

2/4



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTILÁN

“MANTENIMIENTO DE MOTORES ELÉCTRICOS DE ACUERDO A  
SUS CARACTERÍSTICAS GENERALES”

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A :

**HÉCTOR JARAMILLO MARTÍNEZ**

ASESOR: ING. VÍCTOR HUGO LANDA OROZCO

CUAUTILÁN IZCALLI, EDO. DE MÉX. 2002

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

# PAGINACION DISCONTINUA



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

F. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE  
EXAMENES PROFESIONALES

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cuautitlán

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
PRESENTE

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

Mantenimiento de motores eléctricos de acuerdo a sus características generales

que presenta el pasante: Héctor Jaramillo Martínez  
con número de cuenta: 9657001 - 4 para obtener el título de :  
Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 22 de Febrero de 2002

PRESIDENTE	<u>Ing. Javier Hernández Vega</u>	
VOCAL	<u>Ing. Anselmo Angoa Torres</u>	
SECRETARIO	<u>Ing. Víctor Hugo Landa Orozco</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>Ing. Pedro Guzmán Tinajero</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>Ing. Albino Arteaga Escamilla</u>	

*Esta Tesis es uno de los últimos pasos en mi carrera y por lo tanto es de gran importancia para mí. Antes de llegar a esta etapa de mi vida conocí a muchas personas las cuales tuvieron participación en mi formación como profesional, es por eso que en este espacio quiero expresar mi agradecimiento.*

*En primer lugar está Dios ya que sin el simplemente no sería posible mi existir, también están mis familiares, amigos y maestros, de los cuales siempre me llevé un gran conocimiento.*

*Sin embargo después del agradecimiento expresado, manifiesto el hecho de que esta Tesis se la dedico a mi esposa e hija que son en este momento mi más cercana familia y principal apoyo.*

# ÍNDICE

	Pag.
OBJETIVOS .....	I
INTRODUCCIÓN .....	II
<b>CAPITULO I. GENERALIDADES DE LOS MOTORES</b>	
Generadores de corriente continua .....	1
Generadores de corriente alterna .....	2
Diodos y rectificadores .....	3
Tipos de cargas .....	5
Ley de ohm .....	11
Permeabilidad y circuitos magnéticos .....	12
Sistemas trifásicos .....	15
Conceptos mecánicos .....	17
Máquinas de corriente continua .....	18
Principales tipos de arrollamiento de las máquinas de corriente continua .....	20
Tipos de excitación para máquinas de corriente continua .....	21
Polaridad y sentido de giro de las máquinas de corriente continua .....	24
Máquinas de corriente alterna .....	25
<b>CAPITULO II. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS Y TIPOS DE MOTORES</b>	
Elementos constructivos de motores eléctricos .....	28
Cojinetes de manguito .....	29
Cojinetes de autoalineación .....	33

Rodamientos de bolas .....	34
Interruptores de arranque .....	39
Protectores térmicos .....	41
Protectores térmicos para motores monofásicos .....	44
Protectores térmicos para motores trifásicos .....	46
Otros accesorios utilizados en la construcción de motores eléctricos .....	47
Motores asíncronos .....	50
Motores síncronos .....	52
Motores de corriente continua .....	53
Motores con imanes permanentes .....	54
Motores con engranajes reductores .....	54

### CAPITULO III. SELECCIÓN DE MOTORES PARA SU INSTALACIÓN

Dimensiones de montaje de los motores.....	59
Esfuerzos mecánicos que actúan sobre el motor.....	60
Parámetros mecánicos del motor.....	62
Tensiones en el eje.....	63
Deflexiones en el eje.....	64
Velocidades angulares críticas.....	65
Consideraciones relativas a los apoyos.....	66
Esfuerzos sobre la base.....	68
Transmisiones.....	69
Transmisiones por correas y poleas.....	71
Transmisiones por ruedas dentadas y cadenas.....	73

Transmisiones por engranajes.....	74
Instalación de motores.....	75
Alineación.....	77
Datos necesarios para hacer un pedido de un motor de corriente alterna.....	78
Datos necesarios para hacer un pedido de un motor de corriente continua.....	80
 <b>CAPITULO IV. ASPECTOS DE MANTENIMIENTO DE MOTORES</b>	
Clasificaciones del mantenimiento.....	82
Principios básicos del mantenimiento correctivo.....	83
Principios básicos del mantenimiento preventivo.....	84
Principios básicos del mantenimiento predictivo.....	86
Evolución del mantenimiento preventivo al predictivo.....	91
Opciones para la implantación del mantenimiento predictivo.....	94
Mantenimiento de los motores asíncronos.....	97
Características específicas de mantenimiento a motores de corriente continua.....	98
Mantenimiento de los bujes y rodamientos (cojinetes).....	99
Mantenimiento y fallos en las escobillas y colectores.....	103
Verificación del aislamiento.....	106
Valor mínimo de la resistencia de aislamiento.....	112
Desequilibrio.....	115
Desalineación.....	118
Medición del flujo axial.....	119
Detección de asimetrías rotóricas.....	124
Fallos importantes en los motores eléctricos.....	129

---

CONCLUSIONES .....	138
BIBLIOGRAFÍA .....	141

## OBJETIVOS

- \* Disminuir la cantidad de fallos y así poder obtener mejoras de calidad y cantidad en la producción industrial.
- \* Hacer notar que el desarrollo y la competitividad de la industria depende en gran medida de un buen sistema de mantenimiento adoptado.
- \* Proporcionar información al encargado de los montajes de maquinaria en la industria para que pueda hacer una buena selección de motores para su instalación y con esto poder obtener resultados óptimos.
- \* Instruir al técnico encargado del mantenimiento, para que pueda desarrollar una metodología efectiva al proceder a realizar tareas de mantenimiento preventivo y/o correctivo.
- \* Atender los fallos o indicios de fallos en los motores mediante sistemas de mantenimiento preventivo y predictivo para evitar que crezca la magnitud del fallo e inicien las pérdidas dentro del sistema de producción.

## INTRODUCCIÓN

A menudo el electricista encargado del mantenimiento de las instalaciones eléctricas industriales tiene dificultades en su cometido no porque su formación sea mala ni porque sea poco celoso de su profesión, sino que le falta interpretar estados de averías de motores que a veces si se descubren a tiempo permiten evitar daños más graves o en otro caso nos llevan a no perder el tiempo en querer hacer reaccionar algo que ya es inservible.

Los motores eléctricos tienen una gran variedad de detalles constructivos, que varían según el fabricante. Deben considerarse siempre las instrucciones y recomendaciones de mantenimiento emitidas por el fabricante de cada motor, teniendo en cuenta las condiciones ambientales de la instalación y las peculiaridades del accionamiento, ya que el mantenimiento empieza desde la selección del motor. Frecuentemente se hace la selección del motor sin considerar las implicaciones por el "servicio y mantenimiento", de esto resultan consecuencias económicas desfavorables debido a que se tiene que hacer nuevamente gastos en la reparación ó sustitución parcial o total del motor, además de las grandes pérdidas de producción provocadas durante la atención a fallos de motores eléctricos.

Son fundamentales las consideraciones en cuanto a la seguridad en las operaciones en el mantenimiento. Aunque el número de accidentes de trabajo con equipos eléctricos sea bajo, del orden de 2 % del total de los accidentes de trabajo, su índice de mortalidad es alto llegando al 10 %. La utilización del equipo adecuado por personal calificado es la forma más sencilla y eficaz de minimizar los accidentes durante el mantenimiento.

## CAPITULO I

### GENERALIDADES DE LOS MOTORES

#### Generadores de corriente continua

- 1.- Generadores químicos: transforman energía química en eléctrica. Se consideran generalmente las pilas y los acumuladores.
- 2.- Generadores mecánicos: transforman la energía mecánica en eléctrica. Entre ellos, destacan las dinamos.

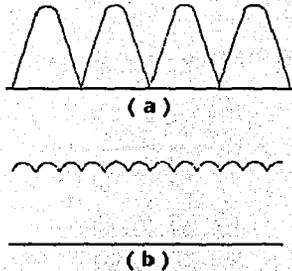


Figura 1.1 (la figura en (a), muestra la señal obtenida de una dinamo de una espira, aquí existe una variación usualmente llamada "rizado", este puede reducirse casi a cualquier nivel deseado simplemente variando el número de espiras en la bobina. La figura en (b), nos muestra la reducción del rizo en el voltaje de salida cuando existe un cambio en el conmutador de los extremos de la bobina por cada  $120^\circ$  girados)

3.- Generadores solares: transforman la energía solar en eléctrica. Un ejemplo de este tipo lo constituyen las células solares.

#### **Generadores de corriente alterna**

En la práctica, la generación de corriente alterna se efectúa por máquinas de rotación llamadas alternadores. En estas, la polaridad no cambia de forma brusca, más bien sigue una curva suave desde un valor positivo máximo hasta un valor negativo mínimo.

El eje del tipo más simple de alternador gira unos  $360^\circ$  para efectuar un ciclo completo entre el máximo y el mínimo. El perfil de la onda resultante se llama onda sinusoidal, la razón es debida a que la amplitud de cada punto del perfil de onda está directamente relacionada con el seno del ángulo alcanzado por el alternador en su rotación de  $360^\circ$ . Es muy importante entender esta relación entre el tiempo y el ángulo.

En el perfil de onda de la figura 1.2 se dibuja el voltaje en el eje de las ordenadas, mientras el tiempo está en el eje de las abscisas. Sin embargo, como sabemos que el embobinado del alternador gira  $360^\circ$  en un ciclo completo, es igualmente válido calibrar el eje de las abscisas en grados. Esto es una gran ventaja por que si pensamos en términos de grados girados estos siempre definen el mismo punto del perfil de onda, con independencia de la velocidad del alternador que hace las veces de la frecuencia.

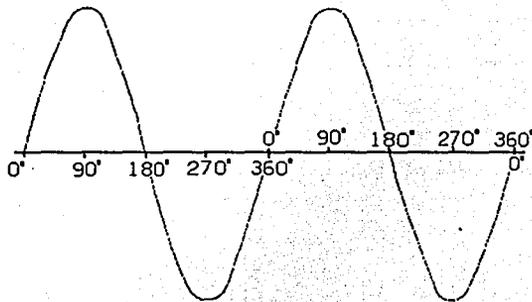


Figura 1.2 (forma de onda obtenida de un alternador después de dos giros completos)

Aparte de aplicaciones especiales, el voltaje en los aparatos de corriente alterna está siempre especificado como r.m.s. (valor medio de su raíz cuadrada) que es el 70.7% del valor máximo del perfil de onda sinusoidal. Este valor del 70.7% se toma por que en la mayoría de los circuitos se tiene, como en el caso de los de corriente continua una pérdida por calentamiento sobre el mismo nivel del voltaje. Esto significa que la ley de ohm se aplica en este caso sin ninguna modificación.

### Diodos y Rectificadores

El término rectificador es utilizado para designar a diodos o agrupaciones de estos, utilizados para convertir corriente alterna en corriente continua. Los rectificadores actuales son elementos formados por pequeñas pastillas de silicón recubiertas a modo de protección por plástico negro u ocasionalmente por cerámica o metal.

El uso más frecuente que se da a estos dispositivos eléctricos en las conexiones con los motores es convertir la corriente monofásica alterna en corriente continua, si se instala en el montaje un único diodo en serie como lo señala la figura 1.3; la alternancia en la onda se suprime y la salida tiene una sola dirección es decir, corriente continua, pero con grandes saltos. El valor medio de salida de la corriente directa es un poco menos de la mitad del voltaje de entrada corriente alterna ( $0.45 \times V_{in}$  r.m.s.).

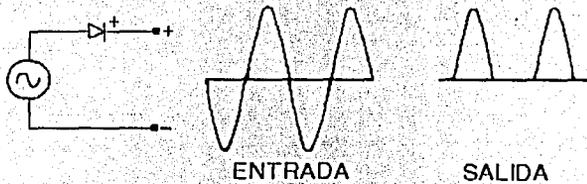


Figura 1.3 (rectificador de media onda)

La figura 1.4, muestra que con un puente rectificador, ambas partes del ciclo en la corriente de entrada c.a. pueden conducirse a los terminales de salida (+) y (-). Esto dobla el valor medio de salida hasta  $0.9 V_{in}$  y reduce los saltos.

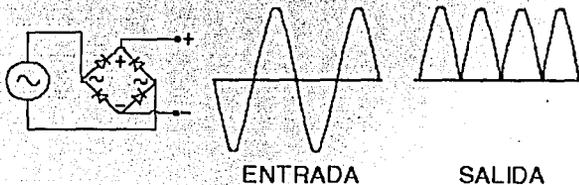


Figura 1.4 (rectificador de onda completa)

### *Generalidades de los motores*

En aplicaciones a la electrónica los condensadores y las bobinas se pueden utilizar para suavizar estos saltos. Sin embargo, los motores son bastante tolerantes a estos saltos así que no se necesita suavizar la corriente obtenida.

#### **Tipos de cargas**

1.- Resistencia: el concepto de resistencia eléctrica nace de la existencia de materiales conductores y materiales aislantes ya que no todos los materiales conducen con igual facilidad la corriente eléctrica. Es decir, unos ofrecen más resistencia a su paso que otros.

Experimentalmente se dice que la resistencia  $R$  depende de los siguientes factores: la longitud del conductor  $L$ , la superficie de su sección transversal  $S$  y la resistividad del conductor ( $p$ ).

$$R = ( p \times L ) / S \dots\dots\dots ( 1.1 )$$

donde:

$R$  está dado en ohms

$p$  en ohms-metro

$L$  en metros

$S$  en  $m^2$

2.- Inductancia: una bobina que puede generar un campo magnético tiene la propiedad de la inductancia. El campo magnético es generado por la corriente que circula por la bobina, pero a medida que el campo magnético crece se opone a todo cambio en la corriente; así el campo magnético y la corriente no alcanzan un valor final de una forma instantánea. El campo magnético no puede impedir totalmente el crecimiento de la corriente, sólo la

disminuye. La corriente alcanza las dos terceras partes de su valor final en  $L/R$  segundos (L es la inductancia de la bobina en henrios, R la resistencia en ohms).

Sin embargo, si se aplica corriente alterna a una bobina, una vez que la corriente ha alcanzado su valor final, la polaridad del voltaje aplicado ahora se intercambia y se intenta cambiar la corriente en sentido opuesto, entonces la inductancia se comporta como una resistencia sometida a corriente alterna y aparece en serie con la resistencia normal de la bobina en corriente continua. El valor de esta resistencia en corriente alterna está dada por:

$$X_L = 2\pi F L \dots\dots (1.2)$$

donde:

$X_L$  = Reactancia inductiva en ohms

F = Frecuencia en Hz

L = Inductancia en henrios

Estos ohms inductivos (el nombre apropiado sería reactancia) reaccionan de forma similar, pero no idéntica, a los ohms en corriente continua (resistencia) pero en un circuito de corriente alterna la razón por la que no son iguales es que los ohms de reactancia no están localizados y no disipan energía. La resistencia del flujo de corriente está causada por la energía almacenada en el campo magnético circundante dada en una parte del ciclo y que es devuelta sin pérdida alguna al circuito mediante la desaparición del campo magnético en la siguiente parte del ciclo.

En una inductancia pura es decir, una bobina sin resistencia, el valor máximo de la corriente aparece en el ciclo,  $90^\circ$  después del valor máximo del voltaje aplicado.

Esto se llama desfase de 90°. Por este motivo, los ohms reactivos no se suman de forma directa a los ohms resistivos y se relacionan en un circuito en serie que contenga a ambos, resistencia, y reactancia mediante la impedancia;

$$Z = [ X^2 + R^2 ]^{1/2} \dots\dots\dots ( 1.3 )$$

donde:

Z = Impedancia en ohms

X = Reactancia en ohms

R = Resistencia en ohms

La impedancia Z es el valor efectivo de X y R, y determina la corriente que circula en el circuito como respuesta a cierto potencial aplicado. Este método indirecto de suma sólo puede aplicarse para un sistema con resistencias y reactancias mezcladas. La conexión en serie de inductores se efectúa de igual forma que la conexión en serie de resistencia y por lo tanto se suman directamente unas con otras.

3.- Capacitancia: si separamos dos láminas de metal por un material aislante obtendremos la propiedad de la capacitancia. El material aislante utilizado para tal propósito se llama dieléctrico. Si conectamos las placas metálicas a una fuente de voltaje, la corriente fluirá a las placas y producirá cierto potencial en el dieléctrico. Cuando este potencial en el dieléctrico es igual al potencial aplicado entre placas cesa el flujo de corriente. El capacitor también llamado condensador está ahora cargado a un cierto potencial y permanece cargado a éste aún cuando desconectemos de la fuente las placas del condensador.

Un condensador perfecto continuaría cargado para siempre, pero en la práctica pequeñas imperfecciones en el dieléctrico permiten que se descarguen poco a poco.

Los condensadores usados constantemente mantienen una carga durante periodos que pueden variar desde unos pocos segundos hasta unas horas. Esta descarga es entonces tan pequeña que puede ignorarse cuando usamos condensadores conectados a motores.

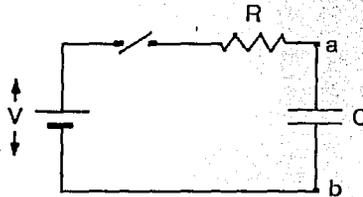


Figura 1.5 (representación de un voltaje  $V$  aplicado entre un condensador  $C$  y una resistencia  $R$ )

Si el condensador de la figura 1.5 en principio, está descargado, el voltaje inicial en el condensador será cero y todo el voltaje aparecerá en  $R$ .

El flujo de corriente a través de  $R$  comienza a cargar a  $C$  y, cuando el voltaje crece en el condensador y en la resistencia comienza a caer de forma que el potencial total se mantiene. Se alcanza un estado estacionario en el que no existe flujo de corriente a través de la resistencia y todo el voltaje está localizado en el condensador.

### *Generalidades de los motores*

Cuando el condensador no puede mantener la diferencia de potencial entre a-b puede suplir cierto voltaje, sólo podrá variar lentamente. El voltaje alcanza 2/3 de un valor final en C por R segundos (C es la capacitancia dada en faradios, R es la resistencia dada en ohms).

El faradio es la unidad fundamental de la capacidad, pero con el inconveniente de que es demasiado grande para el uso práctico. Los condensadores que se utilizan con los motores llevan grabado normalmente el valor en microfaradios ( $\mu\text{f}$ ). Un  $\mu\text{f}$  es una millonésima parte de un faradio. Si utilizamos como unidades para nuestro circuito RC el  $\mu\text{f}$  y el ohm, entonces el intervalo de tiempo estará dado en microsegundos ( $\mu\text{s}$ ).

Si utilizamos una fuente de corriente alterna transcurrido cierto tiempo el voltaje en el condensador alcanzará un valor final, entonces la polaridad del voltaje suministrado cambia y trata de cargar el condensador en forma contraria. Esto significa que la corriente se mantiene y el condensador se comporta como una resistencia para un circuito de corriente alterna (es decir, reactancia). El valor de la reactancia viene dado por:

$$X_C = 1 / (2\pi FC) \dots\dots\dots (1.4)$$

donde:

$X_C$  = Capacidad reactiva en ohms

F = Frecuencia en Hz

C = Capacidad en  $\mu\text{f}$

En la conexión de condensadores tenemos que: en paralelo se suman los valores de todos los condensadores de la conexión. Si los condensadores se han conectado en serie entonces

*Generalidades de los motores*

se suman sus admitancias (la admitancia es el inverso de la capacitancia) las reglas de suma en este caso son exactamente las mismas que para la resistencia conectadas en paralelo.

	R	L	C
Impedancia en un circuito de C.C.	R	cero	infinito
Impedancia a una frecuencia F	R	$j 2\pi FL$	$-j 1 / (2\pi FC)$
Conexión en serie	$R = R_1 + R_2$	$L = L_1 + L_2$	$C = (C_1 \times C_2) / (C_1 + C_2)$
Conexión en paralelo	$R = (R_1 \times R_2) / (R_1 + R_2)$	$L = (L_1 \times L_2) / (L_1 + L_2)$	$C = C_1 + C_2$
Pérdida de potencia	$I^2 R$	cero	cero
Desfasamiento respecto a la corriente aplicada	$0^\circ$	$+ 90^\circ$	$- 90^\circ$

Tabla 1.1 (características principales de las cargas R, L y C en circuitos eléctricos)

La figura 1.6 (a) y (b), representa la gráfica de carga y descarga de un capacitor o condensador: el tiempo de carga total del capacitor, esta dado por:

$$T_c = 5 Ri C \dots \dots \dots ( 1.5 )$$

Donde  $R_i$  se refiere a la resistencia de carga en ohms,  $C$  al valor del capacitor en faradios. Para el tiempo de descarga del capacitor usamos la misma ecuación, sólo que  $R_i$  será sustituida por  $R_o$ , que es la resistencia de descarga.

