



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

CUAUTITLAN



**"SELECCION, APLICACION Y MANTENIMIENTO
DE LOS MOTORES TRIFASICOS
JAULA DE ARDILLA"**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A N :

**ADALBERTO LORENZO GONZALEZ VERDEJO
VICTOR HUGO LANDA OROZCO**

ASESOR: ING. RAMON OSORIO GALICIA

COASESOR: ING. FRANCISCO CARRILLO GALICIA

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1984



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DEPARTAMENTO DE
EXÁMENES PROFESIONALES

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA F.E.S.-CUAUTITLÁN
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:

"Selección aplicación y mantenimiento de los
motores trifásicos jaula de ardilla".

que presenta el pasante: Adalberto Lorenzo González Verdejo
con número de cuenta: 7613541-7 para obtener el TÍTULO de:
Ingeniero Mecánico Electricista, en colaboración con:

Víctor Hugo Landa Orozco
Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXÁMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 21 de Junio de 199 4

PRESIDENTE	Ing. José Juan Contreras Espinosa	<u>4/02/94</u>
VOCAL	Ing. Casildo Rodríguez Arciniega	<u>Cus 28/VI/94</u>
SECRETARIO	Ing. Ramón Osorio Galicia	<u>28/VI/94</u>
PRIMER SUPLENTE	Ing. Jaime Rodríguez Martínez	<u>5/VI/94</u>
SEGUNDO SUPLENTE	Ing. Francisco Cerrillo García	<u>5/VI/94</u>



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR

DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DEPARTAMENTO DE
EXAMENES PROFESIONALES

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
PRESENTE.

ATN: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:

"Selección aplicación y mantenimiento

de los motores trifásicos Julia

de ardilla"

que presenta el pasante Víctor Hugo Landa Orozco

con número de cuentas 7623446-2 para obtener el TITULO de:
Ingeniero Mecánico Electricista ; en colaboración con:

Adalberto Lorenzo González Verdugo

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE.

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautilán Izcalli, Edo. de Méx., a 21 de Junio de 1974

PRESIDENTE	Ing. José Juan Contreras Espinosa	4/10/74
VOCAL	Ing. Casildo Rodríguez Arciniega	23/11/74
SECRETARIO	Ing. Ramón Osorio Galicia	23/11/74
PRIMER SUPLENTE	Ing. Jaime Rodríguez Martínez	6/11/74
SEGUNDO SUPLENTE	Ing. Francisco Carrillo García	5/11/74

A MIS PADRES:

Por su apoyo y comprensión.

A mi Esposa e Hijas.

Hermanos, Compañeros y Amigos.

ADALBERTO

A MIS PADRES: Lourdes y Eliseo

Que siempre me condujeron por

los mejores senderos.

A MI ESPOSA Ernestina

Por su gran comprensión, amor,

paciencia y ayuda a mecanografiar

la tesis.

A MIS HERMANOS: Carmen,

Abigail. Eliseo, Yazmín,

Heidi, Job, para que cada

día nos superemos en cono-

cimientos.

A EL MAGISTERIO

Que tantas satisfacciones

me ha dado.

VICTOR HUGO

AL ING. RAMON OSORIO GALICIA

**Agradeciendo sus asesorias y el tiempo
dedicado a la conduccion de esta tesis.**

AL ING. FRANCISCO CARRILLO GARCIA

**Por su desinteresada ayuda para la
elaboración del presente trabajo.**

**A todos y cada uno de
nuestros compañeros de
generación.**

I N D I C E

INTRODUCCION

Capítulo I Motor de Inducción

1.1 Antecedentes	1
1.2 Clasificación general de los motores	2
1.3 Características esenciales	4

Capítulo II Principio de Operación y Parámetros de los Motores de Inducción

2.1 Campo giratorio	8
2.2 Velocidad síncrona	13
2.3 Deslizamiento	14
2.4 Factor de potencia	14
2.4.1 Características de funcionamiento normales	19
2.4.2 Curvas características	22
2.5 Circuito equivalente (Potencia y Par)	31
2.6 Pérdidas y Eficiencia	47
2.7 Calentamiento y Temperatura	51

Capítulo III Constitución del Motor de Inducción

3.1 Elementos esenciales	59
3.2 Estator	61
3.2.1 Carcasa	61
3.2.2 Núcleo del estator	62

3.2.3 Aislamientos	64
3.2.4 Bobinas	68
3.3 Rotor	69
3.3.1 Flecha	69
3.3.2 Núcleo	69
3.3.3 Rodamientos	70
3.4 Partes mecánicas y accesorios	72
3.4.1 Tapas	72
3.4.2 Cajas de conexiones	74

Capítulo IV Clasificación y Normas de los Motores de Inducción.

4.1 Clasificación de los motores	75
4.2 Normas	76
4.3 Diseño mecánico	78
4.4 Diseño eléctrico	90

Capítulo V Selección y Aplicación de los Motores de Inducción

5.1 Aplicación de los motores de inducción	96
5.2 Selección de los motores de inducción	107
5.3 Definición de los pares del motor de inducción	117
5.4 Sistemas de arranque aplicables al motor	119

Capítulo VI Instalación, Corrección y Prevención de Fallas

6.1 Recepción	132
6.2 Instalación	133

6.3 Vibración excesiva	133
6.4 Ruidos de tipo mecánico	138
6.5 Corriente alta	139
6.6 Operación a altas temperaturas	140
6.7 Fallas de baleros	142
6.8 Necesidades de instalación	147
6.9 Mantenimiento	149
BIBLIOGRAFIA	152

INTRODUCCION

En 1808 André Marie Ampere -el físico francés en cuyo honor se bautizaría el amperio- descubrió que un alambre con electricidad producía un efecto magnético sobre otro alambre cargado también de electricidad y colocado cerca de él. Los alambres paralelos con corrientes fluyendo en la misma dirección se atraían, y los que conducían en sentidos opuestos se repelían. Los resultados obtenidos por Ampere vinieron a reforzar las pruebas que había aportado el experimento de Oersted de que una corriente eléctrica creaba un campo magnético a su alrededor. Pero la propuesta contraria, que estaba preñada de promesas que daba aún sin contestar: ¿ Podía un campo magnético crear una corriente eléctrica ? Pronto se averiguaría.

Diez años después del experimento de Oersted, Joseph Henry, en Estados Unidos y, un año después, Michael Faraday en Londres descubrieron que los campos magnéticos si pueden inducir una corriente - si bien sólo momentánea - siempre y cuando el campo magnético sea variable en el tiempo. La afirmación se demuestra moviendo un imán cerca de un embobinado de alambre, con lo que se induce - un breve flujo de corriente eléctrica alrededor del embobinado. Cuando se detiene el movimiento del imán no hay corriente en el embobinado.

El descubrimiento de la "inducción electromagnética" - la creación de una corriente por un campo magnético que cambia constantemente - estaba destinado a ser una de las observaciones más fructíferas en todo el estudio de la electricidad. En cuanto se entendió cabalmente el principio, resultó evidente que -

la pila no era la única fuente ni la más conveniente y práctica de generar electricidad. El generador llegaría a ser una de las más grandes máquinas con que el hombre contaría para producir fuerza.

Aunque es posible que un motor pueda funcionar como motor o como generador, - son tantas sus desventajas como generador que es raro usarlo como tal.

El motor eléctrico resulto ser uno de los más eficientes convertidores de energía, pues transforma en trabajo más del 90 % de la energía que le llega. Un motor eléctrico no es más que una máquina que convierte la energía eléctrica en mecánica.

Del panorama arriba descrito y de la necesidad de convertir la energía eléctrica en mecánica, la cual ha sido la llave para la expansión industrial y el progreso material de las décadas recientes, en el presente trabajo se pretende aportar una dosificación acerca de las características, funcionamiento, mantenimiento, instalación, etc. del motor TRIFASICO JAULA DE ARDILLA.

El motor de inducción trifásico jaula de ardilla se ha convertido en el tipo - más usado en la industria, debido a que la mayoría de los sistemas actuales de distribución de energía eléctrica suministran corriente alterna.

Comparado con el de corriente continua, el motor de inducción tiene la ventaja de su simplicidad que se traduce en bajo costo y máxima eficiencia con mínimo mantenimiento.

A continuación se presenta una exposición lógica de los temas esperando que -
sea de gran ayuda a quienes interesa conocer los aspectos básicos del buen uso
conservación y mantenimiento de los motores trifásicos jaula de ardilla.

C A P I T U L O I M O T O R D E I N D U C C I O N

1.1 ANTECEDENTES

En el siglo XIX Michael Faraday, dentro de sus contribuciones al estudio del electromagnetismo, se incluyen: La invención del motor eléctrico, generador eléctrico y transformador, así como el descubrimiento de la inducción electromagnética, lo que sirvió de base a Nikola Tesla para construir el motor de inducción. Cuando este último construyó el motor de inducción en 1888, no se imaginó la importancia que tendría en el desarrollo de las plantas industriales.

Desde principio de siglo, prácticamente toda la energía eléctrica en nuestro planeta ha sido: Generada, transmitida, distribuida y convertida en potencia mecánica, por medio de los sistemas polifásicos de Tesla.

Considerando el punto de vista técnico, el desarrollo de los motores eléctricos, hasta nuestros días, ha sido notable gracias a los avances logrados en muchos campos de la ingeniería de las máquinas eléctricas, tales como: Nuevos conceptos de diseño, nuevos procesos de manufactura y nuevos materiales disponibles. Esto ha traído como consecuencia un mejor funcionamiento y una continua reducción en tamaño. Las industrias han diseñado una gran gama de motores eléctricos, entre los que se puede seleccionar el más conveniente para una aplicación dada.

Las posibles combinaciones de tipo eléctrico, mecánico, características de funcionamiento y potencia de los motores son infinitas. Así los motores eléctricos son en la actualidad una de las más versátiles de todas las máquinas.

sin embargo debido a las características que se mencionan más tarde el motor de inducción tipo jaula de ardilla, esta considerado como el caballito de batalla en toda la industria.

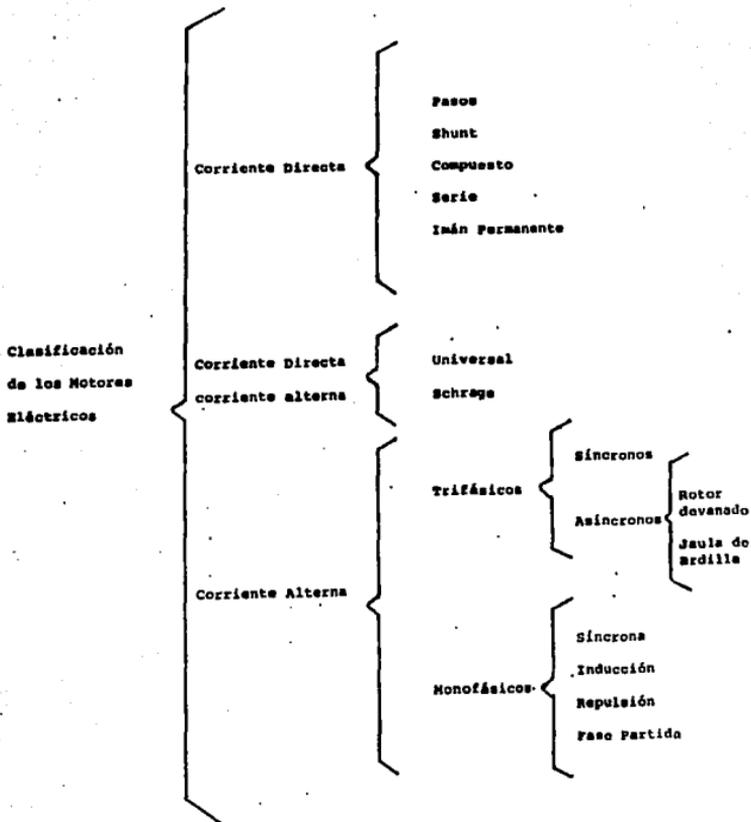
Se debe tener la preocupación de que cada diseño conste de: Un cuidadoso examen, prueba de los materiales, tratamientos, componentes y desde luego el producto terminado para su buen funcionamiento. El rápido desarrollo de la industria de manufacturas eléctricas en nuestro país exige un establecimiento de normas que aplicadas a la fabricación de motores eléctricos de inducción jaula de ardilla, les permita obtener una alta calidad a menor costo, lo cual les ayuda a competir económicamente con países altamente industrializados, en los mercados internacionales ya establecidos.

1.2 CLASIFICACION GENERAL DE LOS MOTORES

El motor tiene la característica de transformar la energía eléctrica en mecánica. La capacidad que tienen los motores de transformar la energía, depende de diferentes factores (tipos de corriente de alimentación, devanados, etc.). - Por lo que se cuenta con una gran gama de motores, en donde cada uno tiene sus características eléctricas y mecánicas, lo que hace importante para nuestro estudio exponer un cuadro representativo. Ver cuadro 1.1.

Como puede observarse existe una gran variedad de motores, pero sin lugar a dudas el más usado en la industria es el motor jaula de ardilla, por lo que el

Cuadro 1.1



presente trabajo esta enfocado a un motor asíncrono (inducción) trifásico - jaula de ardilla.

1.3 CARACTERISTICAS ESENCIALES

Estos motores conocidos también como de campo giratorio, constituyen el tipo más difundido de máquinas eléctricas puesto que presentan una gran simplicidad de construcción, una excepcional robustez, no requieren complicadas manobras de puesta en marcha y soportan notables sobrecargas. De todos los motores de corriente alterna, el de inducción es el más usado en los motores de potencia integral.

Los motores de inducción, utilizan para el secundario el rotor del tipo jaula de ardilla, debido a su bajo costo, es muy seguro, además de que no requiere anillos rozantes ni escobillas que pudieran sufrir desgaste o fallas. Se considera que este tipo de motor sólo tiene dos componentes que se desgastan más rápidamente y estos son los rodamientos. Son los más seguros de todos los tipos, esencialmente los motores de velocidad constante.

En lo referente al motor de inducción de rotor devanado (anillos rozantes) - proporciona un medio para asegurar características tanto de baja como de alta resistencia en una máquina, pero utiliza resistencias externas (secundarias) conectadas a través de anillos rozantes del rotor.

Las características esenciales de un motor de rotor devanado son: Posee un devanado de jaula de alta resistencia, proporciona altos pares y bajos K.V.A. de

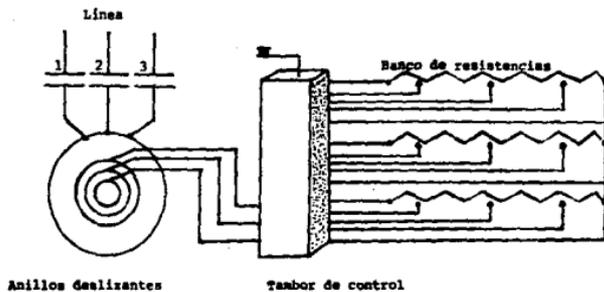


Figura 1.1

Conexión de un motor de rotor devanado

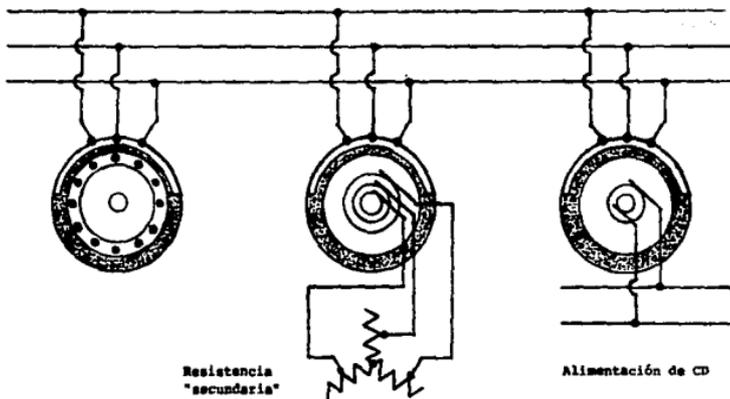
arranque, pero también un alto deslizamiento y baja eficiencia, una baja resistencia proporciona un bajo deslizamiento a plena carga y alta eficiencia pero un par de arranque relativamente bajo y un alto K.V.A. de arranque. El motor de inducción de rotor devanado puede utilizarse como cambiador de frecuencia variable si su rotor es accionado a una determinada velocidad y si la f.e.m. - inducida en su rotor se toma de sus anillos rozantes.

Este tipo de motor es más comunmente usado en Europa que en América. Figura 1.1

Historicamente las líneas de abastecimiento de fuerza en los Estados Unidos de América, apoyaron mayores demandas de entrada de K.V.A que los de Europa, permitiendo más el uso de motores de inducción de jaula de ardilla que los de rotor devanado.

La figura 1.2 ilustra un diagrama de conexión de los tres principales tipos de motores polifásicos.

3 Fases 60 Hertz Alimentación CA



Resistencia
"secundaria"

Alimentación de CD

a) Jaula de ardilla

b) Rotor devanado
(anillos rozantes)

c) Síncrono

Figura 1.2

C A P I T U L O I I

PRINCIPIO DE OPERACION Y PARAMETROS DE LOS MOTORES DE INDUCCION

2.1 CAMPO MAGNETICO GIRATORIO

En la figura 2.1a se representa en forma esquemática el estator de un rotor trifásico de dos polos. En un motor real, el devanado de cada fase está distribuido en las ranuras del estator, pero el hecho de considerarlos concentrados como se indica en la figura no altera los resultados.

En dicha figura se representa la corriente trifásica que circula por las bobinas. Como puede verse, la corriente en la fase A sólo puede producir una fuerza magnetomotriz (FMM) vertical hacia arriba o hacia abajo, según el sentido de la corriente. Igualmente las fases B y C sólo podrán producir fuerzas magnetomotrices en la dirección de los respectivos pares de polos. Si en la figura 2.1b se considera como punto de partida al punto t_1 , la FMM de la fase A - tendrá ahí su máxima intensidad en el sentido de arriba hacia abajo, en tanto que las FMM de las fases B y C tendrán la mitad de la intensidad máxima y los sentidos indicados en el diagrama 1 de la figura 2.2. Al sumar los tres fasores se obtiene uno solo dirigido de arriba hacia abajo.

Al pasar al punto t_2 se observa que la intensidad en la fase A se ha reducido a la mitad, que la fase B tiene la misma intensidad, pero dirección opuesta a la que tenía en el punto t_1 , y que en la fase C la intensidad ha alcanzado el valor máximo, por lo que ahora la suma de los tres fasores tendrá la misma dirección que el fasor C; es decir, del punto t_1 al punto t_2 el fasor que representa la FMM total ha girado 60° , en el sentido del reloj.

Haciendo un análisis similar para los puntos t_3 , t_4 , t_5 , y t_6 se encontrará que el fasor mencionado seguirá girando 60° en cada caso y habrá dado una vuelta completa al llegar al punto t_7 (coincide con t_1), lo que constituye un ciclo completo de variación de la corriente de la fase A.

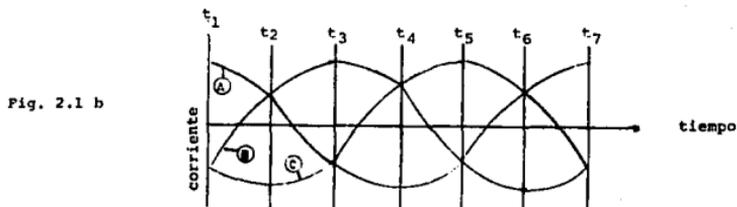
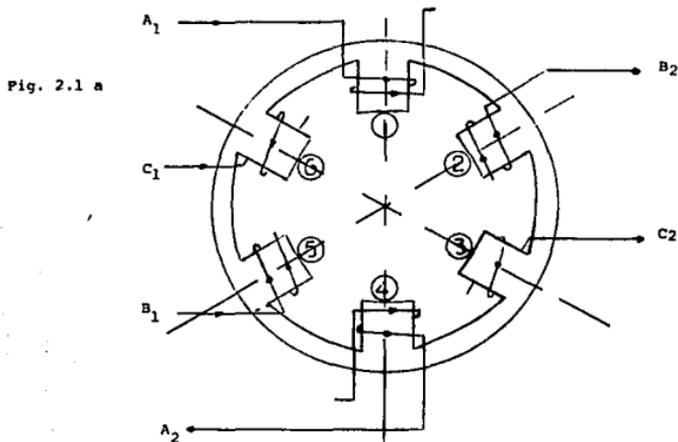


Fig. 2.1 Esquema de un motor de inducción de dos polos
Ilustra la formación del campo magnético giratorio del estator

De lo anterior puede concluirse que al ser alimentados con una tensión trifásica equilibrada, los tres devanados de fase del estator producen una fuerza magnética constante que gira uniformemente y produce un campo magnético igualmente constante, que gira a la misma velocidad. Como ya se ha mencionado, el campo magnético giratorio de dos polos, como el analizado, efectúa una revolución completa por cada ciclo de la corriente alterna, por lo que en este caso la velocidad de rotación n_s , en revoluciones por segundo (rps) es numéricamente igual a la frecuencia f , y la velocidad n_s en revoluciones por minuto (rpm) es entonces:

$$n_s = 60f$$

Ver figura 2.2.

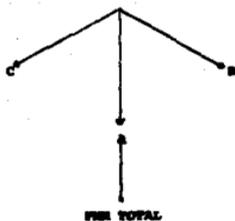
Si en lugar de un motor de dos polos se considera uno de cuatro, seis o más, la velocidad del campo magnético será igual al valor anterior dividido entre el número de pares de polos:

$$n_s = \frac{60f}{p} = \frac{120 \times f}{p}$$

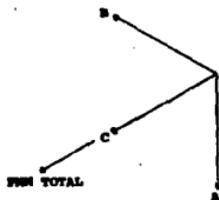
donde p es el número de polos.

La velocidad con que gira el campo magnético (n_s) se conoce como velocidad sincrónica (o sincrónica) del motor y, conforme a la expresión anterior, se deduce que dicha velocidad sincrónica sólo puede cambiar si se modifica la frecuencia o el número de polos.

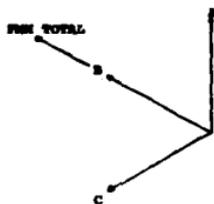
Al cortar los conductores del estator, el campo magnético giratorio genera en ellos una fuerza contraelectromotriz (FCEM) cuyo efecto es limitar el valor de la corriente que circula por el devanado primario.



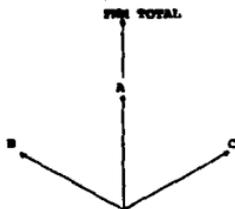
1



2

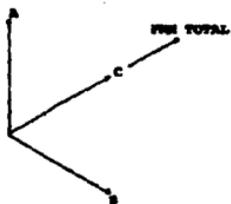


3

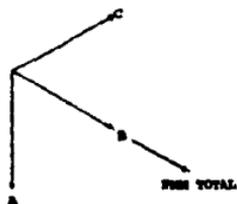


4

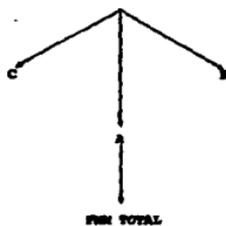
Fig. 2.2 a



5



6



7

Fig. 2.2 b Combinación instantánea de los fasores de F.M.M. de las fases (A,B,C), que da por resultado una F.M.M. total constante que gira en el sentido del reloj.

2.2 VELOCIDAD SINCRONA

La velocidad de sincronismo es la del campo giratorio, expresado por el número de revoluciones por minuto (R.P.M.) sólo depende de la frecuencia del sistema y del número de polos del motor. Se expresa mediante la relación

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

en la que:

f frecuencia en ciclos por segundo

ciclos/seg

p número de polos del devanado estatorico.

Esta relación demuestra que la velocidad de sincronismo es independiente de la tensión, así como del número de fases de la red de alimentación.

Las velocidades de sincronismo habituales, para motores de 25 y 60 ciclos por segundo son las siguientes:

POLOS	n = R.P.M	
	f = 25	f = 60
2	1 500	3 600
4	750	1 800
6	500	1 020
8	375	900
12	200	600

Tabla 2.1

2.3 DESLIZAMIENTO

En un motor de inducción sometido a una carga, es decir, sufriendo un cierto par resistente, existe un campo girando a la velocidad de sincronismo, mientras que el rotor gira más lentamente condición absolutamente necesaria, tal como lo hemos visto, para que este motor suministre un par, todo sucede, pues, como si el rotor deslizase con respecto al campo en el sentido opuesto al sentido de rotación común.

