferior y sus características casi equivalentes, en los tamaños superiores se prefieren los SCIM de la clase "B" a los motores de clase "A".

### DISEÑO CLASE "C"

Es un diseño de alto par de arranque. Se usa con un devanado de inducido de doble jaula de ardilla para incrementar su resistencia del rotor, tiene baja corriente de arranque, tiene una gran aplicación en compresores. Este diseño es un motor que desarrolla un mayor par de arranque de 2 a 2.5 veces el par nominal que los de las clases "A" y "B" y una corriente de arranque (inferior) de 3.5 a 5 veces la corriente nominal. Debido al elevado par de arranque acelera rápidamente, sin embargo, cuando se utiliza con cargas fuertes de gran inercia, la disipación térmica del motor es limitada ya que la mayor parte de la corriente se concentra en el devanado superior. En condiciones de arranque frecuente, el rotor puede presentar la tendencia a sobrecalentarse; es más apropiado para cargas grandes y súbitas, pero de un tipo que tengan poca inercia. La gráfica indica que este motor continúa desarrollando un par creciente con el deslizamiento hasta alcanzar el par máximo en reposo, sin embargo, el SCIM de la clase "C" presenta una regulación de velocidad peor que los de las clases "A" y "B", como se puede apreciar en la gráfica.

### DISEÑO CLASE "D"

Proporciona un par de arranque excepcionalmente alto, 300 % o más del par nominal y con bajas corrientes de arranque, pero es muy ineficiente, con deslizamientos de operación entre los 5 y 20 %, se usa en cargas rápidas de grúas y montacargas.

Debido a las características que presenta este SCIM se conoce como un motor de par elevado y gran resistencia; las barras del rotor se construyen con una aleación de alta resistencia y se colocan en ranuras cerca de la superficie o están embebidas en ranuras de pequeño diámetro.

La relación entre la resistencia y la reactancia del rotor en el --

arranque es mayor que en los motores de las clases anteriores. Como se puede observar en la gráfica, el par de arranque de estos motores está próximo a tres veces el par nominal, con una corriente de arranque de 3 a 8 veces la corriente nominal según el proyecto.

Este motor está diseñado para servicios de arranque pesado, pero, nuevamente el problema, como el SCIM de la clase "C", no es recomendable para arranques frecuentes debido a la reducida sección transversal y la deficiente capacidad de disipación del calor; encuentra una mejor aplicación en cargas tales como sierras y prensas de punzonado que requieren un par superior al aplicarles una carga súbita. La regulación de velocidad de este SCIM es la peor de todas las clases, y esto se puede observar en la gráfica.

### DISEÑO CLASE "F"

Es un diseño de par de arranque bajo y baja corriente de arranque. Da preferencia al funcionamiento a velocidad nominal sobre el período de arranque, es muy eficiente pero su par de arranque es sólo de el 130 % del par nominal.

Este SCIM se conoce como motor de par reducido de rotor de doble jaula. Se proyecta principalmente como motor de corriente de arranque reducida, por que es el que requiere la menor corriente de arranque de todas las clases; este diseño presenta una resistencia rotórica muy elevada, tanto en el devanado de arranque como en el de marcha, que tienden a aumentar la impedancia de arranque y de marcha, y a reducir las corrientes de arranque y de marcha.

Este diseño se proyectó para sustituir al de la clase "B", produce pares de arranque de alrededor de 1.25 veces el par nominal y corrientes de arranque reducidas de 2 a 4 veces la corriente nominal. En general, estos motores se fabrican en tamaños superiores a 25 Hp para conexión directa a la red. Debido a la relativamente alta resistencia del rotor en el arranque y en la marcha, estos motores tienen una peor regulación de velocidad que los de la clase "B", pequeña capacidad de sobrecarga y ordinariamente bajo rendimiento. Cuando se arrancan con cargas ligeras, las bajas corrientes de arranque eliminan la necesidad de equipo de tensión reducida, incluso en los tamaños superiores.

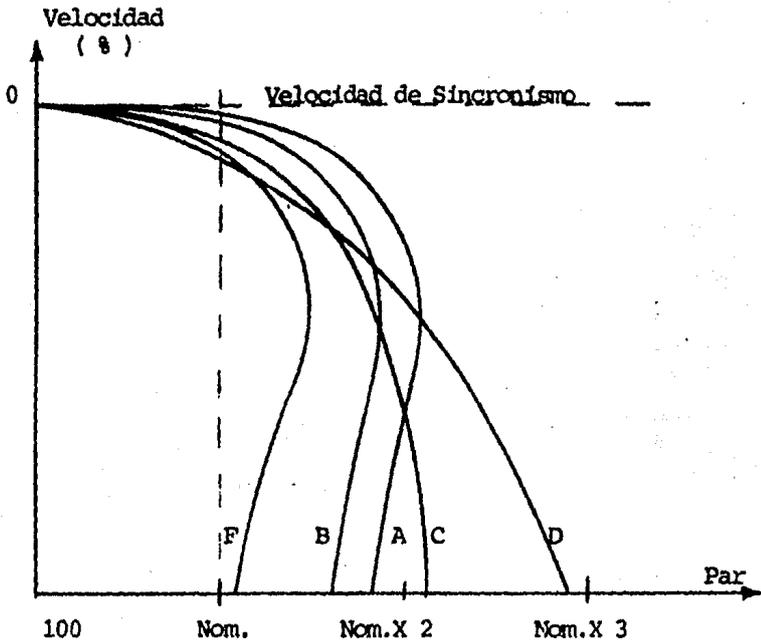


FIG. 2-13.- GRAFICA DE CARACTERISTICAS PAR - DESLIZAMIENTO DE MOTORES DE INDUCCION DE JAULA DE ARDILLA PRACTICOS (NORMAS NEMA).

CLASE:

A- - - -NORMAL

B- - - -APLICACION GENERAL

C- - - -DOBLE JAULA - PAR ELEVADO

D- - - -ROTOR DE GRAN RESISTENCIA

F- - - -DOBLE JAULA BAJO PAR

## CAPITULO III

### \* MANTENIMIENTO PREVENTIVO \*

#### 3.1.-SUPERVISION EN OPERACION\*\*\*

INSPECCION: A continuación enumeramos una lista de puntos que deben ser inspeccionados de un motor donde se tiene evidencia de falla o se sospecha que puede haberla:

- 1.- Revisión de la limpieza del embobinado del estator.
- 2.- Revisión de la limpieza del rotor.
- 3.- Verificar si no hay aflojamiento de amarres en cabezales.
- 4.- Verificar si no hay cuñas flojas.
- 5.- Verificar que la conexión de puentes y terminales estén firmes y bien encintadas.
- 6.- Revisar las soldaduras de las barras de jaula de ardilla al anillo que las cortocircuita.
- 7.- Observar el estado de la laminación del estator.
- 8.- Observar el estado de la laminación de el rotor.
- 9.- Revisión mecánica de los cojinetes o baleros.
- 10.- Medición del entrehierro alrededor del motor.
- 11.- Observar el estado de los ventiladores.
- 12.- Revisar la limpieza de la carcaza y los ductos.
- 13.- Revisar si no fugan los empaques del sistema de lubricación.
- 14.- Observar el estado del aceite o grasa lubricante.
- 15.- Verificación de holgura axial del rotor en motores grandes.
- 16.- Observar la conexión a tierra de la carcaza, en especial en motores montados en exteriores y torres de enfriamiento.
- 17.- Verificación del envejecimiento de las bobinas ( observar si hay aislamiento resquebrajado).
- 18.- Observar si no hay rastros de arrastre del rotor en estator o rozamiento del ventilador.
- 19.- Verificación de alineamiento y nivelación.
- 20.- Verificación de apriete de anclaje.
- 21.- Verificación de aislamiento de cables.
- 22.- Verificación de operación correcta de su interruptor.
- 23.- Revisión de contactos de interruptor.

#### 3.2 LUBRICACION.

El mantenimiento preventivo y los procedimientos de inducción rutinarios conservan y prolongan la vida de la maquinaria eléctrica.

Las máquinas de inducción requieren sólo lubricación periódica, mientras que algunas, equipadas con cojinetes autolubricados (de duración ilimitada), no requieren lubricación alguna. En la lubricación de la maquinaria eléctrica, el engrase excesivo esta perjudicial como la lubricación insuficiente. Las fugas de aceite en interior del estator pueden ocasionar defectos de aislamiento de los devanados estatóricos de c.a. La mayoría de los tipos de maquinaria eléctrica requiere un mínimo de mantenimiento limitado solo a lubricación reducida, pero muchos tipos de motores fraccionarios monofásicos de fase partida y de repulsión van equipados con interruptores centrífugos que pueden ser una fuente de problemas que perjudican al motor en extremo. Si el mecanismo del interruptor centrífugo se agarrota en la posición de marcha el motor no puede arrancar, si se agarrota en la posición de arranque el devanado de arranque se sobrecalienta y el motor no puede alcanzar la velocidad nominal.

Los contactos de los interruptores pueden pegarse u oxidarse o también estropearse. Dichos mecanismos deben reemplazarse en vez de repararse.

Debido a que el mantenimiento se reduce general y meramente a lubricación rutinaria, la inspección se convierte en un factor importante en la prolongación de la vida de la maquinaria y no debería descuidarse

Cuatro de los cinco sentidos son de extrema importancia aquí: vista, oído, olfato y tacto.

La inspección visual nos revelará un conjunto de averías, un motor ruidoso indica cojinetes desgastados, sobre cargas o funcionamiento en una sola fase. Un olor a quemado, característico de la combustión del aislamiento, es síntoma de sobre carga o de agarrotamiento. Un cojinete o devanado sobrecalentado se detecta por el tacto (la superficie estará tan caliente que no podrá ponerse la mano encima.)

Además, en la investigación de averías, si se identifican ciertos síntomas automáticamente se eliminan otros. Si se sobrecalienta y la temperatura aumenta mucho automáticamente elimina otras posibilidades tal como el fusible fundido o no poder arrancar.

### 3.3. SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO

**SISTEMA DE VENTILACION PARA MOTORES DE LARGA VIDA CERRADOS CON VENTILACION EXTERIOR:** Con un máximo de enfriamiento y un mínimo de ruido, son las características resultantes de la tensión especial a la selección de los ventiladores y al diseño del flujo de aire a través de la carcasa y tapas.

La ventilación externa se logra por medio del ventilador principal, que se encuentra en la parte delantera del motor, el aire frío es succionado a través de las rejillas de la cubierta por el ventilador e impulsado por él mismo y dirigido a lo largo del aleteado de la carcaza por la cubierta que también es de fierro fundido.

El calor generado en el núcleo del estator es conducido mediante las partes metálicas de la carcaza y disipado al medio ambiente. Así mismo, las superficies internas y externas de las tapas con aleteado robusto utilizan el flujo interno y externo del aire, para lograr una máxima capacidad de enfriamiento. El ventilador posterior (extremo de la flecha), se utiliza para hacer circular aire frío alrededor de la caja del rodamiento posterior, proporcionando una operación más fría, que la usual en los motores totalmente cerrados con ventilación exterior.

**VENTILACION MEJORADA DE MOTORES VERTICALES A PRUEBA DE GOTEQ:** Todos los motores de la nueva línea T, tienen un sistema de doble ventilación en el cual el aire de refresco entra por las ventanas de la base y también entre la tapa y la cubierta superior; el aire caliente es expulsado por la parte superior entre el anillo y la tapa, desviado por un deflector para evitar su recirculación en el motor. Este sistema de ventilación permite una disipación de pérdidas más uniforme, alargando así la vida del motor. Como consecuencia de las ventajas señaladas, los nuevos motores verticales en armazón compacta son más confiables, lo que resulta en una reducción de costos de mantenimiento; sin embargo, para asegurar una mayor vida útil y libre de problemas es recomendable seguir algunas instrucciones, por ejemplo, revisar el motor con el objeto de comprobar que no haya sufrido daño alguno durante su embarque y transporte.

**SISTEMA DE VENTILACION ABIERTO EN MOTORES A PRUEBA DE GOTEQ:** El sistema de ventilación está diseñado para tomar el aire del medio ambiente a través de las ventanas inferiores y laterales de las tapas, e introducirlo a las partes calientes del motor (núcleo y embobinados), aprovechándose al máximo la corriente de aire fresco.

Este sistema no crea turbulencias que obstaculicen su recorrido hacia las ventanas de escape en la carcaza.

### 3.4 EMBOBINADO

**EMBOBINADO DE ARMADURA DE C.A.:** El embobinado de armadura de una máquina de c.a., igual que para una máquina de c.d., es de la fuente de voltaje inducido y por esa razón, alguno de los aspectos más elementales de los embobinados de c.a. son tratados aquí.

Los embobinados de armadura están generalmente comprendidos de una o más vueltas, y están de tal manera interconectadas que sus efectos eléctricos y magnéticos son acumulativos. Las bobinas pueden tener paso completo o paso fraccional. Una bobina de paso completo se expande  $180^\circ$  medidos eléctricamente y una bobina de paso fraccional se expande menos de  $180^\circ$  pero pocas veces menos de  $120^\circ$ . Bobinas de paso completo y paso fraccional se muestran en las figuras 1 y 2.

La armadura de la figura No. 1 tiene tres ranuras por polo que corresponde a una armadura por fase y polo para un embobinado trifásico. Las tres bobinas que se muestran pertenecen a una fase que arbitrariamente se designa como la fase "a", de aquí la designación de las letras  $a_1, a_2, a_3$ . Estas tres bobinas pueden conectarse en la serie para formar un embobinado de circuito único, o pueden conectarse en paralelo con el resultado de un embobinado de tres circuitos. Una vista desarrollada de la conexión del circuito único se muestra en la figura No. 1 (b) y una vista lateral de los lados de la bobina en las ranuras se muestra en la figura No. 1 (c). Solamente los más sencillos de una gran variedad de embobinados de armadura usados en máquinas trifásicas son tratados aquí. Sin embargo los principios que enmarcan las características de estos embobinados simples son básicos con modificaciones menores también para los arreglos más complejos.

Un embobinado trifásico resulta de la suma de otros dos conjuntos de bobinas de armadura desplazados  $120^\circ$  y  $240^\circ$  medidos eléctricamente, de la primera fase para producir un sistema de tres voltajes iguales en magnitud y desplazados entre sí por  $120^\circ$ . Un embobinado trifásico de paso completo se muestra en la figura 3 a, b y c, en donde la fase "b" se desplaza de la fase "a" por dos ranuras en la dirección de la rotación con la fase "c" igualmente desplazada de la fase "b". Debido a que cada ranura corresponde a  $60^\circ$  medidos eléctricamente, los embobinados están desplazados de tal manera que los voltajes de la fase "b" y la fase "c" atrasados del voltaje de la fase "a" por  $120^\circ$  y  $240^\circ$  respectivamente, como se muestra en la figura 3 "d" el diagrama de fasores. Esta secuencia de fase (a, b, c) se llama secuencia de fases positiva. Una inversión en la dirección de la rotación resulta en una secuencia de fases negativa, (a, c, b) como se muestra en el diagrama de fasores en la figura No. 3 "e". El embobinado de la figura No. 3 tiene la mitad de tantas bobinas como lo hay de ranuras o un lado de bobina por ranura. El arreglo más común de dos lados de bobina por ranura se muestra en la figura No. 4, con solamente una fase mostrada en la figura No. 4 "a" y "b". Una vista lateral de las ranuras y de los lados de la bobina para las tres fases se muestra en la figura No. 4 "c". Una comparación de la figura No. 4 "a" con la figura No. 3, muestra que la primera tiene dos capas de lados de bobina en la ranuras y la última tiene una capa, por lo tanto, el término de --

embobinado de dos capas y una capa. Aunque los embobinados de una sola capa no son comunes, son algunas veces usados en motores de inducción de 10 hp o menores. La principal ventaja del embobinado de dos capas es el de la acomodación de bobinas de paso fraccional que tienen menores terminales o conexiones finales que las bobinas de paso completo y como resultado tienen menor resistencia sin una disminución proporcional del encañamiento de su flujo. El paso fraccional también sirve para mejorar la forma de onda de la fmm de la armadura. Tres bobinas con un paso fraccional de  $2/3$  se ilustran en la figura No. 5, y un embobinado de paso de  $5/6$  se muestra en la figura No. 6.

Los embobinados tratados aquí se llaman embobinados de ranura integral, ya que ocupan una estructura en el que el número de ranuras por polo es un integral. Un arreglo más común para máquinas de c.a. es el embobinado de ranura fraccional para el cual el número de ranuras por polo es una fracción. El análisis de los embobinados de ranura integral es más sencillo que el del embobinado de ranura fraccional y aún así sirve para mostrar los principios básicos relacionados con la fmm e inductancias de los embobinados de armadura. Los embobinados de paso fraccional tienen dos ventajas: (a) es posible el usar las mismas laminaciones del estator con el resultado de una menor inversión en dados, para estructuras de polos salientes con una variedad de números de polos y (b) la contribución hacia una buena forma de onda es equivalente a aquella de un embobinado de ranura integral con un gran número de ranuras por polo. Embobinados de ranuras fraccional son también usados hasta alguna extensión en motores de inducción.

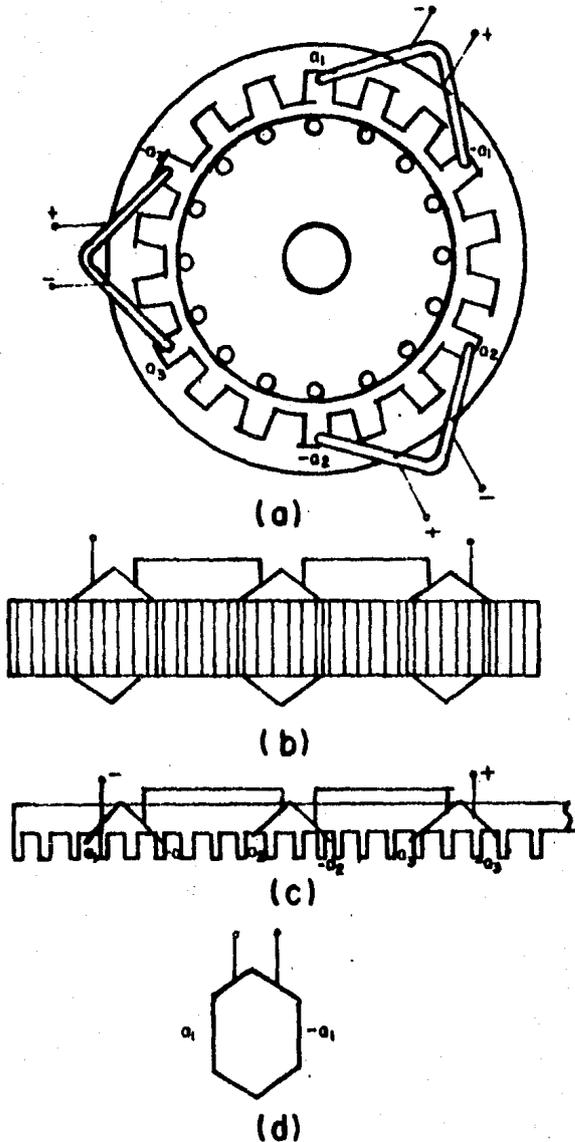
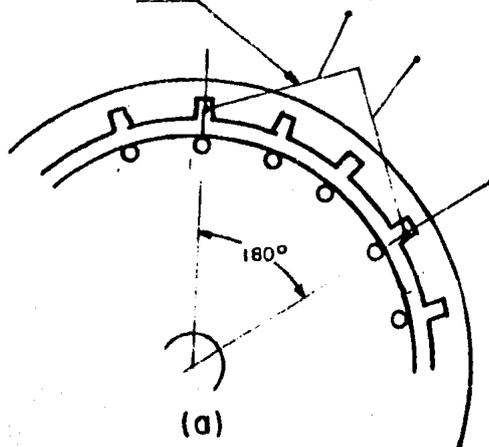


FIG. 3.1 (A). -ESTRUCTURA MAGNETICA SIMPLIFICADA DE UNA MAQUINA QUE MUESTRA TRES BOBINAS DE PASO COMPLETO PARA UNA SOLA FASE.  
 (B). -VISTA DESARROLLADA DE BOBINAS DE ARMADURA CONECTADAS EN SERIE.  
 (C). -VISTA LATERAL DE LAS PAQUETES Y CONEXIONES FINALES.  
 (D). -REPRESENTACION ESQUEMATICA DE UNA BOBINA DE ARMADURA.

Bobina de la armadura de paso completo.



Bobina de la armadura de 2/3 de paso

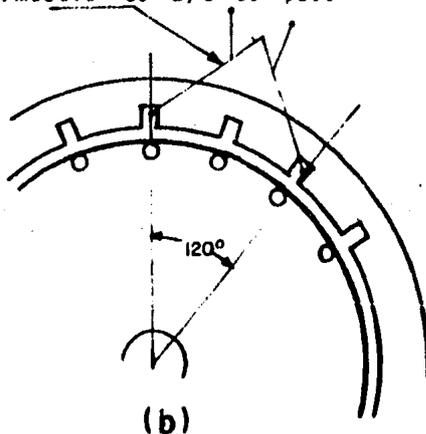


FIG. 3.2 bobinas y armadura en máquinas asincrónicas

(A) PASO COMPLETO.

(B) PASO FRACCIONAL DE 2/3.

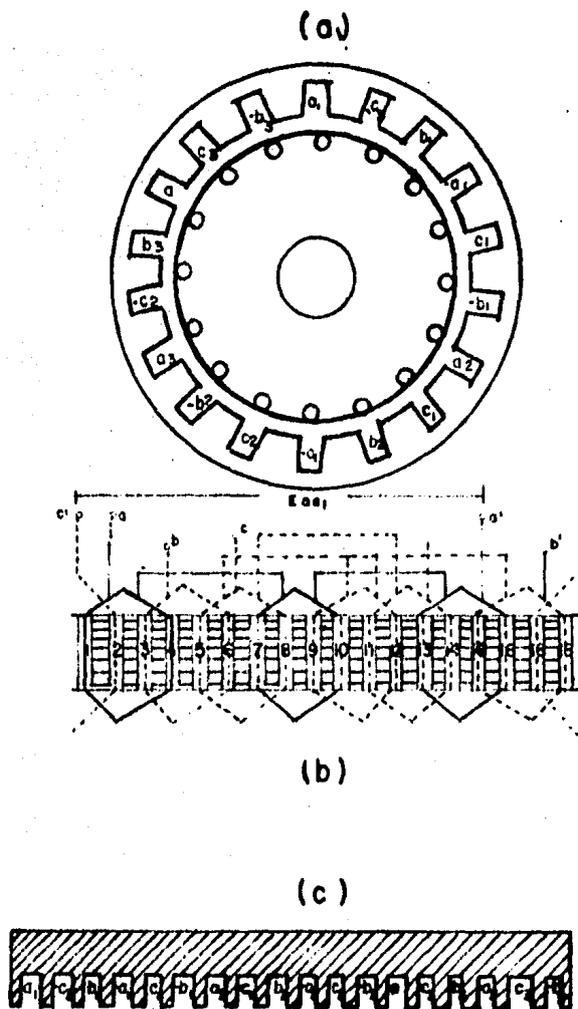


FIGURA No 3.3 Máquina trifásico, Asincrónico

(a) Colocación de los lados de la bobina con los ranuras del estator.

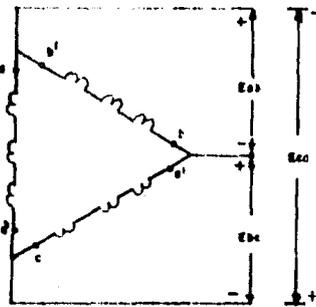
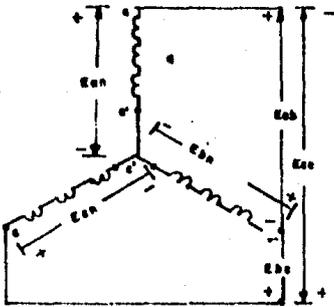
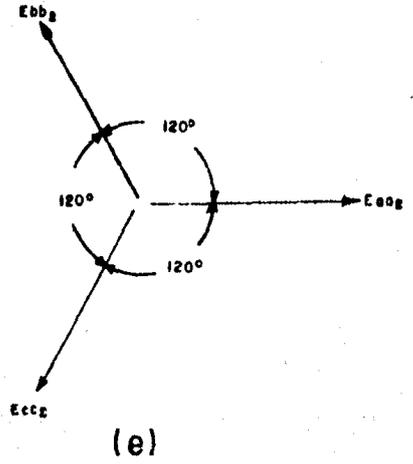
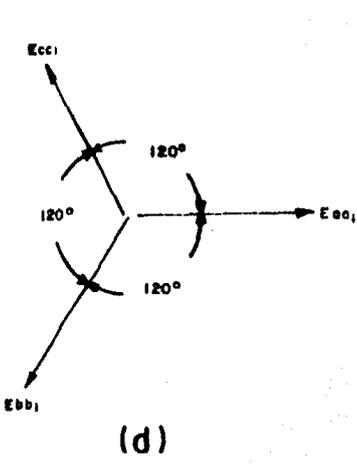
(b) Vista desarrollada del embobinado de la armadura.