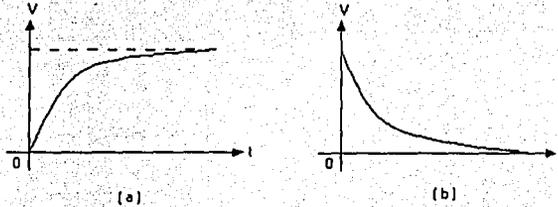


Figura 1.6 (gráficas representativas de la carga (a) y descarga (b) de un capacitor)

#### Ley de ohm

En primer lugar definiremos los términos de voltaje y de corriente eléctrica; Voltaje: se define como potencial eléctrico entre dos puntos, este potencial al ser activado impulsará cargas eléctricas de dicho punto al otro. El voltaje se representa por  $V$  y su unidad es el volt. Corriente eléctrica: se define como el desplazamiento de cargas eléctricas a través de un conductor, su unidad es el amper y se representa por  $I$ .

Ley de ohm define la relación entre el voltaje, la corriente y por supuesto la resistencia del mismo circuito eléctrico, para definir las propiedades que tiene el circuito usaremos las siguientes representaciones;

$$V = I \times R \dots\dots\dots (1.6)$$

$$I = V / R \dots\dots\dots (1.7)$$

$$R = V / I \dots\dots\dots (1.8)$$

La potencia  $P$  en el circuito eléctrico está medida en watts o kilowatts y se calcula mediante las siguientes expresiones:

$$P = V \times I \dots\dots\dots (1.9)$$

$$P = I^2 \times R \dots\dots\dots (1.10)$$

En un circuito eléctrico existen, al mismo tiempo, diferentes tipos de pérdidas. El término  $I^2 \times R$  se usa para la pérdida de la potencia proveniente de la circulación de corriente a través de la resistencia total y es importante distinguirla de otros tipos de pérdidas.

#### Permeabilidad y circuitos magnéticos

Si introducimos un trozo de hierro en el interior de una bobina, el flujo crece cientos de veces debido a la colaboración de las moléculas magnéticas del hierro que se orientan por la acción del campo original. Podemos obtener así imanes llamados electroimanes, cuya atracción cesa cuando la corriente se interrumpe, puesto que en el hierro dulce las moléculas se desorientan al cesar la acción del agente magnetizante. Si la bobina se enrolla alrededor de un anillo, no aparecen polos y la totalidad del flujo queda en su interior.

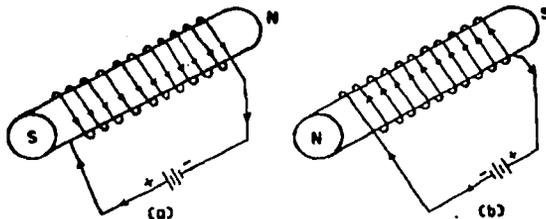


Figura 1.7 (formación de los polos en el electroimán de acuerdo con el sentido en que circula la corriente en la bobina)

Tanto la inductancia de una bobina como el total del flujo magnético generado por una corriente dada dependen de la permeabilidad magnética del espacio próximo a la bobina. El aire junto con otras muchas sustancias tienen un factor  $\mu$  de permeabilidad. Existen unas pocas sustancias, mayoritariamente hierro, níquel y cobalto, que son conocidas como ferromagnéticas. Estas tienen una permeabilidad mucho más alta entre 1000 y 10 000.

Si reemplazamos el aire que rodea a la bobina por un material ferromagnético se dará un incremento tanto en la inductancia de la bobina como en el flujo magnético que es proporcional al factor de permeabilidad. Los diversos tipos de metal que se utilizan con propósitos eléctricos tienen permeabilidades de unos cientos de miles. A causa de esta alta permeabilidad, si una bobina rodea un núcleo metálico como lo muestra la figura 1.8;

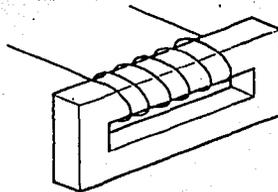


Figura 1.8 (representación de una bobina rodeando a un núcleo magnético)

Casi todo el flujo magnético pasa a través del metal, el cuál actúa como un conductor magnético. Desafortunadamente, el metal sólo puede dejar que pase cierta cantidad de flujo hasta que comienza a saturarse. La permeabilidad empieza entonces a decaer para cualquier corriente por muy grande que está sea. Decimos entonces que el metal está saturado.

El máximo momento que un motor puede producir es proporcional al flujo magnético que pasa por el aire situado entre el rotor y el motor de arranque. Debido a la gran corriente necesaria para operar con el metal cerca del punto de saturación, los metales empleados deben dar un resultado óptimo en éste rango. Esto limita el momento total que puede producir un motor con ciertas características.

Los circuitos magnéticos tienen un funcionamiento similar al de los circuitos eléctricos: el voltaje es reemplazado por ampers-giros (el número de giros efectuados por la bobina x la corriente que pasa a través de esta). La corriente es reemplazada por el flujo magnético total. La resistencia es reemplazada por un nuevo término: reluctancia.

La reluctancia está determinada por la permeabilidad, y por el cociente entre la longitud del circuito metálico y su sección, es decir:

$$S = L / ( a \times \mu ) \dots\dots\dots ( 1.11 )$$

donde:

S = Reluctancia

a. = Sección del circuito

L = Longitud

$\mu$  = Permeabilidad

La expresión 1.11 se incluye para mostrar el significado del término de la "reluctancia" y que factores la componen. No se especifican las unidades en las que se mide por que estas dependen del convenio escogido en cada caso y cuyo tratamiento va más allá de nuestros propósitos.

Los imanes permanentes pueden verse como el equivalente a un electroimán con un número fijo de ampers-giro por centímetros de longitud "fijo de metal". Los materiales magnéticos permanentes en la actualidad pueden superar en funciones a un electroimán similares en tamaño y peso. Por este motivo los motores con campos magnéticos permanentes son más pequeños y ligeros de lo que en un principio se esperaba.

### **Sistemas trifásicos**

A partir de la figura 1.2, si añadimos otras dos señales igual pero separadas una de otra por intervalos de  $120^\circ$ . Ahora estas tres salidas son llamadas fases y la diferencia de  $120^\circ$  se denomina el retraso de la fase.

Las corrientes trifásicas tienen ciertas ventajas sobre las corrientes monofásicas: para cierta potencia desarrollada los motores y generadores trifásicos son entre 20 y 30 % más pequeños que sus respectivos monofásicos por este motivo es posible instalar y distribuir uniformemente las tres espiras alrededor del rotor y el motor de encendido. En un aparato monofásico, la espira se localiza en un reducido espacio, su distribución no es uniforme y no se hace uso de todo el espacio disponible. Además de estas ventajas debemos sumar que el flujo magnético en las corrientes trifásicas hace más eficiente el metal del motor de arranque.

a).- Utilizando corrientes trifásicas se pueden generar campos magnéticos que rotan en el espacio. Esto significa que los motores trifásicos no necesitan circuitos auxiliares de

### Generalidades de los motores

encendido. Esto no es lo que ocurre con los motores monofásicos y por lo tanto necesitan de dichos circuitos auxiliares.

b).- Cuando transportamos electricidad a grandes distancias, los montajes trifásicos necesitan un uso menor de cobre en las instalaciones que los monofásicos. Si utilizamos cables conductores de ida y vuelta por separado para cada una de las tres fases, entonces para la misma potencia transmitida, las corrientes trifásicas necesitan de la misma longitud de tendido eléctrico que las corrientes monofásicas. Sin embargo, en las corrientes trifásicas se utilizan tendidos con cuatro cables compartiendo las tres fases el mismo conductor de retorno. Si producimos por igual un desfase en cada una de las fases, las tres corrientes de  $120^\circ$  estarán fuera de fase, se cancelarán y no existirá flujo de vuelta de corriente.

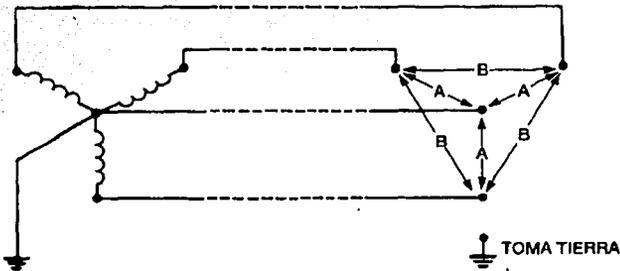


Figura 1.9 (conexión delta estrella de transformadores trifásicos en subestaciones)

### **Conceptos mecánicos**

Los generadores convierten el trabajo mecánico en electricidad. Los motores trabajan de forma contraria; convierten la electricidad en trabajo mecánico.

La potencia mecánica se mide en caballos de potencia (H.P) o en un equivalente: wats (W) o kilowatts (KW) mecánicos. Si el motor disipa toda su energía en trabajo mecánico a través de fricción entonces 1KW de trabajo mecánico produce un incremento de temperatura igual al que produciría 1KW eléctrico. El caballo de potencia es una unidad excesivamente pequeña, 1HP es igual a 746W.

Es importante evitar la confusión entre la proporción de potencia en el motor y la producida en éste mismo. En el uso industrial se especifica el consumo como el voltaje del motor y el total de la corriente. Mientras que la potencia de salida se especifica en KW o en HP. Dada esta prescripción ya no cabe más ambigüedad.

En el uso doméstico se pagan las consecuencias al no saber interpretar que los datos de potencia descritos para el electrodoméstico, no son referidos a la potencia de salida. Si le ofrecen una aspiradora de 900W de potencia esto sería sin lugar a dudas el total de la potencia de entrada. La potencia mecánica desarrollada depende de la eficiencia del motor y podría ser en este caso entre 400W y 700W.

La potencia de salida del motor es proporcional a la velocidad por el momento. La velocidad se da habitualmente en revoluciones por minuto (r.p.m.), el momento se puede dar en una gran variedad de unidades:

Unidades británicas: libras pulgadas (lb-in), u onzas pulgadas (oz-in). Sistema métrico internacional: kilogramos centímetros (kg-cm), o gramos centímetros (g-cm). En cada caso la unidad está dada por la acción de una fuerza sobre una distancia o radio dado en pulgadas o centímetros. Estas son unidades que se pueden medir en la práctica de forma directa. El momento también se puede dar en newtómetros.

La relación entre el momento, la velocidad y la potencia están dadas en:

$$\text{H.P.} = (\text{r.p.m.} \times \text{lb-in}) / 63\,000 \dots\dots\dots (1.12)$$

$$\text{KW} = (\text{r.p.m.} \times \text{Kg-cm}) / 97\,400 \dots\dots\dots (1.13)$$

#### **Máquinas de corriente continua**

Una máquina de este tipo se compone esencialmente de dos partes, un estator que es la parte que está en reposo y el rotor que está formado por piezas que giran, en las máquinas de este tipo el estator es siempre el elemento inductor y el rotor es el elemento inducido, podemos decir entonces que una máquina de corriente continua es aquella que es capaz de producir o de aprovechar corriente continua por medio electromagnético.

Un motor consume corriente eléctrica; un generador la produce poniendo a la misma máquina a trabajar como motor o como generador de una manera esquemática.

Una máquina de este tipo, esta constituida de los siguientes elementos:

### *Generalidades de los motores*

1. - **Carcasa o yugo:** es uno de los elementos por el cual se cierra el elemento magnético y debe de ser un elemento ferromagnético.
- 2.- **Polos-estator:** tienen una doble misión, conducir el flujo magnético hacia la máquina y sostener los arrollamientos inductores.
- 3.- **Piezas de zapatas polares:** el flujo magnético tiene que abarcar la mayor parte del rotor por lo que los polos se ensanchan en sus extremos. Estas piezas se construyen a parte, debiendo ser laminadas y de hierro macizo.
- 4.- **Arrollamiento inductor o de campo:** lo que hace es permitir el paso de una corriente eléctrica para imitar los polos naturales.
- 5.- **Arrollamiento inducido:** es un conjunto de conductores alojados en las ranuras propias del rotor, enlazados entre sí este arrollamiento esta alojado en las armaduras.
- 6.- **Armadura:** pieza de cierre del circuito magnético, debe ser de hierro laminado.
- 7.- **Colector o conmutador:** interruptor convertido que tiene como fin invertir las conexiones de la bobina por medio de las escobillas.
- 8.- **Escobillas:** para permitir o llevar la corriente al colector o sacar corrientes de máquina.

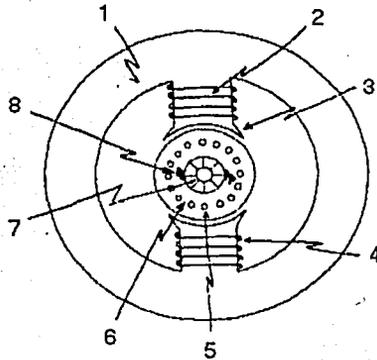


Figura 1.10 (elementos que constituyen a una máquina de corriente continua)

**Principales tipos de arrollamiento de las máquinas de corriente continua**

1.- Arrollamiento abierto: un arrollamiento abierto es aquel en el cual las bobinas son derivaciones abiertas cuando los segmentos del conmutador no se hayan bajo las escobillas.

2.- Arrollamiento cerrado: un arrollamiento cerrado es aquel en el cual, al recorrer una bobina hay que recorrerlas todas para terminar en la primera.

3.- Elemento de arrollamiento: un elemento está formado por espiras que están comprendidas entre los segmentos eléctricamente consecutivos.

4.- Arrollamiento imbricado: la figura 1.11, muestra un arrollamiento imbricado en el cual se han mostrado los pasos principales de un devanado.

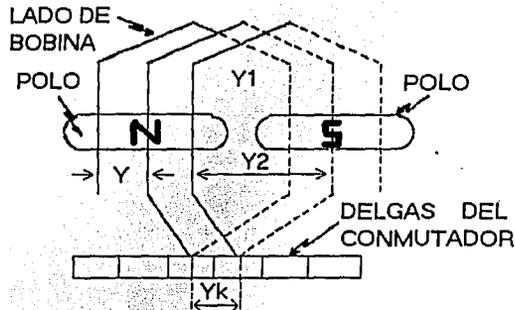


Figura 1.11 (ejemplo de arrollamiento imbricado)

### Tipos de excitación para máquinas de corriente continua

#### 1.- Excitación serie

En esta, el campo magnético y, por consiguiente la tensión, depende directamente de la intensidad de la corriente del inducido, la tensión crece con la intensidad de la corriente, es decir, con la carga y, por este motivo la excitación en serie no es conveniente en los generadores en los que se desea una tensión lo más constante posible, e independiente de la carga; por el contrario se emplea muchísimo en los motores en los que el aumento de carga a tensión constante da por resultado una disminución de velocidad, circunstancia que los hace especialmente útiles aún con sus desventajas.

En la figura 1.12, se muestra el circuito representativo de la conexión serie para producir un campo y por lo tanto un giro en un motor de corriente continua.

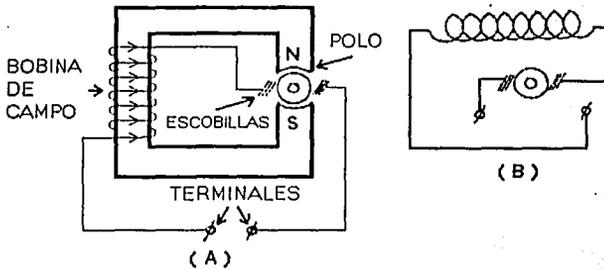


Figura 1.12 (excitación serie)

## 2. - Excitación en derivación

Con la excitación en derivación, la intensidad de la corriente del arrollamiento de excitación, no depende directamente de la resistencia exterior, sino de la tensión en los bornes K1 y K2, y de la resistencia del arrollamiento de excitación  $R_n$ . En una máquina con esta excitación, la tensión disminuye lentamente al aumentar la carga.

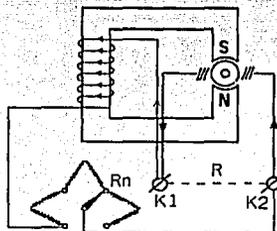


Figura 1.13 (excitación derivación)

### 3. - Excitación compuesta

Las conexiones en serie y en derivación pueden emplearse simultáneamente en una misma máquina, con lo que se obtiene la "excitación compuesta", para conseguir que la tensión de una máquina sea constante a todas las cargas.

Las máquinas provistas de esta doble excitación, se distinguen también con el nombre de máquinas compaund. En las máquinas con excitaciones serie, la tensión en los bornes aumenta con la carga hasta que el hierro se satura; en las máquinas con excitación en derivación disminuye. Por consiguiente, empleando ambos sistemas y adoptando un número adecuado de espiras en cada uno de los arrollamientos de excitación, puede lograrse que la tensión permanezca constante, o que aumente o disminuya según la carga.

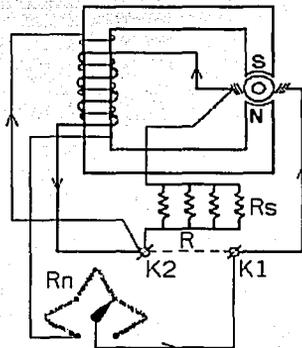


Figura 1.14 (excitación compuesta)

En la figura 1.14, se representa una máquina con excitación compuesta. A fin de poder regular la excitación con toda facilidad, se intercala un réostato  $R_n$  en serie con el arrollamiento en derivación y otro  $R_s$  en cantidad con el arrollamiento en serie esto es lo que se llama "réostato de campo" que no es otra cosa que una resistencia pura como las ya conocidas para regular el paso de corriente.

#### **Polaridad y sentido de giro de las máquinas de corriente continua**

Si se cambian los bornes del arrollamiento de excitación, es claro que se observará un cambio en el sentido de las líneas magnéticas, por tanto la máquina se desmagnetizará. Lo mismo ocurre cuando se cambia el sentido de giro de la máquina, observándose el mismo fenómeno.

Si se varía el sentido del arrollamiento de derecha a izquierda o viceversa, también se desmagnetizará la máquina. Se debe tener en cuenta cuatro sentidos en las máquinas siendo ellos los que muestran en el párrafo que sigue:

- a). - Sentido de giro de la máquina
- b). - Sentido de los arrollamientos de las bobinas del campo
- c). - Sentido del arrollamiento del inducido
- d). - Conexión entre los bornes de la máquina y el arrollamiento de excitación

Se hace notar que un cambio en cualquiera de estos sentidos, cambia la polaridad; y el cambio simultáneo de dos sentidos conserva la misma polaridad. En el motor hay una transformación de energía eléctrica en mecánica, siendo la fuerza electromotriz de sentido

contrario al de la corriente del inducido. En el generador, la transformación es de energía mecánica a eléctrica, para este caso la fuerza electromotriz y la corriente del inducido son del mismo sentido. Las máquinas con arrollamiento serie giran en sentido contrario cuando trabajan como generador y motor; en las máquinas en derivación, el sentido es el mismo trabajando ya sea como motor o como generador.

### Máquinas de corriente alterna

#### 1.- Valores de las conexiones delta y estrella

La primera se encuentra ilustrada en la figura 1.15 (A), en que vemos los tres devanados de un motor o transformador formando un triángulo ó delta, cuyos vértices se encuentran unidos para alimentar dichos devanados.

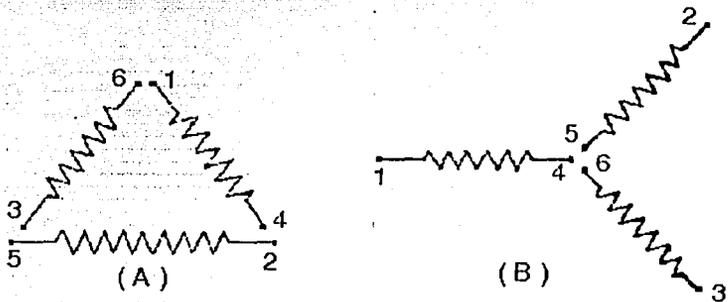


Figura 1.15 (conexiones delta y estrella)

### *Generalidades de los motores*

La conexión estrella forma una Y como vimos en la figura 1.15 (B), donde los tres devanados se encuentran conectados a un centro común el cual, en el caso de los transformadores, nos sirve para sacar el hilo neutro.