Si se designa por n_s la velocidad de sincronismo y por n_c la velocidad en carga, se llama deslizamiento "s" del rotor la relación expresada en tanto por ciento:

$$s = \frac{n_s - n_c}{n_s} \times 100$$

A igualdad de velocidad de sincronismo y de potencia, un motor es tanto más satisfactorio cuanto menor es su deslizamiento, o lo que es equivalente cuanto mayor es su velocidad de carga.

2.4 FACTOR DE POTENCIA

Cuando una corriente senoidal fluye un circuito, la tensión y la intensidad que engendra en el mismo varían según una misma ley senoidal de idéntico período. Cada una de ellas pasa una vez por período, por un máximo y un mínimo.

pero generalmente, el máximo de la tensión no se produce al mismo tiempo que - al máximo de la intensidad, y lo mismo sucede, por consiguiente para los valores mínimos.

La tensión tomada como origen, tiene por ecuación: $V = V_0 \text{sen } \omega t$

mientras que la intensidad se expresa por: $I = I_0 \text{sen } (\omega t + \theta)$

siendo θ el ángulo de defasaje.

En un circuito que sólo contenga resistencia pura el voltaje y corriente estan en fase.

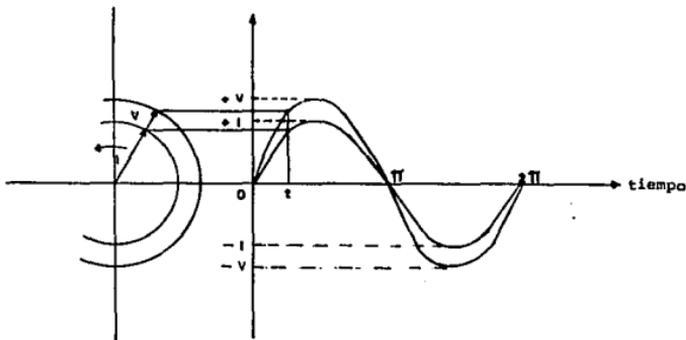


Fig. 2.3 Esquema de un circuito constituido por resistencia pura.

Un circuito resistivo puro es aquel que no es afectado por ningún coeficiente de auto-inducción ni en capacitancia, caso raro en la práctica.

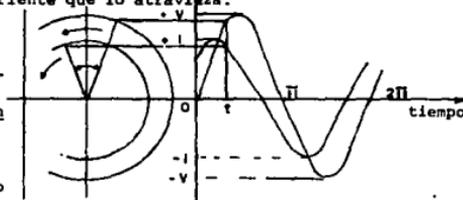
Este circuito constituye el único caso en el que no hay defasaje entre la ten-

sión y la intensidad ($\theta = 0$)

Se denomina circuito capacitivo, aquel en que la intensidad de corriente esta en avance con respecto a su tensión. Este nombre se deriva de que justamente una propiedad característica de los capacitores es producir un defasaje hacia adelante de la corriente que lo atraviesa.

Fig. 2.4

Defase entre la intensidad de corriente y voltaje en un circuito capacitivo



La tensión V esta 90° retrasada respecto a la intensidad en toda reactancia C_p capacitiva pura.

Luego debe considerarse la relación de fase entre la corriente y el voltaje a través de un inductor puro. Se sabe que la presencia de la inductancia en un circuito cuya corriente está variando con la rapidez $\frac{\Delta i}{\Delta t}$ da como resultado una fuerza contra electromotriz.

$$E = -L \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

donde: Δi — incremento de corriente

[amp]

Δt — incremento de tiempo

[seg]

L — inductancia

[henrios]

lo cual retrasa la corriente en alcanzar su máximo. El voltaje alcanza un má-

ximo en tanto que la corriente aún es cero. Cuando el voltaje alcanza un mínimo, la corriente es máxima. En un circuito que contiene solamente inductancia, se dice que el voltaje se adelanta (ocurre antes) a la corriente por un cuarto de ciclo ($0-90^\circ$).

El ángulo de defasaje θ es tanto mayor cuanto más importante es el efecto inductivo, pero no puede alcanzar 90° , puesto que no existe inducción perfecta, lo que requeriría una bobina desprovista de toda resistencia eléctrica.

Los circuitos estatoricos de los motores de inducción son reactivos; su intensidad está retrasada con respecto a la tensión tal como lo indica la figura 25

El defasaje no se expresa mediante el ángulo θ sino mediante su coseno al cual se le llama factor de potencia.

Conviene evidentemente que el factor de potencia del motor se aproxime todo lo posible a 1, lo que quiere decir que el ángulo de defasaje debe ser lo más reducido posible.

En la práctica se puede elevar el factor de potencia de una instalación con la ayuda de capacitores, pero siempre es más conveniente, en igualdad de circunstancias, realizar un buen estudio del factor de potencia, aunque el costo se eleve.

En lo referente al servicio eléctrico que se da a los clientes indus-

triales es trifásico, a diferencia de la potencia monofásica suministrada a los clientes que poseen casas y comercios pequeños.

Los transformadores, los sistemas de distribución y los alternadores de la compañía de servicio están todos tasados en K.V.A o M.V.A. En consecuencia, una mejora en el factor de potencia, con su correspondiente reducción en K.V.A., libera un poco esta capacidad de generación y transmisión de modo que puede usarse para servir a todos los clientes. En esto se basan los métodos de cobro y medición que, en una forma u otra hacen más costosos para un cliente industrial operar con un bajo factor de potencia. Estudios económicos comparando el costo del banco de capacitores con los ahorros realizados se hace con mucha frecuencia; los resultados de tales estudios mostrarán cuando se introducirá la mejora y también que factor de potencia final debe alcanzarse.

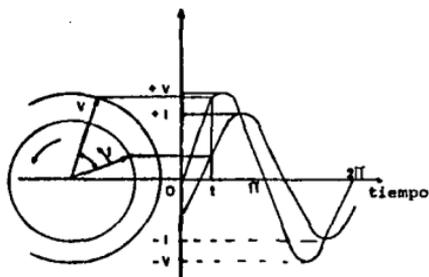


Fig. 2.5 Defase entre intensidad de corriente y un voltaje en un circuito inductivo.

2.4.1 CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO NORMALES

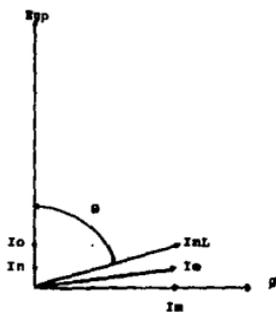
Las características de funcionamiento normales de un motor de inducción de jaula de ardilla, tienen lugar en el intervalo desde vacío hasta plena carga. Vamos a considerar el comportamiento del rotor de un motor de inducción a una velocidad en vacío ligeramente por debajo de la velocidad síncrona al aumentar la carga.

En vacío: En vacío, el deslizamiento es muy pequeño (inferior al 1 %) y la frecuencia del rotor, la reactancia del rotor y la fem inducida en el rotor son muy pequeñas. Por consiguiente, la corriente en el rotor es pequeña y suficiente únicamente para producir el par en vacío necesario. Ya que la corriente del rotor es pequeña, la corriente del estator (primaria) es el vector suma de su corriente de excitación, I_e , y una componente primaria de carga, I_o , inducida en el rotor por el efecto de transformador. La figura 26a muestra el vector suma de estas corrientes en vacío, en la que la corriente de excitación primaria en el estator en circuito abierto es I_e , o sea el vector suma de una componente combinada de histéresis, I_h , y una componente magnetizante, I_m , requerida para producir el flujo giratorio del estator. Las componentes I_h e I_o están en fase con E_{gp} . El factor de potencia en vacío está representado por θ , el ángulo formado por I_{n1} y E_{gp} . Por lo tanto, $I_{n1} \cos \theta$ es la suma de I_o e I_h , o sea la pequeña corriente estatórica I_o producida por la corriente del rotor y una componente primaria de pérdidas I_h debida a la histéresis y a las corrientes parásitas en el hierro del estator y del rotor. Nótese que a causa de que θ es grande, el factor de potencia es extremadamente pequeño e inductivo.

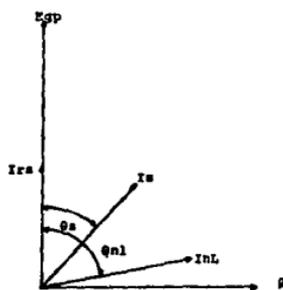
A media carga: Cuando al rotor se aplica una carga mecánica, la velocidad disminuye ligeramente. La pequeña disminución de velocidad determina un aumento de deslizamiento y de frecuencia del rotor, reactancia del rotor y fem inducida en el rotor. El aumento de corriente inducida en el rotor (secundario) se traduce en un aumento de la corriente primaria del estator, I_{sr} , indicado en la figura 2.6 b. Esta componente de la corriente primaria del estator, I_{sr} , es una componente de potencia activa, como I_o , y está en fase con la tensión inducida del primario E_{gp} . El vector suma de la corriente en vacío I_{nl} y la componente de carga I_{sr} producen una corriente de estator I_s y un mejor ángulo del factor de potencia θ_s . Por lo tanto, la corriente del estator ha aumentado desde I_{nl} a I_s , y el ángulo de factor de potencia ha disminuido de θ_{nl} a θ_s , tendiendo ambos factores a producir más potencia mecánica en el inducido y a absorber más potencia activa de las barras ($E_{gp} I_s \cos \theta_s$).

A plena carga: El motor jaula de ardilla girará a un valor de deslizamiento que proporciona un equilibrio entre el par desarrollado y el par aplicado. Al aplicar más carga, por consiguiente, el deslizamiento aumenta debido a que el par aplicado supera el par desarrollado. Cuando al eje del motor de inducción se aplica el par nominal, la componente de la corriente primaria del estator en fase absorbida por el motor de inducción es grande en comparación con la corriente en vacío casi en cuadratura, como se indica en la figura 2.6 c y el ángulo del factor de potencia θ es muy pequeño. El factor de potencia a plena carga varía entre 0.8 (en motores de inducción pequeños de aproximadamente 1 hp) hasta aproximadamente 0.9 y 0.95 (en los motores de inducción grandes, de 150 hp y superiores).

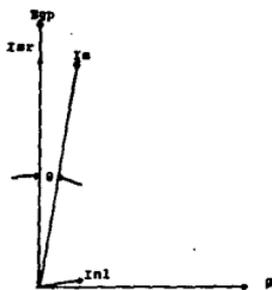
Fig. 2.6 Componentes de excitación primaria de estátor y de la corriente de carga, indicando el efecto del aumento de la carga sobre el factor de potencia y la corriente del estátor.



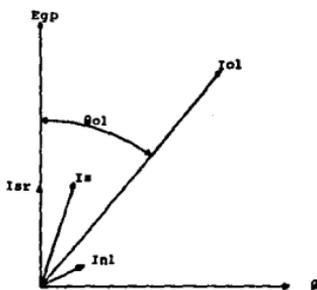
a) En vacío



b) Media carga



c) Plena carga



d) Más allá de plena carga

Más allá de la plena carga: De la figura 2.6 d, podría parecer que incrementos adicionales de carga producirían una mejora del factor de potencia, hasta la unidad, y aumentos en las corrientes del estator en fase; pero esto no es cierto. Al aumentar la carga y el deslizamiento, la frecuencia del rotor continúa aumentando y el aumento de la reactancia del rotor produce una disminución del factor de potencia del rotor. Tratando el motor de inducción como transformador se podría decir que el secundario del transformador tiene una carga inductiva que determina que también se retrase el factor de potencia del primario. Con cargas superiores a la plena, por consiguiente, el factor de potencia se acerca a un máximo y a continuación disminuye rápidamente. A fin de producir - el necesario aumento del par para equilibrar al par aplicado, las corrientes del rotor y el estator deben aumentar para suplir la disminución del de sobrecarga, I_{o1} , a un factor de potencia peor, θ_{o1} , que con la corriente estator a plena carga, I_s , indicada en la figura .

2.4.2 CURVAS CARACTERISTICAS

El comportamiento en servicio permanente de una máquina eléctrica queda reflejado de manera precisa por sus curvas características. En el caso presente de la máquina de inducción, las curvas más importantes son las que nos representan la variación de la velocidad , de la corriente absorbida I , del $\cos \theta$ y - del rendimiento η , en función de la potencia útil P_u , manteniéndose constante la tensión y la frecuencia de la red.

De particular interés, en el funcionamiento del motor, es la curva que da la -

variación de la velocidad en función del par (característica mecánica).

Estas curvas pueden ser trazadas en valores absolutos de las magnitudes interesadas para cada máquina, pero, por su mayor generalidad, es preferible representarlas en valores por unidad, es decir, en valores relativos referidos a la potencia nominal P_n , al par nominal T_n , a la corriente nominal I_n etc. Todas estas características pueden ser obtenidas experimentalmente.

a) Característica de velocidad

$$n = f(P_u) \quad V = cte \quad f_1 = cte$$

La velocidad de un motor de inducción se reduce muy poco con la carga, del orden de un 2 a un 5 % de la velocidad de sincronismo, al variar la carga de cero (funcionamiento en vacío) a la nominal (plena carga) figura 2.7. El motor de inducción tiene, pues, una característica de velocidad análoga a la del motor derivación.

b) Característica de consumo

$$I = f(P_u) \quad V = cte \quad f_1 = cte$$

Esta característica, que muestra la figura 2.8, pone de manifiesto que la corriente no se reduce linealmente al tender la potencia útil a cero, sino que mantiene valores relativamente elevados, hasta el 50 % e incluso el 60 % de la

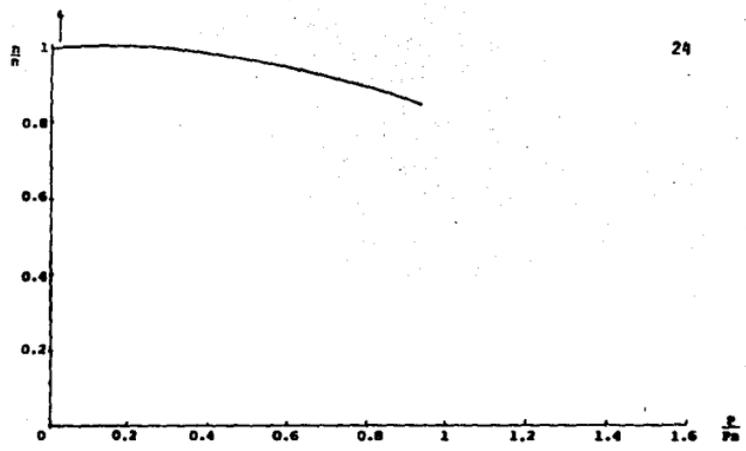


Fig. 2.7 Característica de velocidad $n = f(P)$ en valores relativos.

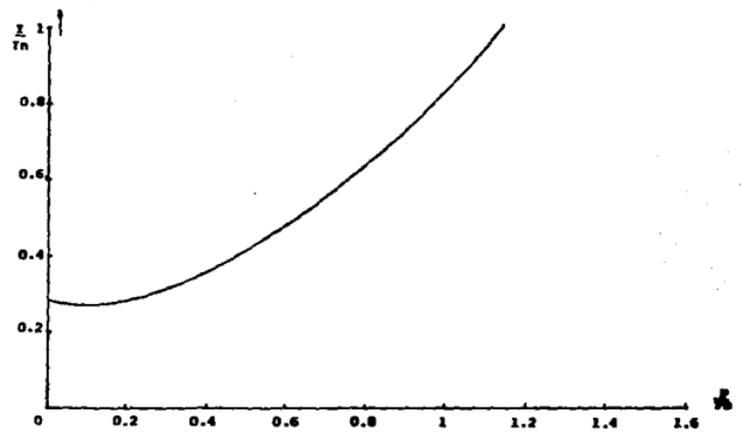


Fig. 2.8 Característica de consumo $I = f(P)$ en valores relativos.

corriente nominal en motores pequeños de entrehierro exagerado (corriente casi enteramente reactiva), estando normalmente comprendida la corriente de vacío entre 0.25 y 0.5 In.

c) Característica de factor de potencia

$$\cos \beta = f (Pu) \quad V = \text{cte} \quad f_1 = \text{cte}$$

Tiene interés el conocimiento de esta característica a efectos del consumo de potencia reactiva del motor, tanto más al incidir el $\cos \beta$ en el precio de -- KW/h. Esta curva (figura 2.9), pone de relieve que el factor de potencia - con cargas reducidas es bastante bajo. En vacío este factor está por bajo 0.2, aumentando rápidamente con la carga, para bajar de nuevo al sobrecargar el motor.

Al tenor de estos valores, es conveniente ajustar lo más la potencia nominal del motor a la que demanda la carga a fin de trabajar con valores elevados de $\cos \beta$. Si la carga es variable y predominan los valores bajos de la misma, será conveniente estudiar la compensación del ángulo de fase del motor de inducción mediante condensadores estáticos con compensación individual, o por grupos (figura 2.10)

d) Características de rendimiento

$$\eta = f (Pu) \quad V = \text{cte} \quad f_1 = \text{cte}$$

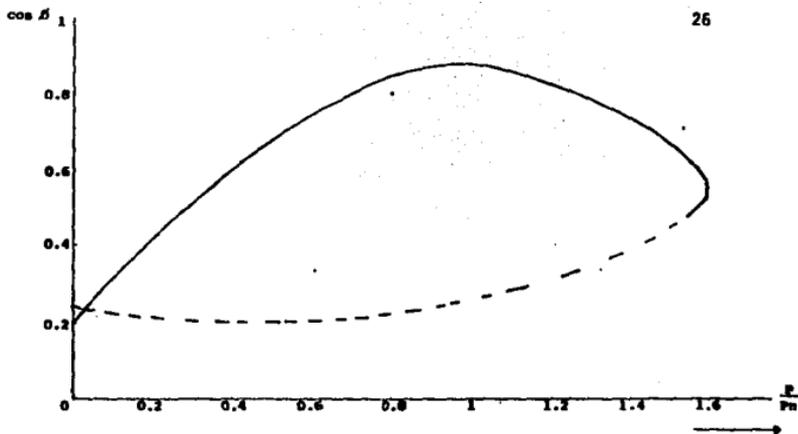


Fig. 2.9 Característica de factor de potencia $\cos \beta = f(P)$,
en tanto por uno de la potencia nominal.

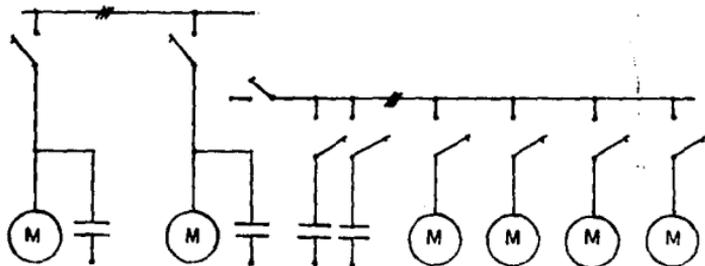


Fig. 2.10 Esquema para la compensación de factor de potencia.

a) Individualmente

b) por grupo de motores

Esta característica presenta la forma típica de la mayoría de las máquinas eléctricas. El rendimiento aumenta rápidamente desde cero, en vacío a valores relativamente altos, a partir de $0.2 P_n$, alcanza un máximo cuando se igualan las pérdidas sensiblemente constantes (mecánicas y en el hierro) con las variables (efecto Joule y adicionales) para, seguidamente, disminuir más o menos lentamente (figura 2.11).

El rendimiento a plena carga, de los motores de potencia inferior a 1 KW es del orden de 0.65, en los motores de 1 a 10 KW de 0.75 a 0.8, en los motores hasta 100 KW de 0.8 a 0.9 y en los motores de potencias superiores a 100 KW de 0.9 a 0.95.

e) Característica mecánica

$$n = f(T) \quad V = \text{cte} \quad f_1 = \text{cte}$$

Teniendo presente la resolución lineal entre la velocidad n y el deslizamiento.

$$n = n_1 (1 - s)$$

es evidente que la característica par-deslizamiento, nos representará, la característica mecánica (fig 2.12).

La velocidad se reduce muy lentamente y casi linealmente de vacío a plena carga, disminución que prácticamente podemos considerar sigue siendo lineal hasta

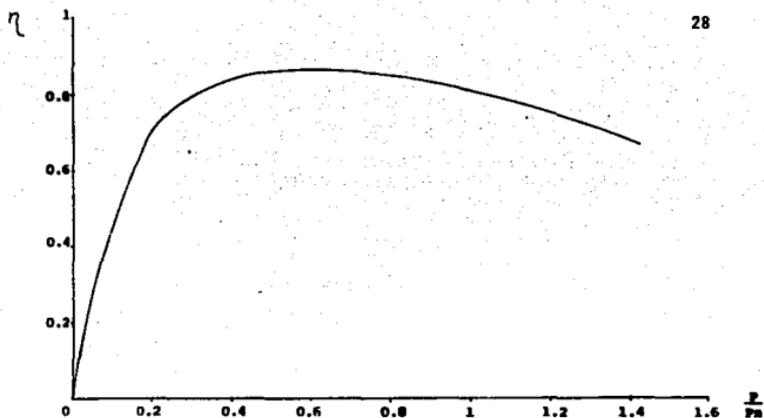


fig. 2.11 Características de rendimiento $\eta = f(P)$, en tanto por uno de la potencia nominal.

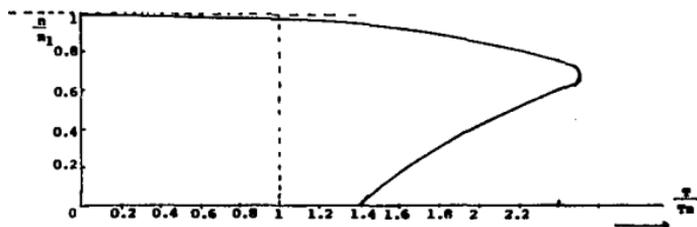


Fig. 2.12 Característica Mecánica $\eta = f(T)$ valores relativos

el valor del par máximo, reduciéndose a continuación y bastante rápidamente, - al igual que lo hace el par, a partir del par máximo, el cual marca el límite de funcionamiento estable del motor. La característica mecánica en la parte inestable tiene un curso sensiblemente hiperbólico.

La abscisa en el origen corresponde al valor del par de arranque del motor. La relación entre el par máximo y par nominal

$$\frac{T_{max}}{T_n}$$

es llamada capacidad de sobre carga del motor.

En motores normales para el uso general la capacidad de sobrecarga oscila entre 1.8 y 2.7, siendo por lo general superior a 2. En motores sometidos a fuertes sobre cargas momentáneas (gruas, bombas hidráulicas) se suelen exigir valores superiores a 3.

En cuanto a la relación entre el par de arranque y el par nominal

$$\frac{T_{cc}}{T_n}$$

suele estar comprendida, según el tipo de motor (rotor bobinado, rotor de jaula de ardilla, rotor de barras profundas, rotor de doble jaula), entre 1.2 y 2, recomendándose los valores más altos para pares enérgicos (motores de construcción especial).

Empleando un rotor bobinado, con anillos rozantes, es posible intercalando resistencias en el circuito rotórico, desplazar el par máximo a velocidades más bajas llevándolo incluso sobre el propio eje de las abscisas, velocidad $n = 0$. En este caso se aprovecha para el arranque el par máximo que puede desarrollar el motor, a la vez que se tiene una corriente de arranque más limitada, y un $\cos \phi$ más favorable.

2.5 CIRCUITO EQUIVALENTE (POTENCIA Y ...

Circuito Equivalente del Motor de Inducción.- El circuito equivalente constituye la herramienta más útil para estudiar el funcionamiento del motor de inducción, así como para calcular todos los parámetros relacionados, una vez que se han determinado las constantes del circuito.

El circuito equivalente tiene ventajas innegables si se lo compara con otros métodos, como el del diagrama circular, ya que permite visualizar con toda claridad la forma en que se interrelacionan las reactancias y las resistencias del estator y del motor. El circuito constituye una base ideal para realizar el cálculo sistematizado de todos los valores que definen el funcionamiento del motor en cualquiera de las etapas de operación: Arranque, plena carga, marcha en vacío o sin carga, etc.