(c) Vista lateral desarrollada de los ranuras.

(d) Fasores de voltaje de secuencia positiva.

(e) Fasores de voltaje de secuencia negativa.

(f) Conexiones Y y Δ



Conexión - Y.

Conexión - A

(f)

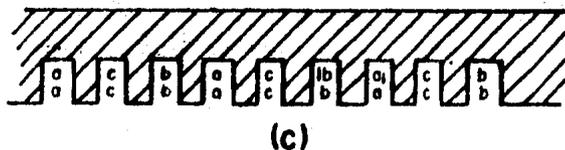
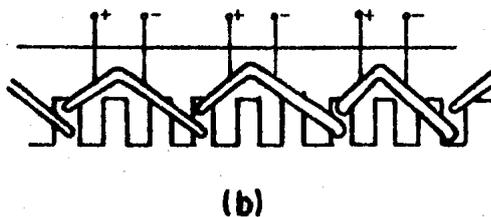
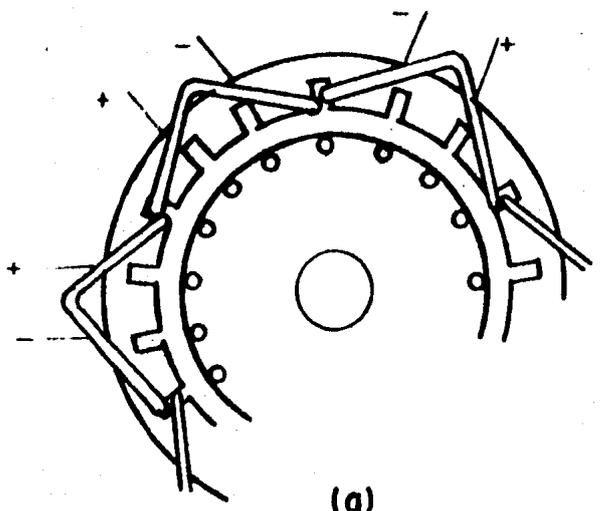
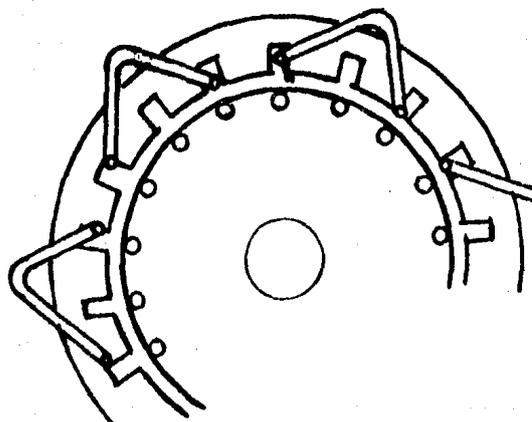
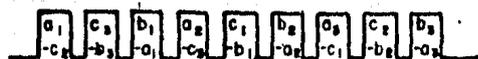


FIG. 3.4 (A).-REPRESENTACION PARCIAL DE UNA FASE DE BASC COMPLETO, DOS CAPAS, ENBOBINADO TRIFASICO.  
 (B).-VISTA DESARROLLADA.  
 (C).-ARREGLO DE LOS LADOS DE LA BORINA EN TODAS LAS TRES FASES.



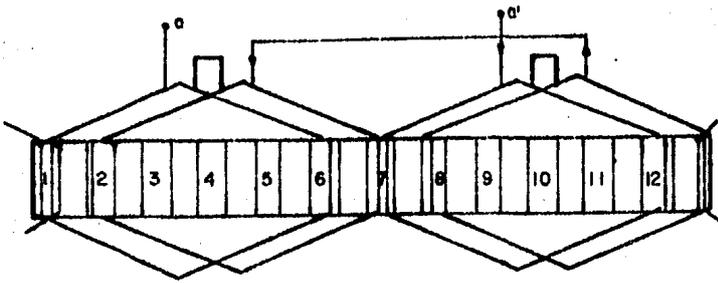
(a)



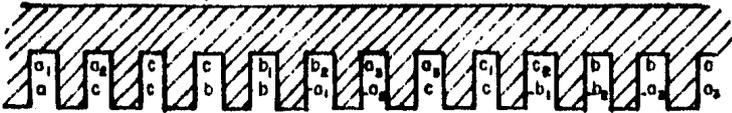
(b)

FIG. 3.5 (A) .-REPRESENTACION PARCIAL DE UNA FASE DE UN ENDOBINADO TRIFASICO DE PASO FRACCIONAL  $2/3$ .

(B) .-ARREGLO DE LOS LADOS DE LA BOBINA PARA TODAS LAS TRES FASES.



(a)



(b)

FIG. 3.6 (A).-- VISTA DESARROLLADA DE UNA FASE DE PASO FRACCIONAL 5/6, EMBOBINADO TRIFÁSICO  
 (B).-- VISTA LATERAL DE LOS LACOS DE LA BOBINA EN LAS RANURAS.

### 3.5.-ROTOR

Deberá establecerse un programa de mantenimiento para inspeccionar -- todas las partes en movimiento, la frecuencia para estas revisiones depende rá de las condiciones de trabajo. Al principio es recomendable efectuar inspecciones diarias a fin de determinar la frecuencia de revisión más adecuada.

Respecto al mantenimiento preventivo del rotor es necesario analizar ciertos puntos que nos pueden ayudar a evitar fallas, que con el tiempo disminuyan la capacidad productiva de la máquina.

Estos puntos son los siguientes:

- Checar que no aumente la resistencia de la jaula de ardilla, ya -- que esto provocará un deslizamiento del rotor, o sea que a plena -- carga bajará su velocidad.
- Observar que en la jaula de ardilla no existan harras rotas, por -- que esto puede producir un aumento de vibración.
- Detectar por medio de un fasómetro que no haya oscilaciones de corrientes con su respectivo ángulo de fase. Esto puede provocar que se tengan pulsaciones de par (altibajos en la velocidad del rotor).
- Asegurarse de que no existan partículas u objetos que puedan provocar obstrucciones, como son: polvo, cascajo, madera, etc.
- Inspeccionar que no haya desgastes o acumulación de polvos; limpiece periódicamente, para lo cual pueden utilizarse chorros de aire -- comprimido, o también cepillos de alambre, esto ayudará a reducir -- el desbalanceo.
- Para equipos que van a permanecer fuera de operación por períodos -- prolongados, se recomienda girar el rotor diariamente 1 1/3 de vuel -- ta ( 480°) a fin de evitar que la flecha sufra deformación.
- También es importante tener en cuenta que cuándo el motor se encuen -- tre fuera de servicio por períodos prolongados, checar que el rotor y los devanados de la carcaza estén secos, esto es debido a que la -- humedad puede producir oxidación y esta a su vez corroe el material.

## CAPITULO IV

### \* MANTENIMIENTO CORRECTIVO \*

#### 4.1 FALLAS POSIBLES MAS FRECUENTES.

**AVERIAS, SU LOCALIZACION Y REPARACION:** Cuando una máquina eléctrica no arranca, o presenta alguna anomalía durante su funcionamiento, puede ser debido a tres causas:

- Exteriores a la máquina tales como: red, fusibles, etc.
- Mecánicas, tales como: cojinetes, montaje, etc.
- Eléctricas, tales como: arrollamientos, conexiones, etc.

Aunque es posible reconocer a simple vista la causa que produce una avería, en la mayoría de los casos no es así; y como las máquinas defectuosas, por lo general llegan al taller de reparación sin indicación expresa del problema, resulta necesario ponerlas a prueba, determinar la anomalía, localizar su origen y ponerle remedio.

Examinaremos las averías que más frecuentemente se presentan en los motores asincrónicos de rotor jaula de ardilla.

Muchas veces, distintas averías tienen un mismo origen, de modo que conviene ordenar las causas para analizarlas una a una sin repetición. Por ello, numeraremos las causas exteriores (1,2,3,etc.), designando las causas mecánicas por letras minúsculas (a, b,c, etc.), y las causas eléctricas por letras mayúsculas (A,B,C, etc.), estudiándolas separadamente tras enunciar las que corresponden a cada una de la anomalías consideradas.

**AL CONECTAR EL MOTOR A LA RED, ESTE NO ARRANCA:** Los motores asincrónicos trifásicos deben arrancar al ser conectados adecuadamente a la red de alimentación, tanto si arrancan en vacío como si deben soportar desde un principio la carga nominal. Si el motor no arranca, hay que averiguar la causa, que será una de las siguientes:

- No hay tensión en la red de alimentación. (1)
- No funciona el interruptor de la red. (2)
- Uno o más fusibles están fundidos. (3)

- Interrupción en los cables que van a la caja de bornes. ( 4 )
- Insuficiente tensión en la red. ( 5 )
- Excesiva caída de tensión en los cables que van a la caja de bornes. ( 6 )
- Interrupción en el reóstato de arranque. ( 7 )
- Interrupción en el combinador estrella-triángulo. ( 8 )
- Cojinetes desgastados. ( a )
- Cojinetes agarrotados. ( b )
- Cuerpo extraño en el entrehierro. ( c )
- Sobrecarga excesiva. ( d )
- Interrupción en una o más fases. ( B )
- Bobina, o grupo, en cortocircuito. ( C )
- Barras del rotor flojas. ( D )
- Conexiones interiores equivocadas. ( E )
- Arrollamiento con un contacto a masa. ( F )

EL MOTOR ARRANCA CON DIFICULTAD, LA VELOCIDAD BAJA MUCHO CON LA CARGA:

- Insuficiente tensión de la red. ( 5 )
- Excesiva caída de tensión en los cables que van a la caja de bornes. ( 6 )
- Estator conectado en estrella, en vez de triángulo. ( G )

EL MOTOR ARRANCA DE GOLPE:

- Resistencia inicial del reóstato de arranque demasiado pequeña. - ( 9 )
- Interrupción, por contactos quemados, del reóstato de arranque. - ( 10 )
- Conexión equivocada del reóstato de arranque. ( 11 )
- Cortocircuito en el arrollamiento del rotor. ( C )

**EL MOTOR ZUMBA AL ARRANCAR**

**LA CORRIENTE DEL ESTATOR OSCILA DURANTE LA MARCHA DEL MOTOR:**

- Interrupción de alguna de las fases del motor. ( B )
- Cortocircuito en el arrollamiento del rotor. ( C )

**EL MOTOR ARRANCA BIEN, PERO MARCHA IRREGULARMENTE:**

- Interrupción en los cables que van a la caja de bornes. ( 4 )
- La frecuencia de la red no es la correspondiente al motor. ( 12 )
- Inadecuada tensión de la red de alimentación. ( 13 )
- Acoplamientos o polea de transmisión mal equilibrados o flojas.- -- ( 14 )
- Correa de transmisión estropeada. ( 16 )
- Cojinetes desgastados. ( a )
- Cuerpos extraños en el entrehierro. ( c )
- Defectuoso montaje de la máquina. ( e )
- Roce del rotor con el estator. ( f )
- Interrupción en alguna de las fases. ( B )
- Bobina, o grupo, en cortocircuito. ( C )
- Barras del rotor flojas. ( D )
- Arrollamiento con un contacto a masa. ( F )
- Inversión de alguna fase. ( E )
- Interrupción de alguna conexión en paralelo. ( H )

**EL MOTOR MARCHA MUY DESPACIO:**

- Tensión de alimentación demasiado débil. ( 5 )
- Excesiva caída de tensión en los cables que van a la caja de bornes. ( 6 )
- Interrupción en el restato de arranque. ( 7 )
- La frecuencia de la red no es la correspondiente al motor. ( 12 )

- Cojinetes desgastados. ( a )
- Sobrecarga excesiva. ( d )
- Interrupción de alguna de las fases. ( B )
- Bobina, o grupo, en cortocircuito. ( C )
- Barras del rotor flojas. ( D )
- Inversión de alguna bobina o grupo. ( E )
- Inversión de alguna fase. ( E )

EL MOTOR SE CALIENTE EN EXCESO: Conviene advertir aquí que toda máquina eléctrica en funcionamiento debe calentarse, de lo contrario no es económica. Se entiende que una máquina eléctrica se calienta en exceso cuando su temperatura interior alcanza la temperatura límite prevista para los aislamientos. Que una máquina quemé al tocarla, no significa necesariamente que su calentamiento sea excesivo, aunque el tacto puede servir de orientación, si se tiene práctica.

- Interrupción de alguno de los cables que van a la caja de bornes. - ( 4 )
- Inadecuada tensión de la red de alimentación. ( 13 )
- Excesiva tensión, o deslizamiento, de la correa de transmisión. (16 )
- Cojinetes desgastados. ( a )
- Sobrecarga excesiva. ( d )
- Cojinetes demasiado ajustados. ( g )
- Refrigeración parcialmente impedida. ( h )
- La refrigeración no funciona. ( i )
- Chapas mal apretadas. ( j )
- Interrupción en alguna de las fases. ( B )
- Bobina, o grupo, en cortocircuito. ( C )
- Barras del rotor flojas. ( D )
- Falsa conexión del arrollamiento del estator. ( G )
- Excesiva frecuencia de conexión y desconexión del motor a la red. - ( I )

**OTRAS ANOMALIAS:**

El motor zumba y se calienta enseguida. Huele a quemado:

- Cortocircuito en los arrollamientos. ( C )

El motor no arranca en estrella o lo hace con dificultad:

- Interrupción por contactos desgastados del combinador estrella - triángulo. ( 8 )
- Carga excesiva. ( d )

El motor no suministra potencia:

- Insuficiente tensión de la red de alimentación ( 5 )
- Excesiva caída de tensión en los cables que van a la caja de bornes. ( 6 )
- Cortocircuito en arrollamiento del rotor ( C )
- Barras del rotor flojas ( D )

El motor produce ruidos anormales:

- Roco del motor con el estator ( f )
- Falta de engrase, aceite usado o de baja calidad ( g )
- Mala elección de la relación de ranuras rotor/estator. ( J )

**LOCALIZACION Y CORRECCION DE LAS FALLAS DEL MOTOR:**

No hay tensión en la red de alimentación: Con el interruptor abierto, se comprueba si hay tensión entre las tres bases de la red, midiéndola con un voltímetro. Basta que falte tensión entre dos fases cualesquiera para que el motor no pueda arrancar, aunque no esté averiado.

No funciona el interruptor de la red: Puede que exista tensión entre las tres de las fases de la red, pero que por no funcionar el interruptor de salida, la tensión no llegue al motor. Estando dicho interruptor cerrado, se mide la tensión entre cada par de polos de salida del mismo. El motor no arrancará si falta tensión entre dos polos cualesquiera del interruptor.

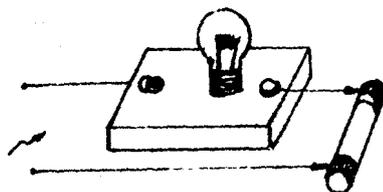
### UNO O MAS FUSIBLES ESTAN FUNDIDOS:

Para comprobarlo estando la red desconectada, se saca un fusible y se ensaya; basta intercalarlo en un circuito de baja tensión con una lámpara para: Si la lámpara se enciende, el fusible no está fundido. La operación se repite con los restantes fusibles.

Un único fusible fundido es suficiente para que el motor no pueda arrancar. Si el fusible se funde mientras el motor está en marcha, el motor trifásico girará como monofásico (produciendo ruido, calentándose y perdiendo potencia). Tal situación no debe permitirse por largo tiempo, ya que hay peligro de destruir el arrollamiento del estator.

Para averiguar si un motor trifásico está girando como monofásico, basta desconectarlo de la red, esperar hasta que cese de girar y conectarlo de nuevo: el motor no arrancará si hay interrupción de una fase.

Lámpara de Prueba



Comprobación del estado de los fusibles con la lámpara de P.

Interrupción en los cables que van a la caja de bornes:

Para comprobar si tiene lugar este defecto, se medirá la tensión en los propios bornes del motor; si llega tensión a las tres fases, no hay rotura de cables. Si no llega tensión a alguna fase y hay tensión en la red, funciona bien y está cerrado el interruptor y los fusibles están intactos, uno de los cables de conexión está interrumpido. Si la rotura de un cable tiene lugar durante la marcha del motor, hay que tomar las precauciones citadas en el párrafo anterior.

**INSUFICIENTE TENSION EN LA RED:**

Se comprueba comparando la medición efectuada con la tensión que consta en la placa de características del motor. Si la tensión es insuficiente y no cabe disponer de otra superior, hay que reembobinar el estator, intercalar un transformador, o utilizar otro motor.

La mínima tensión necesaria para el arranque de un motor trifásico está preescrita por normas que deben ser atendidas por el constructor.

**EXCESIVA CAIDA DE TENSION EN LOS CABLES QUE VAN A LA CAJA DE BORNES:**

Se mide la tensión y se compara con la tensión medida en la red. Si está última es apta para el motor y en cambio no lo es la tensión medida en bornes, es por que la caída de tensión en los cables es excesiva. Es necesario substituir los cables por otros de mayor diámetro.

**LA FRECUENCIA DE LA RED NO ES LA CORRESPONDIENTE AL MOTOR:**

Si es así, se comprobará por que el número de revoluciones previsto en la placa de características del motor no coincidirá con el número de RPM de régimen, aunque el motor no presente defecto aparente; girará más rápido si la frecuencia de la red es superior a la frecuencia nominal, y en caso contrario girará más lento.

Además de la diferencia en la velocidad, la capacidad de carga de la máquina no será la prevista, debido a que han variado las condiciones magnéticas.

**INADECUADA TENSION EN BORNES:**

Si la tensión en bornes es menor que un valor límite, el motor no arrancará, o lo hará con dificultad disminuyendo su velocidad al crecer la carga; además, el motor se calentará por absorber una corriente excesiva, lo que puede comprobarse por simple lectura de los amperímetros, comparando el valor medido con la intensidad nominal que figura en la placa de características.

Si la tensión en bornes es insuficiente, hay que verificar la tensión de la red, así como la caída de potencial en los cables que van a la caja de bornes.

Si la tensión es excesiva (esto puede ser originado por una excesiva tensión en la red), el motor se calentará inadmisiblemente, por que las pérdidas magnéticas son entonces muy grandes. La tensión en bornes nunca debe ser superior al 105% de la tensión nominal. Si no se puede modificar la tensión en bornes, no hay otra solución que reembobinar el motor.

#### ACOPLAMIENTO O POLEA DE TRANSMISION MAL EQUILIBRADOS:

No basta con equilibrar estática y dinámicamente los rotores de las máquinas eléctricas, sino que, además, es necesario que las piezas que giran solidarias al rotor estén bien equilibradas; de lo contrario ( sobre todo si la velocidad es grande ), aparecen esfuerzos radiales que pueden provocar una marcha irregular del motor.

Para evitar, o corregir, este defecto, se debe equilibrar simultáneamente el conjunto formado por el rotor y el acoplamiento, o por el rotor y la polea de transmisión.

#### ACOPLAMIENTO O POLEA DE TRANSMISION FLOJOS:

Evidentemente este descuido puede ser la causa de una marcha irregular del motor. El acoplamiento de dos ejes no solamente exige una perfecta alineación de los mismos, sino también una solidez de sujeción del sistema de acoplamiento. Asimismo la polea de transmisión debe estar firmemente en chavetada, sin huelgo sensible.

#### CORREA DE TRANSMISION ESTROPEADA O DEMASIADO TENSA O QUE DESLIZA:

Si la correa esta desgarrada, o su superficie presenta desigualdades ( garfios o ligaduras de unión ), puede ocasionar pérdida de potencia, vibraciones periódicas, etc.

Por otra parte la correa no debe abrazar un arco excesivo ni tampoco insuficiente, de las poleas motora y receptora. En el primero de los casos la correa quedaría demasiado tensa; en el segundo caso, deslizaría. En ambos casos la consecuencia es, como mínimo, un calentamiento excesivo del motor. Para ajustar la tensión de las correas, se desplaza el motor sobre unas guías.

#### COJINETES DESGASTADOS:

Si el desgaste de los cojinetes es sensible, el rotor rozará con el estator produciendo mucho ruido cuando el motor gire. Si el desgaste es -- exagerado, el rotor apoyará sobre el estator, quedando imposibilitado el arranque del motor.

En los motores de pequeño tamaño, puede comprobarse el estado de los cojinetes, sin necesidad de desmontarlos, tirando del eje del motor, si se logra mover el eje, los cojinetes estarán desgastados. En este caso hay -- que cambiarlos, no sin comprobar el daño que haya podido ocasionar el roce del rotor con el estator.

Cuando por las dimensiones de la máquina, no es posible llevar a cabo la sencilla comprobación antedicha, si el entrehierro del motor es -- ace-  
sible a través de los escudos, se intentará comprobar su espesor con gal-  
gas adecuadas; si el entrehierro no es constante en toda la periferia del rotor, los cojinetes deben ser sustituidos.

### COJINETES AGARROTADOS:

Debido a una dilatación provocada por sobrecalentamiento, los cojinetes pueden llegar a soldarse al eje del motor, agarrotándolo. Se suele decir, entonces, que los cojinetes están agarrotados.

Si el rotor no se puede hacer girar a mano, es muy probable que los cojinetes estén agarrotados. En este caso, se desmontan los escudos y se extraen los cojinetes del eje. Si el eje estuviere dañado, hay que metalizarlo y tornearlo, o simplemente tornearlo a un diámetro ligeramente inferior al original, utilizando nuevos cojinetes.

### CUERPO EXTRAÑO EN EL ENTREHIERRO:

Si en el entrehierro, esto es, en la estrecha zona de aire existente en el rotor y el estator, se han introducido cuerpos extraños (virutas metálicas, restos de conductores, barniz de impregnación, etc.), estos dificultarán el giro del motor y producirán ruido, o bien llegarán a impedir el giro de la máquina, si abultan mucho y son resistentes.

Hay que desmontar el rotor y eliminar toda suciedad y estorbos de la superficie del entrehierro.

### SOBRECARGA EXCESIVA:

Si la sobrecarga de un motor asincrónico sobrepasa cierto límite, la máquina no logra arrancar. Si al disminuir la carga el motor arranca bien y funciona normalmente, es que la sobrecarga era excesiva.

En las condiciones de arranque, o sea, a motor parado, la corriente que atraviesa los arrollamientos es muy elevada. Si el rotor no inicia el giro, no se debe mantener la conexión a la red; de lo contrario, se pueden destruir los bobinados.

Si el motor no arranca por exceso de sobrecarga, no queda otra solución que disminuir la carga, utilizar otro motor de mayor potencia o de par de arranque más elevado, o bien, si es factible, introducir modificaciones oportunas en el circuito del rotor, (por ejemplo, disminuir las resistencias del reóstato de arranque; o, en los motores de rotor de jaula de ardilla, torrear los anillos de cortocircuito para disminuir la sección de los mismos).

### DEFECTUOSO MONTAJE DE LA MÁQUINA:

Los defectos de montaje suelen ocasionar ruidos mecánicos y marcha irregular del motor. Los ruidos anormales de origen mecánico pueden distinguirse fácilmente de los motivados por anomalías eléctricas.

Para diferenciarlos basta, una vez que el motor ha alcanzado la velocidad de régimen, desconectar la máquina de la red; si el ruido anormal persiste, sólo puede tener una causa mecánica (entrehierro irregular, cuer

pos extraños en el entrehierro, polea de transmisión, etc. ).