Con la explicación anterior, debemos entender que la conexión delta en el caso de los motores o generadores de corriente alterna tiene un valor de 1.73 veces menos que la conexión estrella, esto en los voltajes de línea.

Cuando los motores son de capacidades mayores que las normales, o bien por causas especiales, marcan sus placas con IID/IY que quiere decir: doble paralelo delta y doble paralelo estrella.

#### 2.- Cálculo de la velocidad

La velocidad en los motores de corriente alterna, proviene de los siguientes factores:

- a.- Del número de polos que consta el motor en su cmbobinado.
- b.- Del ciclaje por segundo que tenga la línea de alimentación.

$$V_s = 120 \times F / p \dots\dots\dots ( 1.14 )$$

donde:

$V_s$  = Velocidad estatórica en r.p.m.

F = Frecuencia de la red en Hz.

P = Número total de polos

### *Generalidades de los motores*

La velocidad que se obtiene por esta fórmula se denomina velocidad estatórica, ya que en efecto no es la real, pues la carga que tenga el motor la baja en cierto porcentaje. Es esta la razón, por la que las placas de los motores no coinciden exactamente, salvo aquellos casos en que el fabricante marca la velocidad sincrónica en vez de la velocidad a plena carga. Así pues, si la placa de un motor marca: 1,725 r.p.m. corresponde a una velocidad estatórica de 1,800 r.p.m., que nosotros sacamos por medio de la fórmula y en el caso de que el motor se encuentre marcado con 1,425 r.p.m., su velocidad estatórica es 1,500 r.p.m.

## CAPITULO II

### ASPECTOS CONSTRUCTIVOS Y TIPOS DE MOTORES

#### Elementos constructivos de motores eléctricos

1.- Elementos comunes: todos los motores eléctricos tienen varios elementos constructivos en común. Además, cada tipo de motor posee ciertos elementos específicos que lo caracterizan.

Entre los elementos comunes a todos los tipos de motores, están las partes estructurales tales como: la carcasa, las tapas laterales, los portacojinetes, los cojinetes, el eje, las chavetas, las guías de aire, los ventiladores internos y externos, los intercambiadores de calor (aire/aire, aire/agua), las cajas de empalme, las tapas de inspección, las bridas, los pies de fijación, etc. Los materiales empleados para la carcasa, los portacojinetes, las cajas de empalme y los ventiladores podrán ser de hierro de fundición o chapa de acero.

Las guías de aire, los intercambiadores de calor y las tapas de inspección suelen ser chapas de acero. El aluminio y la fibra de vidrio también son materiales comunes para algunos de estos componentes. Los ejes y las chavetas suelen ser de acero forjado o laminado.

2.- Elementos específicos: aunque se pueden considerar las partes activas como paquetes de chapas del estator, del rotor y de los arrollamientos substancialmente semejantes en los diferentes tipos de motores, existen diferencias significativas en el número, el arreglo y la

construcción de los arrollamientos y en los núcleos ferromagnéticos que producen características de funcionamiento diferentes.

### **Cojinetes de manguito**

Los cojinetes de manguito son uno de los elementos más vitales del motor y, a excepción del interruptor de arranque, las únicas partes sometidas a desgaste en la mayor parte de los motores eléctricos de potencia fraccionaria.

En la figura 2.1, está representada una construcción tipo de cojinete de manguito. El cojinete propiamente dicho está formado por un tubo de corta longitud forrado de metal antifricción, formado por enrollamiento de una lámina plana. El cojinete está provisto de una abertura o lumbrera para admitir el aceite, y de ranuras irradiantes desde esta abertura para distribuir el lubricante. El cojinete es presionado sobre la placa extrema y tomado o calibrado a la medida precisa. El hueco del cojinete es llenado con una estopada de lana la cual sirve de mecha; un pequeño muelle en la parte superior de dicho hueco presiona la estopada a través de la abertura en el cojinete y contra el gorrón del árbol.

La rotación del árbol es causa de que absorba aceite de la mecha y lo impulse a través de las ranuras, a ambos extremos del cojinete, desde que cae dentro de los orificios de retorno del aceite en el interior del depósito de aceite, y retorna a través de la mecha al gorrón, completando el ciclo.

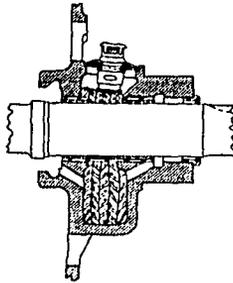


Figura 2.1 (cojinete de manguito con mecha de lana para lubricación)

La figura 2.2, muestra otra construcción de cojinete para todo ángulo. El cojinete está forrado de antifricción longitudinalmente, y provisto de una abertura, así como de ranuras. Tal como se representa, una mecha apoya contra el gorrón del árbol a través de la abertura. La tapa interior del cojinete tiene un reborde para retener el aceite cuando el árbol está en posición vertical

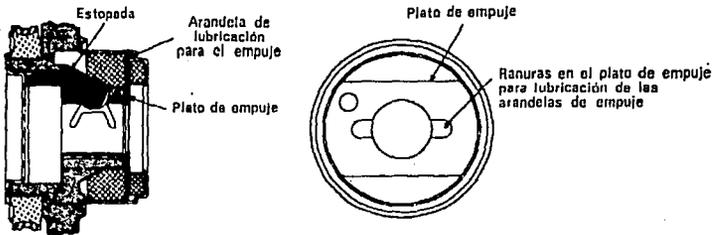


Figura 2.3 (otro ángulo del cojinete de manguito con ranuras para su lubricación)

### *Aspectos constructivos y tipos de motores*

En los últimos años un nuevo material para empaquetadura, compuesto de una combinación de fibras de celulosa y aceite, ha sido extendido y ofrecido al mercado bajo la denominación registrada de *Permawick*. Una cuidadosa selección del material para fibras así como de su tamaño, combinada con aceites apropiados, modifican las características de la empaquetadura para satisfacer las condiciones propias para el cojinete y propias para el motor por el cual ha sido diseñado.

La facultad de ser extraído del *Permawick*, sin la separación del aceite directamente dentro de la extremidad propia de la cavidad que rodea el cojinete, permite la automatización del conjunto de las operaciones. En la actualidad está ampliamente aceptado y usado para los motores industriales de potencia fraccionaria.

La mayor parte de los motores con cojinetes de manguito están provistos de medios para la relubricación. La frecuencia del relubricado es muy variable, y generalmente es mejor atenerse a las recomendaciones del constructor del motor. La mayoría de los motores con cojinetes de manguito rodarán durante un largo período de tiempo sin reaceitado, que podrá ser del orden de uno a tres años.

El motor debe estar instalado de manera que el tiro de la correa no se ejerza sobre la lumbrera del cojinete, a fin de conseguir un desgaste del mismo. Es importante no atirantar demasiado la correa pues sería ejercida una excesiva presión sobre el cojinete provocando un desgaste anormal, y posiblemente un agarrotamiento con una puesta fuera de servicio prematura. La correa debe estar tensada lo justo para evitar el deslizamiento.

### *Aspectos constructivos y tipos de motores*

Es mucho más fácil de lo que generalmente se supone sobrecargar en exceso y provocar un desgaste prematuro por una tensión excesiva de la correa. Para evitar esto, un vatímetro midiendo la potencia absorbida por el motor puede ser de gran utilidad.

La tensión de la correa puede ser reducida hasta el momento en que se inicia el deslizamiento y se observa el mínimo de vatios absorbidos; la correa puede ser tensada hasta que la potencia absorbida empieza a aumentar sensiblemente.

Cuando se reemplaza un cojinete, a menos que sea del tipo poroso de aceite impregnado, debe estar dispuesto en su alojamiento con un ajuste hacia el árbol de alrededor de 0.01 mm (0.0005 pulg.) si el diámetro interior es ligeramente menor es el que debe ser rectificado. Esta operación se realiza generalmente mejor mediante un escariador apropiado. Los cojinetes impregnados de aceite porosos pueden requerir una tolerancia ligeramente mayor. Cuando las placas frontales son atornilladas sobre el motor para proceder al alineamiento, los ajustes de encaje deben ser cuidadosamente limpiados con el objeto de asegurarse de que no queda rastro de suciedad. De lo contrario los nuevos cojinetes estarían mal alineados. Los cojinetes porosos deben adquirirse de la medida apropiada sin posterior rectificación.

Es igualmente importante que exista un ligero juego frontal, pues de no existir los cojinetes podrían deformarse sobre sus superficies de empuje. Para que el ruido de empuje pueda ser reducido al mínimo, este juego frontal puede ser pequeño, de 0.05 a 0.25 mm. Si el motor posee amortiguamiento contra el empuje frontal, un juego de 0.8 mm no será causa de ruido censurable en las aplicaciones corrientes.

Si el motor emplea una empaquetadura de lana, debe ser relubricado con una cualidad fluida de aceite de máquina, ordinariamente vendido en las estaciones de llenado de gasolina como "aceite dinamo". Sólo deben emplearse aceites de petróleo, evitando todos los lubricantes conteniendo aceites vegetales o animales.

Si las placas frontales estuvieran empaquetadas *Permatwick*, es preferible obtener del constructor del motor sus recomendaciones para reemplazar el propio material *Permatwick*, o para rellenar el aceite, puesto que existen diferentes grados de fibra *Permatwick*, y diferentes aceites para ser usados en distintos casos.

#### Cojinetes de autoalineación

Algunos de los motores de las más bajas potencias nominales usan cojinetes de autoalineación. Una de tales construcciones se muestra en la figura 2.3.

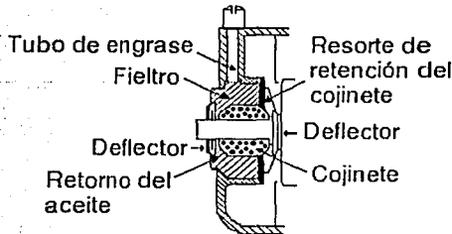


Figura 2.3 (cojinete de autoalineación)

Un cojinete de bronce poroso, rodeado por una mecha de aceite, tiene una superficie exterior aproximadamente de forma esférica, que le permite girar en su cubo para alinearse con el árbol. La falta de alineación es así imposible.

### **Rodamientos de bolas**

Los motores de potencia fraccionaria con rodamientos de bolas son generalmente usados para aquellas aplicaciones en que se presentan cargas debidas a fuertes empujes axiales y radiales. Han sido creados muchos tipos de rodamientos de bolas para satisfacer las exigencias de una gran variedad de aplicaciones. Para la mayor parte de las aplicaciones de los motores de potencia fraccionaria, los rodamientos de ranuras profundas de una sola hilera de bolas son adecuadas y por lo tanto los más utilizados.

Tales rodamientos son aptos para soportar las cargas radiales y los empujes axiales que se presentan actualmente para velocidades de funcionamiento de 1725 r.p.m. e inferiores, son generalmente usados rodamientos de bolas lubricados con grasa.

Los rodamientos en la actualidad son montados corrientemente para usar bien sea un deflector, o un obturador de fieltro destinado a retener el lubricante insertado por el constructor e impedir la introducción de suciedad u otros cuerpos extraños. Un deflector es un disco de acero delgado fijado al camino de rodadura exterior y dispuesto para recubrir todo el espacio entre los caminos interior y exterior; se encaja sobre un paso de zig-zag dispuesto sobre el camino interior, con huelgo muy reducido sin que exista, a pesar de ello, frotamiento de contacto. El uno o el otro lado de la rodadura o ambos a la vez, pueden así ser protegidos. Los rodamientos con deflector tienen la misma longitud (el largo del árbol)

que los rodamientos sin deflector y son generalmente intercambiables con rodamientos ordinarios.

Los rodamientos "estancos" están generalmente montados con un protector de fieltro de alguna clase, que retenga el lubricante y los proteja mejor de la suciedad que los deflectores. A causa del espacio ocupado por el cierre protector de fieltro, los rodamientos estancos usualmente son más largos que los rodamientos ordinarios o con deflectores; por consiguiente, los rodamientos estancos por lo general no son intercambiables con un rodamiento ya sea ordinario, o bien con deflector. La longitud requerida por el cierre protector puede adicionarse solo a la del collar interior, o pueden adicionarse a las de los collares. Tales cierres de protección pueden estar dispuestos en uno o en ambos lados del rodamiento.

Los apoyos son rectificadas a un diámetro que dé un ajuste de débil presión entre el collar interior y el árbol. Cuando se monta a presión un rodamiento sobre el árbol, la presión debe siempre ejercerse directamente sobre el collar interior, jamás sobre el collar exterior, a fin de que las bolas o los collares, o ambos elementos a la vez, no sean deteriorados.

El collar exterior se ajusta a frotamiento suave en el alojamiento previsto en el platillo, pero lo suficientemente fijo para que una simple presión de la mano sea suficiente para introducirlo.

En los motores de uso general, se emplea frecuentemente una construcción de montaje en oposición. En este caso, los collares interiores están fijados sobre el árbol a presión suave, y

los collares exteriores son libres de deslizar axialmente en las placas frontales. El juego frontal está limitado hacia atrás por una expansión en la placa trasera, y hacia delante por una expansión similar en la placa delantera. Este juego frontal es normalmente del orden de 1.6 mm (1/16 pulg.), pero como regla general es compensado por un resorte de acero insertado en el alojamiento de rodadura de una de las placas frontales. Este resorte presiona contra el collar exterior, carga ambos rodamientos y compensa todo el juego frontal. En general, este resorte es lo suficiente fuerte para que haga precisa una fuerza de varios kilogramos para desplazar el árbol comprimiéndolo. El rodamiento es con deflector único (en el interior del motor) y está presionado con arandelas elásticas para liberar del juego frontal al rodamiento y contribuir a un funcionamiento más silencioso.

Si no es admisible un desplazamiento axial del árbol, se utiliza un montaje con rodamiento bloqueado. El rodamiento delantero o trasero puede estar bloqueado, pero no pueden estar los dos, pues a causa de las diferencias de dilatación entre el rotor y la parte fija podrían presentarse esfuerzos auxiliares destructivos. El árbol está fileteado y el collar interior está bloqueado en posición por medio de una tuerca delgada y una arandela de retención; el collar exterior debe estar entonces sujeto de manera segura en la placa frontal por algún medio adecuado. Con el montaje con rodamiento bloqueado, no hay desplazamiento frontal del árbol o éste es muy débil debido a los pequeños movimientos causados por la dilatación térmica y el movimiento axial en el rodamiento, como consecuencia del aflojamiento entre las bolas y los caminos de rodadura.

Los motores con rodamientos de bolas son susceptibles de soportar empujes axiales considerables y pueden, por lo general, funcionar en cualquier posición.

### *Aspectos constructivos y tipos de motores*

El valor de una carga axial que un motor en particular puede soportar con toda seguridad puede obtenerse directamente por las instrucciones dadas por el constructor, o por el fabricante de los rodamientos de bolas.

Algunos motores usan rodamientos de bolas silenciosos. Un anillo de caucho está asegurado al exterior del collar exterior, y un anillo de acero lo está al exterior del primero. Dado que cualquier comprensión del caucho tiende a descentrar el rotor, esta construcción es más propia para los accionamientos mediante correas.

La lubricación de los rodamientos de bolas es lo más importante. Si los rodamientos son por una o por las dos extremidades, serán engrasados todos los años; además es buena práctica limpiar a fondo todos los rodamientos y las zonas donde se montan, aproximadamente dos años, con alcohol o con tetracloruro de carbono. Si el motor tiene un colector y escobillas, hay que tener cuidado de que el tetracloruro no entre en contacto con uno y otras. Los propios rodamientos y la grasa para ellos deben ser rigurosamente limpios, siendo aún de más importancia librar de toda suciedad y de cuerpos extraños en los rodamientos de bolas que en los cojinetes de manguito. Como lubricante de uso general, es recomendada con diferencia a otras, una grasa de jabón de soda neutra. Las grasas lubricantes de ordinario son compuestas con jabón de calcio y tienen un punto de fusión demasiado próximo a las temperaturas de funcionamiento de los motores.

Las grasas obtenidas a partir de aceites demasiado pesados o demasiado ligeros deben ser rechazadas.

### *Aspectos constructivos y tipos de motores*

Las viscosidades comprendidas entre 200 y 500 segundos Saybolt a  $37.8^{\circ}\text{C}$  ( $100^{\circ}\text{F}$ ) dan buenos resultados. Los rodamientos de bolas jamás deben estar demasiado engrasados.

Los rodamientos de bolas cerrados en sus dos extremidades exigen por lo general que se les preste menos atención. La publicidad que declaran que están provistos del suficiente lubricante para toda su vida puede ser algo ambigua, puesto que evidentemente, el rodamiento no subsistirá mucho tiempo después de que todo el aceite se haya evaporado de la grasa.

La temperatura de funcionamiento es un factor principal en la vida de todo rodamiento de bolas. A una temperatura de  $40^{\circ}\text{C}$  ( $104^{\circ}\text{F}$ ), la duración de un rodamiento de bolas estanco funcionando veinticuatro horas diarias puede ser de tres o cuatro años o más. No obstante la duración disminuye en la mitad por cada aumento de  $10^{\circ}\text{C}$  de la temperatura de funcionamiento. La aplicación de esta regla indica que si el rodamiento funciona a la temperatura de  $80^{\circ}\text{C}$  ( $176^{\circ}\text{F}$ ), la duración de la vida sobre la base de las veinticuatro horas diarias puede quedar reducida a solo dos o tres meses.

Las opiniones no son concordantes en lo relativo a cuando hay que rellenar de grasa el exterior de un rodamiento con deflectores. Pero una regla es cierta: cuando más elevada es la temperatura de funcionamiento, más frecuente debe ser la tensión de lubricación.

Cuando se separa un rodamiento de bola de un árbol, está recomendado ejercer la presión contra el collar interior; si la presión es aplicada sobre el collar exterior para sacar el rodamiento, este último no podrá ser utilizado de nuevo en el motor a causa de que los

caminos de rodadura probablemente habrán sido deteriorados por las bolas durante la operación de su separación.

Algunos motores, tales como los motores de las bombas de sumideros, están montados con un rodamiento de bolas y un cojinete de manguito. Cuando se reemplaza el rodamiento de bolas de uno de estos motores, está recomendado la utilización de un rodamiento fuertemente ajustado.

#### **Interruptores de arranque**

En todos los motores de inducción monofásicos, es necesario algún tipo de dispositivo para la puesta en marcha. Los motores de fase partida o auxiliar y los de arranque por condensador, que son los más empleados en los tipos de potencia fraccionaria, usan un arrollamiento auxiliar que tiene que ser desconectado cuando el motor a alcanzado velocidad nominal.

Dicho arrollamiento auxiliar es desconectado por medio de un interruptor de arranque, que puede ser un interruptor centrífugo, un relé magnético, o un relé térmico. En un gran margen, el interruptor centrífugo, es el dispositivo de arranque de uso más extendido en los motores de potencia fraccionaria.

Un interruptor centrífugo consta de dos partes básicas: un elemento fijo y un elemento giratorio, algunas veces llamado actuante. El elemento giratorio es un dispositivo centrífugo, montado sobre el árbol; a medida que el motor toma velocidad, debido a la fuerza centrífuga se desplaza un elemento, usualmente en dirección axial, actuando este

### *Aspectos constructivos y tipos de motores*

movimiento sobre los medios interruptores de circuito dispuestos sobre el elemento estático.

Todos los contactos eléctricos y partes por las que pasa corriente forman parte del elemento estático. Para evitar el desgaste debido al prolongado rozamiento entre los miembros del estator y del rotor, el interruptor centrífugo está diseñado de manera que el rozamiento tiene lugar solamente durante el período de la puesta en marcha. Un interruptor centrífugo de arranque moderno tiene usualmente una vida de más de un millón de ciclos.

Los interruptores de arranque deben ser de acción rápida; es decir, deben cortar rápida y totalmente el circuito, y no deben vibrar. La vibración o la formación de arco prolongado del interruptor puede causar un excesivo calentamiento y picado de los contactos, perjudiciales sobretensiones en el condensador en el caso de que este sea usado, una importante pérdida de par, tan importante que el motor puede ser incapaz de dar velocidad a su carga.

La mayor parte de los interruptores simplemente abren un único circuito; tal es el caso del motor ordinario de fase partida o de arranque por condensador. En algunos tipos de motor con doble condensador es requerido un contacto trasero. También pueden ser requeridos circuitos o contactos adicionales para motores de dos velocidades con cambio de polaridad.