Lo que se conoce como circuito equivalente exacto de un motor de inducción, propuesto por Steinmetz, es prácticamente el mismo que el de un transformador, con la salvedad de que la impedancia de carga ha sido sustituida por una resistencia variable. (Ver figura 2.13) donde:

V = Tensión aplicada al motor

I = Corriente de línea que circula por el estator

R_1 = Resistencia del devanado del estator

X_1 = Reactancia local (o de dispersión) del estator

I_m = Corriente magnetizante

X_m = Reactancia de magnetización

G_{Fe} = Conductancia que representa las pérdidas en el hierro

X_2 = Reactancia local (o de dispersión) del rotor referida al estator

R_2 = Resistencia del devanado del rotor

S = Deslizamiento

I_2 = Corriente que circula por la resistencia R_2 del rotor.

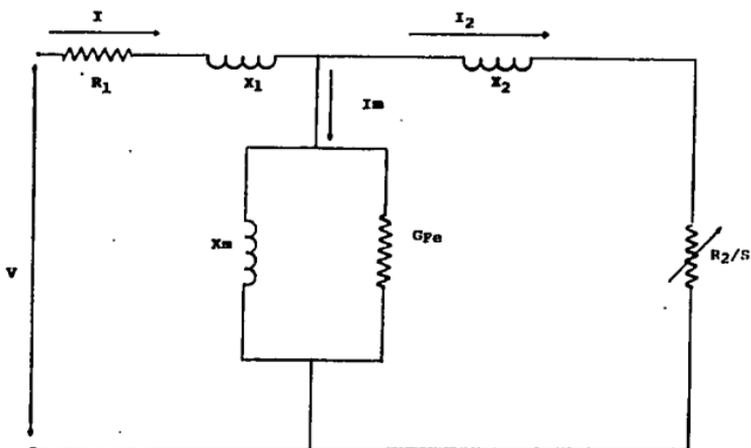


Fig. 2.B Circuito equivalente de un motor de inducción.

La conductancia G_p puede sustituirse por una resistencia equivalente en serie con X_m para simplificar el circuito, ajustando también el valor de X_m

El flujo de energía que se transmite podría representarse como sigue:

Potencia de entrada - pérdidas en el cobre del estator - pérdidas en el hierro
 - potencia transferida al entrehierro - potencia de entrada al rotor - pérdidas
 en el rotor = Potencia de salida.

Examinando el circuito puede verse que la potencia de entrada al rotor es equivalente a la potencia disipada en $\frac{R_2}{s}$; es decir

$$\text{Potencia de entrada al rotor} = \text{PER} = \frac{R_2}{s} \cdot I_2^2 \quad \text{ó}$$

$$\text{bien} \quad \text{PER} = 3 \frac{R_2}{s} \cdot I_2^2 \quad \dots (a)$$

y como las pérdidas totales en el rotor están dadas por

$$\text{PTR} = 3 R_2 \cdot I_2^2 \quad \dots (b)$$

La potencia de salida sería el resultado de

$$\text{PS} = \text{PER} - \text{PTR}$$

$$\text{PS} = 3 \frac{R_2}{s} \cdot I_2^2 - 3 R_2 \cdot I_2^2 \quad \text{ó bien}$$

$$PS = 3 \frac{R_2}{S} \cdot I_2^2 (1 - S) \dots\dots(c)$$

El par puede representarse como T y la velocidad como n (R.P.N.). De este modo la potencia de salida será

$$PS = \frac{Tn}{K} \dots\dots(d)$$

donde K es una constante que depende de las unidades de T. Igualando las expresiones (c) y (d) y despejando el par, queda lo siguiente:

$$\frac{Tn}{2} = 3 \frac{R_2}{S} \cdot I_2^2 (1 - S)$$

$$T = \frac{3KR_2}{n} I_2^2 (1 - S)$$

$$T = \frac{K}{n/(1 - S)} \cdot \frac{3I_2^2 R_2}{S}$$

Como $\frac{n}{(1 - S)}$ es la velocidad síncrona del motor, n_b , se tiene finalmente

$$T = \frac{K}{n_b} \cdot \frac{3I_2^2 R_2}{S}$$

Por otro lado comparando las expresiones (a) y (b) puede verse que $PTR = s.PER$

Esto confirma que no es conveniente trabajar con un deslizamiento elevado, pues de este modo las pérdidas se incrementan.

Circuito Equivalente Aproximado.- Los cálculos pueden hacerse en forma más expedita sin pérdida apreciable de precisión, si se utiliza el circuito aproximado de la figura 2.14, en el cual la resistencia que representa las pérdidas en el hierro se ha colocado directamente a la entrada del circuito y su valor es:

$$R_m = \frac{v^2}{P_{Fe}}$$

donde P_{Fe} representa las pérdidas en el hierro

Otra modificación que conviene hacer en este circuito consiste en expresar todas las cantidades en tanto por uno (o por unidad), tomando como punto de partida la potencia nominal del motor expresada en watta y definiendo las siguientes cantidades unitarias o base

P_B = Potencia base

V_B = Voltaje base (voltaje por base)

$I_B = \frac{P_B}{3V_B}$ = Corriente base

$Z_b = \frac{V_B}{I_B}$ = Impedancia base

$n_B = \frac{120f}{p}$ = Velocidad base (f=frecuencia, p=no. de polos)

$T_B = K \cdot \frac{P_B}{n_B}$ = por base (K constante)

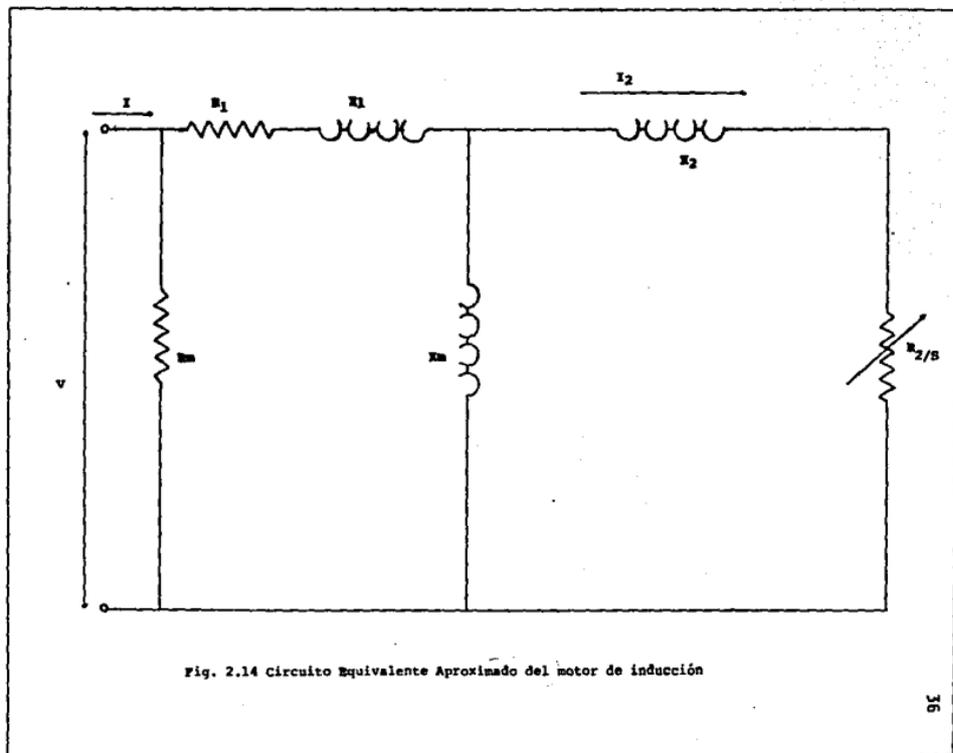


Fig. 2.14 Circuito Equivalente Aproximado del motor de inducción

Con estas modificaciones es posible realizar un cálculo bastante rápido de las condiciones de operación de un motor si se conocen los valores de las resistencias y reactivancias que deben insertarse en el circuito.

Es necesario destacar que las constantes del circuito equivalente no son invariables en realidad, pues dependen de la saturación del circuito magnético y del deslizamiento, lo cual debe tenerse presente al desarrollar un programa completo de cálculo.

Determinación experimental de las constantes

Los valores que deben insertarse en el circuito para evaluar el comportamiento del motor en cualquier condición pueden obtenerse básicamente por las tres pruebas similares a las correspondientes en el caso de un transformador:

- Medición de la resistencia óhmica del devanado.- Por lo general, sólo se tiene acceso a las terminales del motor, por lo que se requiere saber si el devanado está conectado en estrella o en delta (Δ). Si la conexión es en estrella (Y), la resistencia óhmica por fase será la mitad de la lectura entre terminales $R_{T\phi}$, como se muestra en la figura 2.15. Para tomar en consideración las posibles variaciones entre las tres fases, es conveniente medir la resistencia entre los tres pares de terminales y obtener el valor promedio de las tres mediciones.

Si la conexión del estator es en delta, la medición entre terminales correspon

derá a la de una fase en paralelo con las otras dos restantes (figura 2.16), por lo que la resistencia en fase será en este caso 1.5 veces el valor medido.

es necesario también medir la temperatura ambiente a la cual debe haber estado expuesto el motor durante varias horas antes de la medición. Con este valor de temperatura es posible corregir el valor de la resistencia a la temperatura de operación del motor.

- Medición de la corriente y potencia sin carga (prueba en vacío).- Si se toman lecturas de watts y amperes a diferentes valores de voltaje, es posible trazar una gráfica de voltaje aplicado y pérdidas (en watts), como ya se explicó. De tal gráfica puede deducirse el valor de las pérdidas mecánicas, y una vez conocidas éstas, se pueden evaluar las pérdidas magnéticas (en el hierro) por diferencia.

P_{Fe} = Pérdidas magnéticas = Potencia sin carga - Pérdidas mecánicas - Pérdidas en el estator

Como las pérdidas magnéticas se suponen constantes, el valor de la resistencia que se usará para representarlás en el circuito equivalente es:

$$R_m = \frac{1}{P_{Fe}/P_B} \quad (\text{es por unidad, P/u})$$

Por su parte, el cociente de las lecturas de voltaje nominal y corriente sin carga corresponde de manera aproximada al valor de la reactancia en vacío, de la cual es posible deducir la reactancia de magnetización restándole X_1 cuando se obtenga su valor. Con base en la figura 2.17

Fig. 2.15 Medición de la resistencia del estator, conexión en estrella

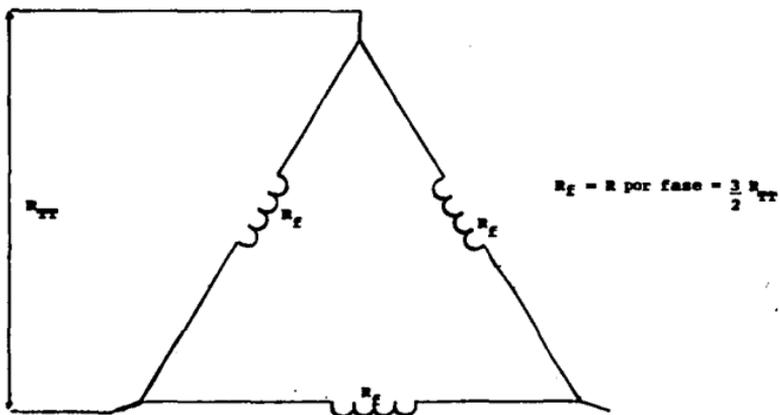
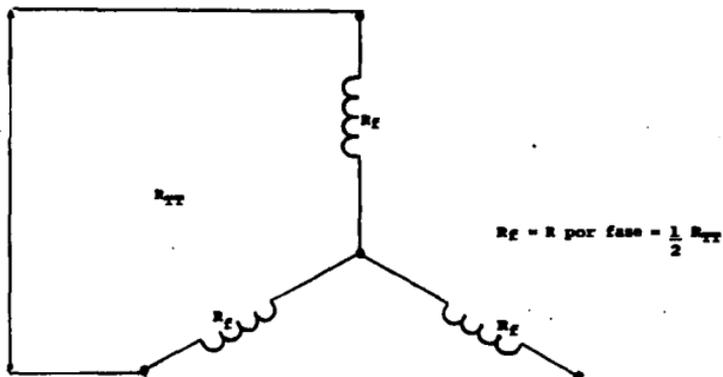


Fig. 2.16 Medición de la resistencia del estator, conexión en delta

$$X_{ev} = \frac{V}{I_{ev}}$$

y, también se tendrá

$$X_m = X_{ev} - X_1$$

donde el subíndice *ev* significa en vacío.

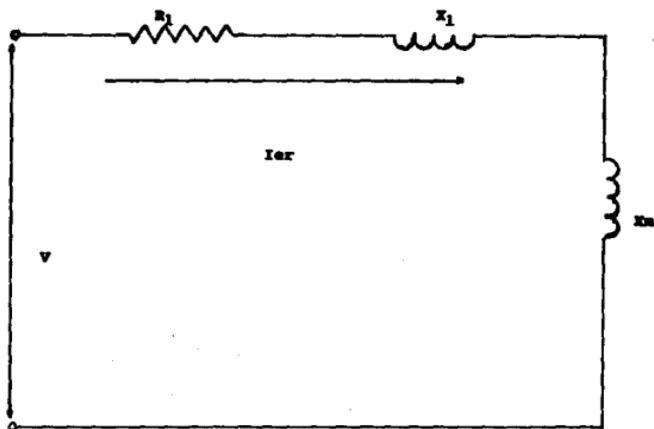


Fig. 2.17 Circuito equivalente aproximado para operación en vacío.

- Medición de la corriente y potencia a rotor bloqueado (prueba a rotor bloqueado).- En teoría si se supone que X_M es mucho mayor que $X_1 + X_2$, es posible calcular el valor de la reactancia de dispersión conjunta del estator y el rotor a partir de las lecturas de watts y amperes a rotor bloqueado conforme a la siguiente ecuación.

$$X_1 + X_2 = \sqrt{\left(\frac{V}{I_{rb}}\right)^2 - \left(\frac{W_{rb}}{I_{rb}}\right)^2}$$

donde V es el voltaje aplicado por fase, W_{rb} son los watts por fase a rotor bloqueado, e I_{rb} es la corriente de iguales condiciones.

Sin embargo, debido a la saturación de las trayectorias magnéticas, el valor de $X_1 + X_2$ así calculado sólo sería aplicable a las condiciones de rotor bloqueado, y no podría utilizarse en el circuito para otro punto de la curva de operación.

De las lecturas a rotor bloqueado puede calcularse también el valor de la resistencia del rotor, R_2 , conforme a la expresión

$$R_2 = \frac{W_{rb}}{I_{rb}^2} - R_1$$

Nuevamente, debe hacerse notar que el valor obtenido de R_2 así obtenido solo correspondería a las condiciones de arranque, debido a las diferencias en la

distribución de la corriente en las barras del rotor entre dichas condiciones y las de operación normal.

La norma IEEE 112 (de los Estados Unidos) establece que la prueba a rotor bloqueado debe hacerse con frecuencia reducida, que no exceda el 25% de la frecuencia de línea y aplicando un voltaje ajustado de tal modo que la corriente a rotor bloqueado sea la misma. En estas condiciones la ecuación pasa a ser:

$$X_1 + X_2 = \frac{f}{V_{prueba}} \sqrt{\left(\frac{f_{prueba}}{I_{rb}}\right)^2 - \left(\frac{W_{rb}}{I_{rb}^2}\right)^2}$$

donde V_{prueba} y f_{prueba} serían el voltaje y la frecuencia utilizados. Como es necesario efectuar una separación de la reactancia total de dispersión en sus dos componentes, X_1 y X_2 , y esto no puede hacerse en forma experimental, se acostumbra a dividir el valor $X_1 + X_2$ conforme a las proporciones siguientes, - basadas en la norma IEEE 112:

$$\text{Para motores diseño B} \quad \frac{X_1}{X_2} = \frac{2}{3}$$

$$\text{Para motores diseño C} \quad \frac{X_1}{X_2} = \frac{3}{7}$$

$$\text{Para motores diseño D} \quad \frac{X_1}{X_2} = 1$$

$$\text{Para motores diseño A} \quad \frac{X_1}{X_2} = 1$$

2.5 ... PARES

Se han examinado ya los ejemplos del campo giratorio en el rotor y como nacen las fuerzas elementales que originan el par motor. Pero este par no tiene un valor constante en cualquier circunstancia sino por el contrario, varía en función de la tensión de alimentación del motor y según su velocidad de rotación.

Si logramos que la tensión de alimentación permanezca constante, podemos trazar una curva característica par-velocidad de un motor, llevando sobre una gráfica, por una parte, los pares y por otra las diferentes velocidades correspondientes (figura 2.18). Esta característica muy importante, es la base del funcionamiento de los motores de inducción.

En el momento de arranque, cuando la velocidad es practicamente nula, el par tiene un valor igual a T_A que se denomina par de arranque. Luego la velocidad aumenta hasta que el par disminuye hasta el valor T_0 , par mínimo. Posteriormente al seguir aumentando la velocidad, el par vuelve a crecer hasta alcanzar el valor T_m o par máximo. Finalmente, a partir de ahí, el valor del par disminuye para hacerse nulo a la velocidad de sincronismo. Si a esta gráfica llevamos el valor del par nominal, obtenemos el punto de funcionamiento P, cuya otra cordenada es la velocidad en carga, V_n para otra potencia, es decir para otro par, T' por ejemplo: El punto de funcionamiento pasa por P', mientras que la velocidad en carga pasa a ser $V'n$. Si arrancamos un motor en vacío, su punto de funcionamiento esta en P_v . Cuando aumentamos el par resistente, el punto de funcionamiento remonta la curva característica.

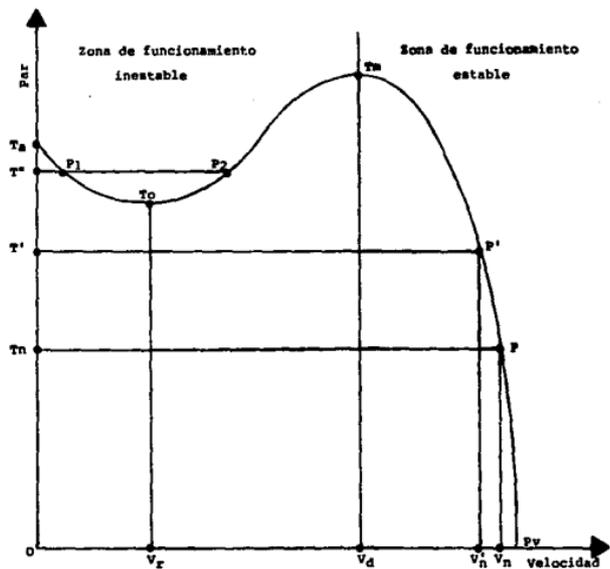


Fig. 2.18

Curva característica Par-velocidad de un motor de inducción. Jaula de ardilla

Mientras el par resistente permanezca comprendido entre 0 y T_m , el motor estará en régimen de estable; la velocidad disminuye si el par aumenta y viceversa y, a cada valor del par corresponde un valor de la velocidad y nada más.

Si el par resistente sobrepasa, aunque sea muy ligeramente el valor T_m , el motor cesa de girar. Se dice que se ha "desenganchado" y, por este motivo, T_m recibe a veces la denominación de par de desenganche. Pero si luego reducimos lentamente el par resistente, el motor permanece parado mientras no demos a este par un valor inferior al par de arranque T_A . Sin embargo esta condición no es aún suficiente para que el motor pueda arrancar con normalidad. Es preciso, necesariamente, que el par resistente sea inferior al par mínimo T_0 , para que el funcionamiento del motor sea correcto. Si mantenemos el par resistente, - por ejemplo en el valor T'' , el punto de funcionamiento del motor estará en P_1 o P_2 , según que la aplicación de este par al motor que haga antes o después de su paso por el par mínimo T_0 . Pero, en ambos casos, el motor no ha alcanzado su velocidad de régimen.

La zona de la característica par-velocidad a tensión constante comprendida entre el par de arranque T_A y el par máximo T_m caracteriza un funcionamiento inestable del motor, y no debe ser utilizada en funcionamiento normal: Para un par resistente dado, puede haber dos velocidades distintas de rotación y una variación negativa del par, puede originar igualmente una variación negativa de la velocidad. (Zona $T_0 - T_m$).

Se ha precisado que la característica par-velocidad de la figura 2B estaba es-

tablecida a tensión constante. En igualdad de condiciones, el par suministrado por un motor de inducción varía con el cuadrado de la tensión de alimentación. Si se aplica a un motor de este tipo un par resistente igual a su par nominal (para tensión nominal), mientras que la tensión de la red a la que está conectado es, por decir, inferior en un 10% a su tensión nominal, todos los valores del par de este motor quedarán disminuidos en un 20%.

2.6 PERDIDAS ...

La potencia activa absorbida por el motor se transforma en potencia mecánica. Pero no toda la energía consumida en forma eléctrica se restituye efectivamente bajo forma mecánica. La diferencia entre los dos valores se transforma en calor y constituye las pérdidas del motor. Las pérdidas se producen en el rotor y en el estator y se les divide en tres categorías principales.

$$P_{\text{er rot}} = P_{\text{er mec}} + P_{\text{er núcleo}}$$

PERDIDAS MECANICAS

Son debidas a los rozamientos en los cojinetes y a la potencia necesaria para arrastrar el ventilador. En el caso de los motores con rotor bobinado provienen asimismo del rozamiento de las escobillas sobre los anillos.

Son las pérdidas mecánicas las que crean la diferencia entre la velocidad de sincronismo de un motor y su velocidad en vacío, tal como hemos indicado anteriormente. Para un motor dado, varían por lo demás con la velocidad en efecto, ya se trate de los rozamientos o de la ventilación, la potencia absorbida es tanto mayor cuanto más es la velocidad de rotación del eje. De ello se desprende una consecuencia aparentemente contradictoria: Las pérdidas mecánicas de un motor disminuyen cuando la carga aplicada a su eje aumenta, puesto que la velocidad de rotación es más débil en carga que en vacío. Sin embargo, esta variación es muy poca y, en la práctica, las pérdidas mecánicas de un motor se consideran independientes a la carga.

PERDIDAS MECANICAS

Son debido a los efectos de histéresis y a las corrientes de Foucault, que se manifiestan en los circuitos magnéticos del estator y del rotor, es por ello y para reducirlos que estos no se construyen en forma de bloques macizos, sino de paquetes de láminas delgadas aisladas entre sí mediante una barnia o por la capa de óxido que se forma en la superficie. Prácticamente, las pérdidas en el hierro son constantes para un motor dado, cualquiera que sea su carga, con la condición de que su tensión de alimentación sea también constante.

PERDIDAS EN EL COBRE

Se llaman así las pérdidas producidas por efecto Joule en los conductores eléctricos del motor: Devanados estatoricos, jaula o devanados rotoricos; y tienen la forma:

$$P = 3I_s^2 R_s + 3I_r^2 R_r$$

Simbolizando R las resistencias internas de la máquina e I la intensidad que la atraviesa. Se puede decir aproximadamente que la intensidad crece con la potencia suministrada por el motor y que, en consecuencia, las pérdidas por el efecto Joule son proporcionales al cuadro de la potencia desarrollada por el.

Las pérdidas producidas en el motor pueden dividirse de otra manera: Pérdidas en vacío y pérdidas en carga. Mientras que las pérdidas en carga comprenden todas las enumeradas anteriormente, las pérdidas en vacío son la suma de las

pérdidas mecánicas y de las pérdidas en el cobre, que permanecen prácticamente constantes para todos los estados de carga del motor. Las pérdidas constituyen un aspecto importante del funcionamiento de los motores eléctricos. Es sobre todo la necesidad de tener que evaluarlas con el fin de obtener la estabilización de la temperatura interna del motor a un nivel aceptable, que la potencia que se puede exigir a un motor no está limitada.