Continuando con los defectos de montaje: Si, por ejemplo, los escudos se disponen mal encarados respecto de la carcasa de la máquina, y se asegura su defectuosa posición mediante tornillos bien apretados, el eje del rotor no coincidirá con el eje ideal del motor, ya que los cojinetes no estarán alineados.

Para corregir la mencionada deficiencia, se aflojan los tornillos que sujetan los escudos, y se endereza la posición de éstos, situándolos bien enfrentados respecto de la carcasa. Los tornillos, o pernos, de sujeción deben ir presionando uniformemente sobre los escudos; así, pues, primero se atomillan todos un poco, después se aprietan todos un poco más.

#### ROCE DEL ROTOR CON EL ESTATOR:

Ya hemos dicho (a) que unos cojinetes desgastados pueden ocasionar el roce del rotor con el estator. Lo mismo puede suceder si el eje del rotor está combado, sea por defecto de fabricación, sea por haber sufrido algún golpe.

La simetría del rotor puede ser comprobada fácilmente desmontándolo y situándolo entre las puntas de un torno. Al girar el torno, se apreciará la curvatura del eje. Si el defecto no es apreciable a simple vista, se aproxima una tiza al centro del paquete de chapas del rotor ( que gira en el torno ) hasta rozarlo. Si la tiza dibuja en el rotor una circunferencia completa, el eje está en orden; si hay flexión del eje, la tiza marcará solamente un arco, precisamente en la zona combada.

En algunos casos, cabe enderezar un eje ( no siempre un rotor ) montándolo sólidamente entre los puntos de un torno y aplicándole una presión, en la zona adecuada, palanqueando con una viga de madera.

La operación debe realizarse lenta y cuidadosamente. El torno debe -- ser grande en comparación con el eje, sin que haya posibilidad de estropearle las puntas.

#### COJINETES DEMASIADO AJUSTADOS:

En general, la temperatura de los cojinetes no debe rebasar en más de 40°C ( en las máquinas antiguas solamente 25°C ) la temperatura ambiente. -- La falta de engrase, o un aceite defectuoso ( sucio, de mala calidad, etc. ), puede ocasionar el sobrecalentamiento de los cojinetes, y de ello el apriete excesivo de los mismos, que atenazan el eje y, con el tiempo, se agarrotan (b) .

Unos cojinetes demasiado ajustados pueden reconocerse, tras un rato de funcionamiento del motor, por su elevada temperatura. Hay que vigilar el engrase. Si los cojinetes han comenzado a soldarse al eje, hay que sustituirlos y reparar el eje.

#### REFRIGERACION PARCIALMENTE IMPEDIDA:

Normalmente, los motores asincrónicos que no son de construcción completamente cerrada, llevan refrigeración por ventilador. Este está calado en el eje del rotor, y se encuentra situado dentro de la máquina, en el lado opuesto al de la polea de transmisión.

El ventilador aspira el aire del ambiente y lo impulsa a través de la máquina. El aire refrigerante, convenientemente dirigido por el interior del motor, absorbe el calor producido por las pérdidas y sale finalmente al exterior.

Si por alguna causa ( por ejemplo: obstrucción parcial del recorrido del aire ), la refrigeración del motor no es completa, la máquina se calentará en exceso.

Hay que desmontar el rotor, y comprobar que no existe impedimento alguno para la circulación franca del aire refrigerante.

#### LA REFRIGERACION NO FUNCIONA:

El ventilador, por la posición de sus paletas, puede que solamente aspire aire frío cuando gira en determinado sentido. Si se modifica el sentido de giro del motor ( por descuido o intencionalmente ), el ventilador podría ser que no impulsara aire frío a través de la máquina.

También puede suceder que la inclinación o el número de paletas del ventilador no sean los adecuados para la velocidad de giro y el volumen de refrigeración del motor.

En los dos casos citados, el resultado es una falta de refrigeración suficiente del motor y; en consecuencia, excesivo calentamiento del mismo. Para comprobar si el ventilador de un motor aspira aire frío ( e incluso tener una orientación sobre el caudal aspirado ), basta acercar, por unos instantes, una hoja de papel a las rejas del escudo que encierra el ventilador; si este aspira aire, la hoja de papel quedará retenida, con mayor o menor fuerza según el caudal de aire aspirado.

Si por algún motivo ( tensión, frecuencia, etc.) disminuye la velocidad prevista para el motor, la refrigeración será menos intensa; de modo que el verdadero origen de un calentamiento excesivo puede ser la baja velocidad de giro del motor.

Si el sentido de giro del ventilador es erróneo, y no se puede variar el sentido de giro del motor, es necesario invertir la posición del ventilador.

#### CHAPAS MAL APRETADAS:

Las chapas del paquete del estator, así como las del rotor deben estar fuertemente comprimidas ( con una prensa ); de lo contrario, varían las

condiciones magnéticas de la máquina, y el motor absorbe una intensidad de corriente excesiva.

Si este defecto concurre, la única solución formal es calcular de nuevo el motor, ya que como la longitud del paquete de chapas es un dato decisivo, no se puede tener la seguridad de que el motor funcione correctamente aunque se comprima el paquete de chapas y se rebobine.

#### 4.2.- CONSTRUCCION DE EMBOBINADOS\*\*\*

##### PROCESOS DEL BOBINADO DE MAQUINAS ELECTRICAS:

Existen diversos procedimientos para bobinar con hilos:

- Tomando el hilo del carrete que lo contiene, y devanándolo directamente en las ranuras del motor, ya sea en ranuras cerradas o semiabiertas.
- Preparando aparte las bobinas y grupos que, una vez devanados se insertan hilo a hilo por las aberturas de las ranuras semicerradas.
- Fabricando por completo ( incluso con aislamiento ) las bobinas fuera del motor y empotrándolas luego en las ranuras abiertas.
- Procedimientos totalmente automáticos.

##### Arrollamientos Insertados hilo a hilo.

Como se ha dicho, este procedimiento consiste en devanar aparte las bobinas y grupos del arrollamiento, tomando después cada bobina y, primero con uno de sus dos lados, pasando todos los conductores por la abertura de la ranura que corresponda.

El proceso completo del bobinado de una máquina eléctrica haciendo uso de este procedimiento, consta de varias etapas sucesivas:

- Devanado, aparte, de todas las bobinas y grupos de que consta el arrollamiento.
- Aislamiento de las ranuras de la máquina.
- Inserción de las bobinas y grupos, colocando simultáneamente los adecuados aislamientos correspondientes.
- Verificación de las conexiones pertinentes.
- Ligadura de las cabezas de bobinas.

Concluidas estas operaciones que constituyen el proceso en sí del bobinado, resta todavía:

- Ensayo eléctrico del aislamiento.
- Impregnación y secado.

Devanado de las bobinas y grupos.

Existen tablas que dan los valores de las tensiones admisibles para cada diámetro del conductor, durante el devanado de hilos de cobre esmaltado. Por encima de las tensiones límites que fijan dichas tablas, el hilo de cobre sufre esfuerzos demasiado violentos, que repercuten en roturas y en una disminución de la sección del hilo.

El operario bobinador debe recibir todos los datos necesarios para poder construir correctamente las bobinas y grupos. La orden llega al trabajador en un boletín de trabajo en el que constará:

- Número de bobinas simples, y número de grupos de bobinas del arrollamiento.
- Número de bobinas parciales de que consta cada grupo.
- Dimensiones geométricas de las bobinas.
- Número de espiras de cada bobina.
- Diámetros ( desnudo y aislado ) del hilo a utilizar.
- Clase de aislante de los hilos.

El número de bobinas y grupos, así como el número de bobinas de cada grupo, se habrán podido deducir del plan del arrollamiento, de allí se habrán anotado en el boletín de trabajo.

El número de espiras ( vueltas ) de cada bobina, así como el diámetro del conductor, y el aislamiento, vienen definidos por la oficina del cálculo si la máquina es nueva, o de la toma de datos si se tratase de una reparación.

En cuanto a las dimensiones de las bobinas, en el caso de reparaciones se tomarán iguales a las de las bobinas originales, cuyas medidas se habrán obtenido en la toma de datos. Si se tratase de un prototipo, y se tiene el estator ( o rotor ) donde haya de insertarse el arrollamiento, las dimensiones de las bobinas pueden ser deducidas de la que toma un alambre recio al ser dispuesto en las ranuras del motor como si fuera una bobina.

Por fuera de las ranuras ( fig. 1 ) deberán quedar, a cada lado, por lo menos 5 mm de lado de bobina; de lo contrario, pueden lastimarse los hilos contra el agudo canto del canal de las ranuras.

Si el arrollamiento constase de bobinas de paso variable y cabezas con céntricas, habrán de medirse - con el alambre recio - todas las bobinas dife

rentes de cada grupo, espaciándolas convenientemente entre sí, tal como se indica en la figura 2.

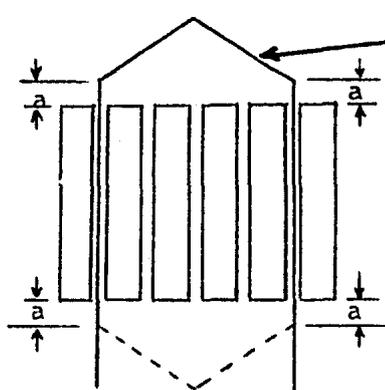


Fig. 1. La long. por fuera de las ranuras, a 5 cr..

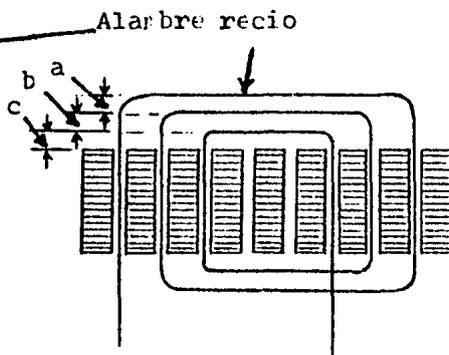


Fig. 2. Las bobinas concéntricas se espaciarán las dist. a, b y c. suficientes.

#### Operación del devanado de bobinas:

Conocidas las dimensiones, número de espiras, de bobinas por grupo, y escogido el hilo del diámetro y aislamiento adecuados, se puede proceder al devanado de las bobinas y grupos.

En esencia, la operación consiste en arrollar el hilo conductor alrededor de una plantilla o molde de dimensiones adecuadas, un número de veces igual al número de espiras de la bobina a fabricar; el trabajo se realiza en el torno de bobinar.

#### MAQUINAS PARA DEVANAR BOBINAS Y GRUPOS:

El bastidor sobre el cual se han dispuesto los moldes o guías de las bobinas, se ajusta sobre el plato de las máquinas de devanar. En estas condiciones, fijado el principio del hilo sobre el molde, se irán arrollando las espiras al girar el plato de la máquina devanadora.

Los tornos de devanar pueden ser manuales y en ellos el operario debe girar una manivela para ir arrollando el hilo sobre la plantilla, y simultáneamente debe tensar y girar el hilo, procurando que las haces de conductores se formen de fondo uniforme y ordenado. Un conductor de vueltas le indica el número de espiras arrolladas. Concluida una bobina se atan sus lados para evitar que pueda deshacerse, y se pasa a devanar la próxima, saltando el hilo a la siguiente guía de la plantilla, en el caso de que se trate de devanar un grupo de bobinas.

Entre el tipo más simple de máquinas de devanar, y el más complejo, -

existen diversos grados de automatización. Esta se ha desarrollado mucho - últimamente, debido a que cada vez se exigen tiempos más reducidos para la fabricación de bobinas. De las máquinas semiautomáticas para devanar bobinas se exige hoy:

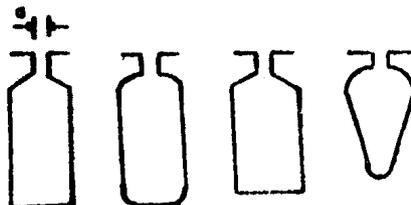
- Ajuste continuo de la velocidad, o por lo menos subdivisión de toda la gama de velocidades en escalones tan próximos como sea posible para acomodar la velocidad del devanado al tamaño de la bobina y al diámetro del hilo.
- Arranque muy suave, para evitar la rotura del hilo, o que se produzca un excesivo alargamiento del mismo.
- Cuenta espiras incorporado, para saber el número de vueltas que se llevan devanadas, provisto de disparo automático, que detenga automáticamente al instante de llegar al número de espiras previamente seleccionado, bloqueándola hasta que el cuentaespiras se haya puesto a cero.
- Paro instantáneo por freno eléctrico, accionado por un pulsador o bien por el contador automático.
- Sistema conductor de hilos, para poder arrollar en la plantilla -- uno o más hilos, simultáneamente ( por ejemplo para arrollar o devanar hilos en paralelo ).

Mención aparte merecen las recientes máquinas de bobinar estatores, - surgidas de la creciente necesidad de reducir al máximo los tiempos de bobinado. Su empleo solamente resulta rentable cuando se trata de fabricaciones de grandes series.

#### AISLAMIENTO DE LAS RANURAS DE LA MAQUINA:

Para recibir los conductores, las ranuras deben estar provistas de un aislamiento cuya clase depende de las condiciones térmicas de la máquina eléctrica.

Tratándose de arrollamientos insertados hilo a hilo, las ranuras son siempre semicerradas, aunque su forma puede ser muy variable, como lo muestra la siguiente figura:



DIVERSAS FORMAS DE RANURAS SEMICERRADAS USUALES

Es evidente que la primera condición que deben cumplir estas ranuras es que su abertura (a) sea suficiente para que el hilo esmaltado pueda entrar por ella cómodamente, sin peligro de perjudicar el esmalte del hilo. Si la abertura de la ranura es tan estrecha que no permite pasar el hilo calculado para la máquina siempre es posible salvar la dificultad empleando hilos en paralelo.

Una interesante comprobación para el bobinador consiste en cortar -- del hilo que hay que arrollar, un número de conductores rectilíneos igual al que llevará cada ranura, e insertarlos (frontalmente) en una de ellas, antes de que se haya puesto su aislamiento. Los hilos deberán poder entrar en la ranura sin dificultad, ya que todavía resta por colocar el aislamiento de la ranura.

Antes de disponer los aislantes de ranura, se suelen limar un tanto las aristas y las esquinas de todas las ranuras, a fin de preservar al hilo esmaltado de posibles roces peligrosos. El inconveniente de esta operación es que con ella se pueden aumentar las pérdidas ( en el hierro ) de la máquina en funcionamiento ( por corrientes parásitas ), por lo cual no habrá de extremarse nunca el limado. Una vez limados todos los cantos agudos de las ranuras se limpian bien éstas, alejando de ellas todo polvo o esquirla de chapa; después, se puede proceder a colocar el aislamiento de las ranuras.

En general, el aislamiento para ranuras está constituido por materiales compuestos laminares que se almacenan en el taller en forma de rollos o grandes láminas. De estas láminas o rollos se recortan los cajinetes de las ranuras, a las medidas convenientes con una cizalla.

Las dimensiones correctas de los cajetines se deducen de las correspondientes de las ranuras y del ancho del paquete de chapas, lo que puede hacerse cómodamente con un patrón de papel recio o cartulina. Cada cajetín puede sobresalir del paquete de chapas, por cada lado, no menos de 3 mm.

En los arrollamientos a una capa ( o sea, con un sólo lado de bobina por ranura ), una vez dispuestos los cajetines en todas las ranuras, se insertan ordenadamente todas las bobinas y grupos, de acuerdo con el plan -- del arrollamiento. Concluida esta operación se dispone otro cajetín ( de lados más cortos ) de tal modo que cierre la ranura y abraza los conductores; por último, una cuña aislante asegura la inmovilidad de los conductores.

No debe menospreciarse la importancia del aislamiento de las ranuras ya que de su eficacia depende en gran parte el correcto funcionamiento y larga duración de la máquina.

#### FACTOR DE APROVECHAMIENTO DE LA RANURA:

Está comprobado por la práctica que se aprovecha mejor una ranura -- esto es, cabe más cobre -- si se rellena con hilos de pequeño diámetro que si se insertan hilos de diámetros grandes. Esto es razonable, pues los --

hilos de gran diámetro dejan entre sí espacios inútiles.

Sucede así mismo que ciertas formas de ranuras admiten mayor número de conductores que otras, aunque tengan las mismas superficies. También se puede comprender, porque los hilos pueden acomodarse mejor a unas formas de ranuras que a otras. Se puede definir el factor de aprovechamiento de la ranura, por el cociente de la sección total de los conductores de la ranura (incluido el aislamiento de los hilos), y la sección de la ranura, valor que se expresa en tanto por ciento:

$$\text{Factor aprov. ranura} = \frac{\text{sec. total cond. ( con aislamiento )}}{\text{Sección de la ranura}} \cdot 100 \%$$

ejemplo:

Sea una ranura cuya sección es de  $300 \text{ mm}^2$ , que alberga 40 conductores cuyo diámetro, con el aislante, es de 2 mm.

La sección total de los conductores, contando el aislante, será igual al número de conductores multiplicado por la sección de un conductor aislado. La sección correspondiente a un diámetro de 2 mm es  $3.142 \text{ mm}^2$ , de modo que la sección total será:

$$\text{Sección total cond. ( con aislamiento )} = 40 \times 3.142 = 125.680.$$

Así, el factor de aprovechamiento de la ranura es :

$$\text{Factor aprov. ranura} = 125.680 \times 100/300 = 41.9 \%$$

#### INSERCIÓN DE LAS BOBINAS Y GRUPOS:

Las bobinas y grupos, una vez devanados, se almacenan convenientemente ( siempre que el correspondiente número clave del boletín de trabajo ) hasta que llegue el turno de insertarlos en la máquina.

Antes de comenzar esta operación, es necesario eliminar el esmalte de los extremos de cada bobina y de cada grupo para que concluido de insertar - el arrollamiento - puede procederse a ejecutar las conexiones entre bobinas y grupos.

Para pelar los principios y finales de bobinas y grupos, existen máquinas sencillas que, en esencia, consisten en dos ruedas de cepillar que aran el esmalte de los terminales al introducir estos entre las ruedas.

El único cuidado que requiere la operación es el de sujetar bien las bobinas, para que no sean arrastradas por los cepillos giratorios, de modo que solamente se pele la longitud necesaria ( unos dos cm. ).

Naturalmente, los terminales de las bobinas y grupos deberán ser suficientemente largos para que los extremos pelados queden siempre por fuera de

las ranuras.

El cordel, alambre o cinta adhesiva que sujeta cada lado de bobina - para que no se deshaga, debe cortarse ( con cuidado de no dañar los conduc- tores ) o despegarse en el momento mismo de comenzar a insertar los hilos del lado de bobina en cuestión. Si lo que se han sujetado son las cabezas- de bobinas, entonces no es necesario deshacer esta sujeción.

La inserción del manajo de conductores que forman cada lado de bobina, puede facilitarse mediante la disposición de un calzador en las ranuras. Dicho calzador, de papel ( presspan ) satinado, impedirá el roce de - los hilos esmaltados con las aristas y cantos agudos de las ranuras ( que en este no será necesario limar ), mientras que la superficie satinada hará que los conductores resbalen y penetren fácilmente en la ranura. Si, además, durante el proceso del devanado de las bobinas, se han mojado los conductores con aceite de parafina, todavía resultará más cómoda su introducción en la ranura con ayuda del calzador. Este puede quedar en la máquina como un aislante adicional, en cuyo caso se cortarán los extremos sobrantes y se plegarán hacia dentro los finales; o bien, si no hay suficiente - espacio en la ranura, se extraerá el calzador por el frente de la máquina.

Dentro de cada ranura, los conductores de cada lado de bobina deben quedar paralelos unos a otros, sin entrecruzarse. En los casos en los que las ranuras están muy llenas, puede facilitarse la inserción de los conductores que resten de introducir, mediante la ayuda de asentadores, cuidando de no pellizcar con ellos los hilos que ya contiene la ranura. En los arrollamientos a dos capas ( y en los mixtos ), no se pueden insertar los hilos de la capa superior hasta que no lo están las correspondientes de la - capa inferior, y se ha dispuesto el aislante intermedio.

Las cabezas de bobinas se irán acomodando a las limitaciones del espacio disponible, así como a la forma prevista para el arrollamiento. Si es necesario el uso de martillos ( de maso de plástico o goma dura ), se golpearán las cabezas de bobinas a través de piezas intermedias adecuadas (cuñas de madera o de fibra), y no directamente sobre los hilos.

En los arrollamientos de hilos esmaltados no se presentarán problemas de disposición de las cabezas de bobinas, salvo que por error de proyecto ( cálculo ) no exista espacio suficiente para las mismas.

#### AISLAMIENTO ENTRE FASES :

Durante el proceso de inserción del arrollamiento en la máquina, antes de llevar las cabezas de bobinas a su posición definitiva, se van disponiendo los aislamientos que separarán entre sí los grupos de bobinas correspondientes a las diferentes fases.

El material de aislamiento entre fases depende de la clase de aislamiento de la máquina. Se utilizan, en general compuestos laminares ( fo- - lios u hojas) a los que se les da la forma conveniente ya sea cortándolos con troqueles, como en la fabricación en serie o bien con tijeras o ciza-

llas.

Si el arrollamiento se ejecuta en varios planos, y se insertan primero todas las bobinas de una misma fase, se deberán disponer después los aislamientos que separarán las bobinas de esta fase de las de la segunda fase, y colocadas las bobinas de la segunda fase, se dispondrán los aislamientos que separarán la tercera fase de la segunda.

Cuando las bobinas se yuxtaponen, en cada cruzamiento de bobinas será necesario intercalar aislantes.

#### VERIFICACION DE LAS CONEXIONES PERTINENTES:

Cuando se realicen conexiones, éstas deberán ser limpias y consistentes. Un método aseado que deja la conexión bien aislada es el siguiente:

- 1o. Se pelan los terminales en una longitud de unos 2 cm. c/u.
- 2o. Se pasa un tubo barnizado, de unos 6 cm. por cada uno de los terminales.
- 3o. Sobre uno de los tubos colocados, se pasa otro tubo análogo de diámetro algo mayor, y de una longitud de unos 5 cm.
- 4o. Se retuercen los terminales y se soldan bien.
- 5o. Se desliza el tubo de mayor diámetro sobre los otros dos tubos, hasta cubrir por completo la conexión.

Las conexiones que es necesario realizar resultan más fáciles de determinar con exactitud si se dispone de un plan a seguir.

#### LIGADURA DE LAS CABEZAS DE BOBINAS:

Una vez realizadas las conexiones y colocados los aislamientos flexibles de los terminales, se procede a sujetar las cabezas de bobinas. Esta operación tiene como fines esenciales:

Impedir que los esfuerzos mecánicos que se presentarán en las cabezas de bobinas al circular corriente, pueden ocasionar daños al arrollamiento; sujetar las conexiones realizadas entre grupos, y los tubos flexibles que salen a la placa de bornes, o que quedarán dentro ( punto neutro ); dar consistencia y forma al conjunto de cabezas de bobinas de todo el arrollamiento.

El vendaje de las cabezas de bobinas se realiza solamente en casos de excepción; dicho vendaje puede dificultar la buena impregnación del arrollamiento.