La velocidad de abertura de un interruptor centrífugo generalmente debe de ser de alrededor de 75 % a 80 % de la velocidad de sincronismo. La velocidad de

restablecimiento, para un motor de arranque por condensador, generalmente debe estar por debajo de la mitad de su velocidad, para evitar problemas de generación.

### **Protectores térmicos**

Una importante razón de tales protectores es la de evitar incendios debido a que se queme el motor cualquiera que sea la causa, para llegar a estas condiciones. Otra función importante es evitar que se averíe el embobinado del motor durante unas condiciones anormales de funcionamiento, las cuales, posteriormente pueden ser remediadas automáticamente o por intervención humana.

Un protector térmico de reenganche automático es un protector térmico que se reengancha automáticamente después de que sus partes se han enfriado suficientemente.

Un protector térmico de reenganche manual es un protector térmico que, una vez que ha disparado, permanece abierto hasta que es reactivado manualmente, por lo general es reactivado por medio de un botón exterior de reenganche. Normalmente, el dispositivo es de "desenganche libre"; o sea, que se desenganchara automáticamente con independencia de la posición del motor de reenganche y, además, no puede ser repuesto hasta que los elementos del protector se han enfriado.

Cuando un motor esta funcionando bajo su carga máxima puede soportarla sin provocar el desenganche del protector, la temperatura normal no será mayor de  $140^{\circ}\text{C}$  ( $284^{\circ}\text{F}$ ) para un motor en el que se emplee aislamiento de clase A, o más de  $165^{\circ}\text{C}$  ( $329^{\circ}\text{F}$ ) para un motor en el que se emplee aislamiento de clase B. Las pruebas de temperatura a rotor

calado se llevan a cabo en plena tensión, con el sistema protector de servicio. Las temperaturas son medidas por medio de un termopar de hierro-constantan del No. 30 Awg, aplicado al arrollamiento, y un aparato de tipo potenciómetro. Las pruebas son prolongadas por un periodo de 72 horas.

Prueba de aguante a rotor calado. Un protector de reenganche automático funcionará durante 15 días con el motor para el cual ha sido diseñado, sin daño permanente para el motor o excesivo deterioro del aislamiento.

Un protector de reenganche manual debe poder abrir el círculo 50 veces sin sufrir perjuicio o que se produzcan daños de carácter permanente al motor; para ésta prueba el protector es reenganchado tan pronto como sea posible hacerlo después de cada abertura.

Los diferentes tipos de protectores térmicos ideados y empleados durante años, en la actualidad no hay duda de que el más generalizado y utilizado en la mayoría de los casos es el de tipo de disco. En la figura 2.4, es representada en sección una forma de protector del tipo de disco de reenganche automático y de reenganche manual, en los que están rotuladas sus partes esenciales las cuales se describen enseguida:

1.- Disco bimetalico. El disco tiene forma de cubeta combada, con el metal de gran dilatación sobre la cara cóncava de disco bajo la temperatura normal. A medida que la temperatura del disco aumenta son creadas tensiones en el mismo que tienden a rectificarlo, y tan pronto como la temperatura ha alcanzado un predeterminado valor, el disco pasa bruscamente sobre su otra posición.

### *Aspectos constructivos y tipos de motores*

Cuando el disco se enfría por debajo de una temperatura definida, recupera bruscamente su forma primitiva. Debe observarse que este disco funciona solo cuando alcanza una cierta prefijada temperatura, dependiendo de las especiales exigencias de la aplicación; el ajuste de esta temperatura prefijada puede variar en un margen de 60° C a más.

2.- Calefactor auxiliar. Es un pequeño elemento constituido por hilo de resistencia de una aleación tal como el nicromio, dispuesto junto al disco bimetálico.

3.- Copa o base de montaje. Todas las partes están montadas dentro de una copa de material fenólico provista de terminales para la sujeción del protector a una superficie rebajada, tal como la de la placa extrema de un motor. El disco bimetálico está mantenido en posición mediante un único tornillo central, según puede verse en la figura 2.4. La copa de montaje además sitúa y sostiene los bornes los cuales, según puede verse, pasa a su través y los conecta a los contactos fijos de plata dispuestos en el interior de la copa. Los bornes móviles de plata están soldados al disco.

4.- Botón de reenganche. En la figura 2.4 (b) se representa un botón de reenganche, hecho de nylon rojo claro está elásticamente extendido hacia fuera del disco, cuando es presionado hacia adentro, empuja una placa metálica, provista de dos o más salientes acunados, contra la cara exterior del disco, tendiendo el reenganche de este, el movimiento del botón de reenganche está limitado mecánicamente en forma tal, que siempre cesa rápidamente de presionar sobre el centro del disco y lo cierra. Realmente el recorrido del botón está fijado para que cuando llega enfrente del límite de su recorrido interior sea

incrementada la temperatura de reenganche hasta un valor normal correspondiente al de un protector de reenganche automático.

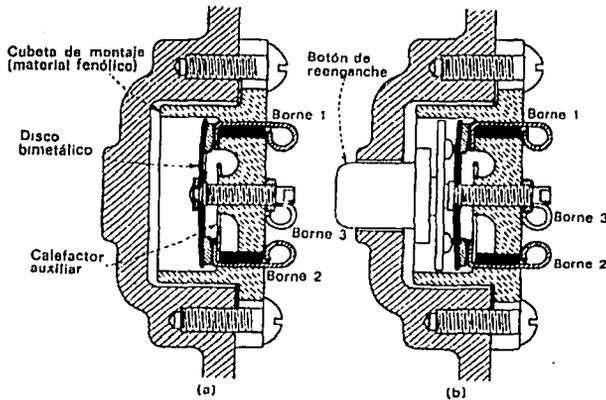


Figura 2.4 (protectores térmicos tipo disco de reenganche automático y manual respectivamente)

### Protectores térmicos para motores monofásicos

1.- Protectores montados sobre la placa extrema: el tipo de base con orejas es generalmente usado en las placas extremas del motor, mientras que el tipo de base redonda está a menudo montado directamente sobre la parte superior de los compresores de los refrigeradores. Hay dimensiones de disco, pasando desde 12,7 mm a 38.1 mm. Se puede disponer tanto de los de tipo de reenganche automático como del tipo manual. Algunos de ellos tienen calefactores.

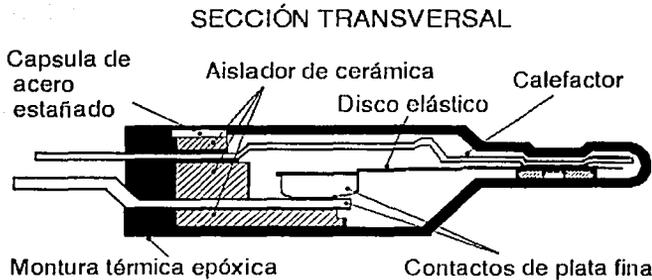


Figura 2.5 (corte transversal de un protector térmico del tipo sobre el arrollamiento)

2.- Protectores sobre el arrollamiento: a medida que los motores han sido progresivamente llevados a ocupar menos espacio, se han incrementado los problemas relativos a la protección de temperatura, así como el problema de encontrar suficiente alojamiento para el protector. Para satisfacer esta exigencia, se han extendido una serie de protectores destinados para estar dispuestos sobre el arrollamiento. Las cajas son activas y, en la práctica, tales dispositivos son suministrados con un casquillo aislante de 0.027 o 0.2 mm prolongado 4.76 mm por fuera de la caja metálica. Una vista en sección de uno de dichos protectores está representada en la figura 2.5. Los principios en que se basan para la protección de los arrollamientos del motor son esencialmente los mismos, con la excepción de que es menos el efecto calefactor necesitado que el requerido por los protectores montados en la placa extrema, debido a que están montados en un receptáculo de calor más antiguo a los arrollamientos que protegen.

### Protectores térmicos para motores trifásicos

Son similares a los protectores montados sobre la placa extrema, excepto que tienen tres calefactores y tres ó seis terminales, según sean usados para motores de una o dos tensiones. Son protectores con punto neutro al descubierto; el propio disco forma el punto neutro. Los protectores térmicos para motores trifásicos están diseñados para interrumpir el neutro o abrir el punto neutro de un motor conectado en estrella. Son adecuados para los motores conectados en estrella, y no para los conectados en triángulo, como el punto neutro, o vértice de la estrella, en la mayoría de los casos esta al potencial de tierra, al usar el protector debe de desconectarse el neutro de la tierra ya que este al abrirse dejaría los tres arrollamientos "con carga". En la siguiente figura, se muestran conexiones para protectores térmicos trifásicos con el punto neutro abierto y para dos tensiones.

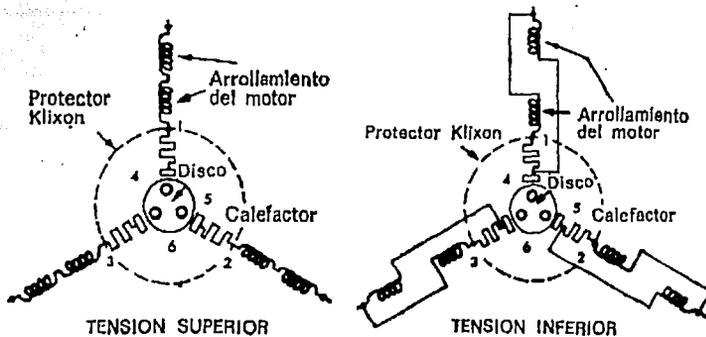


Figura 2.6 (protectores térmicos para motores trifásicos)

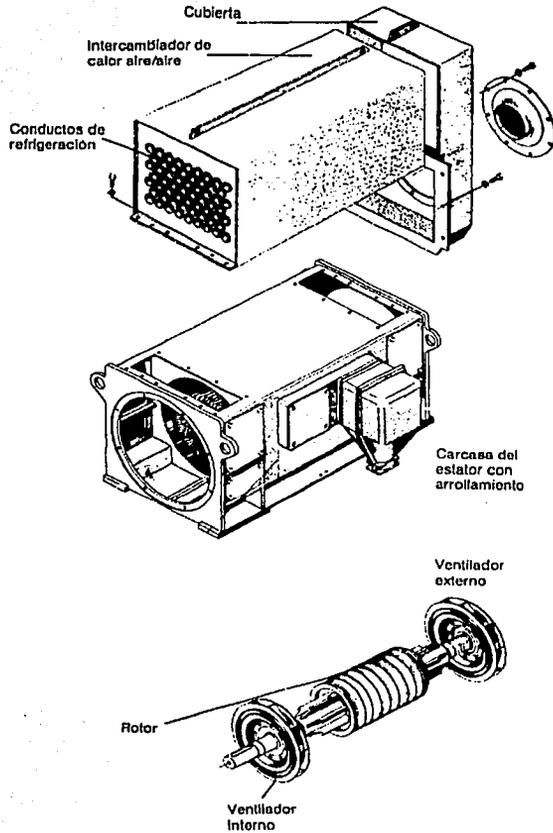
**Otros accesorios utilizados en la construcción motores eléctricos**

1.- Las cajas de empalme o cajas de terminales: se emplean para la conexión de los motores a los circuitos de alimentación. Normalmente se trata de un dispositivo sencillo, pero en motores de media tensión la caja de conexión merece cuidados especiales, generalmente las cajas de terminales pueden girar 90° en cada una de las cuatro direcciones.

2.- Intercambiadores térmicos: las máquinas eléctricas con refrigeración interna pueden estar dotadas de un circuito cerrado de refrigeración. Se monta el intercambiador de calor sobre la máquina y refrigera el aire que circula a través del motor y del refrigerador. El aire de la máquina circula por un ventilador independiente o por un ventilador montado sobre el propio eje del motor, el intercambiador de calor puede ser del tipo aire/aire o aire/agua. En el primer tipo el aire de la máquina es forzado a circular por conductos longitudinales, de los cuales un ventilador externo fuerza el paso de aire fresco. Con respecto al intercambiador aire/agua, se refresca el aire caliente con el agua que circula a través de tubos finos. El material utilizado en los intercambiadores de calor aire/agua debe ser apropiado para las condiciones del agua que servirá como medio refrigerante.

3.- Tacómetros: son pequeños generadores eléctricos que se montan en un extremo del eje del motor, a través de la tensión generada en sus terminales. Se puede utilizar esta información tanto para indicación, como para realimentación en el sistema de control. Existen tres tipos de tacómetros comerciales: tacómetro de corriente continua, tacómetro de corriente alterna y los tacómetros de impulsos (digitales).

*Aspectos constructivos y tipos de motores*



*Figura 2.7 (desglose de piezas de un motor enfriado por aire/aire en su carcasa)*

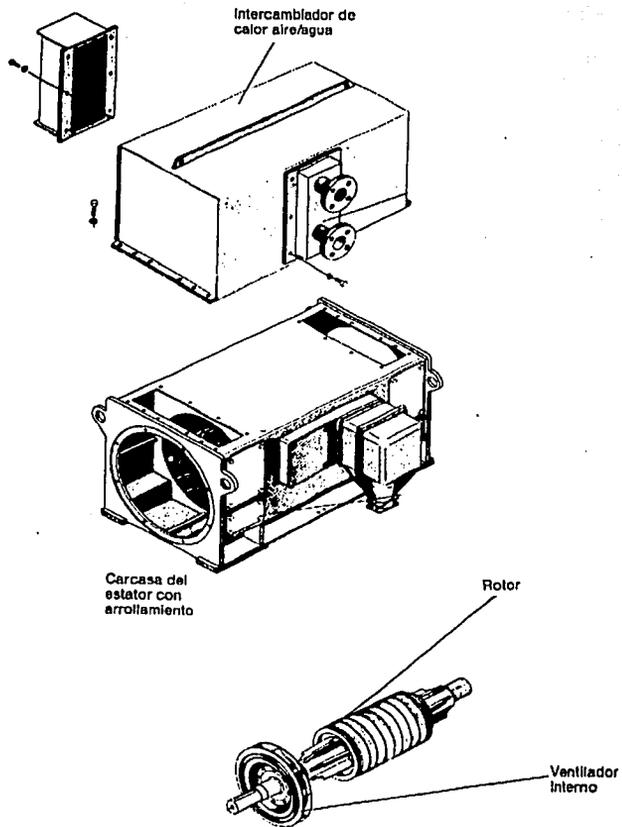


Figura 2.8 (desglose de piezas de un motor enfriado por aire/agua en su carcasa)

### *Aspectos constructivos y tipos de motores*

Los tacómetros de corriente continua, son pequeños generadores excitados con un imán permanente y proyectados para suministrar una tensión de salida proporcional a la velocidad, en general estos tipos son los de mejor calidad.

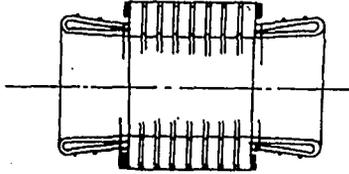
Los tacómetros de corriente alterna son generadores de corriente alterna monofásicos, excitados con un imán permanente, que suministran tensión proporcional a la velocidad angular. La tensión alterna generada se rectifica y se filtra.

Los tacómetros o de impulsos corresponden a una rueda dentada, que se monta en el eje del motor y un sensor fijo que produce impulsos de tensión.

Con relación a la especificación de tacómetros analógicos, es necesario que cuatro datos sean adecuados a la aplicación: linealidad, precisión, pulsación de la onda resultante y capacidad de carga.

#### **Motores asíncronos**

El núcleo del estator de los motores asíncronos suele constituirse con un paquete de chapas de acero al silicio, aisladas por una capa de barniz. El paquete de chapas puede constituir una única pieza o estar subdividido en varios paquetes más pequeños, montados sobre el eje con pequeños intervalos entre ellos, a fin de permitir el paso de aire de refrigeración. Algunas veces, en motores de baja potencia, sólo se utilizan chapas de acero con un bajo nivel de carbono tratadas térmicamente.



*Figura 2.9 (corte longitudinal de un núcleo estatórico para un motor de inducción)*

En las ranuras del estator se alojan las bobinas del arrollamiento trifásico. Para los motores de baja tensión, los hilos que componen el arrollamiento suelen ser de cobre o algunas veces de aluminio, de sección circular y aislados por capas de esmalte.

Para motores de media tensión, los conductores son de cobre, generalmente de sección rectangular, aislados con tiras de material aislante a base de mica o fibra de vidrio, aglomerados con resinas sintéticas.

Una vez insertados en las ranuras, los arrollamientos son sujetos con cintas de fibra de vidrio y se someten a una impregnación con resina epóxica o poliéster que, después de curados, les confieren mayor rigidez mecánica y dieléctrica.

El núcleo del rotor de los motores asíncronos es básicamente igual al del estator. Cuando se trata de motores de rotor arrollado, el arrollamiento es también substancialmente igual al del estator, con la diferencia de que los tres terminales de salida están conectados a tres anillos conductores, montados en el eje del motor y sobre estos se encuentran escobillas de

carbón fijas a la estructura de la carcasa, permiten la inserción de resistores externos para el arranque o regulación de velocidad.

Cuando se trata de motores de jaula, el arrollamiento del rotor está compuesto de barras de cobre (o mezcla de cobre) insertadas en las ranuras y soldadas en los extremos a anillos de cortocircuito, también de cobre o de una mezcla. En motores de pequeña potencia la jaula suele ser de aluminio fundido.

Según las características de ejecución deseadas, las barras del rotor podrán tener sección circular, rectangular, trapezoidal o tener forma de L. Pueden construirse rotores con dos jaulas independientes, una más cerca de la periferia del rotor (jaula externa o de arranque) y otra montada debajo de la primera (jaula interna o de funcionamiento).

### **Motores síncronos**

Las partes estructurales y el estator de los motores síncronos son substancialmente iguales a las de los motores de inducción. Se puede afirmar incluso que, vistas sin los respectivos rotores, son, generalmente, indistinguibles.

Los rotores de los motores síncronos pueden ser de dos tipos: cilíndricos o de polos salientes. Independientemente de la configuración del rotor, sus arrollamientos siempre se alimentan con corriente continua, esta corriente de excitación puede venir de medios externos al motor o puede estar generada por una segunda máquina (excitatriz), montada en el mismo eje del motor.

### **Motores de corriente continua**

Los polos principales de excitación de éstas máquinas se sitúan en el estator, entre ellos se encuentran los polos del colector. Actualmente se hacen los estatores de las máquinas de corriente continua con chapas finas de acero, aisladas unas de las otras.

El rotor o inducido está hecho con chapas de acero al silicio, aisladas y empaquetadas, en cuyas ranuras se aloja el arrollamiento. Cada elemento del arrollamiento está conectado a una determinada delga del colector montado en el eje de la máquina. El colector está formado por un cierto número de láminas (delgas) de cobre, ajustadas en forma de cilindro y aisladas unas de las otras por aislantes de mica. Sobre el colector se deslizan unas escobillas que están alojadas en portaesobillas. Estas a su vez, se montan sobre barras de sostenimiento, las cuales se fijan a la carcasa con el soporte del portaesobillas.

Tal como ocurre con motores de corriente alterna, los arrollamientos de las máquinas de corriente continua también están impregnados con resinas sintéticas. Sobre el arrollamiento del inducido, generalmente, se envuelven fajas de hilos de fibra de vidrio que hacen el conjunto del rotor más rígido.

Las escobillas, de las cuales depende mucho el buen funcionamiento de los motores de corriente continua, pueden ser de grafito, carbón, electrografito o metalgrafito, y se comprimen sobre el colector con muelles.

Los motores de corriente continua se distinguen de los de corriente alterna por el número de accesorios que pueden utilizar, frenos, dispositivos de ventilación, sensores térmicos,

### *Aspectos constructivos y tipos de motores*

conmutadores limitadores de velocidad, conmutadores de flujo de aire, son algunos ejemplos de los accesorios que se pueden encontrar en motores de corriente continua; entre estos, sobre todo el tacómetro es un instrumento casi indispensable.

#### **Motores con imanes permanentes**

Una variante interesante del motor de corriente continua es aquella en que el campo está creado por imanes permanentes, y no por arrollamientos, este es el caso, por ejemplo, de los motores de avance y de posicionado de máquinas operadoras.

#### **Motores con engranajes reductores**

Como la mayor parte de las máquinas accionadas por motores eléctricos funcionan a velocidades muy inferiores a las normales del motor, se necesita ordinariamente el empleo de alguna forma de reducir la velocidad. Para tal objeto está muy extendido el uso de los engranajes, que pueden ser construidos formando parte de la máquina accionada, o bien la unidad de engranaje reductora puede ser construida formando parte del motor. Algunas veces, el reductor de velocidad constituye una unidad separada. Los motores con engranajes reductores en los cuales el reductor y el motor están constituidos formando una sola unidad, son frecuentemente usados tanto por razones económicas como de ahorro de espacio.