2.6 ... Y EFICIENCIA

Con el aumento de interés tanto en el costo de la energía se presenta una preocupación correspondiente a la eficiencia del uso de dicha energía. Aunque se puede convertir la energía eléctrica en mecánica con la alta eficiencia, el logro de la máxima eficiencia necesita tanto del diseño cuidadoso de la maquinaria eléctrica como de la selección correcta de la maquinaria respecto a la aplicación deseada.

Las máquinas de diseño más eficientes necesitan en general más material y por lo tanto son mayores y costosas. El usuario escoge generalmente la solución de "mínimo costo" para una necesidad determinada; si el aumento en el costo del capital del motor de alta eficiencia se puede compensar mediante ahorros de energía en la vida esperada de la máquina, probablemente seleccionará la máquina de (más) alta eficiencia. Si no es así, es muy probable que no se seleccione a pesar de su mayor eficiencia.

Para optimizar el uso de la maquinaria eléctrica, la máquina se debe adecuar -

correctamente a su aplicación, tanto respecto al tamaño como al funcionamiento. Como los motores de inducción típicos tienden a tomar una potencia reactiva ca si constante e independiente de la carga, y como con ello se originan pérdidas resistivas en las líneas de suministro, se aconseja escoger el motor de inducción más pequeño que pueda satisfacer en forma correcta las necesidades de una aplicación específica.

Según NEMA 1-1.41, la eficiencia de un motor generador es la relación de su potencia de salida a su potencia total de entrada y usualmente esta expresada en un porcentaje.

En el caso de un motor, esta puede ser reducida a salida mecánica convertida a watts, dividida por la entrada eléctrica en watts, matemáticamente, esto podría expresarse como.

$$\text{Eficiencia del motor} = \frac{100 \times \text{salida en watts}}{\text{entrada en watts}}$$

(Porcentaje)

o (convencionalmente)

$$\text{Eficiencia del motor} = \frac{100 \times \text{salida en watts}}{\text{salida} + \text{pérdidas}}$$

(Porcentaje)

Se debe hacer notar que una fuente extremadamente común de inferencias en las

aplicaciones de los motores eléctricos es la falta de adecuación con su aplicación. Aún los motores de 50 H.P serán algo ineficientes si impulsan una carga de 20 H.P. Sin embargo este tipo de falta de adecuación se presenta en la práctica debido en gran parte a la dificultad y caracterización de las cargas de funcionamiento y a una tendencia de parte del ingeniero de aplicaciones a ser conservador para asegurar que el sistema en cuestión tenga su funcionamiento garantizado en vista de las incertidumbres en el diseño. Si se da mayor atención a este asunto se puede recorrer un gran trecho hacia la meta de aumentar la eficiencia del empleo de la energía en aplicaciones de máquinas eléctricas.

2.7 CALENTAMIENTO Y TEMPERATURA

Consideremos un motor en reposo: Está a la temperatura ambiente, es decir, a la temperatura del aire del local en que se encuentra. Si ha permanecido ahí bastante tiempo, y salvo casos improbables de variación brusca de temperatura ambiente, todos sus componentes: Devanados, circuitos magnéticos, carcasa, cojinetes, etc., están a la misma temperatura. Hay equilibrio térmico a la temperatura T . Conectemos ahora este motor a la red, y pidámosle una potencia mecánica P_l . En su estator y en su rotor van a producirse pérdidas inmediatamente: Mecánicas, en el hierro y en el cobre, transformándose en calor en el mismo lugar en que se originan: Cojinetes, chapas de los magnéticos, conductores estatoricos, barras o conductores rotoricos, anillos. Estas piezas van a calentarse de manera diferente, pero el calor producido fluirá desde su punto de origen hacia el exterior del motor que, en contacto con el medio ambiente, está a una temperatura más baja (figura 2.19). Es preciso imaginarse es-

te fenómeno como una especie de afluente térmico que tiene su manantial en el corazón de la masa constitutiva del motor, y que va a desembocar al río de la ventilación. Esta analogía se explica además por el hecho de que, si el agua siempre tiende a fluir, por efecto de la gravedad, desde un punto alto a otro bajo, el calor también tiene siempre la tendencia a fluir desde un punto caliente hacia otro frío. Este movimiento se realiza por transmisión de calorías, de un conductor a otro, por conductibilidad radiación o convección. Es tanto más pronunciado cuanto más importante es la diferencia de temperaturas entre las dos piezas, de la misma manera que el agua fluye tanto más impetuosamente cuanto más pronunciada es la pendiente del terreno.

La carcasa del motor evacua tanto más calorías cuanto mayor sea su diferencia de temperatura con respecto al medio ambiente. En la puesta en marcha del motor la fuente de calorías tiene un caudal mayor que la capacidad de evacuación de la carcasa: El calor se acumula en cada punto del interior del motor en cantidad proporcional a la distancia de su origen. A medida que la temperatura aumenta, sin embargo, la carcasa evacua más calor y llega un momento en que se alcanza un equilibrio de los caudales térmicos, el motor evacua todas las calorías producidas por las pérdidas. Pero el equilibrio de los caudales térmicos, no significa que las temperaturas se hayan equilibrado, todo lo contrario. Se puede considerar que, en el motor, la temperatura aumenta al aproximarnos a su interior. Si la carcasa esta exteriormente a una temperatura T_1 , el circuito magnético del estator estara a una temperatura T_1' superior a T_1 , los devanados estatoricos a una temperatura T_1'' superior a T_1' y el rotor a una temperatura T_1''' , más elevada que T_1'' , pero si ninguna de las condi--

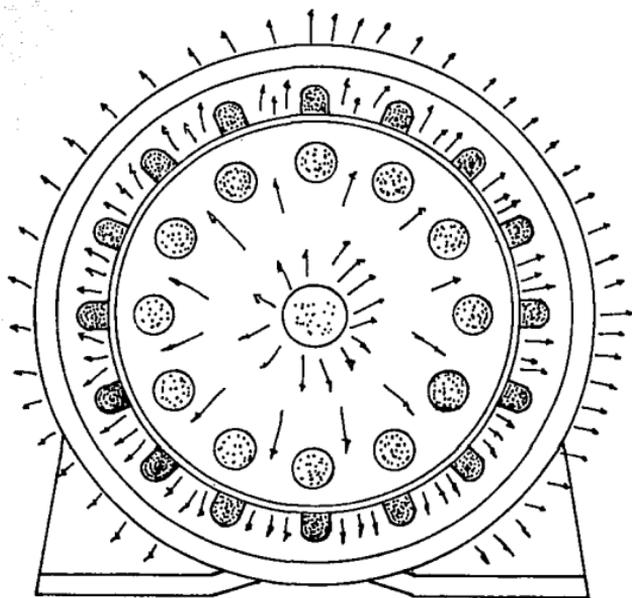


Fig. 2.19 El calor fluye desde su punto de origen hacia el exterior del motor.

ciones se ha modificado (temperatura ambiente y potencia suministrada), estas diferentes temperaturas ya no varían.

Si pedimos al motor que ahora nos suministre una potencia P_2 diferente de P_1 - obtendremos en el motor un nuevo equilibrio térmico de valores T_2, T'_2, T_2'', T_2''' . Si P_2 es superior a P_1 las nuevas temperaturas obtenidas serán respectivamente superiores a las precedentes. Por el contrario, serán inferiores - a las precedentes en el caso de que P_2 sea inferior a P_1 . Ahora bien, en las ranuras del estator hay un conjunto de hilos de cobre apretados unos contra otros y aislados entre si y de las paredes de las ranuras por una fina capa de aislante. Si este aislante se funde, aunque sea localmente, se producirá un circuito capaz de destruir al motor. La potencia pedida al motor debe, pues, limitarse a un valor tal que el equilibrio térmico que determina no conduzca, al nivel de los aislantes, a una temperatura que provoque su fusión. Si esta temperatura es igual a T , podrán subsistir en el motor temperaturas superiores, por ejemplo, en el rotor, y temperaturas inferiores, por ejemplo, en la carcasa, pero sigue siendo T_1 el valor importante que hay que vigilar.

En reposo, todos los elementos del motor están a la temperatura ambiente T_1 - con la única condición de que el tiempo de reposo haya sido suficientemente - largo para que el equilibrio térmico haya podido establecerse. Si T_1 es la - temperatura de las bobinas para un cierto estado de funcionamiento, se llama calentamiento la diferencia:

$$D_T = T_1 - T$$

y si T es la temperatura límite que pueden alcanzar los aislantes del motor, - la condición de no - destrucción del mismo es que:

$$D_T \text{ menor igual } T_1 - T$$

Ahora bien, ya hemos dicho que D_T esta ligada a la potencia mecánica suministrada por el motor. La potencia admisible, o nominal de un motor sólo puede - expresarse si primeramente han sido precisados los valores respectivos de T_1 y de T .

Valor normalizado de la temperatura ambiente T . : Se admite, para las máquinas giratorias refrigeradas a partir del medio ambiente, que T , es de 40° en las - regiones templadas (Europa en particular). Salvo especificación contraria, los constructores establecen, pues, sus motores para funcionamiento de una temperatura ambiente de 40°C como máximo. Si la temperatura del medio en el que debe efectivamente funcionar un motor es superior a esta cifra, el comprador - debe obligatoriamente señalarlo a su proveedor.

Será el caso, por ejemplo, del motor que debe utilizarse en clima tropical, - del que soporta la irradiación de una fuente exterior de calor (resistencias del caldeo) o también del que esta situado dentro de un recinto angosto en el que la renovación del aire resulta insuficiente.

Si la temperatura ambiente real es superior a 40°C , la potencia admisible es - una fracción de la potencia nominal. Es aconsejable preguntar al constructor

cual es la reducción a efectuar en función del nuevo ambiente. Se puede, sin embargo, en primera aproximación, tomar como válidas las cifras siguientes:

Para ambiente 40°C : Potencia admisible = 100% de la potencia nominal

Para ambiente 45°C : Potencia admisible = 92% de la potencia nominal

Para ambiente 50°C : Potencia admisible = 83% de la potencia nominal

Para ambiente 55°C : Potencia admisible = 75% de la potencia nominal

Valores Normalizados del Calentamiento D_T : la temperatura límite que puede alcanzar un aislante depende evidentemente de su naturaleza. Por ello, la normalización define diversas clases de aislante en función de esta temperatura y, por consiguiente, del calentamiento D_T admisible por encima de una temperatura ambiente de 40°C. El siguiente cuadro enumera las clases de aislantes normalizadas, precisando para cada una de ellas el límite de los calentamientos admisibles, medidos por resistencia.

Para el tipo de arrollamientos propios de los motores asíncronos de inducción.

Clase de Aislamiento	A	E	B	F	H
Calentamiento Máximo en °C	60	75	80	100	125

Medición del calentamiento: Hemos dicho antes que los calentamientos límites - normalizados se entendían medidos por resistencia. Esto quiere decir que el control debe efectuarse no con la ayuda de un termómetro, sino utilizando la propiedad que posee el cobre o el aluminio de presentar una resistencia ohmica cuyo valor crece con la temperatura. El aumento de resistencia en función de la

temperatura sigue una ley conocida; para apreciar la temperatura de un conductor basta, pues, medir su resistencia eléctrica, primero en frío (a la temperatura ambiente conocida) y luego en caliente. Este método es, teniendo en cuenta la imposibilidad de alojar un termómetro en las ranuras de los circuitos magnéticos donde se producen los calentamientos más fuertes, y porque el termómetro mide la temperatura en un sólo punto que no es forzosamente el más caliente, mientras que la resistencia afecta a toda la longitud del devanado.

Siendo R, la resistencia de un arrollamiento a la temperatura T, y R1 su nueva resistencia de un arrollamiento a la temperatura T, estos cuatro valores estan ligados por la relación siguiente, válida solamente para los conductores de cobre y aluminio.

$$T1 = \frac{R1 (T + 234.5)}{R} - 234.5$$

Observamos que el equilibrio térmico de un motor sólo se obtiene al cabo de varias horas de funcionamiento estable o como se suele decir, de régimen establecido. Pero la medición de la resistencia que permitiera calcular la temperatura de calentamiento debe, para ser válida, hacerse en los pocos segundos que siguen al paro del motor. En efecto, el equilibrio térmico, en cierto modo dinámico, que se había establecido en el motor en funcionamiento, ha sido inmediatamente perturbado por el paro brutal de las pérdidas y de la ventilación. Una medición realizada demasiado tarde después del cese del funcionamiento normal del motor carecería de todo significado. Ahora bien, en la práctica, el operador primeramente debe cortar la corriente de alimentación, desconectar los

tres bornes del motor y quitar las barras de conexión antes de poder conectar los aparatos de medida.....y algunos segundos transcurren en seguida. Para tener en cuenta todo esto los operadores miden el tiempo transcurrido entre el paro del motor y la lectura de la resistencia y aplican el resultado obtenido una corrección en función de este tiempo.

Influencia de la altitud sobre el calentamiento:

Los calentamientos descritos anteriormente se entienden para un motor funcionando a una altitud inferior o al sumo igual a 1000 metros por encima del nivel del mar. Como es sabido, cuanto mayor es la altitud menos denso es el aire a causa de la disminución de su presión. Por consiguiente, la acción de un ventilador es tanto menos eficaz cuanto mayor es la altitud. Es preciso, por consiguiente reducir el calentamiento máximo si el motor debe funcionar a una altitud suficientemente grande. La normalización fija en 1000 metros a la altitud máxima para la cual se garantizan los motores normalizados sin ninguna otra presión; por encima de aquella hay que reducir la potencia admisible en un 2% por cada 100 metros. Sin embargo, no hay que efectuar ninguna reducción si la temperatura máxima no sobre pasa los valores siguientes:

35°C para una altitud comprendida entre 1000 y 2000 metros.

30°C para una altitud comprendida entre 2000 y 3000 metros

25°C para una altitud comprendida entre 3000 y 4000 metros

C A P I T U L O I I I C O N S T I T U C I O N D E L M O T O R D E I N D U C C I O N

3.1 ELEMENTOS ESENCIALES

Un motor de inducción o asíncrono (figura 3.1) posee: (a) Una carcasa provista interiormente de un circuito magnético o núcleo estator (b), constituido por un paquete de laminaciones de acero al silicio, cuyas ranuras contienen espiras de conductor de cobre formado por las bobinas o devanado (c). Este devanado - está unido a la red de alimentación mediante las terminales alojadas en una caja de conexiones (d). El conjunto de estas piezas constituye el estator del motor.

En ambos extremos del estator van montados los soportes de cojinetes o tapas - (e) que permiten por medio de los rodamientos (f), la rotación de un eje o fleje sobre el cual se ensambla el núcleo rotor (h), constituido a su vez por un paquete de laminaciones de la misma naturaleza que las del estator, y, como aquellas provistas también de ranuras.

En los motores de inducción tipo jaula de ardilla, dichas ranuras están ocupadas por barras de cobre o aluminio cuyas extremidades por uno y otro lado del núcleo están conectadas entre sí por los anillos de corto circuito. El conjunto de las barras y de los anillos se asemeja bastante a una "jaula de ardilla", expresión que da nombre a este tipo de motor conocido también como "motor con rotor en corto circuito" por estar en el circuito eléctrico formado por las barras, efectiva y definitivamente puesto en corto circuito por los anillos.

La flecha sobresale por una de las tapas de manera que permita accionar una -

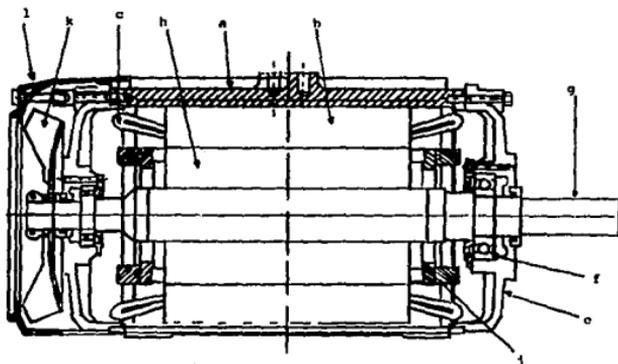


Fig. 3.1.

Corte esquemático de un motor de inducción tipo Jaula de ardilla

- | | |
|---|-----------------------|
| a - Carcasa | l - Cubierta metálica |
| b - Circuito magnético o Núcleo estator | |
| c - Bobinas o devanado | |
| e - Soportes de cojinetes o tapas | |
| f - Rodamientos | |
| g - Flecha | |
| h - Núcleo rotor | |
| j - Anillos de corto circuito | |
| k - Ventilador | |

carga, mientras que por el otro extremo acciona generalmente un ventilador (k) que impulsa aire a la carcasa con el fin de asegurar su enfriamiento. Una cubierta metálica (l) protege el ventilador contra contactos accidentales.

La descripción nos permite definir los órganos esenciales, cuyo conocimiento es necesario para comprender el funcionamiento, pues corresponde a un tipo de motor perfectamente clásico y muy conocido y, sólo tiene por objeto, fijar las ideas, puesto que existen numerosas variantes de construcción.

3.2 ESTATOR

Esta parte del motor denominada "primario", es considerada como la más importante y se forma de:

3.2.1.- Carcasa

3.2.2.- Núcleo del Estator

3.2.3.- Aislamientos

3.2.4.- Bobinas

3.2.1 CARCASA

Esta parte del motor es la que da rigidez estructural al motor y es la que protege al devanado contra los posibles contactos que pudieran dañar al motor o a los seres humanos que lo operan.

La carcasa puede ser de fierro fundido o de lámina de acero rolada y soldada. La carcasa se forma de un anillo y unos soportes o base; en la carcasa fundida el anillo y la base son una sola pieza en forma integral, cuando la carcasa es formada, la base es soldada al anillo. La carcasa es maquinada en su interior con dimensiones muy precisas para tener un buen contacto entre la carcasa y el núcleo del estator y evitar de esta forma los huecos de aire que son malos conductores del calor generado por el estator, el cual debe ser disipado a través de toda la superficie de la carcasa. Después de insertado el núcleo del estator ya devanado a la carcasa, se procede a efectuar las conexiones de las bobinas. Otra alternativa es insertar el núcleo del estator en la carcasa y después insertar las bobinas (enbobinar) para posteriormente hacer las conexiones en: estrella o delta. Con sus variantes, serie y paralelos que dependen del diseño del motor.

Existe un límite para el uso de paralelos y este es el número de polos.

3.2.2. NUCLEO DEL ESTATOR

Como ya se dijo antes forma parte del circuito magnético y esta constituido por laminaciones de acero al silicio con espesores entre 0.45 y 0.65 mm. (figura 3.2) previamente troqueladas con la forma, dimensiones y número de ranuras requerido. Una lámina a continuación de otra hasta formar el paquete con la longitud especificada por el ingeniero de diseño; estas laminaciones después de troqueladas se pasan a procesos térmicos y de oxidación para restablecer propiedades electromagnéticas y formar una capa aislante de óxido, que hace el

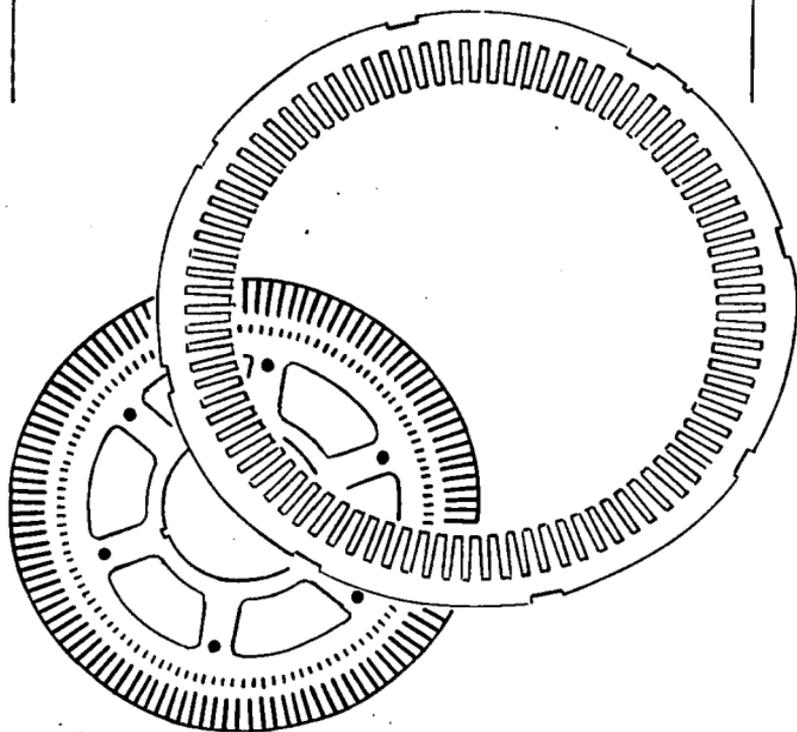


Fig. 3.2.

Laminaciones de rotor y estator

núcleo más eficiente, ya que esto disminuye las indeseables pérdidas por corrientes parásitas o indeterminadas. Las laminaciones de estator se unen por medio de soldadura y soleras de sujeción o se sujetan por medio de cinta de lámina para formar el núcleo del estator. El paquete de láminas debe quedar perfectamente apretado, ya que de lo contrario produciría vibraciones o ruidos magnéticos.

3.2.3. AISLAMIENTOS

Hechos de materiales no higroscopicos, que no absorben humedad como el mylar, maylam, etc.

Existen varias clases de aislamientos dependiendo mucho de los materiales que lo componen y de acuerdo a la temperatura límite, que es capaz de soportar un aislamiento sin modificar sus propiedades características; se clasifican como se indica en la tabla 3.1

T A B L A 3.1

Aislamiento de Clase	Temperatura Límite	Materiales Componentes
Y	90°C	Algodón, Seda y Papel
A	105°C	Algodón, Seda y Papel impregnados
E	120°C	Resinas Sintéticas
B	130°C	Mica, Fibra de Vidrio, Amiatio

F	155°C	Mica, Fibra de Vidrio con aglomerantes
H	180°C	Siliconas, Resinas
C	más de 180°C	Porcelana, Cuarzo, Vi- drio, Mica.

A cada uno de los grupos térmicos citados, pueden incorporarse aquellos materiales aislantes en los que se pueda demostrar eficientemente que mantienen sus propiedades originales bajo las temperaturas límites correspondientes.

La mayoría de los motores se fabrican con aislamientos B y F, en algunos casos especiales se utiliza aislamiento clase H.

Los aislamientos se clasifican en:

(ver figura 3.3)

- 1.- Aislamiento de Ranura
- 2.- Aislamiento de Separadores de Ranura
- 3.- Aislamiento de Fase
- 4.- Aislamiento de Cuña
- 5.- Mangas y otros
- 6.- Impregnado

1.- Aislamientos de Ranura.- Se emplean las paredes laterales de las ranuras del estator y sirven para aislar los alambres de cobre que forman el devanado, de las partes metálicas del núcleo del estator. Estos devanados impiden que el devanado se vaya a "tierra".

2.- Aislamientos Separadores de Ranura.- Son los que impiden el banco de corriente entre un costado de bobina de una fase a la otra fase. Como su nombre lo indica, se colocan a lo largo de la ranura entre los costados de la bobina.

3.- Aislamientos de Fase.- Se emplean en los cabezales de las bobinas y sirven para impedir los brinco o cortos circuitos entre los cabezales de la bobina. Estos aislamientos son la continuación de los aislamientos separadores de ranura y en algunos casos o diseños son hechos en forma integral.

4.- Aislamientos de Cuña.- Estos aislamientos se colocan en la parte más alta de la ranura del estator y son los que impiden que los alambres que forman las bobinas se salgan de la ranura y hagan contacto con el rotor o secundario y se produzca la destrucción del motor. (figura 3.3) Vista de la ranura y aislamientos).

5.- Mangas y otros.- Para aislar los conductores y así poder conectar los grupos de bobinas sin el peligro de existir un cruzamiento entre fases o a tierra se utilizan las mangas. Para cubrir la soldadura de las conexiones se utiliza cinta eléctrica y para amarrar los cabezales de las bobinas se puede utilizar cordón de vidrio.