### Resumen de averías y de las medidas a tomar para su eliminación

Causa	La tensión de la red y la frecuencia con sus respectivas variaciones en la misma proporción	Frecuencia de maniobra de maniobra elevadas	Falta de conexión triángulo de foggy de conexión entre las Comas controla en lugar de conexión triángulo	Falta de ajuste del interruptor en triángulo	Sobrecorri- go.	Interrup- ción en un punto de empalme o en el devanado	Corta circuito entre bobinas o al devanado del bobinado	Corta circuito en el devanado o en el cableado a tierra	El motor o el ventilador resaca	Ajuste o medición errónea de la protección térmica de sobrecarga	Vicio del cable de la protección térmica de sobrecarga	Desconexión de la carga durante la carga
Averías eléctricas												
El motor no marcha en vacío o la hace con dificultad				■		△	□		○			◆ ●
El motor no marcha con carga o la hace con una velocidad de rotación reducida				■	◆	△	□	▼	○			◆ ●
Velocidad de rotación de -manada reducida, fuerte calentamiento	◆				◆			▼	○			
Fuerte calentamiento del devanado del estator o del paquete de bobinas		▲	■	■	◆	△	□	▼		⊕		◆ ●
Diferencia marcada de corriente en los conductores de empalme						△	□	▼				
No hay corriente en uno de los conductores de un palmeo						△						
Al poner en marcha la protección térmica contra sobrecargas.		▲		■		△		▼		+		
Durante la carga disminuye la velocidad de rotación del motor, cuando el devanado.			■	■	◆	△	□	▼				◆ ●
El motor zumba						△	□	▼				
La protección térmica contra sobrecargas se dispara durante el servicio	◆	▲	■	■	◆	△		▼		+	⊕	
Cajineta demasiado caliente	◆	▲	■		◆							

- Emplear conductores de la red de mayor sección
- ▲ Prolongar el tiempo de retroalimentación y reducir la frecuencia de maniobra.
- Realizar la conexión
- △ Localizar la interrupción y eliminarla
- Localizar el cortocircuito entre bobinas y eliminarlo o devanar de nuevo
- Desconectar las averías mecánicas y repararlas
- ⊕ Comprobar el estado de los contactos entre los sitios, con tierra o con masa y eliminarlos
- ▲ Ajustar correctamente la protección térmica contra sobrecargas
- Comprobar los soportes y cambiarlos si fuese preciso
- Cambiar los ejes
- Mejorar el fundamento
- ⊕ Quitar la grasa sobrante
- ⊕ Limpiar el motor
- ◆ Reducir la carga

#### 4.3.- REBOBINADO DE UN MOTOR TRIFASICO\*\*\*

El rebobinado de un motor trifásico comprende varias operaciones independientes, que son:

- 1.- Toma de datos.
- 2.- Extracción de arrollamiento antiguo.
- 3.- Aislamiento de las ranuras estatóricas.
- 4.- Confección de las bobinas.
- 5.- Colocación de las bobinas en las ranuras.
- 6.- Conexión de las bobinas entre sí.
- 7.- Verificación eléctrica del nuevo arrollamiento.
- 8.- Secado e impregnación.

##### TOMA DE DATOS:

Los datos que deben anotarse son los siguientes:

- 1.- Los que figuran en la placa de características del motor.
- 2.- El número de ranuras estatóricas.
- 3.- El número de bobinas.
- 4.- La clase de conexión entre bobinas.
- 5.- El número de espiras de cada bobina.
- 6.- La forma y las dimensiones de cada bobina.
- 7.- El paso de bobina.
- 8.- La clase de aislamiento empleado en las ranuras.
- 9.- La sección del conductor y el espesor de su aislamiento.

Estos datos deben ser lo más completos y claros posible, al objeto de que pueda procederse al rebobinado del motor sin pérdida de tiempo. El mejor procedimiento es reunirlos en una hoja de datos como la que se expone a continuación.

MODELO DE HOJA DE DATOS PARA MOTORES POLIFASICOS:

FIRMA CONSTRUCTORA.-

Potencia (CV)	Vel. ( r.p.m. )	Tensión ( V )	Corriente ( A )
Frecuencia	Tipo	Cifra clave	Factor sobrecarga
Temp. adm.	Modelo	Número serie	Fases
Número de bobinas		Número de ranuras	Conexión
Diámetro conductor		Espiras/bobina	Número grupos
Bobinas/grupo		Número polos	Fase bobinas

EXTRACCION DEL ARROLLAMIENTO ANTIGUO:

En el transcurso de esta operación pueden tomarse los datos restantes necesarios para el rebobinado. Antes de extraer el arrollamiento estático de las ranuras es preciso determinar y anotar de qué modo están unidos entre sí los diversos polos o las diversas ramas de arrollamiento, y cuál es la clase de conexión entre fases. Los motores trifásicos están normalmente previstos para trabajar a una o dos tensiones de servicio y para girar a dos, tres o cuatro velocidades de régimen, lo cual exige una gran variedad de conexiones ( en triángulo, en estrella, en serie, en paralelo y todas -- las combinaciones posibles entre éstas ). La fácil identificación de tales conexiones requiere un conocimiento previo de los tipos más usuales de arrollamiento trifásico y de las diferentes conexiones básicas que los caracterizan.

Los motores trifásicos de gran tamaño tienen las ranuras estáticas abiertas. Para extraer el arrollamiento de los mismos basta simplemente quitar las cuñas que cierran las ranuras e ir sacando las bobinas una tras otra.

En motores de pequeño y mediano tamaño las ranuras estáticas son, -- semicerradas lo cual puede suponer una mayor dificultad para la extracción de las bobinas. Puesto que los arrollamientos han sido sometidos normalmente a un proceso de secado para conferirles rigidez, y algunos han sido además " encapsulados " ( cubiertos con un barniz a base de resina " epoxy " -- como protección adicional ) casi siempre es necesario carbonizar previamente el aislamiento que llevan. Esto se efectúa introduciendo al estator en -- una estufa adecuada y ajustando convenientemente la temperatura de la misma. En muchos talleres se cortan todas las bobinas por un lado del estator y -- luego se extraen por el otro tirando de ellas, tras haber carbonizado el --

aislamiento. Se conservará intacta una de las bobinas extraídas, a fin de que su forma y dimensiones sirvan de modelo para la ejecución de las nuevas.

Durante la extracción del arrollamiento se procederá a anotar el paso de las bobinas, el número de espiras de cada bobina, el tamaño de las bobinas y el calibre de la clase de aislamiento del conductor empleado.

Antes de sacar las bobinas de las ranuras es también muy importante medir y anotar la distancia que las cabezas de bobina sobresalen por ambos lados del estator. Al confeccionar las bobinas nuevas se tendrá buen cuidado de evitar que dicha distancia sea rebasada.

#### AISLAMIENTO DE LAS RANURAS ESTATORICAS:

El aislamiento original será reemplazado por otro de igual calidad y espesor. Es muy usual el empleo de aislamiento con los bordes doblados para motores de tamaño pequeño o mediano; el material elegido varía para cada clase particular de motor. Otras veces se prefiere utilizar aislamiento liso y aplicar tiras dobladas en sus bordes. El aislamiento con bordes doblados se expende en rodillos de anchuras normalizadas. Se corta al tamaño conveniente con auxilio de una cizalla y luego se le da la forma necesaria para que encaje bien en los lados de las ranuras. Muchos talleres emplean con este objeto un pequeño dispositivo llamado molde u horma del aislamiento.

#### CONFECCION DE BOBINAS:

Las bobinas utilizadas en motores de cierto tamaño tienen forma hexagonal, sin embargo, en motores más pequeños es corriente encontrar bobinas inicialmente rectangulares. Dos de cuyos lados han sido doblados ligeramente. Sea cual fuere su forma inicial, digamos ya que las bobinas de los motores polifásicos se confeccionan siempre con auxilio de hormas ( llamadas también gálibos, plantillas o moldes ), y sólo una vez construidas se alojan en las ranuras correspondientes, para motores con potencias hasta unos 75 CV se emplean bobinas tipo madejas, es decir, bobinas en las cuales las espiras arrolladas quedan dispuestas más bien al azar que no en capas.

Los motores trifásicos de gran tamaño suelen llevar ranuras abiertas, por cuyo motivo las bobinas acostumbra encintarse completamente. La cinta normalmente empleada a este respecto es la de algodón, si bien resulta preferible el uso de batista barnizada o de cinta de fibra de vidrio. Utilícese siempre un tipo de cinta compatible con la clase de aislamiento que lleva el motor.

Las bobinas destinadas a motores de tamaño mediano no pueden dejarse completamente encintadas, ya que por estar dichos motores provistos generalmente de ranuras semicerradas, es corriente tener que introducir las espiras de cada bobina una por una en su respectiva ranura. En tal caso solo se encintan las cabezas de bobina, es decir, las partes de bobina que sobresalen a ambos lados del núcleo. Muchos talleres ni siquiera encintan las bobinas, sino que se limitan a sujetarlas por las cabezas posteriores y los ter

minales con auxilio de un cordel o de una tira de papel adhesivo, para evitar que se deshagan.

Las bobinas pueden ejecutarse individualmente ( una sólo vez ), o -- bién por grupos ( varias cada vez ). La mayoría de los motores polifásicos, exceptuando tan solo los de gran tamaño y los que tienen ranuras abiertas, -- llevan bobinas devanadas por grupos. El número de bobinas de que consta cada grupo depende del número de ranuras estatóricas y del número de polos -- del motor. Con el devanado por grupos se ejecutan varias bobinas consecutivamente, es decir, sin cortar el conductor. Esto supone un ahorro de tiempo ya que evita la necesidad de conectar luego los terminales de las bobinas -- entre sí.

La ejecución de bobinas destinadas a estatores con ranuras abiertas -- exige el uso de moldes especiales. Al objeto de que los lados de bobinas -- adapten perfectamente a la forma de las ranuras deben ser de sección cuadra da o rectangular. Una vez conformadas convenientemente, dichas bobinas se -- encintan por completo, sea a mano, sea con auxilio de una máquina de encintar.

Para encintar una bobina puede procederse como se indica a continua-- ción. Se empieza el encintado por un punto próximo a uno de los terminales, y se va prosiguiendo a lo largo de toda la bobina hasta alcanzar el otro -- terminal. Hay que asegurarse de que cada vuelta de cinta quede parcialmente superpuesta sobre la vuelta anterior, aproximadamente a la mitad del ancho de la cinta. Se encinta entonces el segundo terminal en una longitud de dos a tres cm. sobre su manguito, y se continua con la bobina hasta alcanzar el primer terminal, que se encintará de forma idéntica al segundo. Se proseguirá la operación con el resto de la bobina, hasta llegar al punto de partida y se asegura bién el extremo con cinta adhesiva.

Las bobinas previstas para alojar en ranuras semicerradas se encintan de forma similar, pero solamente por ambas cabezas; las partes de cada bobina que deben quedar insertadas en las ranuras se dejan libres. Estas bobinas también pueden encintarse a mano o bién mediante máquinas adecuadas.

#### COLOCACION DE LAS BOBINAS EN LAS RANURAS:

En ranuras semicerradas es preciso introducir las espiras de cada bobina una por una. Una vez alojada ésta en las ranuras correspondientes suelen encintarse las dos cabezas de la misma, si bién la mayoría de los talleres prescindien de esta última operación.

Se separa un poco el haz de espiras de uno de los lados de la bobina, y se mantiene esta inclinada el ángulo conveniente para que todas las espiras puedan penetrar en la ranura. Es preciso asegurarse de que todas ellas quedan alojadas en el interior del aislamiento de la ranura, pues si por -- descuido cae alguna entre éste y el núcleo estatórico, puede originarse un contacto a masa. Seguidamente se empuja dicho lado de bobina hacia el fondo de la ranura, hasta que todas sus espiras hayan quedado dispuestas en él. -- El otro lado de la bobina se deja fuera, cada lado de bobina ocupa solamen-

te la mitad de una ranura.

A continuación se aloja un lado de la segunda bobina en la ranura -- contigua a la primera ya ocupada, y se procede de igual manera con las bobinas sucesivas, hasta que todas las ranuras abarcadas por un paso completo de bobina contengan un lado de cada bobina en su mitad inferior. El segundo lado de cada bobina se deja fuera hasta que el fondo de la ranura -- que le corresponde ha sido ocupado por el primer lado de otra bobina, a -- partir de cuyo momento puede alojarse ya en la parte superior de dicha ranura. En la práctica, sin embargo, no suele llevarse a cabo esta última -- operación hasta que el devanado estatórico se halla casi concluido.

Cuándo las bobinas se confeccionan por grupos, el operario ejecuta -- siempre cada vez un grupo completo, el cuál se dispone en las ranuras del modo explicado anteriormente. Se procurará que los lados de bobina sobresalgan suficientemente por ambos extremos de las ranuras, a fin de evitar que los codos puedan presionar contra los bordes de éstas.

Puesto que los dos lados de bobina alojados en una misma ranura suelen pertenecer a una fase distinta, es preciso aislarlos convenientemente entre sí. Antes de alojar el lado superior de la bobina en cada ranura se inserta sobre el inferior una tira doblada de material aislante, de espesor comprendido entre 0.25 y 0.4 mm., cortada de modo que se adapte al ancho de la ranura y que sobresalga unos 12 mm. por ambos extremos de ésta. Una vez introducido el lado superior de bobina, se cierra la ranura con -- una cuña de madera o de fibra prensada, al objeto de inmobilizar el devanado. La cuña, de sección rectangular o redonda, debe sobresalir unos 3 mm. -- por ambos extremos de la ranura.

#### CONEXIONES FUNDAMENTALES DE LOS MOTORES TRIFASICOS:

FASES.- Casi todos los motores trifásicos están provistos de un arrollamiento estatórico de doble capa, es decir, con igual número de bobinas que de ranuras. Las bobinas van conectadas formando tres arrollamientos independientes llamados fases, las cuales se designan generalmente con las -- letras A, B y C ( fase A, fase B y fase C ). Puesto que cada fase debe estar constituida por el mismo número de bobinas, éste será igual a un tercio del número total de bobinas existentes en el estator. En términos generales, la regla a aplicar es la siguiente:

REGLA 1.- Para determinar el número de bobinas por fase, se divide -- el número total de bobinas estatóricas por el número de fases del motor.

Por ejemplo: en un motor trifásico provisto de 36 bobinas, habrá :

$$\frac{36 \text{ bobinas}}{3 \text{ fases}} = 12 \text{ bobinas por fase}$$

Las tres fases de un motor trifásico están siempre conectadas en estrella o en triángulo. En la conexión en estrella, los finales de las --

fases están conjuntamente en un punto común ( centro de estrella ), y cada principio de fase va conectado a una de las líneas de alimentación de la red. El nombre de estrella con que se designa dicha conexión es debido a la forma que adoptan las fases en el esquema de la misma, y se representa abreviadamente por el símbolo Y.

La conexión en triángulo cuando el final de cada fase está unido al principio de la siguiente. El final de la fase A, está unido al principio de la fase B, el final de la fase B al principio de la fase C, y el final de la fase C, al principio de la fase A. De cada punto de unión o vértice parte una conexión hacia la red. También se habría obtenido una conexión de triángulo uniendo el final de la fase A, al principio de la fase C, el final de la fase C, al principio de la fase B, y el final de la fase B, al principio de la fase A. Que abreviadamente se representa por el símbolo  $\Delta$

POLOS.- Las bobinas de un motor trifásico están también conectadas de modo que en el estator del mismo se forme un determinado número de polos iguales. Por consiguiente se tendrá:

REGLA 2.- Para determinar el número de bobinas por polo, se divide el número total de bobinas estáticas por el número de polos del motor.

Por ejemplo: en un motor trifásico tetrapolar provisto de 36 bobinas habrá:

$$\frac{36 \text{ bobinas}}{4 \text{ polos}} = 9 \text{ bobinas por polo}$$

GRUPOS.- Se llama grupo a un determinado número de bobinas contiguas conectadas en serie. Los motores trifásicos llevan siempre tres grupos iguales de bobinas en cada polo: uno por fase. Dicho en otros términos, un grupo pertenece a la fase A, otro a la fase B, y el tercero a la fase C. Es evidente que un grupo define el número de bobinas por polo y fase.

Las bobinas de un grupo sólo deben ser conectadas entre sí cuando se confeccionan por separado; con el sistema de devanado por grupos, estos ya quedan formados automáticamente y no es preciso efectuar conexión interior alguna. La mayoría de los motores están bobinados por grupos.

Para poder conectar entre sí las bobinas estáticas de un motor polifásico es preciso determinar ante todo el número de grupos de que consta el arrollamiento. Se utiliza para ello la regla número 3.

REGLA 3.- Para determinar el número de grupos de bobinas, se multiplica el número de polos por el número de fases del motor. Ejemplo: en el motor trifásico tetrapolar que nos sirve de referencia, tenemos:

$$4 \text{ polos} \times 3 \text{ fases} = 12 \text{ grupos de bobinas.}$$

Si el motor fuese hexapolar, habría que contar con  $6 \times 3 = 18$  grupos de bobinas.

A continuación se calcula el número de bobinas de cada grupo por medio de la regla 4.

REGLA 4.- Para determinar el número de bobinas por grupo se divide - el número total de bobinas del motor por el número de grupos.

Ejemplo: en el motor trifásico de referencia, se tendrán:

$$\frac{36 \text{ bobinas}}{12 \text{ grupos}} = 3 \text{ bobinas por grupo.}$$

Si el motor fuese hexapolar y tuviera 54 bobinas, le corresponderían también:

$$\frac{54 \text{ bobinas}}{18 \text{ grupos}} = 3 \text{ bobinas por grupo.}$$

Una vez conocido el número de bobinas por grupo puede procederse a - conectar éstas en grupos, suponiendo que sean de confección individual, o bien a ejecutarlas directamente en grupos, con objeto de ahorrarse dichas conexiones interiores. Esta importante cuestión vale la pena de ser tenida en cuenta. Como es evidente, todos los grupos deben contar con el mismo número de bobinas.

#### 4-4 ENMETALADO DE CHUMACERAS\*

Los cojinetes se revisten generalmente con metales como babbitt, - bronce o latón que son metales de antifricción. El uso de estos metales -- proporcionan medios rápidos y baratos para revestir los cojinetes o chumaceras desgastadas.

Se especifican corrientemente de modo que sean de distinta composición. La fórmula original de este metal contenía 89,3 % de estaño, 3,6 % - de cobre y 7.1 % de antimonio.

Se han fabricado otros metales babbitt que contienen menos estaño en combinación con plomo, Zinc o níquel, o bien con varios de estos.

La composición típica y propiedades de algunas aleaciones base de cobre están representadas en la tabla 4-1.

Para operaciones de baja velocidad, bajo altas presiones tales como puentes de soporte y láminas de expansión, el bronce duro contiene arriba del 20% de estaño. Pueden usarse solamente contra una superficie de acero y bajo condiciones de alineación propia. Para cargas más bajas, el estaño-

contenido puede ser disminuido un 10 % o menos. La adición de plomo se hace para bronce usados bajo condiciones cuando el alineamiento y lubricación son de baja calidad. Las aleaciones 8/10/10, Cobre Estaño y Plomo, -- por lo general son usadas en la maquinaria. Las aleaciones 88/10/2 Cobre - Estaño y Zinc, tienen buenas propiedades de fundición y son usadas para cajas o bastidores, etc. y la pieza fundida con los cojinetes integrados. -- Templar superficialmente las piezas fundidas da una buena estructura, y es preferible a piezas fundidas en arena para la mejoración de las propiedades de los soportes.

Las aleaciones de cobre que contienen arriba del 25% de Plomo están en la aplicación, el Bronce con alto contenido de Plomo necesita una técnica de fundición especializada si el Plomo tiene sus propiedades distribuidas.

Manteniendo el Cobre constantemente al 70% y sumando Estaño arriba del 16% en el gasto del Plomo, produce una serie provechosa de aleaciones para cojinetes que resistirán progresivamente altas presiones. Directamente la aleación Cobre-Plomo con 25% de Plomo, el equilibrio del Cobre con pequeñas cantidades de Niquel o Estaño son usados para los motores de combustión interna para altas cargas. A causa de la blandura de las aleaciones, es aplicada a altas temperaturas en capas muy delgadas ( 0.02 in. ) - sobre cuerpos de acero las cuáles subsecuentemente forman el ajuste del muñón o apoyo adecuado.

Los bronce con Aluminio contienen de 8 a 11% de Aluminio con 3 a 6% de Hierro, son usados para superficies de desgaste extrafuertes. A diferencia del Bronce explorado no se romperán en condiciones de baja lubricación. Se utilizan más para forrar guías, tornillos y tuercas y así mismo en maquinarias para la construcción.

**METAL BABBITT ( ANTIFFRICCIÓN ).** - Es un término generalmente usado para el Plomo suave y metales con base de Estaño, que se están usando para las piezas fundidas en Bronce y apoyos de acero. En general, son preferentemente usados los Bronces para velocidades altas y cargas alternantes pero menos en pruebas contra maltratos. Tiene un incrustamiento excelente -- ( capacidad para incrustarse en partes exteriores ) y características de ajustamiento -- ( habilidad a deformarse plásticamente o compensarse en irregulares ensambles de cojinetes ). Muchas de las aleaciones base de Estaño y base de Plomo pueden ser intercambiables.

La importancia de la aleación base de Estaño y base de Plomo de los metales antifricción son enlistados en la tabla 4-2.

El No. 1, es usado en cojinetes de motores. Es plástico y poco probable a romperse, pero se están usando más en una delgada capa echada en el bronce o apoyo de acero para dar un apoyo apropiado. El No. 2, contiene más antimonio, es durable y menos probable para salir machacado. El No. 3, es el más durable, no se usa cuando el acero es dulce, porque el desgaste ocurrirá contra el duro componente cobre-estaño. El No. 4, con 10% de plomo, es un cojinete económico para la maquinaria en general.

Tabla 4.1 Relación de Metales Base-Cobre

ASTM descripción	Porcentaje de la composición química					Límite de deformación por compresión, %PSI	Uso
	Cu	Sn	Pb	Zn	P		
B144-82							
Clase A	90	10	10	...	...	25	No hacer presiones considerables
3A	93	7	7	3	...	30	
3C	95	5	5	1	...	25	Relación de máquinas pequeñas para barrenar.
3B	70	7	15	...	...	25	
3E	70	5	25	...	...	25	
B23-82							
Clase A	Rem	10	<0.25	...	<1.0	24	Puente de plato giratorio. Relación de esta presión a baja velocidad. (3,000 PSI) debe ser igualado con acero sólido.
B	Rem	10	<0.25	...	<1.0	10	Como clase A. Relación y despiece de tuercas de ajuste ocolientes. Presiones arriba de 2,000 PSI con acero sólido, 1,500 PSI con relación media de maquinario de acero sólido. Lasercall de el puente de plato giratorio arriba de 1,000 PSI.
C	<82	10	10	...	0.7-1.0		
D	<89	10	<0.30	2.0	<0.05	...	
	75	...	2.5	...	...	...	Uso para el tornillo sin fin, tuercas. Usando longitud de (0.02-0.08 in.) continuo para máquinas de com- mutación interna relacionada a baja velocidad, con carga promedio de 1,200 PSI. Necesita técnica especial para moldeo. Elensamblaje de el puente etc. donde pueda comprimirse fuerza arriba de 8,000 PSI.
E	65	...	<0.20	2.5	...	55	

Tabla 4.2 Composición y Propiedades Físicas de aleación Tolerada de Metal-Blanco (Metal Antifricción Para Cojinetes)

Al y No	Porcentaje de la Composición Química.				Gravedad Específica.		La fuerza--Producida por la compresión (125% reducción de longitud) PSI		Fuerza de Compresión (25% Reducción de longitud) PSI		Dureza (500K de peso 30 Segundos)		Temperatura completa de fundición y Temperatura Emisida		
	Sn	Sb	Pb	Cu	66F	212F	66F	212F	66F	212F	Primer Punto de Fusión				
1	91	4.5	...	4.5	7.34	4,400	2,650	12,850	6,950	17.0	8.0	433	700	825	
2	89	7.5	...	3.5	7.32	6,100	3,000	14,800	8,700	24.5	12.0	466	669	795	
3	83.3	6.3	...	8.3	7.48	6,800	3,350	17,600	9,900	27.0	14.5	464	792	915	
4	75.0	12.0	10.0	3.0	7.32	5,350	2,350	16,150	6,900	24.5	12.0	363	683	710	
5	65.0	15.0	18.0	2.0	7.78	5,050	2,650	15,050	6,750	22.5	10.0	358	565	690	
6	20.0	15.0	63.5	1.5	9.33	3,900	2,050	14,350	6,050	21.0	10.5	368	531	655	
7	10.0	15.0	75.0	...	9.73	3,350	1,600	13,650	6,150	22.5	10.5	464	514	640	
8	5.0	15.0	80.0	...	10.04	3,400	1,750	13,800	6,150	20.0	9.5	459	522	645	
10	2.0	15.0	83.0	...	10.07	3,300	1,850	15,450	5,750	17.5	9.0	468	507	630	
11	...	15.0	85.0	...	10.29	3,050	1,400	12,800	5,100	15.0	7.0	471	504	630	
12	...	10.0	90.0	...	10.67	2,800	1,250	12,900	5,100	14.5	6.5	473	498	625	
15	1.0	15.0	82.5	0.5	10.05	...	...	...	...	...	21.0	13.0	479	538	662
16	10.0	12.5	77.0	0.5	9.88	...	...	...	...	...	27.5	13.6	471	495	629
19	5.0	8.0	86.8	...	10.5	...	...	15,400	6,100	17.7	8.0	462	492	629	

La prueba de la composición de la muestra cilíndrica era de 1.5 in de longitud y de .05 in de diámetro para máquinas pequeñas.