#### **1.- Motores de potencia fraccionaria con engranajes reductores**

Existen dos tipos básicos de motores de potencia con engranajes reductores comúnmente utilizados en las diferentes cuantías de potencia fraccionaria: a) motores con engranajes reductores en ángulo recto, en los cuales el árbol de salida está en ángulo recto con el árbol

del motor; b) motores con engranajes reductores paralelos, los cuales tienen un eje de salida paralelo al árbol del motor, pero por lo regular no en la misma alineación.

a).- Motores con engranajes reductores en ángulo recto: es la forma de construcción más compacta y económica para reducciones de velocidad de 6:1 o superiores. Para relaciones de velocidad entre 5:1 y 70:1. Para relaciones de velocidad comprendidas entre 70:1 y 300:1, es usada una construcción de doble reducción mediante la combinación de una reducción de tornillo sin fin y otra con engranajes reductores paralelos. El tornillo sin fin está tallado sobre el árbol de acero después de cementado y rectificado. El árbol roscado tiene sus dos cojinetes y está accionado por el árbol del motor mediante un acoplamiento ranurado.

El rendimiento mecánico alcanzará hasta 90 % para una reducción de 5:1, pero puede ser solo de 40 % para reducciones desde 70:1 a 300:1. La segunda reducción se emplea en engranajes helicoidales tallados en acero, los cuales son después templados y esmerilados.

La lubricación es muy importante, la caja de engranajes debe ser vaciada y rellena de lubricante fresco recomendado por el fabricante, después de cada 750 horas de funcionamiento.

b).- Motores con engranajes reductores: estas unidades son más eficientes pero menos compactas que las unidades de ángulo recto. Algunas veces se adaptan más fácilmente a las máquinas accionadas por que el árbol de salida está alineado, o por lo menos es paralelo, con el árbol del motor. Pueden ser construidos con una, dos, o tres, reducciones, siendo

### *Aspectos constructivos y tipos de motores*

comúnmente denominadas como de simple paralelo, doble paralelo, o triple paralelo. Por lo general existe una pérdida de alrededor de 3 % en cada una de estas reducciones de forma que los rendimientos son, aproximadamente, de 97 % para los de paralelo simple, de 94 % para los de doble paralelo, de 91 % para los de triple paralelo. Los engranajes pueden ser rectos, helicoidales, o doble helicoidales, los engranajes rectos no se utilizan por lo general, excepto en la reducción de velocidad más baja de una unidad de paralelo triple, debido a que de un modo inherente son más ruidosos a velocidades altas. Los engranajes helicoidales están reemplazando rápidamente a los dobles helicoidales en los motores con engranajes reductores de las potencias más reducidas, por que pueden ser construidos con la mayor exactitud dentro de un costo razonable.

La lubricación es también importante en las unidades paralelas, en la mayoría de los casos, es satisfactorio cualquier aceite de buena graduación para turbina o motor, bajo condiciones normales de funcionamiento, debe efectuarse una renovación del aceite en intervalos de 1,500 horas de funcionamiento. Con motores con sólo engranajes reductores paralelos, las patas de soporte pueden ser una parte del motor dejando la unidad reductora en voladizo, o un parte del alojamiento del engranaje, con el motor en voladizo.

Algunas veces se obtiene un mejor servicio mediante el uso de una unidad separada reductora, con ello se ofrece al usuario un más amplio campo de selección para el motor de accionamiento. Las relaciones de engranajes están comprendidas entre 2,25:1 y 129,7:1, la caja de engranajes tiene su propio pic estando el motor embornado al mismo.

## 2.- Motores con engranajes de potencia subfraccionaria

Pueden existir, tres tipos básicos de tales motores: a) motores con engranajes reductores en ángulo recto, b) motores con engranajes reductores paralelos, c) motores con engranajes reductores planetarios.

a).- Motores con engranajes reductores en ángulo recto: la reducción única puede establecerse para relaciones comprendidas entre 2:1 y 60:1; para un motor de 1725 r.p.m. esto significa que las velocidades de salida pueden ser de 900 a 30 r.p.m. Los engranajes de doble reducción son utilizados para relaciones comprendidas entre 36:1 y 2880:1, dando, para motores a 1725 r.p.m. velocidades de salida de 50 a 0.6 r.p.m. Los motores universales funcionan con velocidades más elevadas.

La mayoría de los reductores mediante tornillos sin fin son irreversibles, es decir que el motor no puede ser arrastrado girando el árbol a baja velocidad, es necesario tener la precaución de no montar directamente sobre el árbol de salida cargas de gran inercia, por que la inercia de la carga durante la parada o en el arranque puede deteriorar los engranajes.

Muchos de estos motores, y particularmente los motores universales de doble reducción, pueden dar un mayor par, pero los engranajes no pueden soportar la mayor demanda de manera continua. Por consecuencia, es necesario tener la precaución de evitar aplicar estos motores al accionamiento de aparatos que puedan acuíñarse, para no dar lugar a que se deterioren los engranajes, para tales aplicaciones, está recomendado disponer un embrague de seguridad o un pasador de seguridad por corte entre el motor y su carga.

### *Aspectos constructivos y tipos de motores*

b).- Motores con engranajes reductores paralelos: los engranajes rectos son de acero cementado; en la primera reducción se utilizan engranajes helicoidales de material fenólico extrafuerte para servicio silencioso. Para el árbol del motor se usan cojinetes de bola lubricados con grasa, para el final del árbol de salida son usados los cojinetes de agujas con el fin de obtener una alta capacidad para carga volada. En el alojamiento de los engranajes están dispuestos dos taponeros roscados para relubricación y mantenimiento de una adecuada lubricación, los motores están normalmente expedidos sin aceite en la caja de engranajes.

c).- Motores con engranajes reductores planetarios: para grandes reducciones de velocidad, especialmente en los motores muy pequeños, son utilizados muchas veces engranajes planetarios. Este motor es válido para relaciones hasta 21,808:1, a veces pueden obtenerse relaciones más altas.

## CAPITULO III

### SELECCIÓN DE MOTORES PARA SU INSTALACIÓN

#### Dimensiones de montaje de los motores

La dimensión básica para la normalización de la dimensión de montaje de máquinas eléctricas, es a la altura del plano de la base al centro de la punta del eje, denominada H (figura 3.1). A cada altura de la punta del eje H se asocia una dimensión C, distancia del centro del agujero de los pies del lado de la punta del eje al plano del apoyo de la punta del eje (posición más cerca de la tapa lateral del motor en que es posible montar un guante o acoplamiento para el eje). A cada dimensión H, sin embargo, se puede asociar varias dimensiones B (dimensión axial de la distancia entre los centros de los agujeros de los pies), de forma que sea posible tener motores más largos o más cortos.

La dimensión A, distancia entre los centros de los agujeros de los pies en el sentido frontal, es única para valores de H hasta 315mm pudiéndose asumir valores múltiples a partir de la carcasa H, igual a 355mm.

La dimensión de las puntas del eje esta normalizada en función del par-motor nominal, en régimen continuo, fluctuando entre 7 y 110 mm de diámetro, que corresponden a 0.25 Nm y 5000 Nm. Para los pares motores superiores a este último valor, o cuando se conocen regímenes o condiciones de operación, especialmente en operaciones de potencia elevada, se debe realizar un dimensionamiento específico del eje.

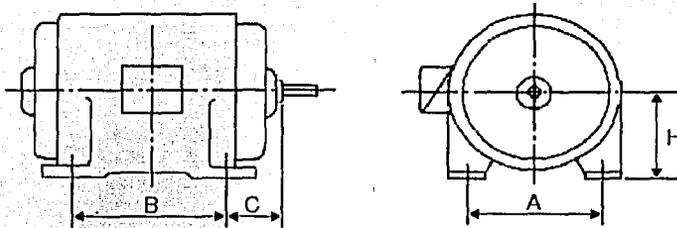


Figura 3.1 (acotaciones para las dimensiones características de los motores eléctricos)

#### Esfuerzos mecánicos que actúan sobre el motor

Uno de los aspectos más relevantes que hay que considerar en la instalación de motores eléctricos es el conjunto de esfuerzos mecánicos a que se someten durante el funcionamiento. La mayor parte de esos esfuerzos depende directamente de la carga o de la propia aplicación, existiendo además los que son inherentes al propio motor.

Este conjunto de esfuerzos constituye la base fundamental o el correcto dimensionamiento mecánico del motor, asegurándose de esta forma el comportamiento satisfactorio de cada uno de los componentes y, por lo tanto, su compatibilidad con el equipo accionado.

Los principales tipos de esfuerzos que actúan sobre un motor son:

1.- Momento torsor: es el propio par existente ofrecido por la carga y como tal, actúa siempre que el motor esté funcionando con la carga. En condiciones de régimen intermitente, su valor debe ser igual o inferior al par nominal del motor, cuando este se

### *Selección de motores para su instalación*

previa para un régimen continuo. En el caso de regímenes intermitentes, el dimensionamiento de los componentes afectados por el momento torsor debe tener en cuenta el máximo par-motor durante el ciclo.

2.- **Peso del elemento de transmisión:** éste esfuerzo actúa directamente sobre la punta del eje del motor, constituyendo un esfuerzo estático transversal (para motores horizontales) o axial (para motores verticales). En el caso de acoplamientos elásticos se considera que sólo la mitad del peso del elemento estará actuando sobre el eje del motor.

3.- **Fuerza radial externa:** actúa siempre transversalmente sobre la punta del eje, siendo una consecuencia directa sobre la propia transmisión. Su posición, valor y sentido dependen del tipo y la configuración de la transmisión, así como de la posición del eje con relación al motor. En el caso de los motores horizontales éste esfuerzo se suma vectorialmente al peso del elemento de transmisión.

4.- **Fuerza (empuje) axial:** ésta fuerza suele ser impartida al eje del motor por algunos tipos específicos de aplicaciones, como bombas hidráulicas verticales, ventiladores axiales, transmisiones por engranajes helicoidales, etc. Para los motores verticales éste esfuerzo se suma algebraicamente al peso del elemento de transmisión.

5.- **Esfuerzos sobre la estructura:** son transferidos al motor a través del eje o de la base generalmente en forma de vibración. Hay equipos navales, equipos vibratorios, accionamientos sujetos a perturbaciones sísmicas, etc. Para estos casos, los motores patrón,

### Selección de motores para su instalación

en general, no son aplicables, debiendo tener su proyecto adecuado para atender las exigencias específicas de la aplicación.

#### Parámetros mecánicos del motor

Resumiendo y simplificando los principales elementos que actúan para que todas las fuerzas sean coplanares, se obtiene la configuración típica mostrada en la figura 3.2, los esfuerzos indicados, excepto las fuerzas de peso, pueden tener sentido opuesto al indicado.

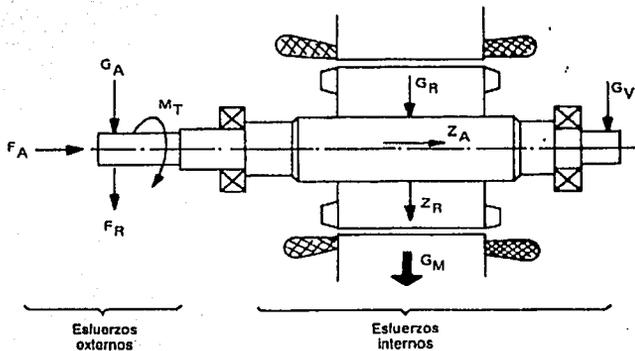


Figura 3.2 (principales esfuerzos que actúan sobre el motor)

Esfuerzos principales actuantes en un motor admitiendo todas las fuerzas coplanares:

$M_T$ : Momento tensor.

$G_A$ : Peso del elemento de transmisión.

### *Selección de motores para su instalación*

$F_R$ : Fuerza radial externa.

$F_A$ : Fuerza axial externa.

$G_R$ : Propio peso del motor con eje.

$Z_R$ : Fuerza radial de atracción magnética.

$Z_A$ : Fuerza axial de atracción magnética.

$G_V$ : Peso del elemento externo en el lado opuesto del accionamiento (ventilador)

$G_M$ : Peso total del motor.

La comprobación de todas las componentes solicitadas y el cálculo del motor sometido a los esfuerzos indicados es inherente al fabricante del motor, a partir de los datos suministrados por el usuario.

#### **Tensiones en el eje**

Se puede considerar el eje del motor como una viga apoyada en los cojinetes y cargada con todos los esfuerzos actuantes. Como responsable de la transmisión de potencia, el eje es un componente que suele necesitar la mayor fiabilidad y seguridad en el proyecto mecánico y en la aplicación del motor.

Los esfuerzos actuantes generan tensiones normales y de cizalladura en todas las secciones del eje. La tensión máxima, resultante de los esfuerzos combinados de flexión compuesta y cizalladura no debe exceder el límite de fatiga del acero utilizado. En general, para los aceros de carbono, empleados para los ejes en aplicaciones comunes, se admiten hasta cerca de  $60 \text{ N/mm}^2$ .

### *Selección de motores para su instalación*

Debido a la propia geometría del eje, con raras excepciones, la tensión máxima ocurre en las secciones más próximas al cojinete, en el lado del accionamiento (motores con una sola punta del eje).

La experiencia muestra que los casos de ruptura del eje por fatiga precoz suelen originarse normalmente por una fuerza radial  $F_R$  excesiva, generada muchas veces por una transmisión inadecuada.

#### **Deflexiones en el eje**

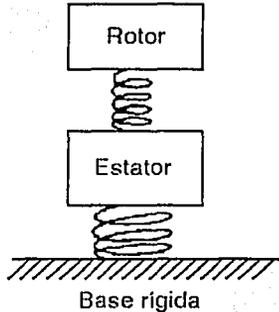
La máxima deflexión del eje ocurrirá en un punto intermedio entre los cojinetes y en la condición en la que la fuerza radial externa tiene sentido contrario a las fuerzas radiales internas.

La deflexión del eje, aunque de pequeño valor, puede representar una fracción significativa del entrehierro del motor en casos extremos, pudiendo incluso provocar el contacto mecánico directo entre el rotor y el estator. Este fenómeno, detectable inicialmente por un ruido fuerte y desagradable, provoca un sobrecalentamiento en las partes activas del motor, pudiendo causar su quemado.

Por otro lado, la fuerza radial magnética  $Z_R$  crece con el valor de la deflexión, contribuyendo a aumentar la propia deflexión, y así sucesivamente. Para que el sistema sea convergente en condiciones de seguridad, se debe limitar la fuerza radial externa para no provocar deflexiones superiores al 10% en el entrehierro.

### **Velocidades angulares críticas**

La velocidad angular crítica de un motor es la que coincide con su frecuencia natural de vibración.



*Figura 3.3 (el motor, asociado a un conjunto de elementos elásticos)*

Se puede considerar el conjunto del estator, compuesto de la cubierta, el núcleo de chapas magnéticas y el arrollamiento, como prácticamente rígido, cuando se compara con el conjunto del rotor.

La frecuencia natural del rotor depende básicamente de la elasticidad del eje y de las masas giratorias sobre él. Las frecuencias críticas de segundo orden y superiores existen siempre que el rotor esté compuesto de una masa, lo que es la condición común.

Cuando la velocidad de un motor, expresada en Hz, coincide con una de sus frecuencias críticas, la ocurrencia de resonancia es inevitable.

## *Selección de motores para su instalación*

La resonancia se manifiesta a través de un ruido característico acompañado de una vibración excesiva. Para evitar la resonancia, la primera velocidad angular crítica, del sistema se proyecta para situarse cerca del 30% por encima de la velocidad angular de operación.

Es importante observar que las velocidades críticas se determinan teniendo en cuenta una masa común para el elemento que será montado en la punta del eje (acoplamiento, polea, etc.). Elementos pesados, como volantes de alta inercia o ventiladores, montados directamente en el eje, pueden reducir significativamente las velocidades críticas previamente determinadas en el proyecto.

### **Consideraciones relativas a los apoyos**

Es de fundamental importancia que, por lo menos, uno de los apoyos sea axialmente libre. El eventual bloqueo axial en ambos cojinetes provocaría en estos una sobrecarga axial excesiva seguida de un sobrecalentamiento que, a su vez, puede producir el frenado del rotor por deformación de los cojinetes y, en casos limite el quemado del motor.

Al procederse al montaje de los cojinetes durante el mantenimiento o la instalación, es de fundamental importancia observar que no se hagan cambios de piezas entre los cojinetes (tapas, anillos, discos, etc.), que corresponden a otro motor. Aunque después del montaje el eje este libre para el movimiento manual, puede ocurrir que cuando esté funcionando con el motor caliente, el rotor se frene.

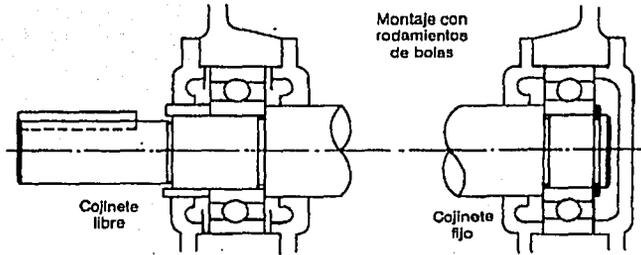


Figura 3.4 (montaje con cojinetes de rodamientos de una carrera de bolas o esferas, para motores pequeños; obsérvese la diferencia constructiva entre el cojinete libre y el fijo)

En el caso del montaje con rodamientos de rodillos cilíndricos no existirá frenado axial debido a la posibilidad de desplazamiento inherente a la propia construcción de ese tipo de rodamiento.

Otra forma de frenado puede ocurrir en el sentido radial por la total eliminación de los huelgos internos y consiguiente expulsión de la película lubricante entre las superficies de contacto. El huelgo radial constructivo del rodamiento tiene la función de compensar las deformaciones del montaje y las dilataciones radiales relativas entre el eje y el cubo. En los casos de reposición de un rodamiento es importante atender las características en cuanto a dimensiones del rodamiento original especificado por el fabricante del motor.

La configuración común de todos los esfuerzos, con excepciones raras es causa de fuerza radial, en el cojinete del lado del accionamiento. Por este motivo se suele mantener fijo el

### *Selección de motores para su instalación*

cojinete del lado opuesto de accionamiento, para que este, menos cargado radialmente, absorba la carga axial en su totalidad. Así se promueve una especie de equilibrio entre las vidas útiles de ambos cojinetes. Por el mismo motivo, para los motores no sujetos a esfuerzos axiales significativos, es normal tener el cojinete del lado del accionamiento de tamaño mayor luego de mayor capacidad de carga que el lado opuesto.

Con respecto a las deformaciones angulares, provocadas por las deflexiones comunes en los ejes de los motores, pueden considerarse los cojinetes de rodamientos como apoyos libremente articulados. En casos extremos especiales se utilizan rodamientos autocompensadores de esferas o rodillos. En general, los cojinetes radiales de deslizamiento ya tienen un sistema de autocompensación.

#### **Esfuerzos sobre la base**

Los motores de construcción horizontal, cuando están funcionando imparten a la base una serie de esfuerzos a través de los pies de fijación, véase figura 3.5. Tales esfuerzos representan, realmente las reacciones de los esfuerzos externos, aumentados con el propio peso del motor, sobre la base de fijación.

Las reacciones tangenciales son generadas exclusivamente por los esfuerzos externos paralelos al plano de la base. Las reacciones normales (tracción o compresión) son consecuencias del momento torsor, de los demás esfuerzos externos y del peso del motor.

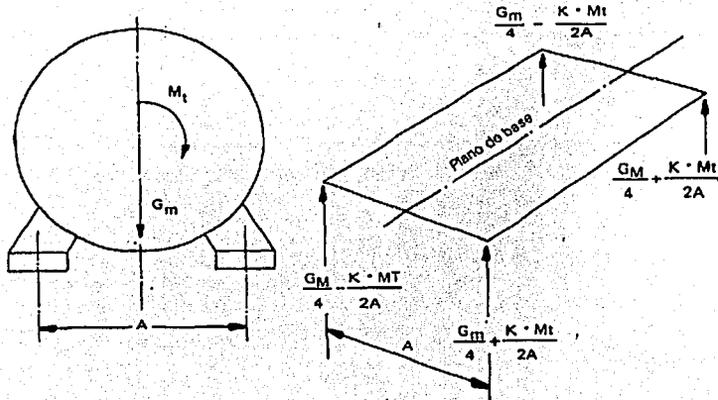


Figura 3.5 (esfuerzos transmitidos hacia la base que soporta al motor)

Nótese que el coeficiente "K" está asociado al tipo de motor, representando la relación entre el mayor par-motor instantáneo en el arranque y el nominal, típicamente "K" varía de 9 a 12. Los valores de los esfuerzos que resulten negativos representarían esfuerzos de tracción, tendiendo a arrancar el motor de la base, y la colocación de los esfuerzos de tracción y compresión dependerá del sentido de rotación del motor.