6.- Impregnado.- Después de que se han hecho las pruebas preliminares de inspección, se pasa a la selección de impregnación con barniz aislante, la impregnación tiene como objetivos: Mejorar el aislamiento y protegerlo de la humedad, favorecer la disipación del calor desarrollado en los arrollamientos al relle-

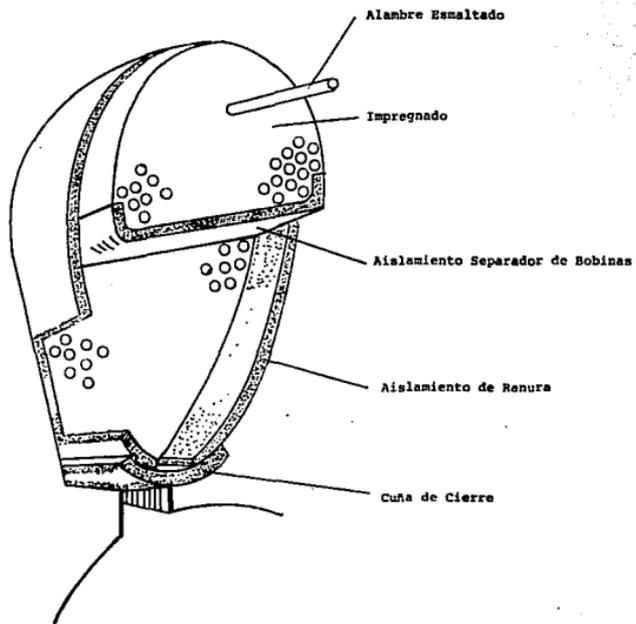


Fig. 3.3
Vista convencional de Bobinas y Aislamientos en Ranura de Laminación de Estator.

nar todas las cavidades de aire que es el mal conductor del calor, dan rigidez mecánica al conjunto del arrollamiento y protegerlo de la acción de influencias exteriores (vapores, corrosivos, bacterias, etc.).

Además de las esenciales características aislantes es imprescindible que el barniz tenga las siguientes propiedades: Estabilidad térmica, resistencia al envejecimiento, buena conductividad calorífica, máxima penetración, mínima contracción, elasticidad, no agresividad hacia los alambres esmaltados, resistencia a la centrifugación a la humedad, ácidos, etc.

3.2.4 BOBINAS (Devanado)

Esta parte del motor es la más importante y se puede decir que es la principal del motor de inducción.

Las bobinas estan formadas de arrollamientos compuestos de uno o más alambres conductores de cobre aislado con un esmalte especial, el cual puede ser a base de poliamida-imida con temperatura límite de 200 °C .

La forma de las bobinas se hace en los moldes de madera con dimensiones especiales para cada diseño de motor o en un molde universal, con el cual se hacen bobinas de diferentes dimensiones.

El cambio de calibre de los conductores, así como el cambio en el número de vueltas por bobina y el paso de la bobina, determina las características principales del diseño.

3.3 ROTOR

También es conocido como el circuito secundario del motor.

Lo integran las siguientes partes:

3.3.1.- Flecha

3.3.2.- Núcleo

3.3.3.- Rodamientos

3.3.1.- Flecha

Es el medio transmisor de la energía mecánica obtenida a la carga aplicada al motor y se manufactura de acero ligero contenido de manganeso, azufre y fósforo.

3.3.2 Núcleo

El rotor del motor de inducción tipo jaula de ardilla es el tipo más común, - más simple y más robusto de construcción imaginable y es prácticamente indestructible. Para armar un rotor, se apilan las laminaciones previamente troqueladas y, después de haberlas montado sobre un mandril, todas las barras y anillos de ambos extremos se funden a presión formando una pieza. El material usado es una aleación de aluminio. La colada se hace a presión por razones de rapidez y de costos.

En los motores grandes con núcleos mayores de 20 pulgadas de longitud se utiliz

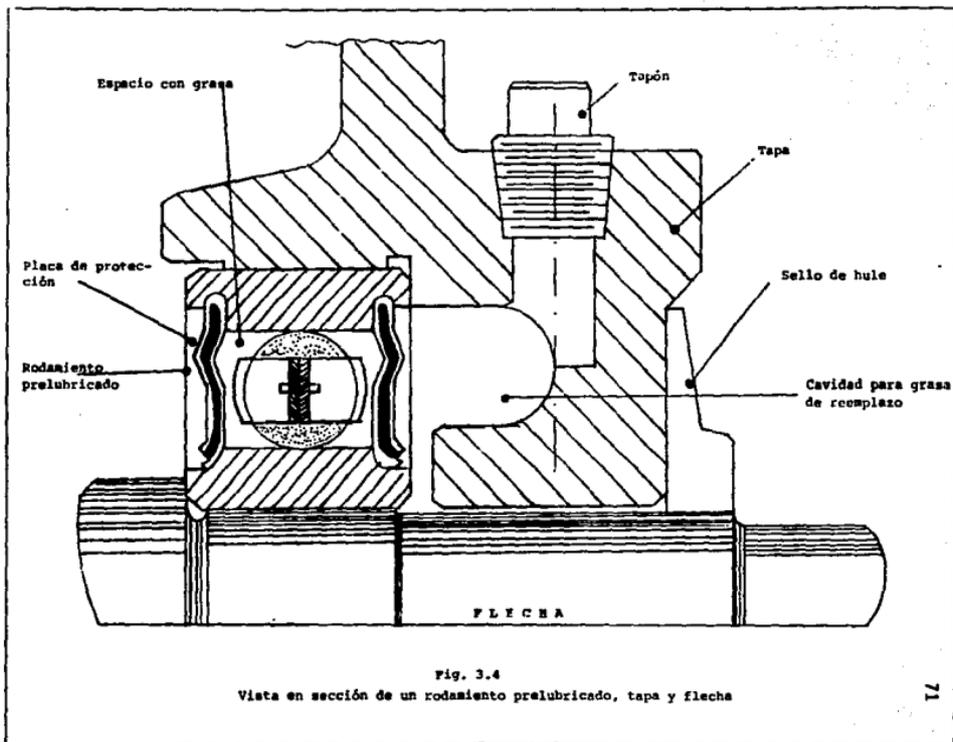
za otro método: Una barra de cobre desnuda se coloca en cada ranura y en ambos extremos de las barras se sueldan los anillos también de cobre formando a la vez una sola pieza. Este tipo de construcción se lleva a cabo debido a la dificultad que existe para fundir el aluminio a presión en longitudes de núcleo considerablemente grandes.

El núcleo se flama con el objeto de eliminar rebabas y a la vez dilatarlo y poder ensamblar la flecha para formar una sola pieza compacta. Finalmente, el conjunto se balancea dinámicamente. En cada cara lateral del rotor y unidas a los anillos de corto circuito se disponen unas aletas o aspas las cuales al girar el rotor, remueven el aire contenido en el motor, mejorando la refrigeración del mismo.

En la práctica se pueden encontrar varios tipos de ranuras en los rotores de jaula, los tipos de ranura más utilizados son los de ranura profunda y ranura de doble jaula simulada. El tipo de ranura y las dimensiones de la misma dependen de la potencia y diseño de cada motor de acuerdo a las características que ofrecerá el mismo.

3.3.3.- Rodamientos

Los rodamientos son elementos sobre los cuales gira la flecha; estos son de acero desgasificado y pueden ser de una hilera de bolas o dos, dependiendo del tipo de acoplamiento y de la aplicación del motor; cuando la transmisión es por banda se recomienda el uso de rodamientos con rodillos cilíndricos, por el



mayor esfuerzo radial que se les exige.

Generalmente, al menos para los motores de armazón 360 y menores los rodamientos son de bolas y prelubricados o sea que tienen una reserva de grasa para un funcionamiento aproximado de diez mil horas (figura 3.4), pero los motores más potentes utilizan rodamientos de rodillos en el lado de la carga del motor además que se prevee un engrasador por cojinete y se incluye una válvula de - grasa destinada a evacuar las grasas viejas excedentes (figura 3.5).

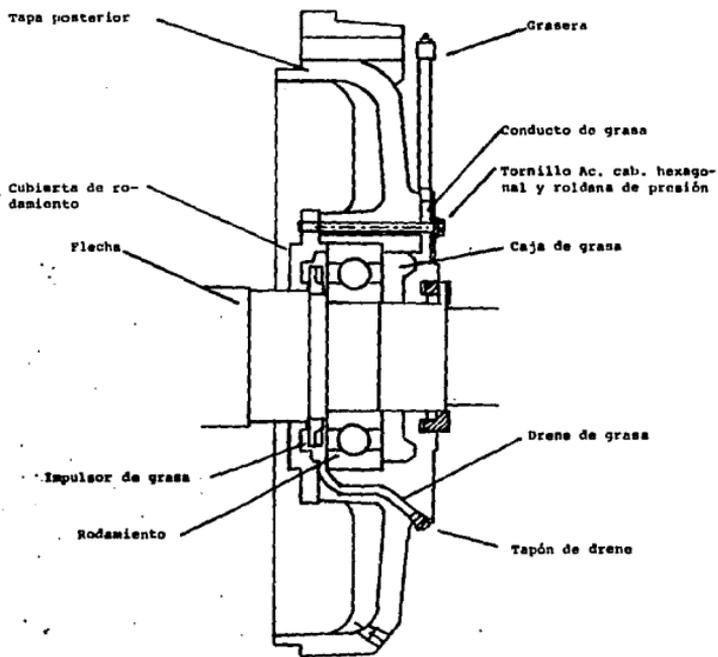
El montaje de los rodamientos debe tener en cuenta la dilatación longitudinal que la flecha sufre a consecuencia del calentamiento del rotor.

3.4 PARTES MECANICAS Y ACCESORIOS

3.4.1.- Tapas

Son partes mecánicas de sostén, pues en ellas se alojan los rodamientos o baleros que sirven de apoyo al rotor. Por lo general se construyen de fierro fundido.

El maquinado de los alojamientos de cojinete de los ajustes de la carcasa y las tapas debe ejecutarse muy cuidadosamente; es importante que el centraje del rotor sea lo más perfecto posible, para que el entrehierro sea rigurosamente idéntico en todas las direcciones; el cuidado con que se efectuan estas operaciones influye mucho en la calidad de los motores.



Vista en sección convencional de ensamble, mostrando lubricación del rodamiento con grasa. Fig. 3.5.

3.4.2.- Caja de Conexiones

Esta es una pieza que da protección mecánica a las terminales, se construye de fundición de hierro o aluminio.

Las demás piezas que constituyen el motor son partes común y corrientes, entre ellas se encuentran:

Tornillería

Placa Descriptiva

Pintura

Grasa

Empaques etc.

c A P I T U L O I V

CLASIFICACION Y NOMBRAS DE LOS MOTORES DE INDUCCION

4.1 CLASIFICACION DE LOS MOTORES

Los motores de inducción se pueden clasificar de varias formas (figura 4.1)

a) Por su construcción eléctrica

- Jaula de ardilla (ver figura 4.2)
- Rotor devanado

b) Por su construcción mecánica

- Abiertos a prueba de goteo
- A prueba de intemperie
- Totalmente cerrados sin ventilación
- Totalmente cerrados con intercambiador de calor
- Totalmente cerrados con ventilación forzada
- A prueba de explosión

c) Por su tipo de montaje

- Horizontales
- Verticales

d) Por su rango de voltaje

- 220 1400 volts
- 2300 volts
- 4000 volts
- 6600 volts

4.2 NORMAS

En los primeros días de los motores eléctricos, cada fabricante construía de acuerdo a sus propias Normas. Cada marca de motor tenía diferente nomenclatura, dimensiones, rango de valores, etc. El resultado fue una total confusión en el campo. Para remediar esta situación se estableció en los Estados Unidos una asociación oficial conocida como National Electrical Manufacturers Association (NEMA).

La Norma Oficial Mexicana (NOM) para equilibrio eléctrico se basa, y es prácticamente una traducción al castellano de las normas NEMA.

NEMA es una organización no lucrativa subsidiada y soportada por los fabricantes y proveedores de equipo eléctrico. Sus normas son adoptadas por el interés público pretendiendo así, facilitar el entendimiento entre el fabricante y el usuario, así como asesorar al cliente en la selección y obtención del producto apropiado a sus necesidades.

A pesar de que casi la totalidad de las normas usadas en la manufactura de motores eléctricos son establecidas por NEMA o NOM, existen algunas otras normas que se utilizan, tales como las del I.E.E.E. (Institute of Electrical and Electronic Engineers) para aislamientos, las del JIC (Joint Industry Conference) para requerimientos de la industria automotriz, etc.

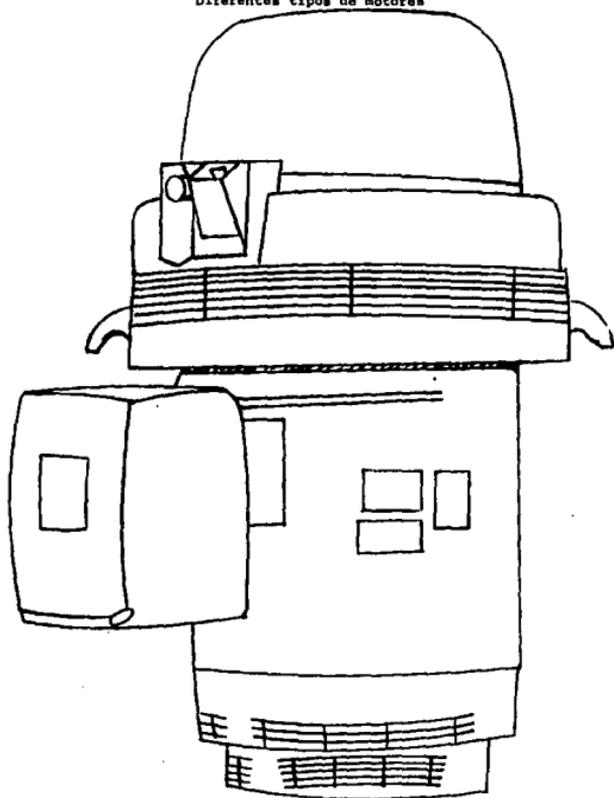


Fig. 4.1 a) Motor vertical a prueba de goteo (VAPG)

4.3 DISEÑO MECÁNICO

Al hablar del diseño mecánico nos referimos al tipo de construcción o protección mecánica que poseen los motores para operar satisfactoriamente en las condiciones ambientales y de seguridad para las que fue seleccionado, estos tipos son los siguientes:

- a) A prueba de goteo (APG)
- b) Totalmente cerrados con ventilación exterior (T.C.C.V.E.)
- c) Protegidos contra la intemperie tipo I (WPI)
- d) Protegidos contra la intemperie tipo II (WPII)

Además por la posición de la flecha se divide en:

- 1.- Horizontales
- 2.- Verticales

La descripción de cada uno de los tipos anteriores es:

- a) A prueba de goteo.- Estos motores, como lo indica su denominación, están -
construidos para impedir que los líquidos que goteen, con un ángulo de proyección no mayor de 15° con respecto a la vertical, penetren hacia el interior -
del motor; sin embargo, el aire del medio ambiente tiene libre acceso al interior, con lo cual se tiene una muy buena disipación de la temperatura de los devanados y núcleos del motor.

Diferentes tipos de motores

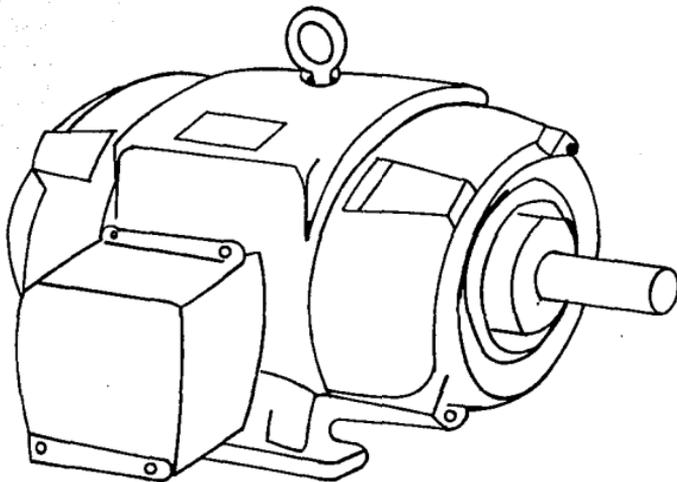


Fig. 4.1 b) Motor horizontal a prueba de goteo

La aplicación de este motor es la más generalizada en la industria y se les encuentra montados en máquinas - herramientas, ventiladores, bombas centrífugas, ciertos tipos de transportadores, etc.

Es decir, en general estos motores encuentran su aplicación en aquellos lugares en donde el medio ambiente no sea perjudicial a las partes internas del motor y además no haya salpicadura de líquidos.

b) Totalmente cerrados con ventilación exterior.- Este tipo de construcción - nos proporciona un motor totalmente hermético y por lo tanto el aire del medio ambiente nunca llega a tocar sus devanados y núcleos.

La disipación de la temperatura del motor se hace por radiación a través de la superficie aleteada de la carcasa o armazón. Además, este calor es barrido por la acción de un ventilador que va montado sobre la extensión frontal de la flecha, por lo tanto al girar ésta, obliga a disipar más rápidamente la temperatura o calor del motor.

Este tipo de motores se aplican para mover máquinas o equipos instalados en ambientes polvoscos, abrasivos, húmedos y/o ligeramente corrosivos.

Se les encuentra acoplados a máquinas - herramientas, ventiladores, transportadores, quebradoras, etc. En general su aplicación es en aquellos lugares en donde el medio ambiente puede ser perjudicial a las partes internas del motor.

Diferentes tipos de motores

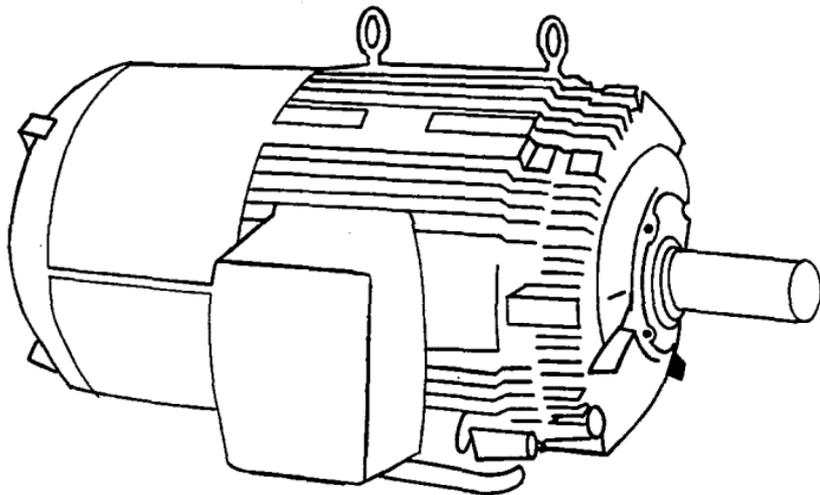


Fig. 4.1 c) Motor horizontal cerrado con ventilación de rotor de tipo H T C C V R D

c) Protegidos contra la intemperie tipo I : "Una máquina a prueba de intemperie tipo I es una máquina abierta cuyas entradas para la ventilación están -- construidas, de manera que se logre minimizar la entrada de la lluvia, nieve y partículas de aire "cargadas", transportadas por (y/o a través de) el aire hacia las partes eléctricas, y cuyas aberturas de ventilación están construidas para prevenir (impedir) la entrada de una barra cilíndrica de 19 mm (3/4") de diámetro".

d) Protegidos contra la intemperie tipo II.- Una máquina a prueba de intemperie tipo II es una máquina con las características del tipo I. Además los pasajes de ventilación, tanto a la entrada como a la salida, deberán estar dispuestos de tal manera que aire de alta velocidad y partículas de aire "cargadas" sopladas hacia la máquina por temporales o vientos fuertes, pueden ser -- descargados sin entrar en los pasajes internos de ventilación que van directamente hacia las partes eléctricas de la máquina propiamente dicha. La trayectoria normal del aire de ventilación que entra a las partes eléctricas de la máquina, debe ser conducida por medio de deflectores o cuerpos separados de manera que produzcan por lo menos tres cambios de dirección, no siendo ninguno de ellos menor de 90°. También, se deberá proveer la trayectoria del aire de entrada, de una sección de baja velocidad que no exceda los 183 metros por minuto (600 pies por minuto), para minimizar la posibilidad de que se transporte hacia dentro de las partes eléctricas de la máquina, humedad o suciedad.

1) Horizontales.- Tal como lo indica el nombre la operación de la flecha del motor es horizontal, esta es la construcción más generalizada y se combina con

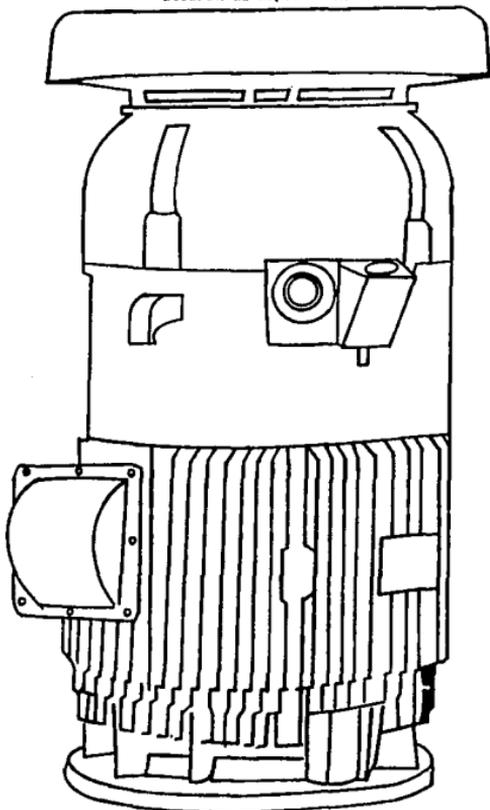


Fig. 4.1 d) Motor vertical a prueba de explosión (VAPE)

las descripciones mencionadas anteriormente.

Por lo tanto tendremos:

Motores horizontales a prueba de goteo, motores horizontales totalmente cerrados con ventilación exterior, etc.

2) Verticales.- Este es el caso típico de los motores que se acoplan a bombas de pozo profundo, de recirculación o en máquinas cuyos diseños requieren que la flecha del motor opere en posición vertical.

Igual que en el caso anterior, esta construcción se combina con las protecciones indicadas en a), b), c) y d).

Existen en la industria un tipo de motores que por su aplicación en ambientes altamente peligrosos requieren de una construcción muy especial y éstos son - los motores totalmente cerrados con ventilación exterior a prueba de explosión.

Un motor a prueba de explosión, tiene una construcción muy similar al motor totalmente cerrado, con la excepción de los espesores mínimos recomendados por los Laboratories Underwriters de U.S.A, en la carcasa, tapas y caja de conexiones, así como los ajustes más precisos entre las tapas y la salida de la flecha, ajuste entre tapa y carcasa, cierre con superficie maquinada entre las - dos mitades de la caja de conexiones, temperatura superficial que no exceda de 80°C totales, etc. Los motores a prueba de explosión se clasifican de acuerdo al Código Nacional Eléctrico de U.S.A. (National Electric Code) en 3 clases:

Diferentes tipos de motores

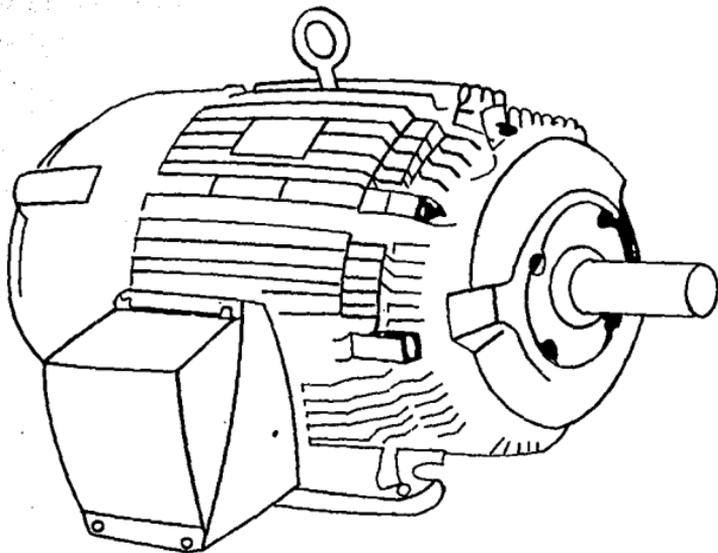


Fig. 4.1 e) Motor horizontal totalmente cerrado con ventilación exterior (HTCCVE)

Clase I .- Líquidos y vapores o gases combustibles.