El No. 5 y 6, son aleaciones intermedias a pesar del alto contenido de plomo y no son hechas para operar a temperaturas moderadamente altas. Del No. 7 al 19, todas son aleaciones base de plomo, y son las más económicas de los metales antifricción, pueden ser usadas para servicio ligero relativamente bajo altas velocidades si las propiedades son idóneas. Todos los metales base de plomo pueden ser acoplados con acero dulce.

Metal antifricción base de cadmio, descubierto para aplicarse en capas similares a los tipos cobre-plomo, para servicios severos en motores. Contienen alrededor del 1.25 % de níquel o 1.25 % de plata y 0.25 % de cobre y son aplicados en un delgado recubrimiento sobre el apoyo de acero o franja, y son similares al babbitt tanto, como en incrustamientos y ajustamientos, como quiera que lo haga, conservan las propiedades del cojinete arriba de altas temperaturas. Los metales base de cadmio no son usados extensamente como cojinetes por la escasez y el alto costo del cadmio, añadiendo la desventaja de que es de baja la calidad a la corrosión en aceites acidificadores.

Hace algunos años los cojinetes de plata tuvieron un adelanto dentro del uso en motores aircraft. Estos cojinetes son hechos por electrochapados de plata sobre una concha de acero que tiene que ser revestido por un baño de cobre. El electrochapado de plata en una fina textura y es superior a las piezas fundidas de plata, el depositar electrolíticamente es templar o ablandar, maquinar y entonces dar un delgado ( 0.0004 a 0.001 in ) - revestimiento de plomo, son aproximadamente 5% de indio o estaño para impedir la corrosión del plomo. La capa superpuesta del plomo aparentemente imprevista el antidesprendimiento de las propiedades del cojinete, la plata es endurecida con otros materiales del cojinete y puede llevar cargas pesadas. Previene la alta conductividad térmica, desde altos puntos de calentamiento.

Las aleaciones de aluminio, además se usan extensamente en algunos materiales para cojinetes. Tres aleaciones son las más usadas: 1 ), 7 % -- de estaño más pequeñas cantidades de níquel y cobre, 2 ), aleaciones con 2 1/2 % de silicio mejoran las propiedades del cojinete y 3 ) 4 % de cadmio y silicio. El alto coeficiente de expansión del aluminio presentan algunas dificultades en el uso de cojinetes de aluminio sólido. Estas dificultades son evitadas con cojinetes de aluminio acerado y tiene mayor capacidad para cargas sostenidas y previene la resistencia a la fatiga. El tallado de los cojinetes de aluminio acerado son revestidos con una capa delgada de aleación de metal dulce para mejorar las características de antifricción.

Cojinetes porosos: para una aplicación de ligero y medio servicio -- pesado en pequeños cojinetes. Los forros son producidos por cobre, estaño ( muchas veces ) o grafito o hierro y polvo de grafito, la fundición se hace con una reducción atmosférica por fuera. Para controlar las condiciones bajo las cuales fueron hechas, la porosidad puede ser ajustada intercambiando vacíos arriba del 30 % por volumen, se puede sacar para lubricar con aceite casting.

una vez impregnados con aceite, estos cojinetes operarán por períodos largos sin lubricación. Lo mejor es usarlos para un simple cilindro o discos moldeados en producción cuantitativa. Las especificaciones ASTM para estos cojinetes son dados en la tabla 4-3.

Tabla 4-3 Polvos de metal sinterado (aceite-impregnado) (ASTM B202-B57)

Elemento por ciento	Tipo I		Tipo II			
	Clase A	Clase B	Clase A			Clase B
			A1	A2	A3	
Cobre.....	92.5-90.5	92.6-94.5	.....	.....	.....	5-101
Hierro.....	1.0 máx.	1.0 máx.	96.25 mín.	96.9 mín.	95.5 mín.	Residue
Café.....	8.5-10.5	8.5-10.5	.....	.....	.....	.....
Plomo.....	.....	2.0-4.0	.....	.....	.....	.....
Zinc máx.....	.....	0.75	.....	.....	.....	.....
Níquel máx.....	.....	0.35	.....	.....	.....	.....
Antimonio máx.....	.....	0.25	.....	.....	.....	.....
Silicio.....	.....	.....	0.3	0.3	0.3	.....
Aluminio.....	.....	.....	0.2	0.2	0.2	.....
Carbon.....	1.75 máx.	1.75 máx.	.....	.....	.....	.....
Otros elementos máx.....	0.5	0.5	3.0	3.0	3.0	3.0
Carbon Convinado.....	.....	.....	0.25 máx	0.25-0.50	0.50-1.00	.....
Densidad (g por cc)	6.4-6.6	6.5-6.8	8.7-8.1	8.7-8.1	8.7-8.1	8.8-8.2

Grafito común puede ser substituido por otro lubricante sólido  
Total de Hierro mas cobre será de 97% mín.

La metalografía pueda ser estimada de carbon con hierro.

Miscelanea una gran variedad de otros materiales ser usados como re-  
lucida en aplicaciones especiales. Entre ellas está el caucho, madera,  
hierro colado, carburo, plásticos, grafito y materiales de grafito. La  
espuma es usada en los sucos en donde el aceite es perjudicial.

#### 4.5.- REPARACION DE JAULAS DEL ROTOR\*\*\*

Cuándo se tiene una falla en el rotor serie, se ve afectada tanto la laminación del rotor como su jaula de ardilla. En el caso de rotores con jaula de aluminio colado, no es posible cambiarla y el rotor queda inutilizado.

En el caso de rotores construidos con jaula contruida con barras de cobre soldadas a anillos extremos, se puede reparar parcialmente la jaula soldando las barras abiertas o si el estado de oxidación y fragilización de cobre lo amerita sustituirla totalmente.

Para substituir una jaula de ardilla de barras de cobre lo primero - que se debe averiguar es el tipo de cobre que se utilizó. Generalmente las barras de la jaula son de cobre electrolítico tenaz, el cuál pudo haberse obtenido recocido o forjado en frío.

Existe en el mercado un gran número de tipos de cobres y se debe tener cuidado de localizar el adecuado.

Los cobres varían dependiendo del proceso de su obtención que puede ser por fusión y refinado electrolítico o también por refinado térmico. Las características físicas generales del cobre son:

Densidad	8.9 g/mm <sup>3</sup>
Fusión	1083 °C
Dilatación líneal de 20°C a 200°C	0.000 0173 por °C
Módulo de Elasticidad a la tracción a 20°C	
Cobre Recocido	12 000 Kg/mm <sup>2</sup>
Cobre forjado en frío	13 500 Kg/mm <sup>2</sup>
Módulo de Rígidez a la Torsión a 20°C	
Cobre recocido	4 500 Kg/mm <sup>2</sup>
Cobre forjado en frío	4 500 - 500 Kg/mm <sup>2</sup>

Si el cobre tiene más de un 5 % de otro metal caé en la categoría de aleación, como cuando se tiene cobre y estaño obtenemos algún bronce o cuando se tiene cobre y zinc obtenemos latón.

Los cobres tienen más de 99.5 % en peso de cobre y una pequeña parte de otro metal.

El cobre más apropiado para una jaula de ardilla repetimos es el - -

electrolítico tenaz. Los otros cobres se mencionan con objeto de que se tenga cuidado en verificar el tipo de cobre de que se disponga y no instalar cualquiera sin antes verificar que sea electrolítico.

El cobre electrolítico tenaz ( Cu - ETP ) es un cobre químicamente-puro, de alta conductividad, que ha sido refinado por reposición electrolítica, fundido y oxidado hasta la condición tenaz( tough - pith ) con un contenido de oxígeno bajo y controlado. Después se cuela en placas, lingote o alambre. Se puede luego forjar en frío o caliente.

Disponiendo el cobre en las medidas adecuadas se debe verificar que entre justo en la ranura. En ocasiones es conveniente rellenar o pegar con resina, las calzas con objeto de que la barra quede perfectamente rígida en el cuerpo del rotor.

La segunda etapa de la reparación de un rotor consiste en verificar la ausencia de puntos en corto en la laminación. Para esto se puede aplicar lo mismo que se dijo para la laminación del estator con la desventaja única de que no se puede aplicar aquí la prueba de toroide, a menos que el rotor tenga ductos de enfriamiento lo suficientemente amplios por donde se puedan pasar los cables de la bobina inductora.

La tercera parte de la reparación corresponde al proceso de soldadura de la jaula. Existen dos tipos de soldadura que aplicadas con soplete pueden substituir a la soldadura de plata. Sin embargo la soldadura de plata queda como recurso óptimo.

La primera es la soldadura Eutecrod 180 de Eutectic que viene en varillas, se aplica con la ayuda de un soplete y un fundente, se usa una llama neutra con el soplete de oxiacetileno. Las juntas a soldar deben tener una separación de 0.0015" - 0.003". Cuando el solvente se licua, se aplica la varilla del metal de aporte. Se debe calentar ampliamente el área de la junta, mantenga la flama en movimiento hasta que el metal fluya y se deposite correctamente en la junta. Enfríe lentamente y limpie; su resistencia a la tensión a 2960 Kg/cm<sup>2</sup> y una temperatura de liga de 700°C.

Su conductividad eléctrica es buena.

La segunda soldadura de que se dispone comercialmente es la Eutecrod 1801. Viene en varillas para aplicación con soplete. La junta se debe limpiar, y mantener con una separación de 0.0015" a 0.003" para obtener la máxima resistencia. Se pinta con su fundente en la varilla y el área de la junta antes de unirlos.

Se calienta con el soplete de oxiacetileno ampliamente el área de soldadura y circundante. Utilice una flama con exceso de acetileno y manténgala a 3 pulgadas entre el cono de la flama el metal de la base; calentando hasta que se derrita el fundente. Ponga la aleación, manteniendo el soplete en constante movimiento hasta que la aleación fluya por la junta dejando un filete liso en cada lado y la llene totalmente. Enfríe len-

tamente y limpie.

Esta es una aleación del tipo de plata de flujo frío con una resistencia a la tensión  $6338 \text{ Kg/cm}^2$ . Tiene buena resistencia a la corrosión y buena conductividad eléctrica. Su temperatura de liga es  $605^\circ\text{C}$ .

La tercera opción es usar soldadura de plata. La plata tiene una temperatura de fusión de  $960.5^\circ\text{C}$  pero todas las soldaduras de plata son aleaciones conteniendo plata del 5 al 80% con otro metal como cobre, zinc, cadmio o fósforo. Su gran ventaja es la velocidad con que fluye hasta muy pequeños orificios, y realmente las más fuertes soldaduras son las que se realizan con muy pequeños huelgos entre la junta. Además tiene tan buena resistencia a la corrosión como el bronce, el cobre o el metal monel.

Cómo las jaulas de ardilla no necesitan aislamiento no existe inconveniente en precalentar todo el rotor ni las partes circundantes a la junta. En ocasiones la jaula trae una pequeña envoltura de barras de tipo aislante, pero esto no debe preocupar si se dañase un poco al soldar, -- pues su finalidad no es de aislante.

Como se puede deducir de las temperaturas de liga de las soldaduras el aspecto de precalentamiento de la pieza es un factor determinante en una buena soldadura. La condición de que se encuentre caliente el contorno de la soldadura se logra en nuestro caso de rotores de motores tipo jaula de ardilla, unicamente precalentado el cuerpo completo del rotor a  $200^\circ\text{C}$  con multiflama. Este precalentamiento ha permitido lograr soldaduras de jaulas de ardilla más resistentes, porque permite que la temperatura local de fusión no caiga inmediatamente alrededor de la soldadura ni que se enfríe rápidamente y provoque fracturas por contracción brusca.

Se recomienda que la pieza se deje una vez totalmente soldada su jaula enfriar lentamente, en un lugar cubierto.

Una vez que se termina de reparar un rotor deberá balancearse en un taller antes de montarse en el motor y en el caso de motores muy grandes deberá revisarse y balancearse de nuevo antes de entrar en servicio en el campo ya girando en su propio motor.

#### 4.6.- CORRECCION DE ALINEAMIENTO DE FLECHA\*\*\*

Debido al uso o sobrecalentamientos, la flecha tiende a sufrir deflexiones, las cuales provocarán fallas en el motor; para evitar esto, es necesario inspeccionar constantemente su alineamiento.

Una de las formas para corregir la deflexión es por medio de calor, para esto se coloca la flecha entre dos soportes, teniendo la precaución de que la parte cóncava de la deflexión quede hacia arriba, y precisamente en esa parte es donde se aplica el calor mediante un soplete. Al efecto del calor sabemos que cualquier material se dilata, aunque también --

debemos tener en cuenta de no llegar a una temperatura que provoque la fusión del material con que está construída la flecha. Después que se haya dilatado el material se deja enfriar lentamente, esto provoca que se contraigan las partículas del metal provocando un enderazamiento de la flecha.

Este procedimiento se puede repetir varias veces hasta obtener el enderazamiento deseado.

#### 4.7.- CORRECCION DE CAJAS, TAPAS Y CARCAZAS\*\*\*

Cuándo las tapas, cajas y carcazas sufren abolladuras o ranuraciones -- que son provocadas por determinadas causas, repercutirán en el buen funcionamiento del motor y en la seguridad del personal que se ocupa de operar estos equipos. Una de las formas para corregir las abolladuras es por medio de golpes en frío o en caliente, según sea la parte afectada.

Ahora si se tratara de ranuraciones, una de las formas más usadas es -- mediante la aplicación de soldadura en la parte dañada. Estas soldaduras deberán reunir las características y propiedades del material con que están -- contruidos los elementos que se van corrigiendo.

Después de realizar éstas reparaciones es necesario mandarlas al taller para que sean rectificadas y balanceadas adecuadamente, de tal forma -- que éstas correcciones no provoquen algún problema al montarlas nuevamente.

#### 4.8.- DESCRIPCIÓN GENERAL DEL METODO PARA BALANCEO DE ROTOR\*\*\*

Este método de balanceo en bancos a baja velocidad, se basa en el hecho de que en la velocidad crítica el punto pesado se puede identificar con bastante claridad. Un rotor girando a una velocidad crítica ( frecuencia natural ) se excita en un sólo modo de vibración correspondiente a esa frecuencia resonante, con una amplificación de dicha vibración suficientemente grande, de manera que el efecto medido, corresponde solamente al desbalance de ese modo en particular.

Los modos de vibración que interesa excitar para balancear por este -- método, son el primero y segundo no flexionante. Para lograr esto a bajas velocidades, se monta el rotor sobre sus chumaceras apoyadas estas sobre unas bases de madera, separadas de los bancos de trabajo por un material elástico (normalmente se usan bloques de hule duro ). En la tabla número 1 se muestran durezas y respuestas de diversos trabajos en banco que pueden servir de guía para un caso especial.

Dependiendo de la elasticidad del material será la rigidez del sistema; mientras más suave sea este material, más flexible será el conjunto y se lograrán excitar los modos de vibración deseados a más bajas velocidades de rotación. La rigidez del sistema debe ser tal, que se excite su segundo modo

como máximo a 500 RPM y por consiguiente, la frecuencia natural o velocidad crítica del primero quedará en 250 RPM, aproximadamente.

Una característica del rotor en bancos, es que al estar girando describe un movimiento principalmente horizontal, por tener menor rigidez en este sentido que en el vertical, deformando al corte los hules de los bancos de trabajo.

Al excitarse en el primer modo de vibración, el rotor describe en fase un movimiento horizontal. Al estar excitado en el segundo modo, el rotor describe un movimiento en X, donde un extremo de éste se encuentra defasado  $180^\circ$  con respecto al otro extremo, tendiendo a ser nulo el movimiento al centro del rotor. A estas velocidades el rotor no se deforma de manera flexionante, absorbiendo esta deformación los hules de los bancos.

El valor de la velocidad crítica se determina cuándo la amplitud de vibración es máxima; en ese momento, el punto pesado se encuentra  $90^\circ$  adelante del punto alto.

El procedimiento general para balancear en bancos, es el siguiente:

- 1.- Se hace girar el rotor aproximadamente a 500 RPM y se deja libre el sistema soltando la banda de transmisión que se usó para impulsarlo. Esta primera corrida se denomina "O".
- 2.- Se localizan las velocidades críticas, tomando amplitudes de vibración y ángulos de fase para el primero y segundo modo. Estas lecturas se anotan tanto en una tabla como la mostrada en la figura 3 como en una gráfica polar mostrada en la figura 4.
- 3.- Se introducen pesos de balance para corregir el segundo modo, de acuerdo al defasamiento del punto alto y el punto pesado o sea, la masa de corrección debe localizarse  $90^\circ$  atrás del punto alto.- El valor y localización de la masa se deberán anotar en la tabla de lecturas y en la gráfica polar.
- 4.- Se vuelve a girar el rotor hasta una velocidad superior a la segunda crítica, tomando lecturas de amplitud de vibración y ángulo de fase para cada una de las velocidades críticas, de la misma forma que en la corrida "O". Se anotan los valores obtenidos en la tabla y gráfica correspondientes. Esta corrida se denomina "I".

Al analizar los resultados de la corrida I se pueden tener los siguientes casos:

- a).- La amplitud queda dentro de los límites tolerables.
- b).- La amplitud disminuye y se conserva el ángulo de fase sin cambios mayores a 1 ó 2 grados. Hay que aumentar peso de acuerdo a

la relación entre vibración original y el efecto obtenido.

- c).- La amplitud aumenta y/o el ángulo de fase cambia. Hay que verificar el rodado anterior, ya que es probable que se tenga algún error en el ángulo de fase. De cualquier forma, la corrección se puede calcular con el operador " Q ", de acuerdo al procedimiento general de balanceo.
- d).- El ángulo de fase aparece a 180° del obtenido en el rodado " O ". Esto significa que hubo exceso de masa que habrá que disminuir de acuerdo al mismo procedimiento citado en los párrafos anteriores.
- 5).- Para balancear el primer modo se sigue el mismo procedimiento que para el segundo expuesto en los pasos 1 y 2.
- 6).- Una vez terminado el balanceo de ambos modos se hace una suma vectorial de pesos, dejando sólo la resultante en cada plano.

#### DESBALANCE RESIDUAL:

Los trabajos de balanceo en bancos tiene por objeto dejar el rotor con niveles aceptables de desbalance residual. Es evidente que, para distintos rotores de diferentes masas, los desbalances residuales serán diferentes.

La experiencia ha demostrado que cuando se realizan trabajos de balanceo y se logra obtener una primera velocidad crítica ligeramente superior a 100 RPM y se logran amplitudes de vibración para ambas velocidades no mayores a 0.0254 mm. ( 1/1000 de pulgada ), el desbalance residual que da dentro de los valores aceptables que dan a su vez una alta probabilidad de que en velocidad de operación normal el rotor tenga valores bajos de vibración.

Es importante recordar que el desbalance residual se mide en:

gr-cm/ toneladas de peso del rotor.

Este valor no es fácil de determinar, sin embargo existen normas de acuerdo al tipo de rotor donde se toma en cuenta su peso, su velocidad y el tipo de máquina al que pertenece. Ver referencia 2 y 3 para normas aplicables y Referencias 11 para procedimientos de cálculo de desbalance residual.

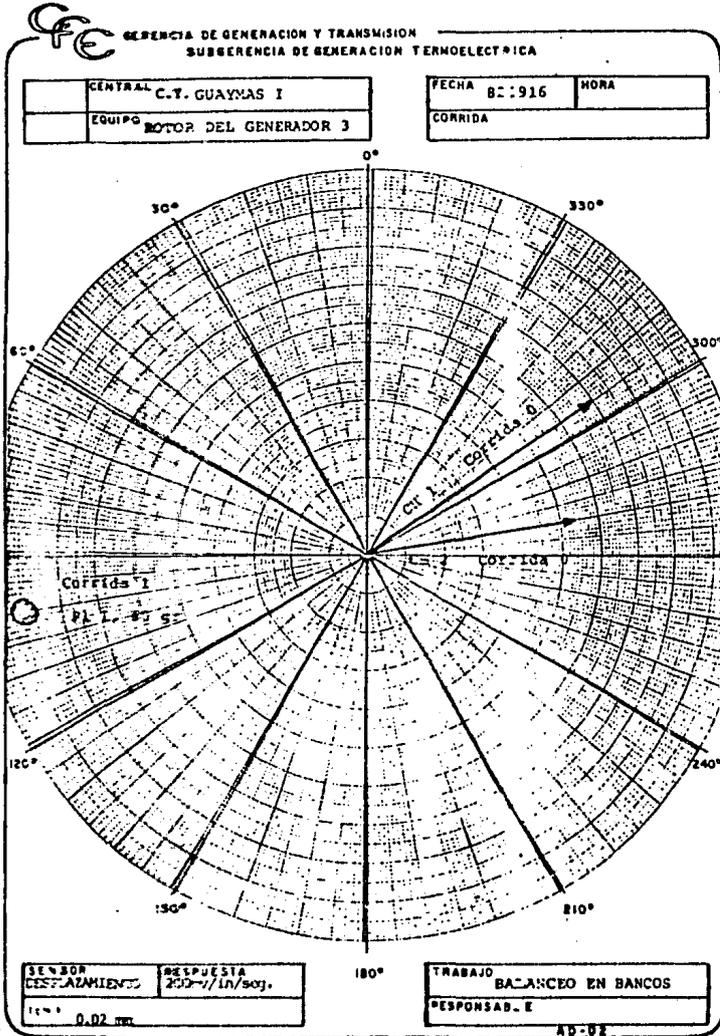
Por último hay que recordar que el logro de un desbalance residual igual a cero es prácticamente imposible y tratar de hacerlo es generalmente improductivo; por esta razón es importante saber cuáles son los valores aceptables que no ocasionan vibraciones excesivas al rotor.

FIGURA 3-TABLA DONDE SE ANOTAN LOS DATOS QUE SE VAN TOMANDO EN UNA ALINEACION.

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD  
ESTADO DE MICHUACAN Toluca-Mexico

CENTRAL	Kilowatts CONGR DEL GENERADOR	TRANSFORMADORES EN BANCOS	Diagrama de conexión																																																																								
SBAYNAS I	130+15	PESO MOTOR = 2.2 TONS																																																																									
RESPONSABLE: <i>S. Pineda</i>																																																																											
OBSERVACIONES	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>HORA</th> <th>CC</th> <th>CA</th> <th>CHL</th> <th>CHP</th> <th>CHL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10:30</td> <td>0</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td></td> </tr> <tr> <td>11:30</td> <td>1</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>12:00</td> <td>2</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			HORA	CC	CA	CHL	CHP	CHL	10:30	0	100	100	100														11:30	1	100	100	100	<input checked="" type="checkbox"/>													12:00	2	100	100	100	<input checked="" type="checkbox"/>																								
HORA	CC	CA	CHL	CHP	CHL	CHP	CHL	CHP	CHL	CHP	CHL	CHP	CHL	CHP	CHL	CHP	CHL																																																										
10:30	0	100	100	100																																																																							
11:30	1	100	100	100	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																						
12:00	2	100	100	100	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																						
<p>Se coloca peso de 80g en PLANO 1, POZO 5.  <math>\frac{5}{82} \times 360 = 562.5^\circ</math></p> <p>Se coloca peso adicional de 100g en PLANO 2, POZO 5.</p>	<p>MOLES DE (7.234) CCM                  DUREZA = 25 SHORE</p> <p>SE USO ACEITE DEL SISTE-                  MA DE UNIDADES DE                  LA MAQUINA</p>																																																																										

FIGURA 4- GRAFICA POLAR, TAMBIEN SE USA PARA ANOTACION DE DATOS DE UNA ALINEACION.



## CAPITULO V

## \* PUESTA EN SERVICIO \*

5.1.- CIMENTACION\*\*\*

Una cimentación rígida y a nivel, es lo más adecuado para cualquier tipo de motor. Este asegura un alineamiento permanente y una operación sin vibración, reduciendo los costos de mantenimiento.

Las características del subsuelo deberán ser lo suficientemente firmes para evitar asentamientos en la cimentación. La localización de las anclas se encuentra en el dibujo de ensamble general.