### Transmisiones

Para todos los tipos de transmisiones no directas las más económicas resultan las más desfavorables al motor. En las ocasiones de que una transmisión no directa sea incompatible con el motor, se le puede emplear en un eje independiente entre los dos cojinetes, estando este acoplado al motor a través de una transmisión directa.

## *Selección de motores para su instalación*

Las transmisiones por correas generan cargas radiales mayores que las transmisiones por ruedas dentadas o engranajes, en la condición de régimen continuo. Sin embargo, durante el arranque, debido al deslizamiento o patinaje, las correas filtran los altos esfuerzos de los pares motores desarrollados, así este sistema se constituye en un dispositivo excelente de seguridad para el eje motor. En las transmisiones sin deslizamientos los esfuerzos generados en el arranque se transfieren integralmente al eje motor.

El elemento de una transmisión directa montado sobre la punta del eje del motor debe situarse lo más cerca posible a la tapa delantera del motor. Con esto se favorece el propio eje en términos de solicitaciones y deflexiones, y también la duración de los cojinetes.

En el caso de las transmisiones por correas es de suma importancia que la anchura de la polea, esté correctamente dimensionada. Una anchura excesiva alejará el motor del punto de aplicación de la carga radial, aumentando innecesariamente los momentos deflectores sobre el eje.

Por otro lado, una anchura subdimensional es sencillamente insuficiente para transmitir la potencia necesaria, causando como consecuencia un patinaje exagerado. Muchas veces, para solucionar esa situación, el instalador o encargado del mantenimiento aumenta el tensado de las correas, reduciendo o incluso eliminando el patinaje. Este procedimiento puede, sin embargo, comprometer el motor debido a un aumento sensible en la fuerza radial actuante sobre el eje, además de reducir la vida útil de las correas.

### Transmisiones por correas y poleas

La siguiente figura muestra un accionamiento típico por poleas y correas y un diagrama de las fuerzas creadas así.

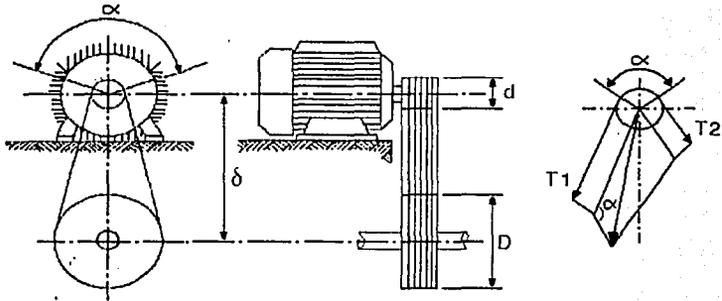


Figura 3.6 (transmisión por correas y poleas)

Para operación con carga se puede calcular la fuerza radial externa  $F_R$  por la resultante vectorial entre las fuerzas de tracción actuantes en las correas en los lados tenso y flojo, así:

$$F_R = T_1 + T_2 \dots\dots\dots ( 3.1 )$$

El tensado de las correas se obtiene desplazando el propio motor sobre ralles o por dispositivos tensores. El valor de la fuerza del estirado debe ser tal que no permita el deslizamiento continuo de las correas sobre la polea motriz en condiciones nominales de funcionamiento, aun cuando ocurra un patinaje durante el arranque.

### *Selección de motores para su instalación*

Se debe tener en cuenta que, ocurriendo el patinaje, el par motor transmitido a la carga estará limitado por tal deslizamiento, permitiendo el funcionamiento de la correa como un embrague.

Dada la proporcionalidad directa entre  $F_R$  y  $T_T$ , se puede concluir que la fuerza transmitida al eje será tanto mayor cuando menor sea el diámetro de la polea motriz. Esto implica que las poleas motrices muy pequeñas generen altas fuerzas radiales, lo que se debe evitar.

La fuerza  $F_R$  resultante de la utilización de una correa plana es aproximadamente 2.5 veces mayor que la que se obtiene con la utilización de correas trapezoidales, considerándose un mismo diámetro de polea motriz. Esto se debe a la diferencia entre los correspondientes coeficientes de fricción. Por consiguiente, para un determinado valor límite impuesto a  $F_R$ , en el diámetro de una polea para una correa plana resulta cerca de 2.5 veces mayor el diámetro de la polea con ranuras o trapezoidal.

Por otro lado el valor máximo de este diámetro está limitado por la máxima velocidad periférica admitida por la correa. Para correas trapezoidales la velocidad máxima permitida es alrededor de 30 metros por segundo, mientras que para las correas planas, dependiendo del tipo y perfil es posible lograr hasta 60 metros por segundo.

Frecuentemente esta limitación hace inviable la transmisión de este tipo para motores de alta velocidad por ejemplo; motores de inducción de 2 polos, 60 Hz, pues serían necesarias poleas de un diámetro muy reducido, lo que generaría esfuerzos inadmisibles para el motor.

### *Selección de motores para su instalación*

El análisis de una transmisión por poleas y correas exige el conocimiento de los siguientes datos:

- 1.- Identificación del motor.
- 2.- Procedencia, tipo, perfil y cantidad de correas.
- 3.- Diámetro primitivo de la polea motriz.
- 4.- Diámetro primitivo de la polea movida o relación de transmisión.
- 5.- Anchura de las poleas y su posición longitudinal sobre la punta del eje.
- 6.- Distancia entre los centros de las poleas.
- 7.- Posición del eje movido con relación al eje motor (para motores horizontales).
- 8.- Peso de la polea motriz.

#### **Transmisiones por ruedas dentadas y cadena**

La aplicación directa de las transmisiones por cadena en los motores es bastante restringida pues, a pesar de su alta capacidad de carga, la cadena solo puede trabajar en velocidades bastante limitadas.

Se puede considerar que el lado flojo de la cadena trabaja prácticamente sin tensión. Esta situación esta esquematizada en la figura 3.7.

La fuerza total efectivamente aplicada sobre el eje de motores horizontales también será en este caso la suma vectorial de  $F_R$  y  $G_A$  (peso del piñón).

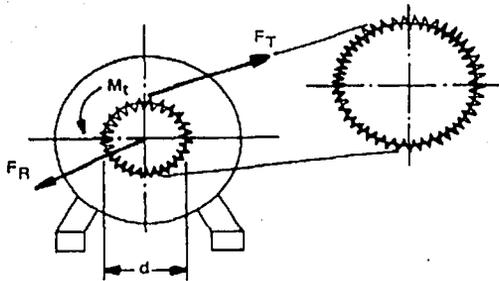


Figura 3.7 (transmisión por ruedas dentadas y cadena)

Para un análisis de una transmisión por cadena son necesarios los siguientes datos:

- 1.- Identificación del motor.
- 2.- Diámetro primitivo del piñón.
- 3.- Diámetro primitivo de la corona o relación de transmisión.
- 4.- Posición longitudinal del piñón sobre el eje.
- 5.- Posición del eje movido con relación al motor.
- 6.- Peso del piñón.

#### Transmisiones por engranajes

La carga radial transferida al eje motor se obtiene directamente por la fuerza ejercida por el contacto entre dientes de los engranajes. No obstante, las transmisiones por engranajes helicoidales, o cónicos, o del tipo sin fin, generan también elevadas fuerzas axiales descargadas directamente sobre el eje del motor.

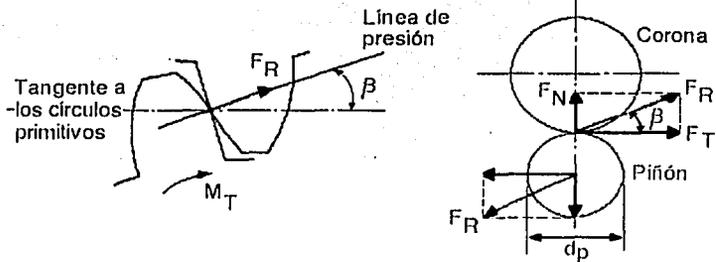


Figura 3.8 (configuración de un par de engranajes cilíndricos de dientes rectos siendo  $\beta$  el ángulo de presión)

En las transmisiones por engranajes se necesitan los siguientes datos para su análisis:

- 1.- Identificación del motor.
- 2.- Tipo de engranaje.
- 3.- Diámetro primitivo del piñón.
- 4.- Características del perfil utilizado para los dientes.
- 5.- Posición longitudinal del piñón sobre el eje.
- 6.- Posición del eje conducido con relación al motor.
- 7.- Peso del piñón

#### Instalación de motores

Los motores con pies de pequeñas prestaciones, suelen fijarse con rieles puestos en una posición ortogonal al eje. Este sistema permite el desplazamiento transversal del motor, ya sea para posibilitar la alineación con la máquina activada o bien para el tensado de correas.

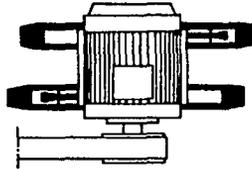


Figura 3.9 (fijación vertical de un motor eléctrico)

Los motores de mayores prestaciones suelen fijarse a su vez en sobrecargas metálicas o directamente en el piso, a través de anclajes cimentados después de su colocación, los esfuerzos actuantes bajo los pies dependen del propio motor, aumentado con las cargas externas aplicadas. El fabricante del motor puede recomendar el tipo y las dimensiones de los anclajes. La siguiente figura muestra un claro ejemplo de estos:

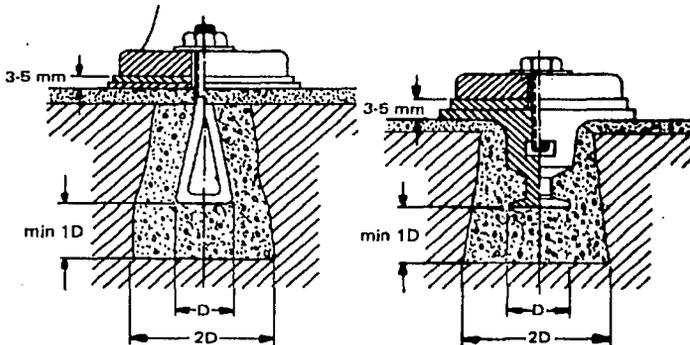


Figura 3.10 (dimensiones de los anclajes más utilizados en la fijación de motores al piso)

### Alineación

Una alineación deficiente puede causar excesos de carga en el eje, deformaciones incompatibles y una brusca reducción de la vida de los cojinetes. Para los motores acoplados coaxialmente con la máquina accionada, se obtiene la alineación a través de su propio acoplamiento, las dos mitades del acoplamiento deberán estar centradas y alineadas entre sí.

La manera más correcta de comprobar la alineación es a través de dos relojes comparadores, colocados de manera que detecten simultáneamente los desvíos de concentricidad y de perpendicularidad entre las dos mitades del acoplamiento. Las correcciones necesarias deben obtenerse a través de la colocación adecuada entre las máquinas, utilizando, si es necesario, algunos calzos debajo de los pies del motor.

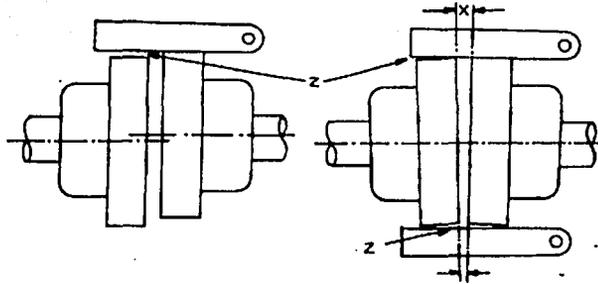


Figura 3.11 (vista lateral de un acoplamiento coaxial, donde los valores de Z deberán ser iguales en los dos lados, lo mismo que para X)

### *Selección de motores para su instalación*

Se recomienda principalmente para los motores grandes, que se monten después de la alineación, por lo menos, dos pasadores cónicos en pies diagonalmente opuestos para asegurar la colocación correcta del motor después de un eventual y futuro desmontaje del conjunto.

En el caso de acoplamientos no coaxiales, como en el caso de las transmisiones por correas y poleas o engranajes, la alineación es igualmente importante. Eventuales desvíos entre poleas o entre piñón y corona, introducen cargas mecánicas en el eje del motor, reducen la eficacia y la vida útil de la transmisión y, en general, aumentan el ruido en la operación.

#### **Datos necesarios para hacer el pedido de un motor trifásico de corriente alterna**

1. - Forma constructiva.
2. - Tipo de protección.
3. - Potencia en KW.
4. - Tensión de servicio en volts.
5. - Frecuencia en Hz.
6. - Número de revoluciones (r.p.m.).
7. - Tipo de arranque.
8. - Tipo de servicio.
9. - Tipo de máquina a accionar (momento de inercia referido al eje del motor).
- 10.- Tipo de acoplamiento mecánico (condiciones especiales de carga para los rodamientos).
11. - Ejecución y posición de la caja de bornes. Tipo y diámetro de los cables de conexión.

*Selección de motores para su instalación*

12. - Ejecución con segundo extremo de cje.

13. - Protección anticxplosiva (Ex).

14.- Temperatura ambiente en el lugar del emplazamiento, ambientes especiales de humedad, corrosión, altitud sobre el nivel del mar.

MOTOR LOCALIZADO EN	
Fábricas y oficinas limpias, almacenes, caseta de elevadores, cuartos aislados para motores, plantas generadoras y toda clase de aplicaciones donde la atmósfera sea limpia y seca.	Estándar a prueba de goteo
En interiores o exteriores protegidos, pero con alta humedad ambiental.	A prueba de goteo con APH
En interiores o exteriores con alta humedad y vapores o salpicaduras químicas.	Motor TCCV tipo químico
En interiores con polvo metálico (máquinas, herramienta para trabajo pesado, industria automotriz, etc.	Motor TCCV
En interiores o exteriores con polvo abrasivo.	Motor TCCV
En interiores o exteriores con polvo abrasivo y gases químicos.	Motor TCCV tipo químico
Polvos secos no explosivos, humo negro, etc.	Motor TCCV
Aplicaciones polvosas y humedad con materiales como polvos y pulga que puedan 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

Tabla 4.1 (selección del motor de acuerdo al medio ambiente de operación)

## *Selección de motores para su instalación*

### **Datos necesarios para hacer el pedido de un motor de corriente continua**

1. - Potencia.
2. - Velocidad nominal.
3. - Tensión inducida.
4. - Tensión de excitación.
5. - Forma constructiva.
6. - Protección.
7. - Servicio.
8. - Refrigeración.
9. - Intensidad nominal.
10. - Par nominal.
11. - Rendimiento.
12. - Potencia de excitación.
13. - Caja de bornes.
14. - Termistor.
15. - Dinamotacometrica.
16. - Momento de inercia.
17. - Peso total del motor.
18. - Máquina accionada por el motor.
19. - Forma de acoplamiento directo o por transmisión (correas-cadena).
20. - Transmisión de la fuerza, axial o radial.
21. - Ambiente en que debe trabajar el motor.
22. - Servicio.
23. - Par en velocidad mínima, par en velocidad base y par en velocidad máxima.

*Selección de motores para su instalación*

- 24. - Carga mecánica en % de la nominal.
- 25. - Sentido de giro.
- 26. - Temperatura de ambiente.
- 27. - Altitud sobre el nivel del mar.

## CAPITULO IV

### ASPECTOS DE MANTENIMIENTO DE MOTORES

#### Clasificaciones del mantenimiento

Según su forma de ejecución y sus características particulares se pueden encontrar diferentes formas de aplicación del mantenimiento; podemos por tanto, efectuar diferentes tipos de clasificaciones atendiendo a distintos criterios:

#### 1. - Según las características de la actividad

- a).- Mantenimiento directo: realizado físicamente sobre el sistema afectado.
- b).- Mantenimiento indirecto: actividades tales como fabricación de repuestos, preparación de herramientas, etc.

#### 2. - Según el propósito

- a).- Mantenimiento correctivo: actividades encaminadas a devolver el sistema a su estado normal cuando la avería ya se ha producido.
- b).- Mantenimiento preventivo: actividades destinadas a impedir el estado de avería.

#### 3. - Según el método empleado

- a).- Mantenimiento planificado: con programación de actividades.
- b).- Mantenimiento sin planificación: en función de las contingencias ocurridas.
- c).- Mantenimiento según estado: control de la fiabilidad y estado del sistema bajo mantenimiento.

### **Principios básicos del mantenimiento correctivo**

El mantenimiento correctivo es el modelo de mantenimiento más común en la pequeña y mediana empresa y aunque es el que tradicionalmente se ha venido empleando, impera desde hace algún tiempo la introducción de programas de mantenimiento preventivo cuyos resultados a largo plazo son mucho más eficaces. El mantenimiento correctivo se basa en la intervención en el caso de avería, manifestada como el colapso de un equipo o instalación, es decir, la interrupción súbita de la producción.

#### **1. - Variedades del mantenimiento correctivo**

a).- Mantenimiento correctivo con la eliminación de la avería: en este caso el mantenimiento consiste en la reparación de emergencia, efectuando la sustitución de los elementos averiados. Normalmente se realiza bajo fuertes presiones tratando de evitar caídas en la producción.

b).- Mantenimiento correctivo con eliminación de causas: este tipo de mantenimiento no sólo consiste en la sustitución de los elementos defectuosos si no en la eliminación de la causa que origino la avería, por este motivo proporciona soluciones más duraderas así como un incremento de la disponibilidad y fiabilidad a largo plazo, obviamente, la participación de técnicos en este caso es más necesaria y el tiempo de intervención se incrementa, por este motivo suele realizarse en las paradas programadas.

#### **2. - Ventajas del mantenimiento correctivo**

a).- Máximo aprovechamiento de la reserva de uso de los equipos: se conoce como tal a su tiempo de vida útil remanente.

### *Aspectos de mantenimiento de motores*

b).- No se requiere una elevada capacidad de análisis ni infraestructura técnica o administrativa.

#### 3. - Inconvenientes del mantenimiento correctivo

a).- Interrupciones impredecibles de la producción que pueden provocar daños y averías en cadena de proporciones desconocidas.

b).- Reducción de la vida útil de equipos e instalaciones. Baja seguridad en la producción.

c).- Necesidad de un stock de repuestos de dimensiones considerables.

d).- Riesgo de fallo de elementos de difícil adquisición con el consecuente tiempo de espera.

e).- Baja calidad del mantenimiento como consecuencia del poco tiempo disponible para realizar las reparaciones.

#### 4. - Posibles aplicaciones del mantenimiento correctivo

Por todo lo dicho no es difícil deducir que el mantenimiento correctivo es de aplicación en aquellos casos en los que el costo total de las paradas causadas por actividades correctivas sea menor que el costo total por acciones preventivas. Esta situación sólo se da en el caso de pequeñas empresas y en general, en sistemas industriales secundarios, cuya eventual parada no afecta sustancialmente a la producción.

#### **Principios básicos del mantenimiento preventivo**

Esta forma de mantenimiento surge debido a la necesidad de remediar los inconvenientes del mantenimiento correctivo. A diferencia del anterior, la sustitución de las piezas o partes del sistema que pudieran causar averías se realiza con una cierta periodicidad, determinada

### *Aspectos de mantenimiento de motores*

mediante criterios estadísticos. Así la sustitución de un determinado elemento puede realizarse después de un cierto tiempo preprogramado, o al producirse una avería, si esta ocurre antes.

Debido a que toda avería tiene carácter impredecible, es bastante improbable que las labores de mantenimiento preventivo realicen la sustitución de los elementos justo antes de que esta se produzca, causando de este modo un evidente desaprovechamiento de la reserva de uso de los equipos. En cualquier caso es evidente que, para la planificación de actividades de mantenimiento preventivo, es necesario una correcta aplicación de criterios estadísticos para determinar los tiempos óptimos de intervención, ya que si estos no son los adecuados, podrían generarse importantes pérdidas. El mantenimiento preventivo habitualmente comprende una serie de actividades características:

- a).- Limpieza y revisiones periódicas.
- b).- Conservación de equipos y protección contra los agentes ambientales.
- c).- Control de la lubricación.
- d).- Reparación y recambio de los puntos del sistema identificados como puntos débiles.
- e).- Reparación y recambio planificados.