Clase II.- Polvos combustibles.

Clase III.-Fibras inflamables

Asu vez las clases I y II se dividen en grupos:

CLASE I

- Grupo A: Acetileno.
- Grupo B: Hidrógeno, gases o vapores de peligrosidad similar como gases fabricados.
- Grupo C: Etul, etileno, Ciclopropano.
- Grupo D: Gasolina, hexano, nafta, Bencina, butano, Propeno, Alcohol, Acetona, bencol, gas natural.
- Grupo E: Polvos metálicos, incluso aluminio o magnésio y otras aleaciones comerciales.

CLASE II

- Grupo F: Carbón negro, antracita o polvo de coque.
- Grupo G: Harina, almidón, polvo de granos.

CLASE III

- Fibras textiles.

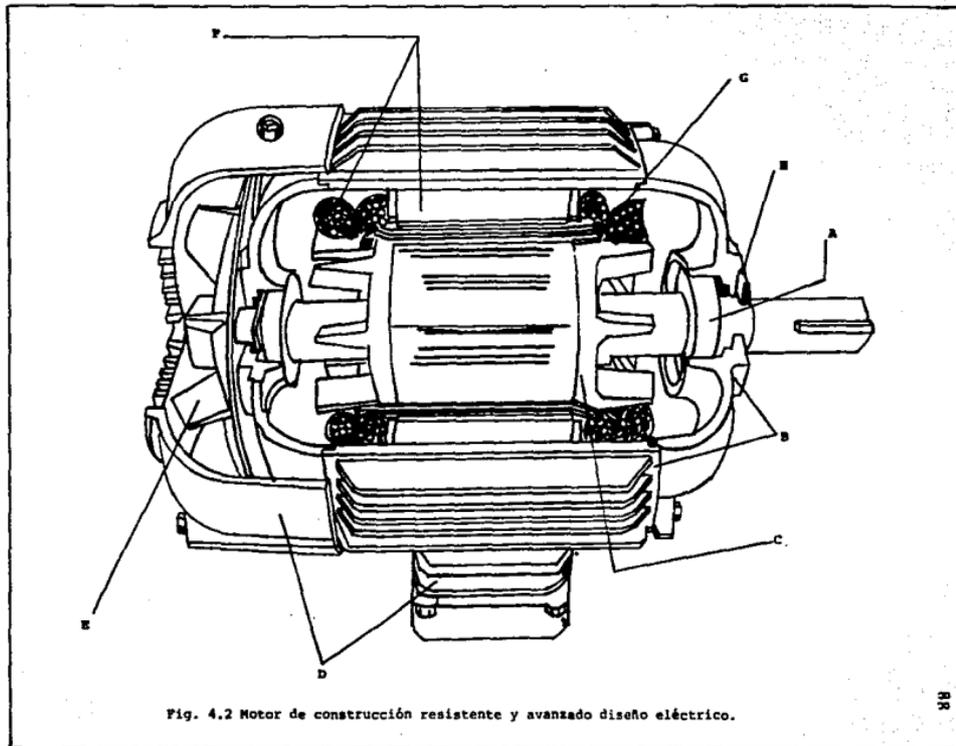
División 1. Comprende locales donde pueden existir gases o vapores inflamables, durante condiciones normales de operación, durante reparación o mantenimiento.

División 2. Comprende locales en donde se manejen gases o vapores inflamables o líquidos volátiles, ya sea en sistemas cerrados o confinados dentro de recipientes adecuados, donde se evitan normalmente concentraciones peligrosas por medios mecánicos positivos de ventilación.

Las áreas adyacentes a los locales clasificados como división 1, hacia los cuales puede haber flujo ocasional de gases, también pertenecen a la división 2. Esta división por lo consiguiente, se considera no peligrosa y por lo tanto pueden usar motores totalmente cerrados con ventilación exterior estandar, con excepción del ventilador que debe ser de material no chispeante.

Los motores para los grupos A, B y C deberán ser llenados con algún gas inerte. Estos motores tienen tapas herméticas y sellos de aceite alrededor de la flecha, para reducir las fugas del gas al mínimo, además tienen instrumentos lectores de presión, para que en caso de alguna falta de presión, el sistema de control desconecte el motor, al mismo tiempo que haga funcionar una alarma. Estos motores son muy costosos, por lo tanto sólo se emplean en zonas demasiado peligrosas.

Los motores a prueba de explosión deberán tener paredes y un espesor mínimo adecuado para impedir que una explosión interna deteriore la carcasa o tapas, también las distancias de fuga deberán tener una longitud tal que los gases ca



Referencias de la figura 4.2

- A - Rodamiento para larga vida
- B - Carcasa y tapas fabricadas en fundición de hierro gris que le dan una alta resistencia mecánica y protección contra ambientes altamente contaminados
- C - Motor balanceado dinámicamente para una eficiente operación
- D - Cubierta de ventilador y caja de conexiones hechas de aluminio de alta resistencia a la corrosión
- E - Ventilador antichispa de alta resistencia a la corrosión de bajos niveles de ruido
- F - Núcleo estator constituido con acero especial de bajas pérdidas y menor en peso, incremento en la cantidad de cobre y longitud de núcleo
- G - Aislamientos clase "F" en la construcción del embobinado que incrementan su vida térmica y mecánica y proporciona excelente resistencia a la humedad
- H - Sello de hule neopreno para minimizar la entrada de humedad y polvo.

lentes que se producen internamente por una explosión o corto circuito, se deben enfriar para que al salir al medio ambiente no presenten un foco de principio de ignición.

Lo anterior se logra con espesores mínimos de 3/8 de pulgada y longitudes de fuga mínimo de 2 a 2.5 pulgadas y con claros entre partes fijas y móviles (tapas y flecha) de 25 milésimas de pulgada máximo al diámetro, contando además con sellos en las flechas de material no chispeante, bronce o latón, con lo cual se evita cualquier producción de chispas entre partes fijas y partes móviles.

Es muy importante hacer notar que cuando un motor aprobado por U.L para locales peligrosos es abierto para su reparación, la aprobación queda anulada automáticamente a no ser por un inspector autorizado por U.L que esta presente para vigilar el trabajo y armado del motor, certificando esta persona el uso del motor para áreas peligrosas, además se deberá agregar una placa que diga "REPARADO" autorizada por el inspector de Underwriters Laboratories, Inc.

4.4 DISEÑO ELÉCTRICO

Por lo que a diseño eléctrico se refiere, los motores eléctricos de inducción tipo jaula de ardilla se clasifican en cinco diferentes:

- Diseño NEMA A
- Diseño NEMA B

- Diseño NEMA C
- Diseño NEMA D
- Diseño NEMA F

Es extremadamente importante entender las características de cada uno de estos diseños. En la mayoría de los casos se usará el diseño NEMA B. Pero habrá ocasiones en que un diseño A, C, o D, puede manejar mejor la carga.

La gráfica de la figura 4.3, muestra las curvas par-velocidad para dichos diseños NEMA A, B, C, D, y F.

Las características de los diseños A y B son muy similares, la diferencia estriba en que las corrientes máximas o de arranque para el diseño B están limitadas por normas; no así para el diseño A.

El diseño NEMA A tiene un par de arranque ligeramente más bajo y un par máximo ligeramente más alto que el diseño B. Este diseño tiene un par de arranque normal, deslizamiento pequeño, corriente de arranque normal, con un sólo devanado de jaula de ardilla de baja resistencia. Su deslizamiento a plena carga es menor del 5%, tiene un par máximo de más de 200%, el 1/3 del par de plena carga, y su par de arranque es normalmente igual o mayor que el par nominal. Una de las principales desventajas en este diseño consiste en sus grandes corrientes de arranque para motores de 10 H.P. o mayores.

El diseño NEMA B corresponde a aquellos motores cuya corriente y pares de a--

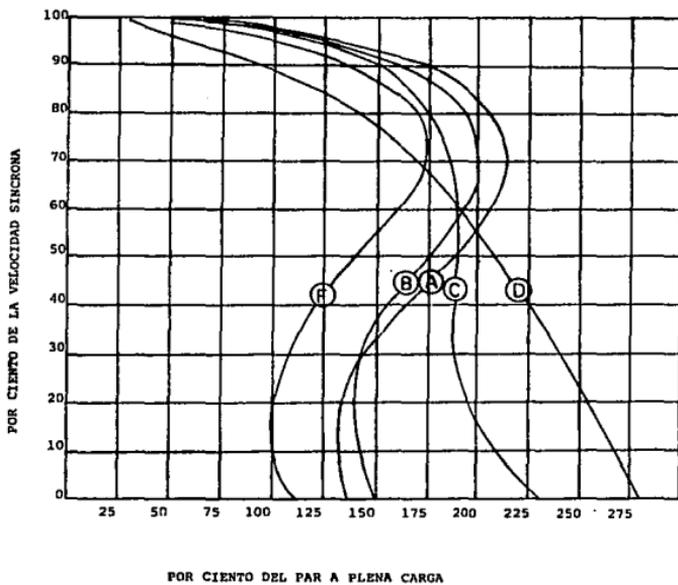


FIG. 4.3.

CURVAS PAR VELOCIDAD DE LOS DISEÑOS NEMA; A, B, C, D Y F.

rranque son normales, Corriente de arranque normal se considera aquella cuyo valor se encuentra en 5 y 6 veces la corriente de carga plena de un motor y - las cifras de los pares de arranque normales están tabuladas por las normas NE MA, así como por las normas nacionales (NOM y CONNIE) reconocidas oficialmente por la Secretaría de Industria y Comercio, y elaboradas por los principales fabricantes de motores del país.

Obviamente se comprende que este motor es el de mayor consumo y aplicación en la industria, ya que por propia conveniencia los fabricantes de maquinaria lle van a cabo sus diseños, de tal manera que los motores que vayan a requerir -- sean los más apegados a los que se conoce como estandar, desde el punto de vista de diseño eléctrico.

El diseño NEMA C se refiere a aquellos motores que, teniendo una corriente nom mal de arranque, desarrollan pares de arranque superiores a los que desarro-- lla un motor de diseño B. Los valores para par de arranque de diseño C, tam-- bién están tabulados tanto en las normas NEMA como en las nacionales.

PA = 200% mínimo

Las características de este diseño hacen fácil de definir y comprender la apli cación, ya que se refiere a todos aquellos casos en los que por la naturaleza de la carga, se requiere un momento con valor absoluto elevado, para vencer la inercia y una vez iniciado el movimiento, el comportamiento que se le solicita al motor es idéntico al del diseño B. Un caso típico de aplicación para estos

motores se refiere a los transportadores, que por cualquier causa prevista, - tenga que iniciar un ciclo con la carga aplicada.

El deslizamiento de estos motores a carga plena debe ser del 2 al 5%. Ver gráfica 4.3.

El diseño NEMA D, se refiere a motores que desarrollan un par de arranque nunca menor que el 275% del par a carga plena con una corriente de arranque normal y con un deslizamiento que nos permita hacer 3 grupos; el primero tiene un deslizamiento de 5 a 8%; el segundo, requiere un deslizamiento de 8 a 13% y el tercero, de 13 a 18%.

Los motores de este tipo de diseño tienen su principal aplicación en máquinas como cizallas, prensas y en general en todos aquellos casos en donde el equipo a mover viene dotado de un volante cuya función es almacenar energía para "sacar a flote" el motor, durante los lapsos en que se presenta la demanda máxima de potencia.

El diseño NEMA F es un diseño que tiene un bajo par de arranque, baja corriente de arranque y bajo deslizamiento en motores de 30 H.P. y mayores. Da preferencia al funcionamiento de trabajo a expensas del par de arranque. El deslizamiento a plena carga tiende hacia un valor de 2% siendo los valores usuales entre 2 y 4% con deslizamientos mayores para motores de bajas velocidades. El par de arranque puede ser tan bajo como 130% un par máximo de aproximadamente 140%.

Por lo consiguiente, al especificar un motor, entre otras características es mencionar su tipo de diseño mecánico y el tipo de diseño eléctrico.

C A P I T U L O V

SELECCION Y APLICACION DE LOS MOTORES DE INDUCCION

5.1 APLICACION DE MOTORES DE INDUCCION

El problema de la aplicación de motores jaula de ardilla se reduce esencialmente a determinar con el máximo cuidado los siguientes factores:

- 1.- Características de la carga y del motor, tales como: Acoplamientos del motor a la carga, velocidad, capacidad en H.P., pares requeridos, características de inercia, aceleración y ciclo de trabajo.
- 2.- Sistemas de arranque del motor en relación a la fuente de energía alimentadora, tales como: Variaciones permisibles de la tensión al aplicar la corriente de arranque y capacidad requerida en KVA.
- 3.- Condiciones ambientales tales como: Temperatura ambiente, altura sobre el nivel del mar, abuso mecánico y contaminantes. Estos factores determinan el tipo de aislamiento, así como la cubierta de protección del motor.

CARACTERISTICAS DE LA CARGA DEL MOTOR

DISEÑO	PAR DE ARRANQUE	CORRIENTE DE ARRANQUE	PAR MAXIMO	DESPLAZAMIENTO A 100 % CARGA	APLICACION TIPICA
A	NORMAL	NORMAL	ALTO	BAJO (<5)	MAQUINAS, HERRAMIENTAS, BOMBAS CENTRIPUGAS, VENTILADORES

B	NORMAL	BAJA	ALTO	BAJO (<5)	IGUAL QUE DISERNO A, COMPRESORES CARGA_ DOS.
C	ALTO	BAJA	NORMAL	BAJO (<5)	TRANSFORMADORES - CARGADOS
D	MUY ALTO	BAJA	- - -	ALTO	TROQUELADORAS CIZA LLAS

METODOS DE ACOPLAMIENTO

Acoplamiento directo.- Las estadísticas demuestran que solamente el 20% de las máquinas movidas operan a la misma velocidad que el motor que las mueve. Cuando el motor se acopla directamente a la carga, las condiciones de aplicación son distintas que cuando se usa una transmisión intermedia para aumentar o disminuir la velocidad.

El acoplamiento directo sólo es práctico si la carga puede accionarse a la misma velocidad que el motor como sucede en las bombas, compresores centrífugos o moto generadores. Para estas aplicaciones lo más conveniente es usar un motor con extensión de flecha corta. Por lo que se refiere al problema mecánico de acoplamiento en sí, es necesario nivelar, alinear y anclar perfectamente el grupo.

Transmisión de banda o cadena.- Al aplicar estos métodos de transmisión y reducción de velocidad a motores, deben comprobarse siempre dos factores:

- a) Carga radial adicional sobre la chumacera o rodamiento del motor.
- b) Carga combinada de flexión y tensión sobre la extensión de la flecha.

Los límites prácticos establecidos por NEMA para este tipo de transmisiones para asegurar buena vida de las chumaceras y prevenir esfuerzos excesivos en la flecha, son como sigue:

MOTOR ARM.	No. DE POLOS	VELOCIDAD SINCRONICA R.P.M.	H.P. MAXIMOS POR TRANSMITIR
256T	2	3600	25
445T	4	1800	200
445T	6	1200	125
445T	8	900	100

En el caso de transmisión por bandas V o banda plana es necesario proveer un dispositivo para ajustar la tensión. Esto puede ser una base de rieles deslizables.

La tendencia natural de la mayoría de los mecánicos es ajustar la banda demasiado tensas. Una regla práctica que debe recordarse es que la banda o bandas que no patinan ligeramente al arrancar la carga, están demasiado tensas, esto a corta considerablemente la vida de la chumacera y puede causar vibración o

fractura de la flecha.

Características del motor.- Existen cinco parámetros que definen las características de operación de un motor:

- Velocidad en R.P.M.
- Capacidad en H.P.
- Par en Kg - Mt
- Corriente de arranque o máxima
- Aumento de temperatura.

Los tres primeros serán discutidos brevemente bajo "Selección del motor" y en relación a la máquina cuyo motor tratamos de seleccionar. Los dos últimos parámetros cubren características del motor en sí. En la práctica debemos adecuar la velocidad del motor, su capacidad y sus características de par a la carga y después cerciorarnos que el motor operará dentro de sus límites de corriente y de temperatura.

Cada uno de estos parámetros se combina con todos los demás para producir un resultado total satisfactorio. Tenemos pues que analizarlos cada uno de ellos e interpretarlos, para lograr la aplicación correcta de los motores.

INTERRELACION ENTRE POTENCIA, PAR Y VELOCIDAD.

La interrelación de estos tres parámetros se define como sigue:

P = Fuerza en kilogramos fuerza

d = Distancia en metros $\left[\begin{array}{c} \text{mts} \\ \text{min} \end{array} \right]$
 t = Tiempo en minutos

T = Par en Kg - Mt, a un metro de radio

R.P.M. = Velocidad angular en revoluciones por minuto.

$$\text{Potencia} = \frac{Pd}{t} \quad 2\pi T \times \text{RPM} \quad \frac{\text{Kg Mt}}{\text{min}}$$

$$1 \text{ HP} = 75 \frac{\text{Kg mt}}{\text{seg}} = 4500 \frac{\text{Kg Mt}}{\text{min}}$$

$$\text{Potencia en H.P.} = \frac{T \times 2\pi \times \text{RPM}}{4500}$$

$$\text{Potencia en H.P.} = \frac{T \times \text{RPM}}{716}$$

La fórmula anterior nos muestra la interrelación entre potencia, par y velocidad. Esta fórmula frecuentemente se olvida al seleccionar los motores.

Supongamos por ejemplo, que tenemos una máquina que requiere un motor de 10 -- H.P y que tiene una velocidad de operación de 1160 R.P.M. El cliente pide un motor de esa capacidad, 6 polos, que a la frecuencia de 60 HZ da precisamente esa velocidad, para transmitir con bandas V y poleas con relación de diámetros 1:1 sin embargo, el Ingeniero que ha comprendido la importancia de la fórmula anterior, puede demostrarle al cliente como ahorrar dinero al cambiar la relación de poleas usando un motor de la misma potencia, pero de mayor velocidad. Puede probar que seleccionando un motor de 2 polos con 3475 RPM puede usarse u na polea de 1/3 del diámetro original, o sea una relación de poleas de 1:3. -

También puede proponer un motor de 4 polos con 1745 RPM y relación de poleas - de 1:1.5

A continuación hemos listado el costo relativo de los tres motores.

El motor de 6 polos tiene más cobre y hierro para poder desarrollar un par mayor que los motores de 2 y 4 polos (se tomará el motor de 4 polos como base - comparativa).

Costo relativo de motores de 10 H.P., abiertos:

POLOS	VELOCIDAD EN LA FLECHA A 60 HZ R.P.M.	ARMAZON	COSTO RELATIVO
2	3475	213T	103%
4	1745	215T	100%
6	1160	256T	150%

Si el cliente puede usar un motor de mayor velocidad, el ahorro es evidente y además el motor será más ligero y más fácil de montar.

Las únicas precauciones por tomar con motores de más alta velocidad, es el comprobar que la flecha es adecuada para transmitir por banda. También si el sentido de rotación del motor tiene que invertirse frecuentemente, los motores de

alta velocidad tienen menos capacidad térmica para ello que los de baja velocidad.

Las principales aplicaciones de los motores trifásicos jaula de ardilla son:

- A) Bombas
- B) Compresores
- C) Sopladores
- D) Ventiladores centrifugos
- E) Molinos para hule
- F) Molinos para pulpa de madera.

A) Bombas

A.1) Centrifugas.- Las bombas centrifugas grandes se usan para bombear cantidades apreciables de líquidos a alturas menores que las bombas reciprocantes o de émbolo. Generalmente van directamente acopladas a un motor de 2 ó 4 polos.

Se arrancan descargadas con la válvula de descarga cerrada o cargadas con la válvula de descarga abierta, o bien, una combinación de estas dos formas cuando se arranca contra una válvula de retención o "chek". En este último caso, el par es el de la bomba descargada hasta que se levanta suficiente presión para abrir la válvula de retención. Los pares requeridos son como sigue:

Par de arranque 20 %

Par máximo descargada 50 %

Par máximo cargada 100 %

A.2) Recíprocantes o de Embolo.- Son bombas de desplazamiento positivo y presión positiva que generalmente se acoplan al motor a través de un reductor de engranes. Usualmente se arrancan descargadas o por medio de un "By Pass".

Par de arranque descargada 75 %

Par máximo requerido 150 %

B) Compresores:

B.1) Recíprocantes para aire.- Se arrancan invariablemente descargados dejando escapar el aire a la atmósfera o manteniendo las válvulas de succión abiertas. La variación cíclica en el par que produce el ciclo de compresión, requiere un cuidadoso análisis para determinar el tamaño óptimo del volante, para evitar variaciones desfavorables de la corriente con los consiguientes transientes en las líneas de alimentación.

Par de arranque descargado 35 %

Par máximo requerido 150 %

B.2) Recíprocantes para amoníaco, CO₂ y Freón.- Esencialmente son iguales que los compresores para aire excepto que al comprimir un gas, requieren de equipo de descarga para arrancar por el método de "By Pass". La carga de fricción al

arrancar es mayor debido a los estoperos que usan estos compresores.

Par de arranque descargado 50 %

Par máximo requerido 150 %

C) Sopladores

C.1) Turbo sopladores.- Los turbo sopladores se aplican generalmente para altos gastos de aire o gas y su construcción es similar a una bomba centrífuga de varias etapas o escalones. Su velocidad es alta, 1800 a 3600 R.P.M. o con caja de engranes hasta 4500 R.P.M. Estas unidades generalmente se arrancan descargadas con la válvula de descarga cerrada y a voltaje reducido.

Par de arranque descargado 20 %

Par máximo requerido 125 %

C.2) Sopladores cicloidales.- Estas máquinas operan sobre un principio similar a las bombas de engranes. Generalmente tienen dos lóbulos que casan y giran a la relación excéntrica apropiada entre sí y con la envolvente. El motor va acoplado directamente o por medio de un reductor de engranes. Como los lóbulos no rozan entre sí ni con la envolvente, el par de arranque es bajo cuando el soplador se arranca descargado, ya sea por medio de un "By Pass" o descargando a la atmósfera.

Par de arranque descargado 35 %

Par de arranque cargado 125 %

Par máximo requerido 140 k

D) Ventiladores centrifugos.- Estos ventiladores son similares a los soplado--
res antes descritos, excepto que son de menor velocidad y de una capacidad tan
alta que no siempre resulta práctico o conveniente arrancarlos con la válvula
de descarga cerrada. Generalmente van acoplados por medio de bandas al motor,
aún cuando también pueden acoplarse directamente a un motor de baja velocidad
y alta polaridad (10 ó 12 polos).

Par de arranque, transmisión con bandas 35 k

Par de arranque, directamente acoplado 25 k

Par máximo requerido 120 k

En ventiladores para minas, en donde el rotor del ventilador puede ser excesi-
vamente grande y las condiciones de arranque desfavorables, debido a períodos
prolongados de inactividad, conviene especificar pares mayores como sigue:

Par de arranque 60 k

Par máximo 150 k

E) Molinos para hule

E.1) Molinos de Banbury.- Estos molinos se usan para mezclar y amasar el hule
crudo con negro de humo u otros materiales. El molino generalmente se arranca
descargado, pero en caso de un paro de emergencia es necesario arrancar con u-

na fuerte carga para despejar el molino, por lo cual es necesario contar con -
pares altos.

Par de arranque 125 kg

Par máximo 250 kg

E.2) Molinos de refinado.- Estos molinos requieren pares menores que los de -
mezclado, pero sin embargo lo suficientemente altos para despejar en caso de
paro de emergencia.

Par de arranque 140 kg

Par máximo 175 kg

F) Molinos para pulpa de madera

F.1) Jordans.- Estas máquinas se usan en la industria papelera para separar -
las fibras de la pulpa del papel. Consiste fundamentalmente de un rotor cóni-
co provisto de cuchillas que ajusta perfectamente dentro de una envolvente. -
El motor se acopla al rotor cónico por medio de un cople ajustable, o se monta
sobre una base especial también ajustable. La unidad se arranca sin carga, mo-
viendo el rotor hacia afuera.