La cimentación de equipos para alta temperatura debe prever la expansión térmica de la carcasa.

**CIMENTACION DE CONCRETO:** La mejor cimentación es la de concreto armado una regla empírica generalmente aceptada es que el peso del concreto armado debe ser tres veces el peso del equipo que va a soportar. Este peso de concreto actúa como una base de inercia para estabilizar el conjunto. En lugares donde el subsuelo sea suave, deberá extenderse una zapata bajo la cimentación; para aumentar el área de apoyo. La parte superior de la cimentación se deberá extender cuando menos 6" fuera del exterior del equipo y deberá tener arista en bisel para prevenir despostilladuras.

Las anclas empleadas deberán ser en forma de "L" o en forma de "T" y deberán llevar camisas de tubo o lámina aproximadamente de un diámetro interior de 2" mayor que el ancla, a fin de permitir ciertos ajustes en la posición al momento del ajuste.

Al estimar la longitud de las anclas, se deberá tomar en cuenta el espesor de la tuerca, rondanas, ángulos de base y aproximadamente de 1" para la lechada ( GROUT ) y calzas.

La figura 5.1, muestra la cimentación de concreto para un motor con ancla tipo "L".

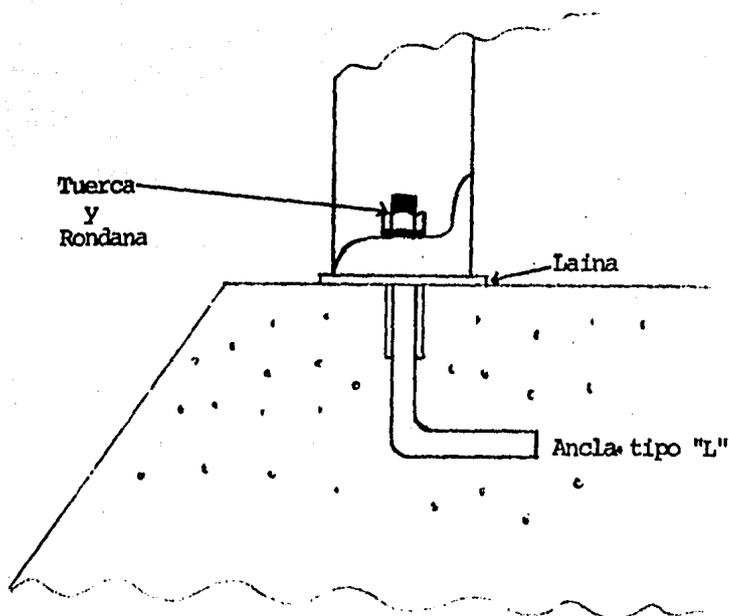


FIG.5.1 CIMENTACION DE CONCRETO PARA UN MOTOR CON ANCLA TIPO "L"

**CIMENTACION DE ACERO ESTRUCTURAL:** En caso de requerir una cimentación de acero estructural, ésta debe ser lo suficientemente rígida para asegurar un alineamiento permanente de los componentes del equipo. Este debe ser diseñado para soportar con una deflexión mínima el peso del equipo, así como las fuerzas generadas por los elementos en movimiento (carga dinámica)..

La cimentación de acero, deberá estar adecuadamente ensamblada con juntas soldadas, remachadas o atomilladas para prevenir vibración.

Los motores instalados arriba del nivel de la tierra, deberán ser localizados cerca o arriba de un muro o columna rígida y robusta. Una plataforma elevada deberá tener la rigidez suficiente, estar a nivel y tener con travanteo en todas direcciones.

La figura 5.2 representa la cimentación sobre una estructura de acero.

## 5.2.- ALINEACION

Cuándo una unidad que consiste de bomba, base, acoplamiento e impulsor, se arma en la fábrica la placa de base, se coloca en una superficie -

plana y lisa, se montan la bomba y el motor y se alinean con precisión las mitades del acoplamiento con laines abajo de las superficies de montaje de la bomba y del impulsor donde sea necesario. Generalmente la bomba se fija con prisioneros a la placa de la base en la fábrica, pero, como se describió previamente, el impulsor se asegura después de la instalación en el -- lugar por que el alineamiento de fábrica no se puede mantener con suficien te precisión para arrancar y operar la unidad sin volverla a alinear en -- el campo.

Las placas de base de suficiente resistencia, rigidez y patas de mon taje y pernos de suficiente tamaño para permitir la operación sin un nuevo alineamiento en el campo serían de tamaño, peso y costo prohibitivos. Du rante el embarque además, la bomba, su impulsor y la base se someten a ta les esfuerzos que se originan serios desalineamientos. Cuando la placa de la base se monta en el lugar y se conecta la tubería, puede ocurrir un -- mayor desalineamiento, a veces lo bastante serio para provocar falla de co jinetes y acoplamiento y, en algunos casos, la rotura de la flecha. Si la bomba maneja líquidos a alta temperatura, el alineamiento final en el cam po, deberá hacerse con la bomba y el motor llevados a su temperatura de -- operación normal.

Con unidades de tamaño moderado generalmente es innecesario quitar -- de su lugar la bomba o el motor cuando se está nivelado. La unidad deberá ponerse sobre la cimentación y soportarse con pequeñas tiras de placa de -- acero o material para laines cerca de los pernos de anclaje, dejando un es pacio de 1.9 a 5.08 cm. entre el fondo de la plancha y la parte superior -- del cemento para la lechada de concreto. El material para laines deberá -- extenderse completamente a través del borde de soporte de la placa de base. Los pernos del acoplamiento deberán sacarse antes de nivelar la unidad y -- de alinear los medios coples. Algunas veces se usan cuñas en vez de tiras planas aunque son menos satisfactorias. Las opiniones difieren con respec to al retiro de las tiras o cuñas después de lechadear con concreto, como

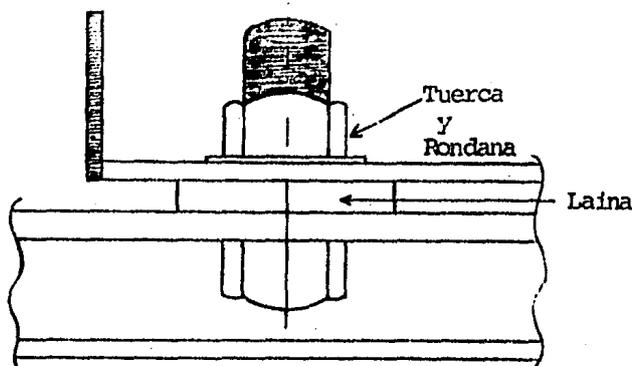


FIG.5.2 CIMENTACION SOBRE ESTRUCTURA DE ACERO

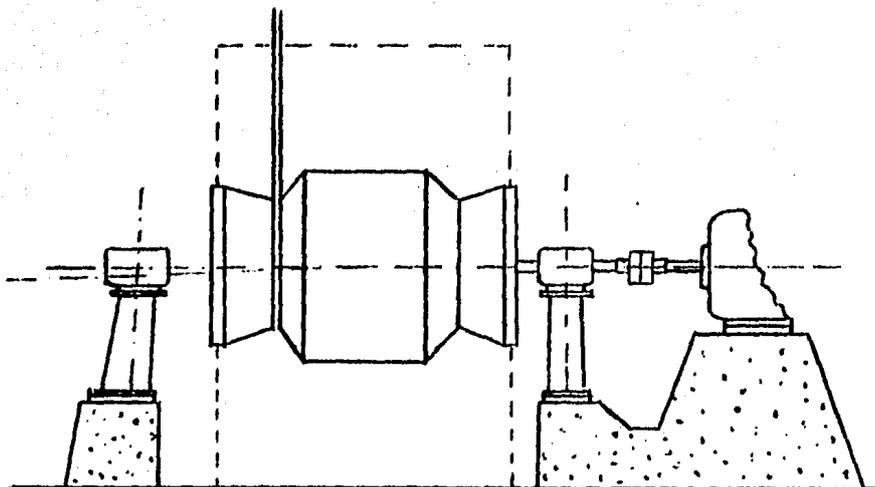


FIG. 5-3 ALINEACION DE ROTOR, FLECHA Y CHUMACERAS.

EN ESTA FIGURA SE PUEDE NOTAR QUE LA DEFLEXION DE LA FLECHA SE EXAGERO -- PARA MOSTRAR COMO DEBE QUEDAR LA NIVELACION DE LAS CHUMACERAS, PEDESTALES Y MOTOR .

LA DEFLEXION DE LA FLECHA DEBERA ESTAR EN UN RANGO DE 0.003" a 0.010" POR PIE DE LONGITUD MEDIDA DE CENTRO A CENTRO DE CHUMACERAS.

se verá más adelante en este capítulo. Los bordes salientes de las bases -- que soportan las patas de la bomba y del impulsor, cuando se limpian con es crepa, pueden usarse con un pequeño nivel de burbuja para nivelar la base. Cuando se puede, es preferible colocar el nivel en alguna parte expuesta de la flecha de la bomba, manguito, o superficie pulida de la cubierta. Las tijas de acero o laines de bronce bajo la placa de base deberán ajustarse hasta que la flecha de la bomba esté a nivel, las bridas de las boquillas de succión y descarga estén verticales u horizontales según se requiera, y la bomba esté a la altura especificada y en su lugar. Cuando la placa se ha nivelado, se deberán apretar las tuercas con los dedos, o sea las tuercas de los pernos de anclaje.

Durante la nivelación de la bomba y la placa de base, se deberá mantener el alineamiento preciso entre los dos medios coples desarticulados entre las flechas de la bomba y el impulsor. Antes de alinear, tanto el rotor de la bomba como del impulsor, deberán girarse a mano para asegurarse de -- que se mueven libremente. Se deberá colocar una regla recta a través del acoplamiento por un lado y por arriba, y, al mismo tiempo, las caras de las mitades del acoplamiento deberán verificarse con un medidor cónico de espesores o con un calibrador de hojas, para ver que estén paralelas. Para todas las verificaciones de alineamiento, incluyendo el paralelismo de las -- caras del acoplamiento, ambas flechas deberán empujarse con fuerza hacia un lado, al tomar las medidas.

Cuando las periferias de las mitades del acoplamiento son círculos -- perfectos del mismo diámetro y las caras están planas, existe un alineamiento exacto cuando la distancia entre las caras es la misma en todos los puntos y una regla recta asiente bien en cualquier punto de los cantos.

Si las caras no están paralelas, los calibradores de espesores o de láminas mostrarán una variación en distintos puntos. Si un acoplamiento está más alto que el otro, la cantidad puede determinarse con la regla recta y los calibradores de hoja.

Algunas veces los medios acoplamientos no son círculos perfectos y no son de diámetro idéntico por las tolerancias de fabricación. La perfección de cada medio acoplamiento se verifica haciendo girar uno y sosteniendo el otro estacionario y verificando el alineamiento cada cuarto de revolución -- del medio acoplamiento que gira. Luego se sostiene estacionaria la mitad -- que se giró previamente y se verifica el alineamiento. Puede encontrarse -- una variación dentro de los límites de los fabricantes en cualquiera de las dos mitades y se debe dejar una tolerancia adecuada para compensarla cuando se alinea la unidad.

Se puede usar un indicador de carátula atornillado a la mitad del acoplamiento de la bomba para verificar tanto el alineamiento radial como axial en vez de la regla recta y el calibrador de espesores. Con el botón descansando en la periferia del otro acoplamiento, se debe colocar en cero la manecilla indicadora y hacer con gis una marca en el punto del medio acoplamiento en el que está el botón. Para cualquier verificación ambas flechas -- deberán girarse una cantidad igual, es decir, todas las lecturas en la carátula, deberán hacerse con el botón en la marca de gis.

Las lecturas de la carátula indicarán si el impulsor debe elevarse, bajarse o moverse a uno o a otro lado. Después de cualquier movimiento, es necesario verificar que las caras del acoplamiento permanecen paralelas una respecto a la otra.

Por ejemplo, si la lectura del indicador en el punto inicial se coloca en cero y la lectura diametralmente opuesta en el fondo o en los lados es de  $\pm 0.5$  mm, el impulsor deberá subirse o bajarse con linternas o moverse a un lado u otro la mitad de la lectura.

Cuando se conecta con un acoplamiento de extensión la bomba con su impulsor, se deberá usar un indicador de carátula para verificar el alineamiento. Se deberá quitar la pieza de extensión de entre los dos medios acoplamientos, exponiendo los cubos. Se deberá utilizar la tuerca del acoplamiento de la flecha para fijar un brazo de extensión apropiado o mensu-la suficientemente larga para que alcance entre los dos medios acoplamientos. El probador de carátula indicadora se monta en este brazo y se verifica el alineamiento tanto de concentricidad de los diámetros de los cubos como el paralelismo de sus caras. Con el cambio del brazo de un cubo al otro se obtiene una verificación adicional.

El espacio libre entre las caras de acoplamientos del tipo de perno y amortiguador y los extremos de las flechas en otros tipos se deberá fijar de manera que las caras no puedan tocarse, rozarse o jalar ya sea la bomba o el motor. Este espacio libre variará de acuerdo con el tamaño y tipo de acoplamiento usado. Un espacio suficiente permitirá un movimiento del extremo de la flecha sin obstáculos del elemento impulsor hasta el límite de su tolerancia de cojinetes. En unidades movidas por motor, el centro magnético del mismo determinará la posición de trabajo de la mitad del acoplamiento correspondiente. Esta posición deberá verificarse operando el motor mientras está desconectado; también deberá verificarse la dirección de rotación del motor. Si no se tiene corriente disponible, se deberá mover la flecha del motor en ambas direcciones tanto como lo permitan los cojinetes, luego se deberá ajustar al centro de esos límites. La unidad deberá amarse con la separación correcta entre los dos medios acoplamientos.

Los motores eléctricos horizontales grandes con cojinetes de manga generalmente no están equipados con cojinetes de empuje. Se permite que el rotor flote y aunque busque su centro magnético, una fuerza de magnitud muy pequeña puede hacer que se salga de su centro. Algunas veces se moverá lo bastante como para hacer que el collar de la flecha se ponga en contacto con el cojinete, provocando generalmente serias dificultades de los cojinetes del motor. Para evitar esto, los fabricantes de bombas y motores han convenido en usar un acoplamiento de flotación limitada entre el motor y la bomba en todas las unidades de tamaño grande, sacando ventaja del hecho de que todas las bombas están equipadas con cojinetes de empuje adecuados. De esta manera, el rotor del motor se mantiene dentro de una posición restringida.

Los fabricantes de motores marcan los dos extremos del desplazamiento

to en la flecha del motor y hacen que el espacio libre total axial entre los collares de la flecha y los bordes de los cojinetes no sea menos de 1.27 cm. A su vez, los fabricantes de bombas suministran acoplamientos flexibles que limitarán el desplazamiento lateral del rotor del motor a 0.476 cm.

Cuándo las bombas se mueven con turbinas de vapor, el alineamiento final deberá hacerse con el impulsor calentado a su temperatura de operación. Cuándo esto no es posible al tiempo de alinearla, se debe dejar una tolerancia adecuada para que se eleve la flecha cuando se expande la unidad. Siempre deberá verificarse el alineamiento cuando la unidad está a la temperatura de operación y ajustarse según se requiera antes de poner la bomba en servicio. El calor aplicado a la tubería de entrada y descarga de vapor causa expansión, y la instalación deberá hacerse de modo que las boquillas de la turbina no queden sujetas a esfuerzos por la tubería.

Cuándo la unidad está nivelada y alineada con precisión, los pernos de sujeción se deberán apretar suave y uniformemente antes de poner la lechada de cemento.

La alineación se debe verificar nuevamente después de que la tubería de succión y descarga se ha fijado con los tornillos a la bomba, para probar el efecto de los esfuerzos por la tubería.

La alineación de la bomba y su impulsor se debe verificar ocasionalmente, por que pueden desarrollarse esfuerzos por la tubería después de que la unidad ha estado operando por algún tiempo, causando un desalineamiento. Esto es especialmente cierto cuando la bomba maneja líquidos calientes, por que hay una probabilidad de expansión o cambio de la forma de la tubería. Las bridas de la tubería en la bomba se deben desconectar después de un período de operación para verificar el efecto de la expansión de la tubería, y se deben hacer los ajustes para compensarlo.

### 5.3.- ACOPLAMIENTO

Las bombas centrífugas están conectadas a sus impulsores por medio de acoplamientos de una y otra clase, excepto las unidades conectadas en forma compacta, en las que el impulsor está montado en una extensión de la flecha de la unidad motriz. Los acoplamientos pueden ser flexibles o rígidos. Un acoplamiento que no permite movimiento relativo axial o radial entre las flechas del impulsor y de la bomba se llama acoplamiento rígido. Conecta las dos flechas sólidamente, y en efecto, las convierte en una sola flecha. El uso de acoplamientos rígidos está principalmente restringido a bombas verticales.

Un acoplamiento flexible, por otro lado, es un dispositivo que conecta dos flechas, pero es capaz de transmitir torque de la flecha del impulsor a la flecha impulsada pero tolerando un pequeño desalineamiento (angular, paralelo o una combinación de los dos). Contra las creencias popula-

res y a pesar del hecho de que los acoplamientos flexibles compensan ligeros errores en casos de emergencia el desalineamiento es siempre indeseable y no deberá tolerarse permanentemente. Causa chicoteo de las flechas, aumenta el empuje en los cojinetes de la bomba y del impulsor y generalmente resulta en mantenimiento excesivo y falla potencial del equipo.

Un acoplamiento flexible debe permitir también algún desplazamiento lateral de las flechas para que sus dos extremos puedan acercarse o separarse bajo la influencia de la expansión térmica, fluctuación hidráulica, o desplazamiento de los centros magnéticos de los motores eléctricos, y moverse así sin imponer empuje excesivo en los cojinetes. Este aspecto del diseño de los coples flexibles se tratará posteriormente con más detalle.

#### ACOPLAMIENTOS RIGIDOS:

##### a)- Acoplamiento de abrazadera.-

El acoplamiento de abrazadera es un acoplamiento rígido típico. Consiste básicamente de una manga dividida provista de tornillos de manera que puede prensarse en los extremos adjuntos de las dos flechas y formar una conexión sólida. Generalmente, se incorporan cuñas axiales y circulares en el acoplamiento de abrazaderas para que la transmisión del torque y del empuje no se haga solamente dependiendo de la fricción de la sujeción.

##### b)- Acoplamientos de compresión.-

Un acoplamiento de compresión es igualmente en esencia un acoplamiento rígido. La porción central del acoplamiento está formada de un manguito ranurado, taladrado para ajustarse a las dos flechas y cónico en su diámetro exterior del centro a ambos extremos. Las dos mitades del acoplamiento en sí están acabadas con perforaciones para adaptarse a esa conicidad. Cuando se aprietan una a la otra con tornillos, el manguito se comprime contra las dos flechas y la sujeción por fricción transmite el torque sin el uso de cuñas.

#### ACOPLAMIENTOS FLEXIBLES:

##### a)- Acoplamientos de pasador y amortiguador.-

Un acoplamiento de pasador y amortiguador es un acoplamiento flexible con pasadores sujetos a una de sus mitades, los cuales atraviesan los amortiguadores que se montan en la otra mitad del acoplamiento en la otra flecha. Los amortiguadores están hechos de hule o de otro material compresible para darle flexibilidad necesaria. Los pernos impulsores tienen un ajuste fácil de deslizamiento en los manguitos; las pequeñas variaciones longitudinales, por lo tanto, se contrarrestan mientras los ligeros errores de angularidad se compensan por la flexibilidad del hule.

##### b)- Acoplamientos flexibles todos metálicos.-

Un acoplamiento totalmente metálico es aquél cuyas partes están hechas completamente de metal. Algunos de estos acoplamientos dependen de la flexibilidad de placas metálicas o de resortes, mientras que otros dependen del desplazamiento angular que es posible con dos estrías conectadas con una manga también estriada.

Un tipo de acoplamiento todo metálico es el acoplamiento flexible -- Falk. Consiste en dos cubos de acero con bridas y un resorte especial de acero templado que forma una rejilla cilíndrica completa, y una cubierta de acero como tapa. Las periferias de los cubos están ranuradas para recibir el resorte. Las ranuras se ensanchan interiormente unas hacia otras en forma de arco que tiene una relación definida con el espesor de las barras de la parrilla de resorte. La curvatura es de tal forma que los puntos de apoyo se acercan uno a otro al aumentar la carga. De hecho, las ranuras -- están formadas de manera que el esfuerzo sobre el resorte permanece casi -- constante en todo el campo de acción elástica del acoplamiento. Durante la carga ligera, los resortes se acomodan en la ranuras exactamente en sus extremos exteriores. Por lo tanto, hay un largo tramo libre de resorte entre el punto de soporte y la fuerza se transmite casi a través de toda la longitud de los brazos flexibles del resorte. Durante la carga normal, la distancia entre los soportes en las ranuras se acorta automáticamente al aumentar la carga, endureciendo o reforzando el resorte contra el doblés. Durante una carga excesiva, la carga se vuelve tan grande que los resortes se apoyan en toda la longitud de la ranura, lo que hace posible la transmisión de severas sobrecargas. El acoplamiento flexible Falk está lubricado con grasa.

Si no se puede tolerar la interrupción de la operación para relubricar los acoplamientos con aceite, se usan acoplamientos lubricados constantemente, por ejemplo, en instalaciones de bombas de alimentación de calderas sin unidades de repuesto o en bombas de alimentación de calderas movidas directamente por la flecha del generador principal.

El acoplamiento Thomas es un acoplamiento flexible todo metálico no lubricado hecho de dos cubos, montados respectivamente en las flechas impulsada, y de una brida central conectada a las bridas de los dos cubos, -- por medio de una serie de discos flexibles. La fuerza se transmite en tensión por estos discos, que están atornillados alternativamente a las bridas terminales y al miembro central. La flexión de los discos compensa el desalineamiento.

Existen otros numerosos tipos de acoplamientos todos metálicos, por supuesto, los que se ilustran aquí se dan como ejemplos generales.

Los motores eléctricos con cojinetes de manga horizontales generalmente no están equipados con cojinetes de empuje sino más bien con caras -- o bordes de babbit en los cojinetes lineales. El rotor del motor, al que -- se permite flotar, buscará el centro magnético, pero una fuerza muy pequeña puede causar que se salga de su centro. Este movimiento algunas veces puede ser suficiente para hacer que el collar de la flecha toque los bordes -- del cojinete, causando calentamiento y dificultades en los cojinetes.

Este efecto es especialmente notable en motores eléctricos grandes -- de 200 HP y más. Como todas las bombas centrífugas horizontales están equipadas con cojinetes de empuje, se ha adoptado la práctica de usar acoplamientos de juego limitado en el extremo, entre las bombas y los motores, -- en esta capacidad de caballaje, para mantener el rotor del motor dentro de

una posición restringida. Los motores están contruidos de manera que el -- espacio libre total (holgura) entre los collares de la flecha y los bordes de los cojinetes no sea menos de 1.27 cm. Al mismo tiempo los acoplamientos flexibles están arreglados para restringir el juego lateral del rotor del motor a menos de 0.47 cm. Para mantener el intervalo abierto entre el collar de la flecha y los bordes, se debe seguir uno de los siguientes métodos:

1.- Para acoplamientos con ruedas de engrane o rejillas.

Por un botón en el extremo de la flecha de la bomba o por una placa - con dimensiones previas entre los dos extremos de las flechas.

2.- Para acoplamientos de discos flexibles, como el acoplamiento - - Thomas - por la rigidez de los propios discos flexibles, que tienen características inherentes que restringen la fluctuación.

El contacto entre los cubos y las cubiertas de los acoplamientos evitan un movimiento excesivo en la dirección opuesta en los acoplamientos de engranes o rejillas. La rigidez de los discos flexibles es la fuerza resistente en ambas direcciones en los acoplamientos Thomas.

#### ACOPLAMIENTOS DE EMBRAGUE:

Los embragues comunes de disco se usan raras veces para conectar una bomba centrífuga a su impulsor por dos razones principales. La primera es - que la mayoría de los diseños de embragues imponen una alta carga de empuje adicional en el cojinete de empuje de la bomba; la segunda es que se necesita un ajuste muy preciso entre las partes del embrague y este resulta difícil de mantener. El diseño de embrague de rotación libre se ha usado para - conectar impulsores a bombas, especialmente en unidades de impulsor dual, y los más provechosos de estos diseños tienen un acoplamiento flexible incorporado dentro de la unidad de embrague. También se usa un acoplamiento de - embrague con pesas careadas en la mitad del impulsor que se oprimirán contra la superficie de un tambor en la mitad impulsada por la fuerza centrífuga.