#### 1. - Ventajas del mantenimiento preventivo.

La principal ventaja del mantenimiento preventivo frente a las técnicas estrictamente correctivas estriba en una importante reducción de las paradas eventuales, obtenida al introducir una cierta periodicidad en la observación y reparación del sistema.

### 1. - Inconvenientes del mantenimiento predictivo

Como inconvenientes del mantenimiento predictivo podemos citar aquellos que son consecuencia directa de su forma de aplicación:

- a).- Limitaciones a la hora de elegir la instrumentación de medida y diagnóstico, derivadas de la necesidad de no apartar a la máquina de su funcionamiento normal durante el proceso de análisis. Este tipo de técnicas de medida realizadas sobre equipos de funcionamiento se suelen denominar técnicas no invasivas.
- b).- Mayores inversiones iniciales ya que la amortización de un sistema de mantenimiento predictivo resulta inicialmente costosa debido a la incorporación de los equipos de medidas y recolección de datos.
- c).- Necesidad de un nivel de formación muy elevado para los técnicos de mantenimiento, pues deben estar familiarizados con el manejo de equipos de alto nivel tecnológico y conocer en profundidad tanto el funcionamiento de los motores tanto las disciplinas relacionadas con ellos.

### 2. - Ventajas del mantenimiento predictivo

- a).- Determinación óptima del tiempo para realizar el mantenimiento preventivo, aprovechando al máximo de la reserva de uso de piezas y equipos, mejor gestión del "stock" de repuestos, y reducción al mínimo de las emergencias correctivas.
- b).- Ejecución sin interrumpir o alterar el normal funcionamiento de instalaciones y equipos.
- c).- Mejora del conocimiento sobre el funcionamiento y estructura del sistema.

**FALTA  
PAGINA**

**86** |

### 1. - Inconvenientes del mantenimiento predictivo

Como inconvenientes del mantenimiento predictivo podemos citar aquellos que son consecuencia directa de su forma de aplicación:

a).- Limitaciones a la hora de elegir la instrumentación de medida y diagnóstico, derivadas de la necesidad de no apartar a la máquina de su funcionamiento normal durante el proceso de análisis. Este tipo de técnicas de medida realizadas sobre equipos de funcionamiento se suelen denominar técnicas no invasivas.

b).- Mayores inversiones iniciales ya que la amortización de un sistema de mantenimiento predictivo resulta inicialmente costosa debido a la incorporación de los equipos de medidas y recolección de datos.

c).- Necesidad de un nivel de formación muy elevado para los técnicos de mantenimiento, pues deben estar familiarizados con el manejo de equipos de alto nivel tecnológico y conocer en profundidad tanto el funcionamiento de los motores tanto las disciplinas relacionadas con ellos.

### 2. - Ventajas del mantenimiento predictivo

a).- Determinación óptima del tiempo para realizar el mantenimiento preventivo, aprovechando al máximo de la reserva de uso de piezas y equipos, mejor gestión del "stock" de repuestos, y reducción al mínimo de las emergencias correctivas.

b).- Ejecución sin interrumpir o alterar el normal funcionamiento de instalaciones y equipos.

c).- Mejora del conocimiento sobre el funcionamiento y estructura del sistema.

- d).- Mejora de las condiciones de higiene y seguridad en la planta.
- e).- Mejora del control de fiabilidad de los elementos y consecución de información suplementaria para los fabricantes.

### 3. - Limitaciones en la aplicación del mantenimiento predictivo.

El mantenimiento predictivo presenta mejores resultados frente a las otras formas de mantenimiento conocidas, salvo en algunos casos particulares:

- a).- No se aplica en aquellos sistemas en los que existen reglamentos o normas que estipulan el tiempo máximo de horas del funcionamiento de las instalaciones o motores; en este caso se aplica el funcionamiento preventivo programado según dichos intervalos.
- b).- Tampoco se aplica en aquellos sistemas en los que la detección de la avería es costosa y poco fiable, en aquellos en los que la reposición se puede realizar a bajo costo y de forma inmediata.

### 4. - Parámetros y técnicas del mantenimiento predictivo

Los parámetros de control del funcionamiento del motor, dependerán fundamentalmente del equipo de producción y de su función. La extensión e intensidad de la aplicación del mantenimiento predictivo o mantenimiento por condición, en cuanto a la periodicidad de la medida, está supeditada a criterios de responsabilidad económica, dependiendo de los costos de reparación y producción. Las características propias del proceso industrial y, en particular, las de los motores en el utilizados, determinaran la forma de aplicación del mantenimiento predictivo y su capacidad para la detección precoz de averías. Los equipos a

### *Aspectos de mantenimiento de motores*

los que actualmente se les pueden aplicar distintas técnicas de control de estado con probada eficacia son básicamente los siguientes:

- a).- Máquinas rotativas
- b).- Motores eléctricos.
- c).- Equipos estáticos.
- d).- Aparata eléctrica.
- e).- Instrumentación.

#### 5. - Mantenimiento predictivo de motores

Así como el tipo de técnica y los métodos necesarios para el seguimiento y la evaluación del estado de los motores son muy amplios, ya que, por su enorme extensión en la industria, a estos equipos se les han aplicado protocolos de mantenimiento predictivo desde hace bastantes años.

Aunque en un principio la única técnica de diagnóstico utilizada era el análisis de vibraciones, en la actualidad existen tanto instrumentos electrónicos como, métodos de análisis de aplicación específica para la detección de fallos en sus elementos más característicos. Así se pueden encontrar equipos, aptos para el análisis físico-químico de lubricantes, mediciones del par, la velocidad, la temperatura, el ruido, el estudio del grado de deterioro de los cojinetes, los niveles de desalineación o desequilibrio de las partes móviles, en definitiva la observación y seguimiento de casi todas las variables del motor que sufren alguna alteración con la existencia de averías.

*Aspectos de mantenimiento de motores*

PARAMETRO INDICADOR	TÉCNICAS Y SISTEMAS
De equilibrado de fases.	Medidas de tensión e intensidad.
De consumos anómalos.	Medidas de intensidad, potencia.
De anomalías en las corrientes de alimentación, de estado de los devanados rotórico y estatórico, excentricidad, desequilibrio, estado mecánico.	Técnicas de medida y análisis de componentes de frecuencia, en los espectros de corrientes y vibración.
De severidad en el servicio.	Recuento de arranques y maniobras.
De temperatura en los devanados (cabezas de bobinas, ranuras, etc.).	Seguimiento de la temperatura, termografía.
De resistencia eléctrica del aislamiento.	Medidas de resistencia, índices de polarización.
De presencia de fallos de aislamiento.	Medida de factor de pérdidas dieléctricas, análisis de descargas parciales.
De contaminación de los devanados.	Corrientes de absorción y fuga.
Del estado de las escobillas.	Termografía, análisis estroboscópico.

Tabla 4.1 (*parámetros que se pueden utilizar en forma resumida para la motorización de una máquina y las técnicas a emplear en cada caso*)

### **Evolución del mantenimiento preventivo al predictivo**

Durante los años cincuenta, aunque la informática no había alcanzado el nivel de desarrollo actual, las técnicas que sí habían avanzado eran todas aquellas relacionadas con la estadística y la organización de la producción. En este ámbito, las recomendaciones de los fabricantes de equipos industriales sobre los tiempos óptimos de intervención para el mantenimiento preventivo se basaban en muestreos estadísticos realizados sobre sus productos. Es decir, se especificaba por el fabricante el tiempo que debía transcurrir, medido en horas de trabajo, para garantizar el funcionamiento óptimo del sistema. Así se consideraba que un sistema nuevo presentaba la mínima intensidad de averías, y que debido al uso, y al desgaste que este producía, la probabilidad de avería aumentaba.

Por lo tanto, mediante estudios estadísticos se determinaba el momento más oportuno para interrumpir el funcionamiento del equipo y realizar las labores del mantenimiento, se pensaba que los sistemas una vez revisados tenían una probabilidad de avería acumulada idéntica a la de los sistemas nuevos por lo cual se consideraba que una vez realizado el mantenimiento se reiniciaba el ciclo de vida de los equipos. Esta forma de entender la evolución de la vida de las máquinas supone que los componentes de un sistema funcionan correctamente durante un cierto tiempo, para deteriorarse después de una forma más rápida. La probabilidad de que se produzcan averías seguirá, por tanto, una distribución similar se presenta en la figura 4.1.

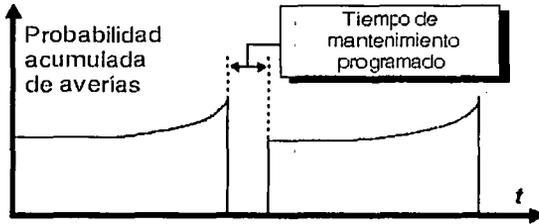


Figura 4.1 (esta figura nos relaciona a los tipos de mantenimiento preventivo y predictivo)

El razonamiento expresado en esta figura, es cierto sólo en el caso de ciertas máquinas sencillas, y en algunos sistemas más complejos pero con fallos muy característicos, de hecho, este modelo de fallo es típico de los equipos que entran en el contacto directo con el producto. Sin embargo, durante los últimos 30 años se ha demostrado que en el caso de sistemas más complejos, la conclusión anterior no es válida, desarrollándose nuevos modelos para múltiples equipos eléctricos y mecánicos.

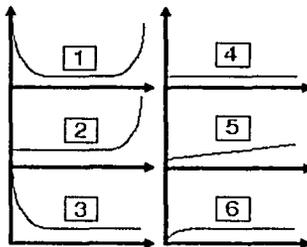


Figura 4.2 (diferentes modelos de probabilidad de avería en función del tiempo)

### *Aspectos de mantenimiento de motores*

El modelo 1 se conoce como la curva de la bañera; en él existen tres zonas: en la primera la intensidad de averías es más elevada debido a la reciente instalación del equipo y su consecuente falta de inmunidad al medio ambiente, fallos de calidad, problemas de ajuste y asentamiento de sus componentes.

La segunda zona es la de mayor duración y habitualmente se conoce como vida útil, durante ella se puede considerar que la intensidad de averías es prácticamente constante, produciéndose los fallos de forma accidental. Teniendo en cuenta estos hechos es fácil deducir que cualquier intervención preventiva, que interrumpa el normal funcionamiento de la máquina o cualquier instalación realizada durante este periodo, no causará sino un incremento en la intensidad de averías.

La tercera zona representa la fase de mayor actividad de mantenimiento ya que el desgaste gradual producido por el uso incrementa considerablemente la probabilidad de que se produzcan averías.

El modelo 2 presenta una primera etapa donde la probabilidad de fallo es prácticamente constante, finalizando con un periodo de desgaste durante el cual el número de averías se incrementa. El modelo 3 empieza con una tasa de fallos elevada que desciende hasta alcanzar un valor mínimo en poco tiempo, volviendo a crecer a continuación de una forma muy lenta. El modelo 4 presenta una probabilidad de fallo constante a cualquier edad, en este tipo de equipo la avería no se produce como consecuencia del desgaste sino que tiene lugar por causas aleatorias. El modelo 5 presenta una probabilidad de fallo ligeramente creciente pero en el no existe una edad de desgaste definitiva. Finalmente en el modelo 6 la

probabilidad de avería con el equipo recién instalado es muy baja, para crecer hasta un valor prácticamente constante con el uso.

Según estudios hechos en la aviación civil, demostraron que el 4 % de las piezas esta de acuerdo con el modelo 1, el 2 % con el 2, el 68 % con el 3, el 14 % con el 4, el 5 % con el 5, y el 7 % con el 6. Estos resultados contradicen la creencia de que existe una fiabilidad y la edad operacional, creencia, que, por otro lado, lleva a la conclusión errónea de que cuando mayor es el número de intervenciones de mantenimiento realizada sobre una pieza menor es su probabilidad de fallo.

#### **Opciones para implantación del mantenimiento predictivo.**

Un sistema de mantenimiento predictivo puede desarrollarse bajo distintos planteamientos en función de los medios disponibles. Está demostrado que la eficacia del sistema está apoyada en unas premisas claras, un buen asesoramiento durante la fase de definición, y una asistencia técnica cualificada. Estos tres objetivos se pueden conseguir con recursos propios mediante contratos de mantenimiento en los que una empresa exterior lleva acabo todo el programa, o bien de una forma mixta en la que se combinan recursos de la misma empresa con servicios contratados una compañía especializada. Si se pretende desarrollar todo el sistema de mantenimiento en la propia empresa hay que tener en cuenta la necesidad de adquirir una serie de medios técnicos indispensables:

a).- Equipos de medida o control adecuados al nivel de seguimiento de parámetros que se quiera establecer.

### *Aspectos de mantenimiento de motores*

- b).- Un programa de gestión de datos, informático o manual que permita obtener una serie de registros del estado de las máquinas para su posterior estudio.
- c).- La formación de uno o varios técnicos con suficiente capacidad para manejar los criterios de diagnóstico aplicados al sistema. Así mismo, es necesaria la formación de ayudantes con un rango de conocimientos ajustado a sus actividades, que sirvan de apoyo a los técnicos.

La contratación exterior de los programas de mantenimiento es un procedimiento adecuado, especialmente si se pretende iniciar esta actividad con unos criterios sólidos, para introducir posteriormente el tema en alguno de los departamentos de la empresa. En esta situación la información que la empresa debe recibir se puede resumir en la siguiente:

- a).- Informes de estado de cada máquina.
- b).- Informes particulares de los equipos que superan los niveles de alarma establecidos.
- c).- Informes de las inspecciones realizadas a cada máquina.
- d).- Gráficos de los estudios de las tendencias de cada máquina.
- e).- Informe del tiempo esperado hasta la activación de alguna alarma.
- f).- Informe general del análisis del comportamiento de cada equipo, en particular de aquellos que hallan modificado su estado respecto de la medición anterior.
- g).- Informe sobre los regímenes adecuados de funcionamiento de cada máquina según sus condiciones de estado.
- h).- Informes del estado físico-químico y del desgaste de los elementos que deban ser periódicamente sustituidos (aceites, cojinetes, etc.).

### *Aspectos de mantenimiento de motores*

Todos los datos anteriores se pueden gestionar en las oficinas técnicas de la empresa de servicios contratada, o bien ser transmitidos por medios informáticos al sistema de mantenimiento instalado en la empresa contratista.

El modelo de aplicación mixto, es el que mejor permite a la empresa introducirse en el tema cubriendo sus deficiencias de infraestructura y respaldándose por el asesoramiento de la empresa contratada, evitando así, una dependencia permanente de la empresa exterior. La combinación de recursos a establecer en esta modalidad puede quedar reflejada en cualquiera de las siguientes tres opciones:

Opción 1; el departamento de mantenimiento creado en la propia empresa pone el sistema de gestión de datos con el objeto de disponer en todo momento del historial de los equipos. La empresa de servicios contratada proporciona los equipos de análisis, el personal de medida, y el personal técnico especialista.

Opción 2; el departamento de mantenimiento proporciona, además del sistema completo de gestión de datos, personal en formación para la realización de las rutas de medida la empresa proporciona en este caso, la instrumentación de análisis y el personal técnico especialista que asesora y desarrolla las labores de formación y diagnóstico.

Opción 3; en este caso el departamento de mantenimiento proporciona además del sistema de gestión y del personal de soporte un sistema de medida instalado en la planta. La empresa contratada aportará personal para el asesoramiento en la puesta en marcha del programa de mantenimiento y técnicos especialistas para la diagnosis.

**El mantenimiento de los motores asíncronos**

En un motor asíncrono las averías más frecuentes se pueden clasificar en cuatro grupos:

1. - Fallos mecánicos; corresponden a averías en los cojinetes, aflojamiento en elementos de sujeción del paquete magnético, desalineación del eje, desequilibrio del rotor y regímenes anómalos de vibración. Su principal medio de diagnóstico va a consistir en el análisis espectral de la vibración del motor.

2. - Asimetrías rotóricas; se pueden definir como la rotura o agrietamiento de las barras o anillos de la jaula rotórica y de las modificaciones en el tamaño del entrechiero conocidas como excentricidades estática y dinámica. Puesto que este tipo de fallo produce alteraciones en el campo magnético del motor, estas inducirán fuerzas electromotrices en el estator, podrá ser detectado principalmente mediante el análisis espectral de las corrientes de alimentación.

3. - Defectos en el sistema aislante; en este tipo de motores son comunes a todas las máquinas eléctricas que empleen aislantes del mismo tipo. Este tipo de fallos van desde la presencia de contaminación o humedad, falta de compactación el muro aislante, defectos de aislamiento en las zonas sometidas a mayores esfuerzos dieléctricos y mecánicos (cabezas de bobinas) y finalmente cortocircuitos entre espiras, e incluso entre fases del devanado y tierra.

4. - Fallos en los núcleos magnéticos; consisten en la degradación de aislamiento que existe entre chapas, lo que origina la presencia de puntos en los que es posible la circulación de corrientes parásitas, y por tanto, se produce un elevado calentamiento del núcleo. La forma más habitual para detectar este tipo de avería es la termografía infrarroja.

#### **Características específicas de mantenimiento a motores de corriente continua**

Las características de este motor eléctrico hacen que no sean de especial importancia en el mantenimiento predictivo, ya que la presencia de su estructura en puntos especialmente sensibles al desgaste, conduce a que sean normalmente utilizados en los mantenimientos preventivo y correctivo, aunque se salgan un tanto del objetivo es importante considerar algunos problemas específicos que afectan éste tipo de motores:

a).- Sobrepelliculado: consiste en la pérdida de conductividad de la pátina o película formada sobre el colector. El método más comúnmente aceptado para la detección de este problema es la medición periódica de la superficie del conmutador. En condiciones de funcionamiento normal esta resistencia se encuentra entre los 0 y 500 ohms. La aparición de este defecto puede ocasionar resistencias superficiales de hasta 10,000 ohms, siendo especialmente notable el fenómeno en la parte trasera de las barras del colector. La aparición de sobrepelliculado es debida al ataque de la patina por parte de contaminantes atmosféricos. El efecto final suele ser el quemado del borde trasero de las barras del colector ante la excesiva resistencia que ahora esta zona opone al paso de la corriente.

b).- Ruptura de la pátina: generalmente es causada por los cambios de humedad, que suelen venir asociados a variaciones bruscas de temperatura.

### *Aspectos de mantenimiento de motores*

c).- Desgaste de las escobillas: una duración inusualmente corta de las escobillas es síntoma de la existencia de defectos en la conmutación, cuyas causas pueden ser múltiples y requerirán de estudio minucioso, por otro lado un desgaste selectivo de alguna de las escobillas o la aparición d un arco eléctrico especialmente visible, puede ser síntoma de una presión no uniforme.

d).- Deformación del colector: Son muchos los factores que pueden conducir a un deterioro de las condiciones mecánicas de esta pieza, que con cierta frecuencia tendrá que ser sometida a tareas de reparación superficiales entre las cuales se pueden destacar; lijado, esmerilado manual, rectificado y torneado. En todos los casos el paso último es el rebajado del aislamiento de mica que separa los segmentos del colector.

Las técnicas como el análisis espectral de vibraciones o el análisis del estado del aislamiento, son plenamente adecuadas para el diagnóstico precoz de fallos en este tipo de motores.

### **Mantenimiento de los bujes y rodamientos (cojinetes)**

Todos los motores eléctricos son máquinas giratorias, cuya rotación se produce alrededor de un eje apoyado en cojinetes que pueden ser bujes o rodamientos. Por tanto, desde el punto de vista económico, es conveniente realizar periódicamente un buen funcionamiento de los cojinetes

Cuando se descuida el mantenimiento y lubricación del motor, los cojinetes se desgastan y, en funcionamiento, hay ruidos y se produce el quemado, llegando incluso, en casos extremos a no funcionar el motor.

Hay dos tipos de cojinetes: los bujes y los rodamientos que pueden ser de bolas o de rodillos. Los bujes normalmente se construyen con metal antifricción, si bien en los motores relativamente antiguos aún se encuentran bujes fabricados con bronce fosforoso.

El buje consiste en una camisa metálica en el interior, en la cual gira el eje del motor. Idealmente, el eje debe girar sobre una película de aceite existente entre él y el buje, y en la práctica debe cumplirse este requisito para evitar el desgaste, por falta de lubricación en las partes rozantes. Las películas metálicas desprendidas de los bujes quedan atrapadas en el eje, produciendo una reacción abrasiva que desgasta continuamente las partes buenas del eje, terminando por imposibilitar el funcionamiento del motor.