Par de arranque mínimo 40 kg

Par máximo requerido 150 kg

F.2) Molinos de pulpa.- En estos molinos los pedazos de tronco se forzan contra una piedra o muela para moler la madera y obtener la pulpa. Se arranca sin carga aflojando la presión sobre los leños.

Par de arranque 30 t

Par máximo 150 t

5.2 SELECCION DE LOS MOTORES DE INDUCCION

Selección del motor:

Datos básicos.- En general son tres los datos básicos que hay que conocer de una máquina para seleccionar el motor y son:

- a) La velocidad o velocidades de operación
- b) La capacidad requerida en caballos
- c) Los pares requeridos en puntos críticos del ciclo de operación.

Velocidad:

La velocidad debe calcularse en relación a la velocidad en la flecha del motor. Tómese en cuenta que el par varía en proporción inversa a la velocidad angular en el caso de transmisiones por engranes, banda o cadena.

Además la máquina puede requerir de:

- 1) Una sola velocidad
- 2) Dos o más velocidades fijas
- 3) Velocidad infinitamente ajustable.

Potencia H.P.:

Este dato generalmente es más difícil de determinar que la velocidad; sin embargo, hay tres maneras fundamentales de obtenerla:

- A. Especificaciones o datos de placa.- Si la máquina se ha comprado, la potencia requerida se especifica por el fabricante de la misma placa o se lista en las características de operación.

- B. Prueba.- Si no hay manera de obtener los datos del fabricante, se puede aplicar un motor de características conocidas para duplicar las condiciones de operación. Midiendo con un analizador industrial los watts de entrada al motor, se deduce la potencia de:

$$\text{H.P en la flecha} = \frac{\text{KW de entrada} \times \text{eficiencia del motor}}{746}$$

- C. Comparación.- Si A o B resultan imprácticos, hágase una comparación cuidadosa de la máquina a propulsarse con máquinas similares cuyas necesidades de potencia sean conocidas. Este método es el más errático de los tres y sólo debe usarse en casos extremos.

Pares:

Los requerimientos de par de la máquina a moverse, deben conocerse en tres condiciones adicionales a las cargas de par a plena carga, éstas son:

- Par de arranque.- Este es especialmente importante en cargas de alta fricción e inercia, tales como: Compresores cargados, prensas troqueladoras con volantes pesados, molinos de bolas o martillos, molinos de hule o desmenzadores de troncos en la industria del papel. Ver figura 5.1.

- Par de aceleración.- En cargas de la inercia tales como las antes mencionadas, el par en exceso que desarrolla el motor y que sirve para acelerar la carga en un tiempo determinado, es importante para que el motor no se sobrecaliente. Este aspecto lo veremos más en detalle al analizar las características de pares de los motores. Ver figura 5.1.

- Par máximo.- En el caso de cargas variables, el motor debe ser capaz de desarrollar suficiente par para prevenir que el mismo se frene o se "siente", cuando la demanda de energía por parte de la máquina accionada es máxima. Ver figura .

Selección de motores de inducción (según ambientes)

Condiciones ambientales y aislamiento

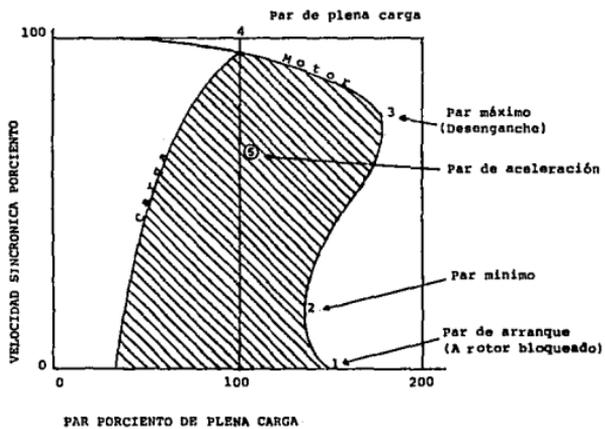


Fig. 5.1 - Pares de un motor de Inducción -

La mayoría de los motores comprados en la actualidad son para ser usados en lo calizaciones comunes en donde el aire es relativamente limpio, la temperatura se mantiene dentro de 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.

Uno de los objetivos del presente trabajo es discutir los problemas que presen tan 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, mien tras que la otra parte consiste en seleccionar la cubierta en el motor más adu cuado a la aplicación.

Condiciones ambientales.- Las condiciones que listamos a continuación son las que determinan las áreas problemáticas, si alguna de ellas existe, hay que tomar medidas para proteger el motor o sus partes.

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 y nieve)

Humedad (alta humedad relativa, salpicadura)

Formas de los contaminantes

Sólidos, líquidos, gases

Formas en que se mueven

Suspendidos en el aire

Cayendo por gravedad

Rebotando de superficies adyacentes

Impulsado por fuerzas definidas

Temperatura ambiente (arriba de 40°C):

Esta afecta en primer lugar a los aislamientos, causando deterioro rápido y envejecimiento. También reduce la velocidad de la grasa o del aceite en las chumaceras, pudiendo llegar a sus propiedades lubricantes.

Para afrontar este problema, deben usarse aislamientos especiales para temperaturas más altas como los clase F (155°C temp. total) o clase H (180°C temp. total). Los baleros, si son de bolas deberán de ir cargados con grasa para alta temperatura y los baleros deberán tener un juego interno entre bolas y - pistas, mayor que el normal (C-3 en lugar de C-2 que es el normal). Si el lubricante es aceite este debe de ir previsto de aditivos especiales para mantener el índice de viscosidad a altas temperaturas, para inhibir la oxidación y reducir la fricción y el espumeo.

Gran altura sobre el nivel del mar:

Este factor, que es uno de los principales problemas en México, debido a su topografía, afecta el aumento de la 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 diseñados actualmente, se ha tomado en cuenta este factor para que el aumento de temperatura no exceda los valores normados por - NOM a la altura de la Ciudad de México (2 280 mts. sobre el nivel del mar).

En casos en que haya la necesidad de operar los motores a alturas muy superiores a la arriba indicada, habrá necesidad de usar las medidas antes mencionadas.

La única ventaja que se presenta en este caso es que generalmente la temperatura ambiente decrece al aumentarse la altura.

Impacto y vibración:

Estas condiciones deterioran rápidamente al motor, causando roturas de 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 apuntados 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 quedo apuntado anteriormente.

Contaminantes atmosféricos:

Estos como ya apuntamos, pueden ser: Químicos corrosivos, polvos abrasivos, polvos obstruyentes y alta humedad relativa.

Para hacer frente a estos agentes destructivos, se han desarrollado últimamente:

- a) Un aislamiento especial a prueba de humedad, corrosión y abrasión (APH).
- b) Motores totalmente cerrados con acabados epóxicos especiales y en los cuales normalmente se aplica el aislamiento APH.

Estos motores se conocen bajo el nombre genérico de "tipo químico" y además de los factores antes enumerados, también llevan aislamientos "Clase P" para resistir las sobrecargas y altas temperaturas ambientales.

A continuación presentamos una tabla de selección de motores en función de las condiciones ambientales.

MOTOR LOCALIZADO EN:	TIPO DE MOTOR
Fabricas y oficinas limpias, almacenes, casetas de elevadoras, cuartos aislados para motores, plantas generadoras y toda clase de aplicaciones donde la atmósfera sea limpia y seca.	Standard a prueba de goteo.
En interiores o exteriores protegidos, pero con alta humedad ambiental.	A prueba de goteo con APH*
En exteriores o interiores con alta humedad y vapores o salpicaduras químicas.	Motor TCCV, tipo químico.
En interiores con polvo metálico (máquinas herramientas para trabajo pesado, industria automotriz, etc.)	Motor TCCV
En interiores o exteriores con polvo abrasivo	Motor TCCV
Mismo que anterior, pero vapores o gases químicos en adición.	Motor TCCV, tipo químico.
Polvos secos no explosivos, negro de humo, etc.	Motor TCCV
Aplicaciones polvosas húmedas con materiales como polvos y pulpa que pueden obstruir los ductos de ventilación de un motor abierto.	Motor TCCV, tipo químico.
Condiciones tropicales	Motor TCCV, tipo químico.
Atmósferas explosivas	Motor TCCV a prueba de explosión

Claves: TCCV = Totalmente cerrado con ventilación.

*APH = Aislamiento a prueba de humedad.

5.3 DEFINICION DE LOS PARES DEL MOTOR DE INDUCCION

Par es el producto de fuerza (Kgs-f) por el radio (mts). El valor resulta pues en Kgf- mts., que indican el número de kilogramos aplicados a un radio de tantos metros.

Par y fuerza son similares, excepto que el término "fuerza" se usa cuando se habla de un movimiento lineal y "par" cuando se trata de un movimiento de rotación.

En el caso de una máquina accionada, el par es la fuerza rotacional que absorbe la máquina para moverse. En el de un motor, par indica la fuerza rotacional que el mismo produce en su flecha.

La curva típica "Par - velocidad" de un motor de inducción mostrada en la figura 5.1, se ilustran los diferentes pares que desarrolla el motor:

"Par de arranque" es el que desarrolla el motor en reposo en el momento en que se aplica energía eléctrica a sus devanados y la flecha empieza a girar.

La flecha en (1) muestra este par a velocidad cero, también se le llama "Par a Rotor Bloqueado".

El Par mínimo se muestra en (2). Este es el par mínimo en el área de la cúspide que sigue al arranque.

El Par máximo es aquel que puede desarrollar el motor sin frenarse o "sentarse" súbitamente. Este se muestra en el punto (3) y generalmente se desarrolla alrededor del 80 % de la velocidad sincrónica. También se le llama "Par de Desenganche".

Par a plena carga, es aquel que desarrolla el motor para producir la potencia de placa a la velocidad especificada, como se muestra en el punto (4) de la curva.

Par de aceleración, es la diferencia o exceso de pares entre los desarrollados por el motor y los demandados por la carga. El área achurada (5) es el proporcional a la potencia en exceso desarrollada por el motor para acelerar la carga.

Los pares de aceleración, son la diferencia entre las dos curvas y están dentro de esta misma área.

Estos pares son extremadamente importantes y deben entenderse perfectamente para aplicar adecuadamente los motores a cargas variadas.

Factor de servicio.- La capacidad en H.P. estampada en la placa del motor, no necesariamente indica la capacidad máxima, excepto cuando el F.S = 1.0. Cuando el factor de servicio es superior a 1.0 por ejemplo 1.15, el motor podrá sobrecargarse sin peligro en un 15% por arriba de su capacidad nominal en forma continua; sin embargo, es importante hacer notar que el factor de servicio só-

lo es aplicable cuando prevalecen y se mantienen las condiciones de tensión y frecuencia establecidas en la placa de datos. También es preciso advertir al cliente, que al aplicar el factor de servicio aumentará la temperatura de operación del motor y afectará la vida útil del devanado, el factor de potencia, la eficiencia y la velocidad.

5.4 SISTEMAS DE ARRANQUE APLICABLES AL MOTOR

El problema de arranque del motor se refiere a las limitaciones que se presentan debidas a la capacidad de la fuente alimentadora, tales como caídas de tensión permisibles en el sistema al aplicar la corriente de arranque del motor y la capacidad momentánea en KVA que se requiere para este mismo objeto.

a) Arranque del motor a través de la línea.

Desde luego, el sistema más económico para arrancar un motor es a plena tensión conectándolo a través de un arrancador apropiado, directamente a la línea alimentadora.

Las ventajas de este sistema, además de la economía ya apuntada, es que el motor desarrollará sus plenos pares tanto de arranque como máximo o de desenganche; por lo cual, la carga se arrancará y se acelerará en forma rápida y segura.

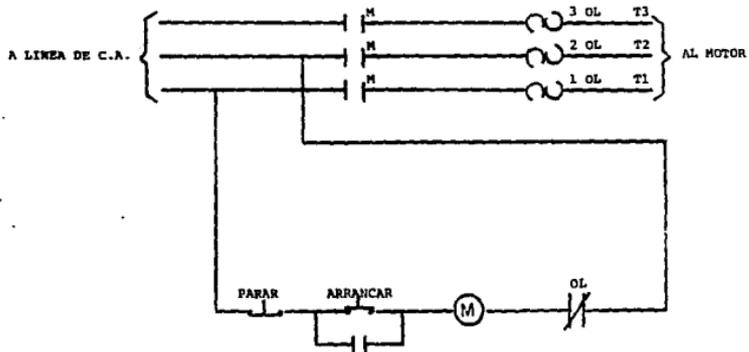
Por otro lado las desventajas de este sistema de arranque también son múlti--

bles y se refieren al hecho de que un motor de inducción toma entre cinco y seis veces el valor de la corriente de plena carga al ser arrancado a plena tensión. Esta fuerte demanda de energía y de corriente, aunque momentáneamente, puede ser indeseable por la elevada caída de tensión que se produce en las líneas alimentadoras, causando parpadeo en las luces o disturbios en equipo sensible a las variaciones de voltaje. También puede ser objetable desde el punto de vista de las limitaciones de demanda en KVA que establece la compañía alimentadora de energía, o bien la propia subestación. Otro aspecto indeseable puede constituirlo la carga misma, que requiera una aceleración paulatina y amortiguada.

Por lo general el arranque directo sobre la línea se puede efectuar hasta 50 H.P. en 220 volts y hasta 100 HP en 440 volts. Arriba de estos límites habrá que usar algún sistema de arranque a tensión o voltaje reducido. Localmente en el D.F. la Compañía de Luz limita estos valores a 7.5 H.P. en 220 volts y 15 H.P. en 440 volts.

Existen varios sistemas de arranque a tensión reducida que pueden usarse, pero generalmente sólo uno de ellos producirá los resultados deseados en la forma más económica posible. Vamos a describir brevemente cuáles son las aplicaciones de estos distintos arrancadores.

Fig. 5.2 Arrancadores magnéticos combinados tipo A 206 con ITM (Interruptor termomagnético)
arranque de motor a través de línea



b) Arrancador con autotransformador.

Este es uno de los métodos más comúnmente usados para arrancar a voltaje reducido debido a su economía, eficiencia y flexibilidad para ajustar el voltaje de arranque deseado. Toda la energía aplicada se transmite al motor, excepto las pérdidas del autotransformador que son pequeñas, por lo que la carga se acelera suave y en forma segura. Las derivaciones en el autotransformador permiten el ajuste de la corriente y del par de arranque, de acuerdo con las necesidades de la mayoría de las aplicaciones. Las características que producen las tres derivaciones de voltaje comúnmente usadas son como sigue:

Derivación	Par de arranque (% del par a plena tensión)	Corriente de arranque en la línea (% de la misma a plena tensión)
50 %	25	28
65 %	42	45
85 %	64	67

Como puede apreciarse en el cuadro anterior, tanto la corriente como el par v_a rían en este caso en proporción inversa al cuadrado del voltaje. La corriente aumenta ligeramente sobre la proporción indicada debido a la corriente de magnetización del auto transformador.

Estos arrancadores se construyen para operación manual con transición abierta

(se conocen comunmente como "compensadores") en capacidades hasta de 300 H.P. en 440 volts.

También se construyen para operación automática con transición cerrada en capacidades hasta de 100 H.P. en 440 volts.

La ventaja de la transición cerrada sobre la abierta, es que la aplicación de la tensión es suave y continua desde el valor reducido hasta el pleno voltaje. Como el motor no queda momentáneamente desconectado de la línea, no hay interrupción de la corriente de línea que podía causar un segundo transitorio de corriente durante la transición.

Los arrancadores con autotransformador se usan para arrancar cargas pesadas, - tales como: Compresores, bombas, molinos de bolas y de martillos, molinos de hule, centrifugas en la industria del azúcar, etc.

Diagrama esquemático de arrancador con un autotransformador.

(Ver figura 5.3)

c) Arrancadores con resistencias

Estos arrancadores se usan poco porque no tienen la eficiencia, ni la flexibilidad del sistema anterior. Generalmente se construyen para reducir el voltaje aplicado al motor al 80 % de su valor de línea, con lo cual la corriente de arranque se reduce en la misma proporción y el par de arranque se reduce al 64 % de su valor a plena tensión.

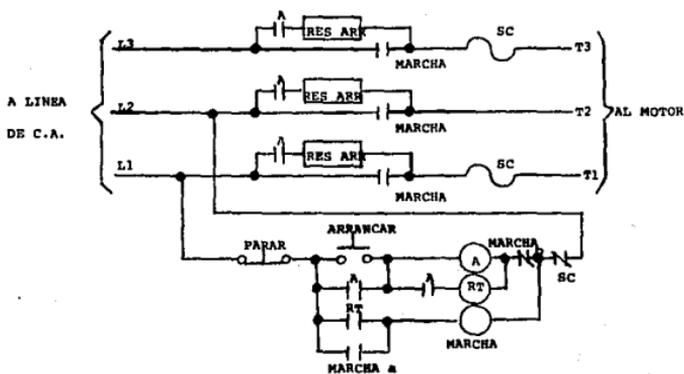
Esto se logra conectando momentáneamente las resistencias de arranque en serie con los devanados del motor. El ciclo de arranque es de transición cerrada.

Se aplican para arrancar maquinaria delicada, textil, escaleras eléctricas y transportadores que tengan que arrancar suavemente.

Diagrama esquemático de arrancador con resistencias primarias.

(ver figura 5.4)

5.4 Diagrama esquemático de arrancador con resistencias primarias.



SECUENCIA DE LOS CONTACTORES

CONTACTOR	ARRANQUE	TRANSICION	MARCHA
A	●	●	●
MARCHA		●	●

d) Arrancadores para devanado bipartido

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. Pueden usarse como motores "estandar" diseñados para voltaje dual, por ejemplo: 220/440 volts en el voltaje menor, es decir 220 volts. 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 bien un "trancazo" o golpe en la carga movida al ser ésta acelerada a pleno par.

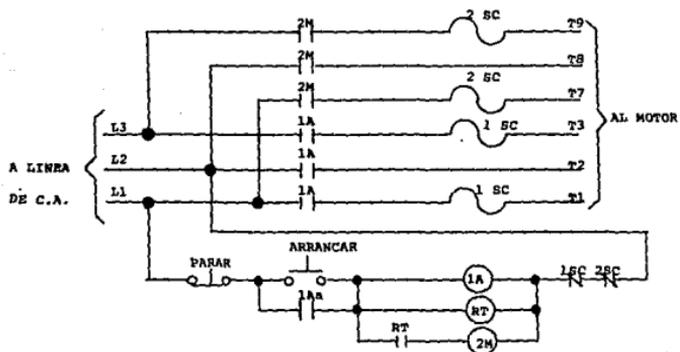
Este tipo de arrancador es muy usado para arrancar cargas ligeras como compresores descargados, bombas centrífugas, máquinas-herramientas, etc.

Se construyen en capacidades "estándar" hasta de 200 H.P. en 440 volts.

Diagrama esquemático de arrancador para devanador bipartido.

(ver figura 5.5)

Fig. 5.5 Diagrama esquemático de arrancador para devanador bipartido



C) Arrancadores Estrella - Delta

Estos arrancadores son muy usados en Europa son menos económicos que el arrancador de devanado bipartido, ya que requieren por lo menos de un contacto de más de dos 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 pueden usar con motores conectados en Delta para operación normal y que estén provistos con 6 puntas de salida (2 para cada una de las fases). 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.

Generalmente se construyen estos arrancadores en capacidades "estándar" hasta de 150 H.P en 440 volts, con transición abierta.

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 contactor de tres polos y tres resistencias de transición). En este caso, conviene analizar cuidadosamente si no es más económico usar un arrancador de autotransformador con transición cerrada.

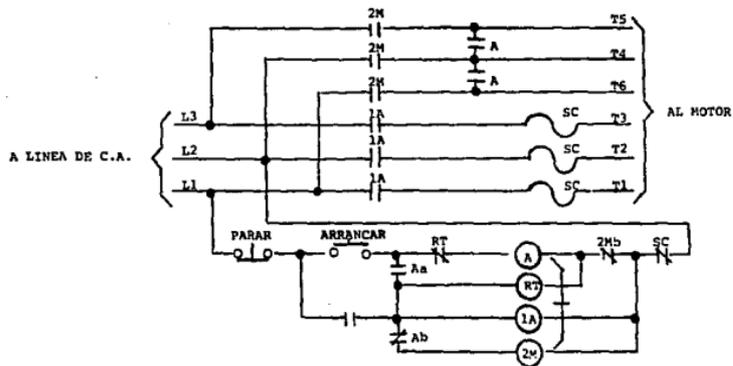


Fig. 5.6 Diagrama esquemático de un arrancador Estrella-Delta (transición abierta)

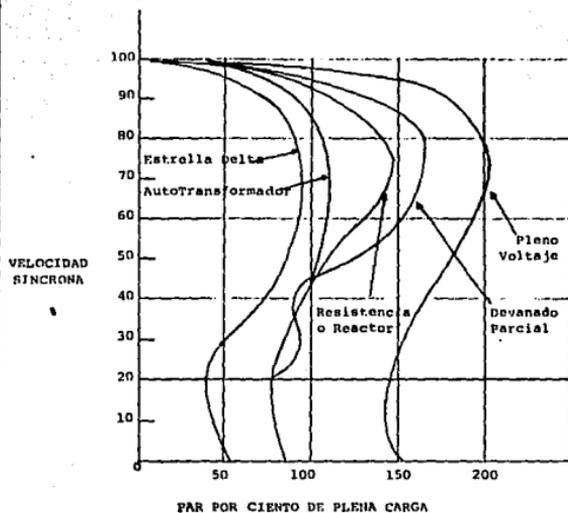


Fig. No. 5.7. Características de Arranque a Tensión Reducida

% DE PLENO VOLTAJE			
VOLTAJE	CORRIENTE	PAR	
80%	80%	64%	RESISTENCIA
80%	80%	64%	REACTOR
100%	65%	50%	DEVANADO PARCIAL
80%	64%	64%	AUTOTRANSFORMADOR
100%	33%	33%	ESTRELLA DELTA

C A P I T U L O V I

INSTALACION, PREVENCIÓN Y CORRECCIÓN DE FALLAS

En el terreno de la práctica y por razones obvias, es normal que previo a la - instalación del equipo se efectúe un estudio y revisión del mismo. Los moto-- res eléctricos no son la excepción, si bien ha de reconocerse que las reglas a seguir son bastante simples y muy importantes, ya que de llevarse a efecto, se obtendrá "una prolongada, correcta y económica operación".

Enseguida se hace una breve exposición de las mencionadas reglas.

6.1 RECEPCION

Revise el motor con cuidado y asegúrese que no sufrió daño alguno durante su - embarque o transporte, cerciorandose que la flecha se mueve libremente hacién-- dola girar con la mano.

La capa protectora contra oxidación y corrosión con que va cubierta la exten-- sión de la flecha, puede eliminarse tomando las medidas de seguridas correspon-- dientes con la aplicación de un solvente como: Thinner, gasolina, petróleo o - cualquier otro similar.

Compruebe que los datos de placa correspondan a la tensión y frecuencia de la red de energía con que se va a alimentar el motor. (Ver figura 6.2)

Efectúe cuidadosamente las conexiones en las terminales siguiendo las instruc-- ciones indicadas en la placa descriptiva.

6.2 INSTALACION

El motor debe instalarse en un lugar donde se tenga libre flujo de aire, aún -
en aquellos casos en donde se requiera usar una caseta o pantalla protectora.

La temperatura ambiente (excepto casos de fabricación específica) no deberá
exceder de 40°C al nivel del mar o de 30°C a una altura máxima de 2280 metros
sobre el nivel del mar.

El motor deberá mantenerse sobre una cimentación rígida, procurando que asien-
te perfectamente la base y fijándolo por medio de tornillos o pernos del máxi-
mo diámetro permisible por los barrenos de la base.

Un montaje defectuoso puede motivar:

- a) Vibración excesiva
- b) Ruido
- c) Corrientes altas
- d) Operación a altas temperaturas
- e) Falla de baleros

6.3 VIBRACION EXCESIVA

Un problema frecuentemente en los motores es la excesiva vibración. Se tiene
perfectamente entendido que todo motor o maquinaria en movimiento siempre ten-
drá cierta vibración que los métodos de balanceo no pueden evitar totalmente.

Cuando un motor es alimentado, la vibración aparece y consecuentemente se puede llegar a pensar que el motor es la causa del problema.