Acoplamientos para impulsor dual.-

En instalaciones de bombas con impulsor dual, generalmente es conveniente tener un impulsor inactivo para ahorrar energía o evitar desgaste. - Las máquinas de combustión interna, sin embargo, no pueden dejarse en movimiento sin trabajar y deben desconectarse. El tipo ideal de acoplamiento para esas unidades es aquél que puede desconectarse y volverse a conectar fácilmente. Un ejemplo del acoplamiento de cadena de desconexión rápida se -- muestra en la fig. 5-4.

Otro acoplamiento de interrupción se ilustra en la fig. 5-5. La - - vista izquierda muestra el acoplamiento en posición conectada; la vista derecha en la posición desconectada. Es una operación rápida y sencilla soltar los pasadores de su punto de enclavamiento, deslizar la manga dentro -- del engranaje o sacarla, y así conectar o desconectar la unidad impulsora y la bomba.

A continuación se muestran algunos tipos de acoplamientos:

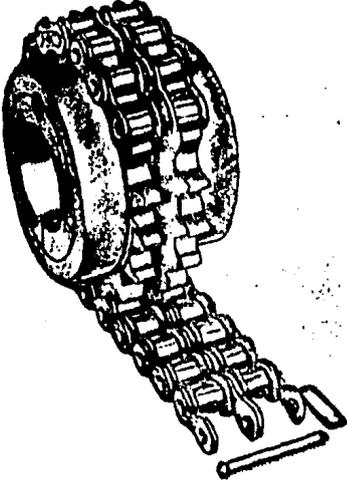


Fig. 5-4 Acoplamiento de Cadena

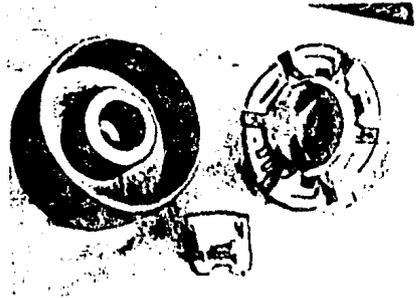


Fig. 5-6 Acoplamiento de ambrague

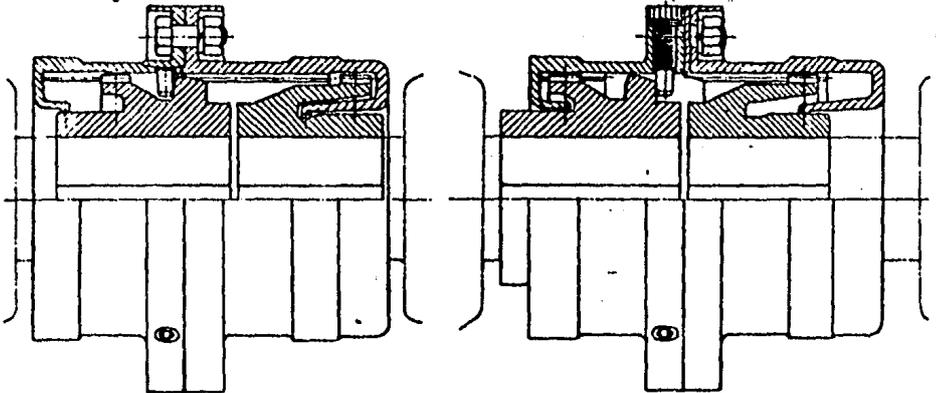


Fig. 5-5 Acoplamiento "Fast" de desmontaje.

Si el tiempo es de extraordinaria importancia o si el arranque del impulsor de reserva se controla automáticamente, es necesario un dispositivo como el embrague de rueda libre. Un acoplamiento de embrague con zapatas retenidas con resortes en la mitad impulsada es muy apropiado para este servicio ( fig. 5-6 ) La acción centrífuga en estas zapatas puede controlarse a cualquier velocidad predeterminada, y no se ejecuta ningún contacto de la zapata hasta que se alcanza esta velocidad. Arriba de esa velocidad, el acoplamiento toma automáticamente la carga. La tensión de los resortes puede hacerse sólo la suficiente para vencer el peso de la zapata o para permitir a la bomba que la mueva un motor en un lado mientras que una máquina de combustión interna está ociosa sin carga en el otro.

#### 5.4.- PRUEBAS ELECTRICAS

Con respecto a las pruebas que se realizan a un motor antes de entrar en servicio, se debe poner un gran énfasis, debido a que de estas pruebas depende mucho tanto el buen funcionamiento del motor como la duración del motor.

Las pruebas de alta tensión para motores de más de 550 V normalizadas consisten en aplicar por un minuto la tensión de prueba que puede ser en corriente alterna ó corriente directa.

Para devanados nuevos

$$V = 2V_{nom} + 1000 \text{ V ( a 60 Hz )}$$

Para devanados usados que se hayan reparado parcialmente

$$V = 1.5 V_{nom} + 1000 \text{ V ( a 60 Hz )}$$

Si en lugar de aplicar corriente alterna se aplica corriente directa el valor de la prueba de corriente directa deberá ser 1.7 veces el valor de la prueba en corriente alterna.

$$V_{cd} = 1.7 V_{ca}$$

Es muy conveniente también que se efectúen las siguientes pruebas:

- Medición de resistencia entre terminales de las fases
- Medición de resistencia de aislamiento con Megger a 20°C
- Medición del factor de potencia del aislamiento a 2500 V ( para motores de 4160 V ).

Entre otras pruebas que se deben hacer antes de entrar en servicio -- tenemos las siguientes:

- Verificar que las anclas estén apretadas y la carcasa conectada a tierra.
- Verificar el aislamiento con Megger del motor y cables.
- Conectar el motor a sus cables correspondientes en forma adecuada, evitando que haya falsos contactos o conexiones mal hechas que puedan provocar cortos circuitos.
- Arrancar el motor desacoplado.
- Observar que el sentido de giro es el correcto, de lo contrario intercambiar dos fases.
- Medir y checar si las corrientes en vacío de las tres fases están balanceadas.
- Verificar que las vibraciones de el motor están dentro del rango aceptable.
- Si es posible verificar la velocidad con un tacómetro
- Dejar el motor operando un ahora y observar que el calentamiento de sus rodamientos sea menor de 60°C
- Parar el motor y proceder a acoplarlo
- Arrancar el motor con carga y medir corriente, vibraciones, velocidad, calentamiento de cojinetes y carcasa durante la primera hora de operación.

La observación debe ser permanente o sea que una persona deberá estar al lado del motor observándolo, en especial observar las elevaciones de temperatura por una hora.

### 5.5.- VIBRACIONES

Vibración es un término que describe oscilaciones de un sistema mecánico. Una vibración es, en su sentido más general, un movimiento periódico es decir, un movimiento que se repite con todas sus características después de un intervalo de tiempo llamado período de la vibración, designado generalmente por el símbolo  $T$  ( s ) conceptualmente, se puede considerar un fenómeno vibratorio como sinusoidal o simplemente armónico.

El movimiento de una partícula en vibración, puede representarse convenientemente por la proyección de un vector rotativo con velocidad angular  $w$  constante.

La proyección en el eje  $x-x$  del vector "A", en cualquier tiempo  $t$  queda definida por la ecuación  $X_1 = A \cos wt$

"A" se denomina amplitud de la vibración y se caracteriza por ser el valor máximo del desplazamiento.

Un ciclo completo de la oscilación se realiza en el tiempo  $T$ , llamado período de la oscilación.

A la cantidad inversa del período se le llama frecuencia y representa el número de oscilaciones completas que se realizan en la unidad de - -

- Verificar que las anclas estén apretadas y la carcasa conectada a tierra.
- Verificar el aislamiento con Megger del motor y cables.
- Conectar el motor a sus cables correspondientes en forma adecuada, evitando que haya falsos contactos o conexiones mal hechas que puedan provocar cortos circuitos.
- Arrancar el motor desacoplado.
- Observar que el sentido de giro es el correcto, de lo contrario intercambiar dos fases.
- Medir y checar si las corrientes en vacío de las tres fases están balanceadas.
- Verificar que las vibraciones de el motor están dentro del rango aceptable.
- Si es posible verificar la velocidad con un tacómetro
- Dejar el motor operando un ahora y observar que el calentamiento de sus rodamientos sea menor de 60°C
- Parar el motor y proceder a acoplarlo
- Arrancar el motor con carga y medir corriente, vibraciones, velocidad, calentamiento de cojinetes y carcasa durante la primera hora de operación.

La observación debe ser permanente o sea que una persona deberá estar al lado del motor observándolo, en especial observar las elevaciones de temperatura por una hora.

#### 5.5.- VIBRACIONES

Vibración es un término que describe oscilaciones de un sistema mecánico. Una vibración es, en su sentido más general, un movimiento periódico es decir, un movimiento que se repite con todas sus características después de un intervalo de tiempo llamado período de la vibración, designado generalmente por el símbolo  $T$  ( s ) conceptualmente, se puede considerar un fenómeno vibratorio como sinusoidal o simplemente armónico.

El movimiento de una partícula en vibración, puede representarse convenientemente por la proyección de un vector rotativo con velocidad angular  $w$  constante.

La proyección en el eje  $x-x$  del vector "A", en cualquier tiempo  $t$  queda definida por la ecuación  $X_1 = A \cos wt$

"A" se denomina amplitud de la vibración y se caracteriza por ser el valor máximo del desplazamiento.

Un ciclo completo de la oscilación se realiza en el tiempo  $T$ , llamado período de la oscilación.

A la cantidad inversa del período se le llama frecuencia y representa el número de oscilaciones completas que se realizan en la unidad de - -

tiempo y se representa cómo sigue:

$$f = \frac{1}{T} \left[ \frac{1}{s} \right] \text{ Hz}$$

La velocidad angular "w" es medida en radianes por segundo, por este motivo se le denomina frecuencia de giro o frecuencia angular.

Cómo el período del coseno es de  $2\pi$ , el período T del movimiento se relaciona con "w" mediante la ecuación:

$$T = \frac{2\pi}{w}$$

De aquí se ve que w se diferencia de la frecuencia en el factor.

$$f = 2\pi f$$

Al argumento del coseno,  $(wt - \psi)$ , en nuestro caso  $\psi=0$  y se le denomina fase de la oscilación siendo  $\psi$  la fase inicial.

De esta manera podemos decir que toda vibración se define por su frecuencia y amplitud.

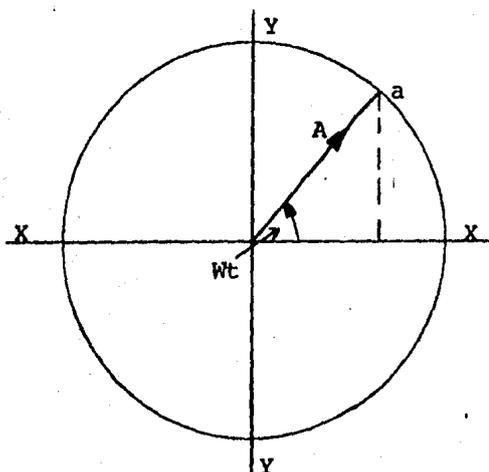


FIG. 5-3 VIBRACION ARMÓNICA REPRESENTADA POR LA PROYECCION HORIZONTAL DE UN VECTOR ROTATIVO.

La vibración del rotor de una máquina es la reacción a la acción de una fuerza excitante. Una fuerza excitante común es el desequilibrio de masa, que provoca una separación del centro de masa con respecto al centro de giro, ocasionando lo que se conoce como orbitación.

Cuando el desbalance de masas excede los límites tolerables, se refleja en vibraciones altas que causan aumentos de esfuerzos en las distintas partes del rotor y en sus puntos de apoyo, tales como rodamientos y chumaceiras, que a su vez, pueden llevar a baja disponibilidad de la máquina. Al balancear un rotor, se trata de disminuir la separación del centro de masa con respecto al centro de giro colocando pesos de corrección en los puntos opuestos a las masas de desbalance.

Hacer que coincida el centro de masa con el centro de giro, es una tarea complicada, que exige un cierto nivel de precisión en las mediciones y en los cálculos, así como en la estimación de los niveles de desbalance residuales tolerables, dependiendo de la masa del rotor, velocidad de giro y radio.

Las principales causas del desbalance son las siguientes:

- Desbalance original; aquél que resulta de la distribución no concéntrica de la masa de un rotor después de su fabricación.
- Desbalance por excentricidad.
- Desbalance por flexión permanente de un rotor.
- Desbalance por mal alineamiento de rotores acoplados rígidamente.
- Desbalance por mal acomodo de los rotores durante la operación.
- Desprendimiento de material.
- Acumulación de depósitos.

Para resolver el problema de alta vibración de una máquina desequilibrada, se puede recurrir a procedimientos de corrección diseñados para condiciones normales de operación tales como velocidad, temperatura, etc. El propósito de este procedimiento "de taller" consiste en evitar al máximo la necesidad de modificar las condiciones de balanceo con los equipos en servicio. Por lo tanto, es importante que cada vez que un turbogrupo salga a mantenimiento, sobre todo si durante el mismo se han efectuado trabajos de limpieza, cambio de piezas, enderezado o cualquier otro evento que modifique la distribución de masa de sus rotores, se aplique el procedimiento aquí descrito.

Aún cuando este procedimiento esta orientado a resolver el problema de balanceo en taller de turbomáquinas de gran tamaño sin tener que recurrir a instalaciones de fábrica ni a máquinas balanceadoras que son de costo muy elevado, los principios en que se basa pueden ser aplicados en una máquina balanceadora de "patente", cuyo funcionamiento este basado en el principio de bajar la rigidez del sistema rotor-apoyos de manera de excitar sus primeros modos de vibración en velocidades bajas.

Este procedimiento es aplicable a todos los rotores de turbomáquinas de alta velocidad, tales como turbinas de vapor y gas, generadores y motores eléctricos, ventiladores y bombas centrífugas, etc.

El problema principal al que se enfrenta el ingeniero de mantenimiento de turbomáquinas cuando se efectúan trabajos de balanceo, es la determinación del lugar donde se encuentra localizado el centro de masa del rotor, tanto en el sentido axial como en el radial.

Con este procedimiento que también se conoce como método de los operadores "Q" se puede resolver este problema, sobre todo cuando se trata de máquinas de rotor rígido, sin excluir las máquinas con rotor flexible. El principio en el que se basa es aplicable a "n" planos y se usa en prácticamente todos los procedimientos de balanceo.

Para uno y dos planos la solución matemática es relativamente simple y consume poco tiempo de cálculo; para más de 2 planos el problema se complica y el tiempo requerido para resolver las ecuaciones vectoriales lo hace no aplicable.

#### MÉTODOS DE BALANCEO.-

**BALANCEO EN UN PLANO:** Supongamos que tenemos la vibración o vector de desbalance perfectamente determinado, esto es, que conocemos su magnitud y su ángulo de fase, más adelante analizaremos las diferentes formas de medir amplitud y ángulos de fase, según sea el equipo que se use. Este vector de desbalance que llamaremos  $V_0$ , es la reacción del rotor a una masa excéntrica. El procedimiento consiste en introducir una masa adicional para que con su influencia en el desbalance, conocer la localización y la cantidad de la masa excéntrica original y así contrarrestarla.

Al introducir una cierta masa en cualquier lugar del plano de balance del rotor y hacerlo girar a la misma velocidad, tendremos un nuevo vector de desbalance que será ocasionado por el desbalance original, más el desbalance ocasionado por la masa adicional. Este nuevo vector lo llamaremos  $V_1$ . Si enseguida restamos a este vector  $V_1$ , el vector de desbalance original  $V_0$ , obtendremos el efecto de nuestra masa adicional sobre el rotor. Ahora podemos darnos cuenta que el efecto buscado al introducir una masa adicional que debe ser de  $-V_0$ .

La expresión matemática es:

$$(V_1 - V_0) Q = -V_0$$

Donde Q es un operador que corrige en posición y en magnitud la masa de prueba introducida para obtener  $-V_0$  como efecto.

Es fácil observar que el problema a resolver será el de encontrar el operador Q como sigue:

$$Q = - \frac{V_0}{V_1 - V_0}$$

Hay que hacer notar que este operador Q tendrá una magnitud y un ángulo. La magnitud significa cuando se debe modificar la masa mientras que el

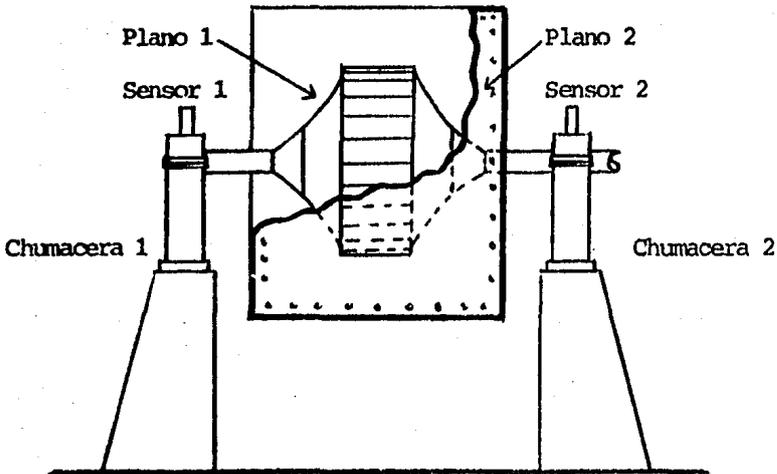


FIG. 5.7 BALANCEO EN DOS PLANOS

ángulo significa lo que tiene que moverse respecto a la posición original.

La reacción observada en el rotor al introducir una masa y afectar su vibración por desbalance es característica del mismo. En general los procedimientos de balanceo, se basan en la suposición de que ésta respuesta es lineal sin importar la amplitud de la vibración ni la cantidad de masa introducida. Esta respuesta al desbalance de un rotor dado se expresa como -- una relación entre masa desbalanceadora y vibración causada por ésta. A esta relación se le llama coeficiente de influencia. Su expresión matemática es:

$$C. I. = \frac{\text{masa}}{\text{vibración}} \quad ; \frac{g}{mm}$$

para nuestro caso:

$$C. I. = \frac{\text{masa introducida}}{V_e} = \frac{m_i}{V_1 - V_0}$$

donde  $V_e$  es conocido como Vector Efecto

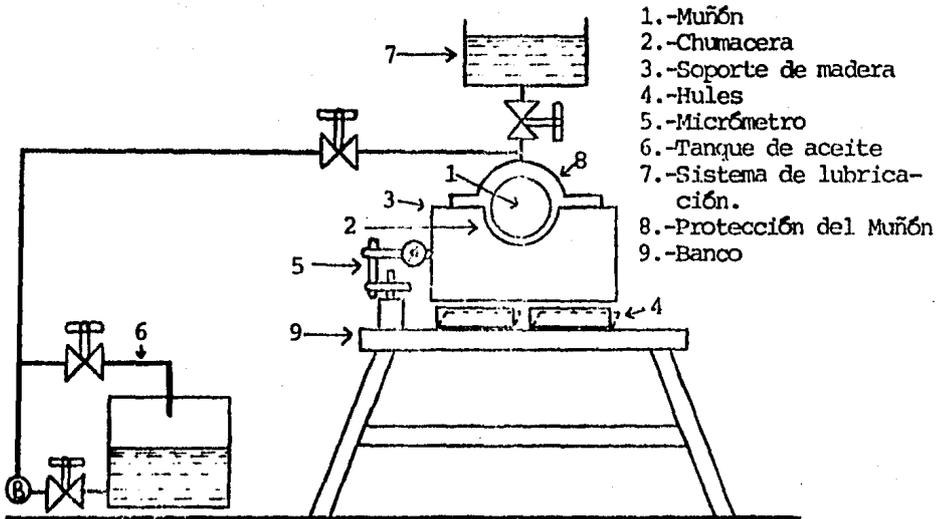


FIG. 5.8 BALANCEO EN BANCOS

Como sabemos, existen diferentes formas para operar vectores, gráficas y analíticamente, en nuestro caso para simplificar usaremos la forma analítica.

Volviendo a nuestro caso, se puede ver que se trabaja precisamente con el coeficiente de influencia del rotor y que el operador  $Q$ , permite saber en que posición se debe colocar determinada cantidad de masa para contrarrestar nuestro vector original.

**BALANCEO EN DOS PLANOS:** Igualmente que en el caso anterior de balanceo en un sólo plano en el procedimiento para dos planos, se requiere encontrar la influencia que ocasiona una masa adicional que se introduce en el rotor, para después con los operadores  $Q$ , afectarla en magnitud y posición para obtener como efecto el vector opuesto al desbalance original en cada uno de los planos a balancear. Hay que tomar en cuenta que ahora tenemos dos planos de balanceo y que consiguientemente necesitamos contar con dos sensores de vibración, correspondiente a cada uno de esos planos, de manera de poder contar con dos vectores de desbalance inicial. Además debemos considerar que cuando se introduzca una masa de prueba en uno de los planos. Esta afectará no sólo a aquel plano donde se introdujo sino también el plano adicional. Por esta razón tendremos que hacer las siguientes consideraciones.

1.- Es necesario obtener los vectores de desbalance original que se presentan en los sensores correspondientes a cada uno de los planos. Al plano No.1 lo llamarán "PL1" y al plano No.2 lo llamaremos "PL2".

El vector de desbalance original en PL1 lo llamaremos " $V_{10}$ " y al de PL2, lo llamaremos " $V_{20}$ ".

- 2.-Se introduce una masa de prueba en cualquier lugar de PL1 y se -- obtiene el vector  $V_{11}$ , que será el vector resultante de la influencia de la masa de prueba puesta en PL1 más el desbalance original en PL1. Se obtiene también el vector  $V_{21}$  que será el vector -- resultante de la influencia de la masa de prueba puesta en PL1, sobre PL2 más el desbalance original en PL2.

Los valores de la masa que llamaremos " $m_1$ " y su colocación en grados, así como los valores de los nuevos vectores, se anotan en la tabla y en la gráfica polar mencionadas.

Antes de continuar observemos los subíndices de nuestros vectores. Los vectores de desbalance original tienen como subíndices "10" y "20" el 1 y el 2 se refieren al plano que corresponden.

El cero quiere decir que aún no se introduce masa de prueba alguna. Cuando introducimos nuestra masa de prueba en PL1 se obtienen los vectores con subíndices 11 y 21; esto quiere decir que hay -- una masa de prueba en cualquier lugar de PL1.

- 3.-Se introduce una masa de prueba en cualquier lugar de PL2 (previa mente se quita la de PL1) y se obtienen los vectores  $V_{21}$  y  $V_{22}$ . -- Su significado es análogo al caso descrito anteriormente.

Ahora se tienen todos los datos necesarios para establecer nuestras ecuaciones vectoriales para determinar los operadores  $Q_1$  y  $Q_2$ , que nos deben corregir las masas  $m_1$  y  $m_2$ .

Matemáticamente el sistema de ecuaciones vectoriales queda como sigue:

$$Q_1 (V_{11} - V_{10}) + Q_2 (V_{12} - V_{10}) = V_{10}$$

$$Q_1 (V_{21} - V_{20}) - Q_2 (V_{22} - V_{20}) = V_{20}$$

De nueva cuenta el problema será determinar  $Q_1$  y  $Q_2$ . Para esto, se -- hacen las siguientes consideraciones para simplificar la solución

$$D_{11} = V_{11} - V_{10} \quad (\text{Diferencia estática para PL1})$$

$$D_{12} = V_{12} - V_{10} \quad (\text{Diferencia dinámica para PL1})$$

$$D_{21} = V_{21} - V_{20} \quad (\text{Diferencia dinámica para PL2})$$

$$D_{22} = V_{22} - V_{20} \quad (\text{Diferencia estática para PL2})$$

Sustituyendo los valores podemos escribir el sistema de ecuaciones - de la manera siguiente:

$$Q_1 D_{11} - Q_2 D_{12} = V_{10}$$

$$Q_1 D_{21} - Q_2 D_{22} = V_{20}$$

Resolviendo este sistema obtendremos:

$$Q_1 = \frac{\begin{vmatrix} -V_{10} & D_{12} \\ -V_{20} & D_{22} \end{vmatrix}}{\Delta} = \frac{V_{10} D_{22} - V_{20} D_{12}}{\Delta}$$

$$Q_2 = \frac{\begin{vmatrix} D_{11} & V_{10} \\ D_{21} & V_{20} \end{vmatrix}}{\Delta} = \frac{V_{20} D_{11} - V_{10} D_{20}}{\Delta}$$

en donde:

$$\Delta = \begin{vmatrix} D_{11} & D_{12} \\ D_{21} & D_{22} \end{vmatrix} = D_{11} D_{22} - D_{21} D_{12}$$

y se le conoce como determinante general.