Normalmente un motor forma parte de un equipo que está constituido por uno o más mecanismos, pudiendo ser cualquiera de ellos el origen de la vibración.

Las causas más comunes que provocan vibración excesiva son:

- 1.- Resonancia en la cimentación o estructura
- 2.- Alineamiento defectuoso
- 3.- Falsa sujeción de los anillos o pernos que se encuentran dentro de la estructura y que fijan el motor a la cimentación.
- 4.- Desbalance en el cople, polea, engrane o similar.

En el caso de vibración excesiva se recomienda efectuar un estudio de la amplitud y frecuencia de la vibración, siguiendo los pasos descritos a continuación.

1. Resonancia en la cimentación o estructura.

a) Durante la operación, mida la amplitud de la vibración con un vibrómetro (analizador de vibración) directamente sobre las cajas de los baleros en ambas tapas en sentido horizontal, vertical y axial.

b) Mida la amplitud de la vibración en la cimentación o estructura durante la operación hasta determinar el antecedente de la vibración (si la cimentación vibra al mismo tiempo que se manifiesta el efecto de resonancia o la vibración

tiene origen en una fuente externa, esta vibración afectará la magnitud de la vibración registrada en el motor).

Si la frecuencia de la vibración en la cimentación es baja (menos del 50 %) comparada con la del motor a su velocidad de operación, el movimiento de la cimentación tenderá a estar en fase con el movimiento del motor. Por consiguiente la amplitud total de la vibración registrada en el motor más la vibración de la alimentación.

Si la frecuencia de la vibración en la cimentación es alta (más de 150 %) - respecto a la del motor a su velocidad de operación, el movimiento de la cimentación tenderá a ser en dirección opuesta (defasada 180° aproximadamente) al movimiento del motor, siendo la amplitud de la vibración registrada en el motor en forma aproximada, la diferencia entre las vibraciones del motor y la cimentación (esta condición es extremadamente rara y casi siempre tiene su origen en una fuente externa al motor y a la estructura de la cimentación).

Cuando la frecuencia de la cimentación se encuentra entre los rangos de 50 % y 150 % de la frecuencia de operación, la relación de fases entre el motor y las amplitudes de la cimentación resultan complejas, requiriéndose para una completa determinación el uso de un vibrómetro provisto de un filtro para medir la amplitud y fase de cada componente de la frecuencia. Tales medidas y análisis son usualmente requeridos sólo para identificar una fuente externa de vibración eliminable.

c) Determine la frecuencia natural de la vibración con el sistema rotatorio en

reposito. La vibración o la frecuencia natural puede ser inducida originando movimientos en el motor (descoplándolo del mecanismo respectivo y operándolo en vacío) en la misma localización y el plano donde se registro la vibración máxima (Paso a).

Si la frecuencia natural es cercana (en el rango de $1/2$ a $3/2$) a la frecuencia de operación (llamado armónico) deberán efectuarse cambios para evitar la resonancia. Esto puede lograrse reforzando el sistema de cimentación.

La vibración puede tener origen en la base de la cimentación si la construcción carece de la masa necesaria en la cimentación. La estructura de la cimentación esta formada por concreto, acero o una combinación de los dos.

Tabla 6.1 Valores permisibles para amplitud de vibración en motores eléctricos.

Tamaño de armazón	Amplitud total de la onda vibratoria	
	m m	(Pulg.)
182T a 215T	0.025	(0.001)
254T a 215T	0.037	(0.0015)
324T a 449T	0.051	(0.002)

Una estructura de concreto puede incrementar su masa o peso agregando en la cantidad requerida una capa más de concreto. Si esto no es conveniente, puede

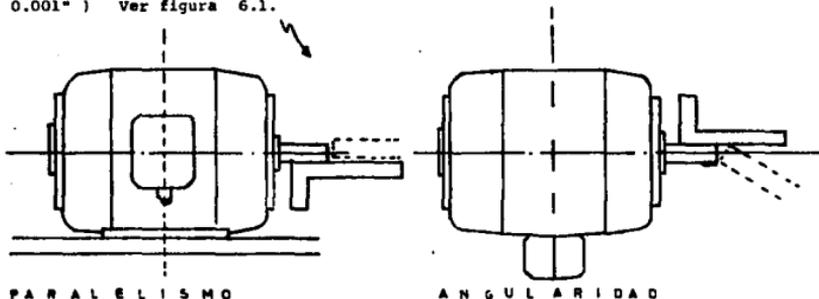
también solucionarse (agregando masa e impidiendo la resonancia), haciendo un agujero en la base y llenándolo con plomo derretido. El agujero puede ser localizado en un lugar conveniente en la cimentación en sentido horizontal, vertical o con un determinado ángulo.

En el caso de viguetas de acero de perfil "U" o "I" pueden tener suficiente masa y características de resonancia sumamente perjudiciales si la capa de concreto no tiene el espesor necesario; esto puede corregirse agregando una capa más de concreto.

2.- Alineamiento defectuoso

Revise y corrija la alineación de su sistema de acoplamiento antes de iniciar la operación de trabajo (en frío) y después de éste (en caliente).

Para máquinas cuya velocidad de operación es menor a 2000 R.P.M., la alineación (paralelismo y angularidad) deberá efectuarse con una tolerancia de ± 0.051 mm ($0.02''$). Para máquinas con velocidad de operación de 2000 R.P.M. o más, la alineación deberá efectuarse con una tolerancia de ± 0.025 mm ($0.001''$) Ver figura 6.1.



3.- Falsa sujeción de los tornillos o pernos "anclados" en la cimentación.

Si la frecuencia natural se encuentra arriba de la frecuencia de operación (150 % de la velocidad de operación o más) y no es armónica, asegúrese que los tornillos o pernos anclados en la cimentación (para fijar el motor a la misma) estén firmemente sujetos a todo lo largo, evitando que tengan juego con respecto a los barrenos de la estructura.

4.- Desbalance en el cople, polea, engrane o similar.

Siguiendo las instrucciones indicadas en el paso "a", mida la amplitud de vibración. Deberá tenerse plena seguridad de que no hay resonancia. Si la amplitud de vibración excede los valores indicados por las mencionadas normas para motores eléctricos (ver tabla 6.1), significará que el cople, polea, engrane o similar, según el sistema de transmisión usado, está desbalanceado.

6.4 RUIDOS DE TIPO MECANICO

Es muy importante definir el tipo de ruido que puede llegar a manifestarse en un motor eléctrico, ya que su inmediata identificación impedirá daños que podrían perjudicar seriamente alguna de sus partes.

a) Rechinidos

Este tipo de ruido indica que las superficies de partes que giran están en contacto directo. El origen de este ruido debe ser localizado y reparado de inme

diato. Las probables causas son: Ventilador corrido rozando contra la cubierta exterior, flecha rozando contra la cubieta del o los baleros, etc.

b) Ruido sordo

Estos ruidos indican un balero en mal estado. El continuar con este desperfecto puede ocasionar rozamiento del rotor en el estator.

c) Fuertes ruidos magnéticos

Los ruidos magneticos son originados por falla en las conexiones, corto circuito u operación con una fase. Si se continua operando el motor con cualquiera de estas fallas puede llegar a quemarse. Es probable que a pesar de haber revisado lo antes mencionado, el motor continúe operando con ruidos; deberá pensarse que el origen de estos ruidos es una fuente externa o en realidad se trata de vibración.

6.5 CORRIENTE ALTA

La corriente en la placa descriptiva es la que corresponde a la tensión nominal y a plena carga; por tanto, en caso de llegar a tener lecturas de corriente diferente a la de la placa, se deberá medir la tensión de alimentación. Cuando la tensión de línea es más alta que la indicada en la placa descriptiva, aumentará la corriente en el motor apreciablemente hasta que la saturación magnética de los materiales alcanza un punto tal, que la corriente se incrementa

rápidamente hasta quemarse el motor. Según "Norma de Calidad y Funcionamiento D.G.N.J - 75 - 1985" y "NEMA", los motores deberán operar correctamente a carga nominal bajo una variación de tensión de $\pm 10\%$ y una variación en la frecuencia de $\pm 5\%$. Tensión y frecuencia combinados $\pm 10\%$ siempre y cuando la frecuencia permanezca dentro de 5% de su valor nominal. Su funcionamiento dentro de esta variación combinada no deberá estar necesariamente de acuerdo con las normas establecidas para su operación a tensión y frecuencia nominales.

6.6 OPERACION DE ALTAS TEMPERATURAS

Lo primero es determinar la temperatura a la que está operando el motor; el poner la mano sobre el mismo y pensar que está caliente, no significa que realmente esté operando con exceso de temperatura, ya que deberá tenerse presente que el uso de aislamiento clase "F" permite sobre cargas que originan una temperatura total máxima de 155°C en el cobre a 60 Hertz, por tanto, es preferible hacer uso de un termómetro.

A continuación se indican las posibles causas de alta temperatura:

- 1.- Verificar si el motor tiene suficiente aire frío para su ventilación; la ventilación es efectiva si:
 - a) La flecha del ventilador está limpia
 - b) No hay obstáculos en la entrada y salida del aire
 - c) No hay recirculación del aire de la salida a la entrada del motor. (La temperatura del aire de entrada no debe ser mayor de 5°C sobre el ambiente).

d) La diferencia entre la temperatura de entrada y salida indican un incremento normal.

e) La cantidad de aire es suficiente. Verifique que la pantalla (en los motores a prueba de goteo) está en su lugar; la distancia entre la cara interior de la tapa y la pantalla debe ser aproximadamente de 6.35 mm (1/4").

f) La velocidad es correcta. Compruebe que la velocidad del motor sea la indicada en la placa descriptiva para plena carga.

2.- Verificar que la carga que mueve el motor es correcta.

a) En caso de que el ciclo de trabajo sea intermitente evitar que los arranques y paradas sean demasiado fuertes.

b) Revisar que la tensión de línea. El voltaje incorrecto origina excesiva corriente a plena carga (Punto 5.5)

c) Revisar la frecuencia de la línea (Punto 5.5); las normas consideran permisiblemente que los motores operen con variaciones de $\pm 5\%$ de la frecuencia nominal.

d) Comprobar que no exista desbalance de tensión entre fases.

e) Revisar tensión y corriente a plena carga.

3.- Descoplar el motor y tomar lecturas entre fases de tensión de alimentación, corrientes y watts, para determinar si son normales.

4.- Verificar que los baleros se encuentren en buen estado, ya que en caso contrario aumentará la carga del motor y esto en motores de poca capacidad repre-

senta un gran porcentaje sobrecarga y de incremento en la temperatura.

5.- Si todos los pasos anteriores se reportan como normales, la capacidad del motor no es la indicada.

6.7 FALLA DE BALEROS

La falla o mal funcionamiento de los baleros es un problema atribuible a cualquiera de las siguientes causas.

- a) Lubricación: Inadecuada, excesiva o mala
- b) Desalineamiento
- c) Sobrecarga
- d) Ajuste incorrecto
- e) Daños durante la instalación
- f) Vibraciones durante el reposo
- g) Corrosión
- h) Paso de corrientes eléctricas al balero
- i) Balero (s) incorrecto (s) o defectuoso (s)

a) Lubricación.- La causa más común en la falla de los baleros es la lubricación defectuosa. Si el suministro de grasa es inadecuado, el balero trabajará en seco con el consecuente sobrecalentamiento y falla. Si el sobrecalentamiento del balero es excesivo el balero se pegará casi de inmediato; de no suceder así, quedarán rayadas las pistas y balas, teniéndose como consecuencia una ope

ración ruidosa y con vibraciones.

El balero requiere de sólo una pequeña cantidad de lubricante en su interior para su correcta operación y evitar la oxidación; el espacio o caja que está localizada en la tapa y junto al balero tiene por objeto almacenar la grasa. Demasiada lubricación provoca el mismo efecto que la escasez de la misma; en cuanto la bala o rodillo empieza a girar, cualquier exceso de lubricación será expulsada a un lado de la pista; si el balero no puede desalojar el exceso por sí mismo, comenzará a batirlo generando presiones en su inferior y por lo consiguiente alta temperatura.

Se recomienda para el motor, quitar el tapón de la purga y por medio de un inyector manual lubricar el interior. También es de suma importancia usar la grasa especificada o un sustituto autorizado. En el caso de aceite debe tener la suficiente viscosidad para que la película no se rompa bajo la carga, pero debe evitarse el exceso de viscosidad ya que se producen altas cargas de fricción. La grasa no debe ser muy espesa, ya que no penetraría al interior del balero; debe ser lo suficientemente suave para cumplir con sus funciones. Como regla general no es aconsejable mezclar diferentes lubricantes, ya que probablemente la base de ellos no sea compatible y de inmediato pierda sus características específicas convirtiéndose en un compuesto altamente perjudicial.

b) Desalineamiento.- Es obvio que el desalineamiento de flecha acarreará serias consecuencias del balero, ya que por cada revolución la carga se manifestará en mayor intensidad en una parte del balero, dañando hasta la fatiga los

materiales y todos sus componentes. A la velocidad de operación estos continuos cambios de carga tendrán similitud con el efecto de un golpe sólido en la superficie de las balas o rodillos y pistas.

e) Sobrecarga.- Se tiene como una regla que la vida de los baleros es inversamente proporcional al cubo de la carga, de aquí que un pequeño incremento de la carga acorte sensiblemente la vida de los mismos.

El material de las pistas se va deformando al continuo paso de las balas o rodillos, hasta que sufre fatiga y fractura o adelgazamiento del material que finalmente y en forma de balero acaba por introducirse en todo el balero.

Las pesadas cargas radiales sobre un balero pueden ser producidas por deslizamiento o por excesiva tensión en las bandas, cuando se usa este tipo de transmisión. Con motivo del deslizamiento pueden producirse fuertes cargas que perjudiquen al equipo al cual está acoplado el motor. En los sistemas de transmisión por banda a mayor diámetro de la polea receptora será mayor la carga radial impuesta a la flecha del motor y por consiguiente a los baleros; lo mismo sucede en los sistemas de transmisión por banda tipo V aún en el caso de usar la mínima cantidad posible, ya que con el objeto de evitar deslizamientos las someten a fuertes tensiones, que en caso de ser excesivas acortarán sensiblemente la vida de los baleros.

d) Ajuste incorrecto.- Son cuatro las áreas importantes donde el ajuste entre el balero y las otras partes del motor deben quedar dentro de los límites pres

critos con el objeto de prevenir fallas en la operación.

- 1.- El ajuste entre el interior del balero y la flecha
- 2.- El ajuste entre el anillo exterior del balero y la caja en la tapa
- 3.- El claro entrehierro entre las balas o rodillo del balero y sus pistas
- 4.- El ajuste total entre el rotor, flecha y baleros.

1) Cuando el balero entra relativamente holgado a la flecha, una vez que inicia su operación éste tenderá a "patinarse" en la flecha, originando suficiente temperatura hasta quedar inutilizado en pocas horas. La interferencia entre el anillo interior del balero y la flecha es 0.0254 mm (0.001") a -- 0.03048 mm (0.0012") para motores de armazones pequeñas y de 0.0076 mm -- (0.003") a 0.0381 mm (0.0015") para motores de armazones grandes.

2) El ensamble entre los baleros y las cajas en las tapas se efectúan dejando un "claro" dentro de las siguientes límites, evitando que gire libremente ya que provocaría el mismo efecto del caso 1.

El claro entre anillo del exterior y la caja es de 0.0254 mm (0.001") a -- 0.33 mm (0.0013") para armazones pequeñas y de 0.0101 mm (0.0004") a -- 0.060906 mm (0.0024") para armazones grandes.

3) El claro o entrehierro que debe haber entre las balas o rodillos y las pistas muy importante, ya que de no existir, el balero se pegará casi de inmediato. Normalmente el anillo interior del balero y la flecha trabajan a mayor

temperatura que el anillo exterior, de ahí que la expansión de estas partes - sea mayor. El ensamble del balero y la tapa en la caja con su "claro" correspondiente permitirá la expansión y por consiguiente debido al contacto de las superficies, la radiación de temperatura hacia el exterior.

4) Ajustes erróneos motivados por dimensiones incorrectas y aún el caso de las flechas "torcidas" motivan también la falta prematura de baleros.

e) Daños durante la instalación.- Los daños durante la instalación son usualmente falta de cuidado o ignorancia. El golpear los baleros en las caras de los sellos o el anillo exterior al montarlo en la flecha, así como colocarlos mediante una prensa neumática careciendo de los aditamentos indicados, son errores que "acaban" previamente la vida de los mismos. Es más aconsejable introducir el balero en aceite caliente (abajo de la temperatura de flamación del mismo) y enfriar la flecha (con hielo seco) para un correcto montaje.

f) Vibraciones durante el reposo.- Si los motores equipados con baleros de balas o rodillos están sujetos a vibraciones durante un largo período en el que el motor permanezca en reposo, marcará las pistas en los puntos de contacto. - Este daño puede causarse cuando el motor es transportado largas distancias sin los cuidados necesarios.

g) Corrosión.- La corrosión en los baleros es el resultado de un prolongado al macenamiento en lugares con alto promedio de humedad en el ambiente y la introducción al interior de los baleros de la misma. La herrumbre ataca a las super

ficies de bolas o rodillos y pistas inutilizándolos totalmente. Los motores - deben almacenarse en un lugar limpio y seco, lubricando periodicamente los baleros y demás partes con el objeto de mantener una película lubricante.

h) Paso de corriente eléctrica al balero.- La falla de baleros es originada - por el paso de corriente es sumamente rara. En caso de ser así deberá solicitarse de inmediato diagnóstico y corrección de la falla.

i) Baleros incorrectos o defectuosos.- La mayor parte de los motores están equipados con baleros prelubricados; estos baleros tienen la cantidad y características de grasa requerida, están sellados por ambos lados con unas cubiertas de lámina para impedir la fuga de grasa y la entrada de las materias extrañas que podrían dañarlos; el resto de los motores tienen sistema de lubricación y baleros reengrasables; deberá acudirse a la placa descriptiva para saber tamaño y tipo de los mismos. Revisar que los baleros se encuentren en buen estado y que realmente son del mismo tipo que los que van a ser repuestos asegurando una eficiente operación.

6.8 NECESIDADES DE INSTALACION

Es de primera importancia saber las necesidades de montaje, el tipo de trabajo a efectuar y la instalación del caso en particular. Todos los motores horizontales pueden ser sometidos a operación vertical previa identificación a la fábrica. En algunos casos y debido a lo específico de la operación será necesario cambiar baleros. En la mayoría de los motores horizontales de baja capa--



MOTOR
DE
CORRIENTE ALTERNA

FASES 3 POLOS 4 TIPO HTCCVE CP 400 ADMAZON 5811-5

HERTZ	60	CONEXION	
VOLTS	440	DELTA	
AMPERES	442	LINEA	
R.P.M	1777	ATENCIÓN ANTES DE INSULAR Y OPERACION VEASE RESTRICTIONS	
FACTOR DE SERVICIO	1.00	OPERACION 24	CARGA AXIAL
DE SERVICIO	442	HRS	MINIMA EN HRS
CLAVE IVA	G	CLASE	B
TEMP AMB MAXIMA	40°C #2280 = SMN	DISEÑO A	AISLAM CLASE B
ROD.FL.ó INF.	6319/C3	MODELO	121074
ROD.OP.	6319/C3	TEMP MAX TOTAL	130 °C
		SERIE	1808002



AUT. SIC DGE-72

MEXICO

FIG. 6.2 Datos de Placa

idad es permisible, sin ningún cambio, poder operarlos en posición vertical - con la flecha hacia arriba o hacia abajo, siempre que el peso de la polea, co- ple, engrane o similar no exceda el peso del rotor.

Los motores de operación horizontal que sean destinados a transmisión por ban- da (cualquier tipo de banda) cadena o similar, podrán ser montados en rieles tensores para que de acuerdo a las necesidades pueda ajustarse a la tensión co rrecta (ver 6.7 pasos b y c) de igual forma deberá tenerse mucha precaución al alinear las poleas, engranes, piñones o similar, ya que de cualquier desali neamiento provocará incremento en la carga radial disminuyendo la vida de los baleros.

6.9 MANTENIMIENTO

El mantenimiento de los motores se reduce a los siguiente:

a) Limpiar o sopletear con aire limpio y seco a una presión menor de 3 Kgs. - por cm^2 la superficie del motor, así como sus partes internas (en motores a- abiertos). En el caso de motores que están expuestos a goteo o salpicadura de agua, líquidos corrosivos o compuestos químicos, deberá efectuarse la limpieza con mayor frecuencia.

b) Revisar montaje y alineación.

c) Efectuar mediante un reporte periódico lecturas de corriente y watts de en- trada.

d) Verificar que la operación de los baleros sea sin ruido o vibraciones para los motores con baleros reengrasables; seguir las instrucciones según el número de horas de trabajo así como el tipo de grasa indicadas en el motor. (ver tabla 6.2).

Tabla 6.2 PROGRAMA DE ENGRASE

METODOS DE ACCIONAMIENTO	HORAS DE OPERACION	INTERVALOS DE ENGRASE		
		8 HS. DIARIAS	16 HS. DIARIAS	24 HS. DIARIAS
Banda, cadena o engrane (1800 RPM o menos)	1000	4 meses	2 meses	5 semanas
Acoplamiento directo (1800 RPM o menos)	2000	8 meses	4 meses	10 semanas
Acoplamiento directo (1800 RPM a 3600 RPM)	1000	4 meses	2 meses	5 semanas

Bajo condiciones de operación donde hay severa contaminación con tierra, polvos o ambientes de temperatura especial, es preferible para el mejor funcionamiento del motor abrir la caja del rodamiento una vez al año, o después de cada 5000 hrs. de operación, para inspeccionar la condición de dicha caja y la grasa. Si hubiera dificultad para inspeccionar el rodamiento del lado de la

polea o piñón, el estado del rodamiento del otro extremo generalmente será representativo de ambos; si la grasa está deteriorada o contaminada se deberán limpiar las cajas con un solvente adecuado, por ejemplo: Tricloro etileno, tomando las precauciones necesarias.

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

- 1.- MAQUINAS ELECTRICAS
Fitzgerald, Kingsley, Kusko
Mc Graw Hill (2dn Edition)

- 2.- ELECTRIC POWER SISTEM COMPONENTS
Robert Stein E. Williams,
Van Nostrand 1979

- 3.- MAQUINAS ELECTRICAS
George J. Thaler y Milton L. Wilcox
Editorial Limusa
México 1979

- 4.- ELEMENTOS DE CENTRALES ELECTRICAS II
Gilberto Enríquez Harper
Editorial Limusa 1983

- 5.- CURSO DE MAQUINAS SINCRONAS
Gilberto Enríquez Harper
Editorial Limusa 1983

- 6.- MAQUINAS ELECTRICAS Y TRANSFORMADORES
Irving L. Kosow, P.H.D.
Editorial Reverte 1980

7.- CONVERSION DE ENERGIA ELECTROMECHANICA

Gourishankar V

Representaciones y servicios de Ingeniería

8.- PRINCIPIOS DE CONVERSION DE ENERGIA ELECTROMECHANICA

Meisel J.

Mc. Graw - Hill México 1975

9.- MAQUINAS ELECTROMAGNETICAS Y ELECTROMECHANICAS

Matsh L. W

Representaciones y servicios de Ingeniería

México 1974

10.-ALTERNATING CURRENT MACHINES

Liswchitz Garik Wipple

Ed. Van Nostrand

11.-ENERGIA

Mitchell Wilson

Colección Científica de Time Life

Mexico D.F 1981

12.-MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA

Jose Manuel Puchol Vivas

Editorial Limusa

México 1978

13.-FISICA

Paul Tippens E
Mc Graw Hill
México 1987

14.-FISICA TOMO II

Raymond Serway A
Edit. Mc Graw Hill
México 1993

15.- ELECTRICIDAD INDUSTRIAL

Chester Dawes L.
Editorial Reverté
España 1975

16.-ANALISIS BASICOS DE CIRCUITOS ELECTRICOS

David Johnson E.
Prentice Hall Hispanoamérica
México 1987

17.-BIBLIOTECA PRACTICA DE MOTORES ELECTRICOS

R.J. Lawrie
Oceano/Centrum
Barcelona España

18.-MANUALES DE I.E.M.

Industria Eléctrica Mexicana