Obtenidos los operadores  $Q_1$  y  $Q_2$ , se tiene la información necesaria para cada uno de los planos; esto es, se sabrá que hacer en PL1 respecto a la magnitud y la posición de  $m_1$  para obtener  $-V_{10}$ , así como con  $m_2$  en PL2 para obtener  $-V_{20}$ .

#### DETERMINACION DE AMPLITUD DE VIBRACION Y ANGULO DE FASE.

**SENSORES:** Para hacer la determinación de la amplitud de vibración y del ángulo de fase de la misma, es necesario contar con un sensor de vibración que puede ser de cualquiera de los tres tipos disponibles para detección de vibraciones en turbomáquinas.

Estos sensores son:

## DESPLAZAMIENTO

## VELOCIDAD Y

## ACELERACION.

a) Los sensores de desplazamiento detectan el movimiento del rotor relativo a las chumaceras, son en general el tipo más adecuado para un trabajo de balanceo. En caso de que la máquina a balancear tenga una vibración con componentes de frecuencia diferente a la de giro, es probable que se requiera filtrar la señal aunque también puede significar que el origen de la vibración es diferente al desbalanceo.

b) Los sensores de velocidad, pueden usarse apoyados en las cubiertas de las chumaceras o por medio de zapatas deslizantes sobre el rotor; su respuesta es aceptable, aunque pueden responder a frecuencias de vibración superiores a la de giro, lo que puede hacer necesario filtrar su señal. Tienen la ventaja de que son autónomos en cuanto a fuente de poder, por lo que es posible usarlos para lectura directa en el equipo de medición.

c) Los sensores de aceleración se usan de manera casi exclusiva -- sobre las cubiertas de las chumaceras. Su respuesta es también aceptable pero tiene la misma desventaja del de velocidad, referida a su alta sensibilidad a componentes de alta frecuencia. Son en general los menos adecuados para el trabajo de balanceo.

El equipo de medición que se puede usar es:

Osciloscopio de dos canales

Filtros pasabandas

Analizador de enclavamiento en fase

Analizador de lámpara estroboscópica.

## II.- OSCILOSCOPIO Y ANALIZADOR.

A continuación se describe el uso del osciloscopio y del analizador de balanceo con enclavamiento en fase para la determinación de la amplitud de vibración y de su ángulo de fase. Esta descripción se hace de manera simultánea para ambos equipos, a partir de un ejemplo.

Supongamos que tenemos una máquina instrumentada con un sensor de desplazamiento, cuya sensibilidad es 100 mV/U.I. Adicionalmente se tendrá un sensor óptico para detectar el paso de una marca reflejante colocada sobre el rotor que servirá para determinar el cero del mismo en la medición de fase de la vibración así como para medición de frecuencia de giro.

Para leer en el osciloscopio unidades de ingeniería tales como micras o milésimas de pulgada por división de la carátula del osciloscopio, debemos seleccionar en el canal correspondiente la escala 0.1 V/div ó múltiplos adecuados. El otro canal deberá ser usado para desplegar el pulso del sensor óptico y debe calibrarse de manera que sea fácilmente observada, sin importar su amplitud. La función de tiempo del osciloscopio deberá ser calibrada de manera que por lo menos, aparezca en la pantalla un ciclo completo.

El analizador de balanceo en enclavamiento en fase deberá ser calibrado de tal manera que sea posible leer directamente en la carátula las unidades de ingeniería seleccionadas.

#### RECOMENDACIONES GENERALES.-

-DIAGNOSTICO ELEMENTAL: Es necesario hacer notar que un trabajo de balanceo consiste en corregir un problema de alta vibración que tiene su origen en la distribución no concéntrica de la masa de un rotor, por lo que será infructuoso cualquier esfuerzo tendiente a disminuir vibración con las técnicas expuestas en este procedimiento cuando el origen del problema sea diferente al mencionado desequilibrio.

Por esta razón es importante que se apliquen las siguientes normas mínimas de verificación o diagnóstico cuando se analice la vibración de una máquina:

a) El vector de vibración de una máquina desbalanceada, esto es la amplitud y fase de la señal filtrada, deben ser constantes, sobre todo si las filtraciones de velocidad, carga, temperatura, etc. de la máquina permanecen constantes.

b) La componente principal o única de la vibración de una máquina desbalanceada debe ser de la misma frecuencia que el giro, sobre todo si se usan sensores de desplazamiento para detectar dicha vibración. La diferencia entre la amplitud de la lectura total y la filtrada debe ser mínima.

En caso de que se usen sensores de aceleración o de velocidad, la amplitud de la componente que tiene la misma frecuencia que el giro, puede ser pequeña comparada con la de la señal total, en este caso, es necesario determinar las amplitudes y las frecuencias de las otras componentes de la señal de vibración y evaluar su aportación al valor total de la señal no filtrada. Es obvio que una vez que se conoce amplitud y frecuencia de las otras componentes de la señal de vibración, se puede deducir su origen y avanzar en la determinación de la causa principal de vibración de la máquina

c) Si la vibración de la máquina cambia con la carga y si esta vibración permanece constante con las condiciones de carga es probable que se trate de un caso de desbalance latente que con reservas se puede intentar corregir. En este evento es muy importante que se agoten todas las posibilidades

dades de encontrar una causa de vibración tal como flexión, rozamiento, dis torsión térmica, etc.

-Calidad de las mediciones.

Es evidente que la calidad de las mediciones de vibración así como -- las correctas relaciones entre masas de prueba y masas de corrección son -- determinantes para lograr una reducción de vibraciones de manera precisa -- y rápida.

De especial importancia deben ser los siguientes puntos:

a) El ángulo de fase de la vibración debe ser leído con la mayor pre cisión posible, ya que los errores de apreciación se reflejan grandemente -- en la obtención de resultados al aplicar las ecuaciones vectoriales.

b) El filtraje de la señal, sobre todo cuando se trata de sensores de velocidad o de aceleración debe hacerse con la mayor precisión posible, tan to por la importancia que tiene la amplitud de la señal filtrada que es di-- rectamente proporcional al desbalance como por el hecho de que cuando el -- filtro pasa bandas no se encuentra perfectamente sintonizado a la frecuen- cia de giro, induce errores de fase muy altos.

c) Es absolutamente indispensable que los cables y conectores usados para transmisión de señales de vibración se encuentren en perfecto estado,-- sobre todo en las zonas de unión de cables con conectores. Es un vicio co-- mún el de olvidar este detalle que usualmente lleva a lecturas falsas o cam-- biantes.

d) El equipo de análisis y medición debe por supuesto, hallarse en -- perfectas condiciones de funcionamiento. Es aconsejable que se apliquen de manera periódica procedimientos de revisión de calibración. Aún cuando el -- equipo electrónico complejo es por lo general cerrado para el usuario y los fabricantes restringen el acceso a la información de funcionamiento, es po-- sible diseñar e implementar rutinas simples de verificación que permitan -- asegurar la precisión de las mediciones y el correcto estado de las funcio-- nes de los aparatos.

La atención a las recomendaciones anteriores deberá rendir frutos im-- portantes tanto en la calidad y rapidez de los trabajos de balanceo, así -- como en la seguridad y disponibilidad de la máquina a balancear.

#### 5.6.- CONDICIONES DE ARRANQUE PARA EL MOTOR DE INDUCCION.-

Mediante un análisis detallados se puede observar claramente que el -- arranque constituye la condición más severa para el motor, dado que su re-- sistencia de carga  $R_L$  es nula y su rama del rotor queda cortocircuitada.

Bajo estas condiciones tenemos experiencias sobre los problemas que se pueden presentar, por ejemplo:

- I.- La corriente de arranque que es del 600-700 %  $I_{nom}$  del motor - - ( diseño NEMA B ), somete a un esfuerzo mecánico y calentamiento térmico a barras del rotor, soldaduras entre barras y anillo de la jaula, provocando fallas en rotores por roturas en barras o jaulas. Una solución para este tipo de problemas es el cambio de barras y reconstrucción de la jaula.

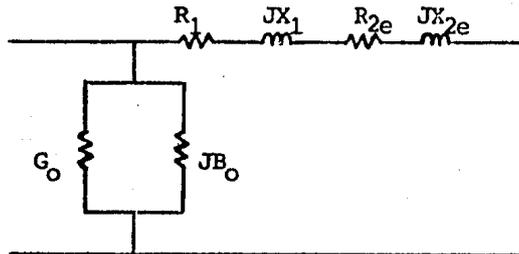


FIG. 5.6 DIAGRAMA DE ARRANQUE DE UN MOTOR DE INDUCCION

- II.- Durante los arranques también puede existir otro problema, que fallen las soldaduras de las conexiones de las bobinas del estator de los motores después de un cambio de frecuencia, esto puede ser por una baja calidad en la soldadura y mal rediseño.
- III.- Los fabricantes en general restringen al máximo de dos arranques consecutivos de un motor de 2.4 ó 4.16 KV y un máximo de 4 en el día. Esto es debido al tremendo calentamiento del rotor y estator a que se somete el motor.

$$\begin{array}{l} \text{Pérdidas} \\ \text{normales} \end{array} = ( I_2^2 R_2^2 )$$

$$\begin{array}{l} \text{Pérdidas} \\ \text{arranque} \end{array} = (7I)^2 R_{2e} = 49 ( I^2 R_{2e} )$$

Se puede ver las pérdidas de arranque son del orden de 49 veces las pérdidas normales.

- IV.- El efecto de deterioro es acumulativo y progresa exponencialmente ya que una soldadura que falla en el rotor provoca un aumento de su resistencia y un aumento del calentamiento general del rotor,-

que provocará que otros fallen.

### 5.7.- CONDICIONES DE OPERACION

Observando la gráfica de la fig. 2-7 del Capítulo II, que nos representa el par electromagnético en función de la velocidad, se observará la curva de operación de un motor de inducción, de la cual podemos deducir lo siguiente:

Par de arranque

$$T_{\text{arr}} = I_{2e}^2 \frac{R_{2e}}{W_s}$$

Par Máximo

$$T_{\text{max}} = \frac{V_1^2}{W \left( R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_{2e})^2} \right)}$$

Deslizamiento del par máximo

$$S_{T_{\text{max}}} = \frac{R_{2e}}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_{2e})^2}}$$

De las fórmulas anteriores se puede observar que:

- Un aumento de  $R_{2e}$  aumenta el par de arranque.
- El par máximo es independiente de la resistencia del rotor  $R_{2e}$ .
- El deslizamiento donde ocurre el par máximo es proporcional a  $R_{2e}$  o sea que aumenta al aumentar la resistencia del rotor.

El efecto de un aumento de resistencia del rotor se puede observar en las curvas que aparecen en la fig. 2-8 del Capítulo II; observando esta figura nos podemos dar cuenta que un aumento de resistencia en la —

jaula de ardilla provocará un mayor deslizamiento del rotor, o sea que a -- plena carga bajará su velocidad.

Algunas experiencias que se han podido observar durante jornadas de -- trabajo son que en motores verticales de bombas de 50 HP, que al abrirse algunas barras su velocidad disminuye sensiblemente. Como la presión de descarga de la bomba también baja, pues es proporcional a la velocidad del motor, su efecto es el de disminuir el gasto o anular la descarga. El problema de -- barras rotas girando en un rotor, provoca un aumento de vibración en el motor, dado que cuando la corriente pasa por las barras sanas tiene menor resistencia que un instante después en que por el deslizamiento angular entre rotor y campo pasa por barras rotas.

Esto hace que tengan oscilaciones de amperes y ángulo ( esto puede detectarse con un fasómetro). Provoca pulsaciones de par. El riesgo de que se fracturen por vibración otras barras, o aspas del ventilador aumenta.

Aunque no directamente imputable a esto el problema de desprendimiento de piezas del rotor y su daño sobre el embobinado del estator en el entrehierro o cabezales se ha tenido en motores de recirculadores de gases, y tiros forzados en algunas partes donde se usa este tipo de maquinaria.

#### 5.7a- TEMPERATURA DE OPERACION

El calentamiento del motor en operación pone en serio riesgo primeramente el devanado del estator que en la actualidad suele ser clase B 130°C, máximo o clase F 155°C máximo.

Estas temperaturas no deben ser alcanzadas, el punto más alto debe dejarse abajo de ellas, pero como nuestros detectores muestran sólo algunos -- puntos, lo que debemos leer máximo en ellos es 40°C abajo de estos límites o sea 90°C y 115°C respectivamente. El margen de 40°C se considera dando 10°C de diferencia máxima entre conductores, 10°C para gradiente por el aislamiento y 20°C por seguridad.

Ahora bien si las cuñas, los separadores, soportes de cabezales y cables de terminales no son de clase F deberán considerarse el devanado como -- la clase correspondiente a esos materiales más baja.

En el siguiente cuadro podemos observar más claramente lo que se ha descrito anteriormente.

MOTORES DE INDUCCION			
CLASE	TEMP. MAX.	TEMP. RECOM.	TEMP. NORMAL
B	130°C	90°C	70°C
F	155°C	115°C	90°C
H	180°C	140°C	110°C

Se han tenido experiencias en motores de 4160 V con nueve años de servicio a los cuales se han tenido que cambiar las cuñas, y se observa que estas salen deterioradas por temperatura.

Se ve claro que un motor sobrecargado operará con pérdidas mayores en estator y rotor y con mayor temperatura.

Pero también se han observado daños severos por operar a alta temperatura en cojinetes y baleros, ya que la temperatura elevada carboniza las grasas y baja la viscosidad de los aceites.

En conclusión durante el primer arranque de cualquier motor grande deberá verificarse su amperaje y su temperatura de operación por una hora, para tener la seguridad de su correcto estado. Esto debe repetirse después de cada reparación o cambio.

#### 5.7b-CONDICIONES DE OPERACION DE ACUERDO AL TIPO DE AMBIENTE

La mayoría de los motores comprados en la actualidad son para ser usados en localizaciones comunes en donde el aire es relativamente limpio, la temperatura se mantiene dentro de los límites normales tolerables por seres humanos y las condiciones extremas de carga en los motores sólo se presentan excepcionalmente; sin embargo, miles de motores se usan en aplicaciones en donde estas condiciones ideales no existen. El propósito de este artículo es discutir los problemas que presentan las condiciones ambientales extremas y los sistemas de aislamiento disponibles para resolver estas aplicaciones.

Desde el punto de vista del usuario, el aislamiento es uno de los aspectos más importantes del motor, ya que es el elemento que decide:

"La vida útil del motor y el mantenimiento aplicable al mismo"

Además los sistemas de aislamiento son constantemente investigados y desarrollados para mejorarlos. El adelanto tecnológico que se ha obtenido en este aspecto durante los últimos 20 años es muy notable. Es por ello que el usuario de motores está vitalmente interesado en obtener el aislamiento que otorgue máxima protección a un costo razonable. Parte de la respuesta se encuentra en las características del sistema de aislamiento, mientras que la otra parte consiste en la selección de la cubierta en el motor más adecuado a la aplicación.

Las condiciones que se mencionan a continuación son las que determinan las áreas problemáticas. Si alguna de ellas existe, hay que tomar medidas para proteger al motor o a sus partes.

a) Condiciones ambientales perjudiciales:

- Temperatura ambiente ( arriba de 40°C )
- Altura sobre el nivel del mar ( arriba de 1000 Mts.)
- Abuso mecánico ( por impacto o vibración )
- Contaminantes atmosféricos:
  - Agentes químicos corrosivos
  - Agentes abrasivos ( polvos y partículas )
  - Agentes obstruyentes ( polvo, pelusa, nieve )
  - Humedad ( alta humedad relativa, salpicadura )

b) Forma de los contaminantes:

- Sólidos líquidos o gases.
- Forma en que se mueven:
  - Suspendidos en el aire
  - Cayendo por gravedad
  - Rebotando de superficies adyacentes
  - Impulsados por fuerzas indefinidas

c) Gran altura sobre el nivel del mar:

Este factor que es uno de los principales problemas en México, debido a su topografía, aumenta el efecto de temperatura en los aislamientos. Al reducirse la densidad del aire con la altura, disminuye su capacidad refrigerante y la disipación del calor decrece.

Ahora bien, en los motores que diseña IEM por ejemplo, se ha tomado en cuenta este factor para que el aumento de temperatura no exceda los valores normados por CONNIE a la altura de la ciudad de México ( 2280 mts. sobre el nivel del mar).

En casos en que haya necesidad de operar los motores a alturas muy superiores a la arriba indicada, habrá necesidad de usar las mismas medidas ya indicadas. La única ventaja que se presenta en este caso es que generalmente la temperatura ambiente decrece al aumentarse la altura.

d) .- Impacto y Vibración.-

Estas condiciones deterioran rápidamente al motor completo, causando roturas de las patas, armazón, tapas y flecha, causan fatiga y falla prematura en los rodamientos y aislamientos.

En esta condición, más vale prevenir que lamentar. Los factores antes mencionados pueden prevenirse mediante un alineamiento perfecto entre el motor y la carga y comprobando que el balanceo dinámico de la carga no produzca vibración excesiva ( arriba de 0.050 mm. de amplitud total).

Si el impacto se origina al arrancar y acelerar el motor, habrá que cambiar a algún sistema de arranque más suave y de transición cerrada, como quedó apuntado en el capítulo anterior.

e) .- Contaminantes Atmosféricos.-

Estos, como ya apuntamos, pueden ser:

Químicos corrosivos

Polvos abrasivos

Polvos obstruyentes

Alta humedad relativa

Para hacer frente a estos agentes destructivos, en algunas industrias se han desarrollado ultimamente lo siguiente:

a) .- Un aislamiento especial a prueba de humedad, corrosión y abrasión ( APH ).

b) .- Motores totalmente cerrados con acabados epóxicos especiales y en los cuales naturalmente se aplica aislamiento APH.

Estos motores se conocen bajo el nombre genérico de " Tipo Químico " y además de los factores antes numerados, también llevan aislamientos "Clase F" para resistir las sobrecargas y altas temperaturas ambientales.

## CAPITULO VI

## \* CONCLUSIONES \*

6.1.- IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO\*\*\*

El propósito básico del mantenimiento preventivo es maximizar la capacidad productiva de los equipos y al mismo tiempo mantener al mínimo los -- costos generales de producción.

El mantenimiento puede desarrollarse desde no permitir descomposturas en ninguno de los equipos hasta que falle.

Al recibir un reporte de falla de algún motor es muy importante efectuar lo siguiente:

- °Recopilar la información del estado de operación antes de la falla.
- °Averiguar los datos e información de los testigos de falla, operadores y tableristas.
- °Solicitar licencia para efectuar pruebas de aislamiento.
- °Desconectar los equipos.
- °Efectuar las pruebas de aislamiento.

Algunos de los principales rendimientos que se obtienen con el mantenimiento preventivo son:

- °Menos tiempos inactivos en la producción, por los ajustes ordinarios y las reparaciones normales que, por una reparación motivada por descomposturas.
- °Costos más bajos por las reparaciones sencillas efectuadas antes de las descomposturas.
- °No hay bajas en la producción cuando los equipos están correctamente ajustados.

En términos generales se dice que el Mantenimiento Preventivo es aquel que aísla los daños y los señala como algo que debe evitarse.

6.2.- RECOMENDACIONES SOBRE MANTENIMIENTO CORRECTIVO.

Para llevar a cabo un buen mantenimiento correctivo es necesario solicitar a la empresa la designación de un local especial para el departamento de mantenimiento, que contenga todos los equipos y herramientas que sean necesarios.

Las reparaciones o reconstrucciones inadecuadas del equipo necesariamente originan más altos costos de mantenimiento. El equipo no debe reconstruirse basándose solamente en los costos bajos de materiales sino también hay que considerar la vida del material que se utilizará.

Los trabajadores deberán ser entrenados concienzudamente en la operación del equipo, especialmente cuando no tienen una orientación mecánica.

El mantenimiento por descompostura o correctivo, tiene lugar después de que ha ocurrido la falla.

Para llevar un mantenimiento correctivo eficiente se deberán:

- °Analizar los equipos; pruebas no destructivas o externas.
- °Analizar materiales:
  - Mejores materiales.
  - Materiales que se adapten al servicio de que se trate.

Por último, basándose en los procedimientos anteriores, las instalaciones deben ponerse en condiciones tales, que en el futuro puedan mantenerse en operación, sin que en un tiempo corto vuelva nuevamente a el taller para su reparación.

El ingeniero de mantenimiento requiere constantemente analizar puntos que requiere para un buen trabajo:

- 1.-Tener suficientes refacciones
- 2.-Tener material de alta rotación
- 3.-Capacitar al Personal
- 4.-Tener en orden planos de control, instructivos e historiales.
- 5.-Tener las herramientas necesarias.
- 6.-Tener los equipos eléctricos de prueba.

### 6.3.- CONSIDERACIONES SOBRE MONTAJE.

Antes de empezar el montaje del motor se deben de tener en cuenta var-

rios puntos muy importantes, los cuales mencionaremos a continuación:

- °Identificar las partes del motor.- Utilizando para ello dibujos del mismo.
- °Inspección de la cimentación.- Comprobando la localización correcta de las anclas.
- °Colocación y Alineación de la carcaza.- Colocándola sin dañar las anclas.
- °Colocación y Alineación de los soportes de chumaceras.- Colocando los pedestales en su lugar, manteniendo la altura del centro de las chumaceras en su posición correcta.
- °Preparación del Rotor-Flecha para su montaje.- Limpiando el recubrimiento anticorrosivo con algún solvente ( aguarrás, thinner, etc.), aceitando los muñones y el área del asiento del mamelón.
- °Preparación de las chumaceras.- Limpie toda la superficie con algún solvente, inspeccione los anillos de aceite, y manténgalos junto con los sellos en un lugar protegido, ya que son demasiado frágiles.
- °Colocación de Flecha-Rotor en las chumaceras.- Se deben colocar en su lugar, algunos montadores prefieren ensamblar las chumaceras en la flecha antes de colocar esta en su lugar.
- °Alineación del Rotor-Flecha y chumaceras.- Nivelar la chumacera fija, la chumacera libre se colocará con una ligera inclinación.
- °Colocación del resto de la carcaza.- Coloque la sección removible en su lugar, utilizando empaque en la unión, el cual se suministra con el equipo.

El equipo se encuentra ahora listo para ser puesto en marcha a su velocidad de operación. Observar si existen condiciones anormales de vibración, ruido, sobrecalentamiento del motor y/o chumaceras. De encontrarse algún problema, proceda a efectuar la revisión y corrección de él.

Después de un período de 8 horas, compruebe nuevamente la alineación, inspeccione las chumaceras, vacíe el aceite de ellas y llénelas con aceite limpio. Coloque ahora los pernos de alineación en las chumaceras si todo es normal en esta revisión.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Control de máquinas eléctricas  
Autor: J.L. Kosow
- 2.- Motores eléctricos de inducción.  
Autor: Pichoir
- 3.- Máquinas eléctricas.  
Autor: Thaler
- 4.- Diseño de aparatos eléctricos.  
Autor: John H. Kuhlman
- 5.- Transformadores y Motores trifásicos de inducción .  
Autor: Gilberto Enríquez Harper.
- 6.- Reparación de motores eléctricos.  
Autor: R. Rosenberg
- 7.- Principio de la máquina de corriente continua.  
Autor: Alexander S. Langsdorf.
- 8.- Motores de corriente alterna.  
Autor: Manuel Puchol
- 9.- Tratado de electricidad corriente alterna. Volumen II  
Autor: Dawes
- 10.- Procedimiento de balanceo de rotores por coeficientes de influencia para uno y dos planos.  
Comisión Federal de Electricidad.