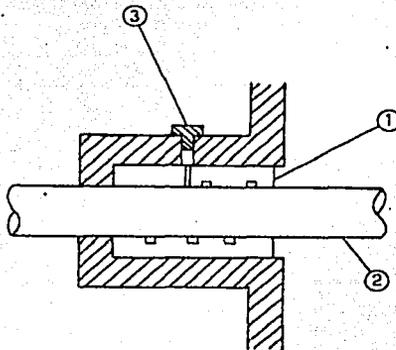


Figura 4.3 (sección transversal de un cojinete con mecha de lubricación)

1. - Cojinete
2. - Eje
3. - Entrada de aceite

Todos los motores cuyos ejes se apoyan en bujes, llevan en los extremos de la carcasa un dispositivo de lubricación que debe observarse periódicamente. Una buena lubricación de los cojinetes evita problemas que, a veces, pueden afectar a la parte eléctrica del motor.

En la actualidad, hay muchos motores rotatorios, especialmente los de pequeñas dimensiones y alta velocidad, dotados de bujes autolubricados. Dichos bujes se fabrican con una aleación metálica antifricción con elevado contenido de aceite, y el proceso de fabricación consiste en someter partículas de la aleación a presiones elevadas, inyectándose el aceite en los poros, también a presión. Al quemarse durante el funcionamiento del motor, el buje desprende el aceite, proporcionando así una lubricación continua.

Los rodamientos de bolas son sistemas que se fundan en la rotación de unas bolas de acero pulidas, como se muestra en la figura 4.4, sobre dos guías también de acero, en forma de anillos reduciendo al mínimo el roce. Las bolas están separadas entre sí por elementos de acero que las mantienen siempre con la misma posición relativa.

Las superficies por las que ruedan las bolas deben estar siempre libres de suciedad y de polvo, materias que actúan como abrasivo, determinando el desgaste prematuro de los cojinetes. Por ello los rodamientos de bolas deben estar siempre sumergidos en una grasa especial, que lubrifique y evite la entrada de suciedad. No deben emplearse lubricantes

comunes, pues la lubricación incorrecta, es tan perjudicial como la falta absoluta de lubricación.

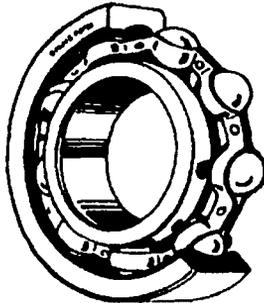


Figura 4.4 (rodamiento de bolas con un corte en uno de sus extremos)

Todos los que inician en el mantenimiento de los motores suponen, equivocadamente, que para que la lubricación o el engrase estén bien hechos deben hacerse con una cantidad excesiva de aceite o de grasa. Por el contrario, este trabajo debe efectuarse de tal forma que no haya exceso de lubricante, que podría penetrar en el rotor o en el campo, causando daños al colector y a las escobillas.

Cuando en una caja de rodamientos existe grasa en exceso, esta se comprime, calentándose o descomponiéndose, o sea, quemándose. En este caso, los rodamientos se dañan con mayor rapidez que si estuvieran secos. La mayoría de los fabricantes indican el tipo

### *Aspectos de mantenimiento de motores*

adecuado de lubricante para sus motores, siendo muy importante utilizar el tipo apropiado para evitar la inutilización de los cojinetes.

Otro error que los principiantes cometen con frecuencia es el de realizar la lubricación de los cojinetes cuando producen ruidos o recalentamientos en el motor. Ambos síntomas pueden ser causados por falta de lubricación, pero, a veces, se deben a desgaste o descentrado de las cubiertas del motor, lo que puede ocurrir si el motor se desmonta para el almacenaje.

En los motores pequeños especialmente en las máquinas-herramientas portátiles, los ruidos o el recalentamiento pueden atribuirse a un eje alabeado o a un choque mecánico sufrido por la máquina. Por eso, sacamos la conclusión de que es prudente evitar la lubricación cuando no se conocen las causas reales de los fallos. La técnica generalmente empleada en estos casos consiste en realizar una inspección visual del estado del eje y de los cojinetes, así como de la grasa y del aceite que lubrica los cojinetes, procurando observar la posible existencia de partículas metálicas, indicadoras de un desgaste ya en estado avanzado.

#### **Mantenimiento y fallos en las escobillas y colectores**

En las máquinas de corriente continua y en las universales, los principales causantes de defectos son los colectores y las escobillas. Ya vimos anteriormente que el colector es un sistema aislado eléctricamente del eje, y compuesto por conmutadores igualmente aislados entre sí. En los conmutadores rozan continuamente las escobillas y el roce produce el desgaste de ambas partes, depositándose las partículas de carbón de las escobillas en las ranuras de los colectores aislados con mica, llegando incluso a poner las delgas en

### *Aspectos de mantenimiento de motores*

cortocircuito. La acumulación de carbón en las ranuras y el desgaste del colector provocan una conmutación imperfecta, lo que puede comprobarse por la producción de una gran cantidad de chispas, lo cuál contribuye a acelerar aún más la destrucción del colector. La conmutación sólo se hará correctamente cuando el contacto entre el colector y las escobillas sea continuo.

De lo que acabamos de exponer se deduce que periódicamente se debe realizar una buena limpieza del colector, siendo aconsejable prestar una atención permanente al centrado de las escobillas en el colector, y también en su configuración, para que se apoyen correctamente en él. El colector, cuando se encuentra en un buen estado, es suave al tacto, está libre de asperezas y no produce chispas de bajo de las escobillas.

Cuando la presión de los muelles es pequeña, el contacto es deficiente produciéndose también un chisporroteo. Debemos tener en cuenta que el exceso de chispas no lo produce sólo un mal contacto en la conmutación, sino que puede deberse a cortocircuitos parciales en las bobinas del inducido. Así, siempre es conveniente desconectar la máquina y observar si la posición de las escobillas es correcta. Para que así ocurra, es preciso que estas estén situadas diametralmente opuestas. En las máquinas de gran tamaño, la posición de las escobillas puede regularse para que se realice una conmutación perfecta. Puede suceder entonces que los tornillos que fijan los portaescobillas se aflojen y se desplacen de su posición correcta, dando origen a una gran cantidad de chispas. En este caso, para corregir el defecto es preciso ajustar las escobillas en su posición primitiva.

### *Aspectos de mantenimiento de motores*

Si las escobillas estuvieran muy gastadas deberán cambiarse, pero al realizarse el cambio debe tenerse cuidado de que el material de las nuevas escobillas sea el mismo y que tenga la misma dureza que la de las originales. Al colocarse una escobilla nueva, la cara en contacto con el colector no se apoyará totalmente sobre este. Para evitar un apoyo tangencial, incompleto, se procederá como se ilustra en la figura 4.5, con la escobilla en posición, presionada por un muelle, se colocará debajo del carbón un papel de lija muy fina con el abrasivo vuelto hacia el carbón y se realizará un movimiento de vaivén (1) para desgastar la superficie de la escobilla.

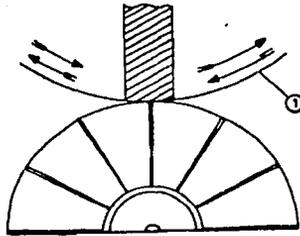


Figura 4.5 (representación del contacto que se produce entre el colector y una de las escobillas de carbón)

Cuando el colector presente muchas irregularidades o esté muy sucio, se abrirá el motor, se extraerá el inducido y se procederá a una limpieza o reparación del colector. Si las irregularidades no fueran muy profundas se podrá corregir el defecto poniendo el inducido en un tomo con el fin de pulir la superficie del colector. Este pulido no debe realizarse con papel de esmeril, sino con papel de lija, a ser posible fino; si las irregularidades fueran muy

### *Aspectos de mantenimiento de motores*

profundas, se trabajará en el colector con una herramienta apropiada, teniendo siempre cuidado de no eliminar una cantidad innecesaria de material.

En cualquiera de los casos anteriores, una vez concluido el pulido del colector, deberán limpiarse los espacios existentes entre los conmutadores para eliminar todo el polvo o material acumulado, lo cual puede hacerse con unas sierras especiales que sirven para rebajar la mica que se utiliza como aislante. La sierra debe manejarse apoyándola suavemente en la mica. Efectuando un movimiento de vaivén como si se la estuviera cortando.

Deberá tenerse cuidado de no profundizar mucho en la mica, ya que un canal profundo constituye un excelente depósito para el carbón desprendido de las escobillas, poniendo, además, los conmutadores rápidamente en cortocircuito. Una vez concluida la limpieza de las ranuras, será necesaria una nueva "pasada" de papel de lija para reducir las asperezas que puedan haber aparecido durante esta última operación.

#### **Verificación del aislamiento**

Entiéndase por aislamiento de un motor o generador la resistencia entre los devanados del inducido y de los campos en relación con la carcasa de la máquina. En esta resistencia están incluidas, entre otras, las que se refieren al soporte de las escobillas y de las cajas de bornes.

Con el funcionamiento de la máquina, la acumulación de polvo, el continuo calentamiento de los devanados a causa de la circulación de corriente, las variaciones de temperatura

### *Aspectos de mantenimiento de motores*

ambiente y la absorción de humedad hacen que esta resistencia disminuya paulatinamente, dando origen a lo que se denomina "fugas de aislamiento". Al principio, estas fugas son pequeñas, pero después van aumentando hasta que los devanados se ponen en corto circuito con la carcasa. Esto no sólo constituye un peligro para la máquina, sino también, principalmente, para sus operadores, razón por la cual la carcasa de toda máquina eléctrica deberá estar sólidamente conectada a masa.

Una de las verificaciones que deben hacerse por parte de quienes trabajan con máquinas eléctricas: motores o generadores, es el aislamiento de los devanados respecto a la carcasa. En condiciones normales, este aislamiento debe ser siempre infinito, o, por lo menos, de un valor tan elevado que las fugas puedan considerarse despreciables.

La verificación del aislamiento de los devanados se realiza con ohmetros especiales de alta tensión. Esta comprobación también puede realizarse eventualmente con un ohmetro común, si bien no sea de todo aconsejable, por que la mayor parte de los casos la pérdida de aislamiento de los devanados sólo se percibe cuando estos se someten a una tensión elevada, y no cuando se los somete a una comprobación con un ohmetro de alta tensión.

En la figura 4.6, vemos el circuito de un ohmetro de alta tensión. Este aparato, que también se conoce por la denominación de "megger", consiste en una dinamo o magneto de acción manual, capaz de generar una tensión de 500 V, que se aplica al circuito que se prueba. En serie con el circuito queda conectado el instrumento indicador del "megger", que mide la corriente de fugas del circuito y se calibra directamente en megohms.

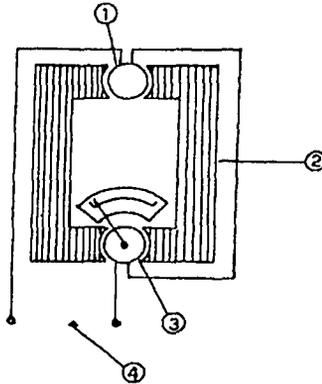


Figura 4.6 (ohmetro de alta tensión "megger")

1. - Magneto de acción manual
2. - Imán
3. - Instrumento indicador
4. - Terminal de medición

Para efectuar mediciones con el aparato, la máquina debe desconectarse de la línea, y, a ser posible, de toda instalación de la cuál la máquina forma parte, para evitar indicaciones falsas.

En la figura 4.7, se muestra la forma en que deben hacerse las conexiones del megger a la máquina para la verificación de la corriente de aislamiento.

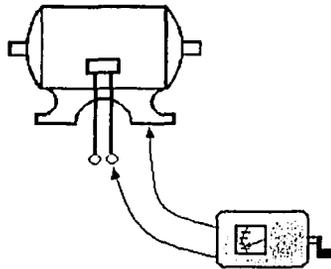


Figura 4.7 (conexión del megger al motor, para verificar el aislamiento)

Una vez hechas las conexiones se girará la manivela del aparato, leyendo en la escala el valor del aislamiento. Si el valor leído del aislamiento fuera de varios megaohms, la máquina esta en buenas condiciones a este respecto. No obstante, si el aislamiento fuera inferior a un megaohms, será necesario proceder a una revisión más minuciosa para localizar, una región de bajo aislamiento; en este caso, es conveniente dejar libres las conexiones de la caja y quitarlas.

Una prueba idéntica deberá realizarse con los portaescobillas. Deberán separarse las bobinas del campo y del inducido, verificándose separada y aisladamente de cada una de ellas, pues puede suceder que el fallo del aislamiento sólo se manifieste en uno de los devanados. Si no se dispusiere de un megger la verificación podrá hacerse como se indica en la figura 4.8, en la que se emplea un multímetro conectado en serie con una fuente que suministra una tensión continua comprendida entre 200 y 500 V. Como en el caso anterior, la máquina se desconectará de cualquier otro circuito externo durante la prueba.

El multímetro, al comienzo de la operación, deberá ponerse en las escalas más elevadas de corriente, para evitar que el aparato pueda quemarse a causa de fugas muy intensas. Una vez comprobado que la corriente de fuga es muy baja, podrá ajustarse el aparato para las escalas de lectura más baja, hasta que la corriente pueda leerse con suficiente precisión.

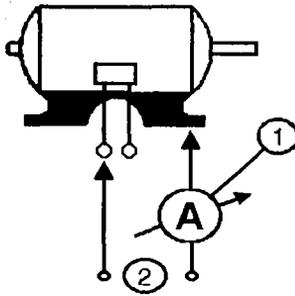


Figura 4.8 (verificación de la resistencia de aislamiento mediante un multímetro)

- 1.- Multímetro
- 2.- Línea de corriente continua

Conociendo la corriente de fuga y el valor de la tensión aplicada al circuito, se puede calcular la resistencia de aislamiento aplicando la ley de ohm.

### *Aspectos de mantenimiento de motores*

Supongamos, por ejemplo, que utilizamos una fuente de tensión continua de 400 Volts, y que el instrumento indica una corriente de fuga de 200 microampers. En este caso la resistencia de fuga medida será de 2 megohms.

Si el instrumento de medida estuviera en una escala de microampers, y circulara por él una corriente de miliampers, podría quemarse. Por eso se aconseja que se coloque el instrumento, al comienzo de la prueba, en la escala más alta de corriente de que se pueda disponer.

Una vez verificado el aislamiento de los devanados, si fuera bajo, será preciso determinar la razón de la fuga de corriente. Para ello, lo primero que habrá que hacer es desmontar el motor o generador para la verificación visual del estado de los devanados. Por tanto, será necesario hacer una buena limpieza de los devanados, retirando la suciedad acumulada con aire comprimido bien seco o con una aspiradora de polvo.

La verificación visual permitirá observar si es bueno el estado del aislamiento de los conductores. Si estuviera reseco, la pérdida de aislamiento podría atribuirse a exceso de calentamiento o a penetración de humedad en los devanados de la máquina. Cuando el aislamiento llegue a valores muy bajos, menores de 100 000 ohms, todo el devanado del motor habrá de verificarse. En caso de que el aislamiento este alrededor de un megohms, la máquina deberá desmontarse, limpiarse los devanados y ponerlos a secar para eliminar la humedad, lo cual podría realizarse en un horno o mediante exposición a radiaciones infrarrojas, especialmente tratándose de máquinas de gran tamaño.

La medida de la resistencia de aislamiento con el motor caliente puede darnos la indicación de si las fugas se deben a absorción de humedad, por que en este caso la resistencia de aislamiento aumenta. Si permanece igual o inferior a 100 000 ohms, probablemente el fallo será debido al deterioro o rotura del material aislante, siendo aconsejable el rebobinado de la máquina.

Si el motor presentara mayor resistencia de aislamiento en esta prueba en caliente, habrá que barnizarlo cuando se enfríe para evitar absorciones de humedad. El barniz empleado habrá de ser apropiado para devanados, con buenas características aislantes.

Cuando se trate de máquinas de pequeñas dimensiones, será conveniente sumergir el estator o el inducido, según proceda, en el baño de barniz para que la impregnación sea total. El tiempo de duración del baño de inmersión no debe ser corto, para que pueda salir el aire, interior del devanado. Después del baño se dejará escurrir el barniz, entonces se introducirá el elemento en un horno, para que se seque. Posteriormente se eliminará el barniz de las partes donde no sea necesario.

#### **Valor mínimo de la resistencia de aislamiento**

Las tendencias a largo plazo en la resistencia de aislamiento solo pueden dar una interpretación acertada si las medidas están realizadas a la misma temperatura o si todas ellas están referidas a una misma temperatura de referencia: normalmente 40°C o 20°C. Si las medidas referidas a una misma temperatura, realizadas a lo largo de varios años sobre un mismo devanado, revelan un descenso gradual de la resistencia, entonces es posible que

### *Aspectos de mantenimiento de motores*

el aislamiento se este deteriorando; sin embargo, es mucho más probable que la resistencia de aislamiento presente una variación de valores importante entre medida y medida debido a las condiciones de humedad, haciendo posible una interpretación correcta. De forma similar, cuando se hace una comparación con dos devanados, el hecho de que uno de ellos presente una resistencia mucho más alta no implica que ese devanado se encuentre en mejores condiciones.

Los datos históricos de resistencia de aislamiento para una máquina dada, obtenidos bajo unas condiciones uniformes, están reconocidos como una forma útil de monitorizar el estado del aislamiento.

Cuando los datos históricos de resistencia de aislamiento no están disponibles, los valores mínimos recomendados de resistencia de aislamiento al cabo de un minuto pueden ser utilizados para estimar la conveniencia de aplicación de un ensayo de sobretensión, o para continuar con el funcionamiento normal. El valor referido, a la temperatura base, de resistencia de aislamiento al cabo de un minuto debe ser al menos el que se recomienda como el mínimo.

Si bien está reconocido que es posible la puesta en funcionamiento de máquinas con valores inferiores al mínimo recomendado, no es una práctica muy aconsejable. En algunos casos el uso de diseños especiales o de materiales aislantes especiales, no dañinos para la rigidez dieléctrica, puede dar lugar a valores más bajos en la resistencia del aislamiento.

### *Aspectos de mantenimiento de motores*

Cuando las cabezas de bobina están tratadas con material semiconductor para eliminar el efecto corona, la resistencia de aislamiento observada puede ser algo más baja que en aquellas máquinas semejantes que no presentan este tratamiento.

El valor mínimo de resistencia de aislamiento recomendado  $R_m$ , tanto para motores de corriente alterna como para de continua, puede ser determinado a partir de la expresión:

$$R_m = (1000 \times V) + 1 \dots\dots\dots (4.1)$$

donde:

$R_m$  es el valor mínimo recomendado de resistencia de aislamiento a la temperatura base.

V es el valor eficaz de la tensión nominal de la máquina en volts.

Este valor mínimo debe ser considerado como un valor mínimo absoluto, dado que los motores modernos, con aislamiento en buen estado, presentan típicamente valores de resistencia que exceden de cientos y miles de megohms. La resistencia de aislamiento real del devanado que debe ser utilizada para la comparación con el valor mínimo recomendado, es la resistencia de aislamiento observada, corregida a la temperatura base, y obtenida por la aplicación de una tensión continua al devanado completo durante un minuto.

Generalmente un motor que ha estado parado durante algún tiempo podría volver al servicio si la resistencia de aislamiento está por encima del valor mínimo. La resistencia de aislamiento de un devanado fiable debe estar bien por encima de los requerimientos mínimos.

### *Aspectos de mantenimiento de motores*

El valor de la resistencia de aislamiento observado es una guía útil para la evaluación de la condición de los devanados de un motor, sin embargo, no debe ser considerado como un criterio exacto puesto que presenta algunas limitaciones:

- 1.- La resistencia de aislamiento de un devanado no está directamente relacionada con su rigidez dieléctrica; por tanto, es imposible determinar el valor de resistencia de aislamiento para el cual el devanado presentará un fallo eléctrico.
- 2.- Los devanados que presentan una superficie muy grande; motores grandes o de baja velocidad o motores con colector, pueden presentar valores de resistencia de aislamiento que sean inferiores a los valores mínimos recomendados.

### **Desequilibrio**

Un sistema mecánico giratorio se dice que está equilibrado si durante su funcionamiento la resultante de todas las fuerzas y sus respectivos pares son de magnitud, dirección y sentido constantes.

Lograda la constancia en módulo, dirección y sentido de las fuerzas, mediante una perfecta y homogénea distribución de las masas de la parte móvil, el motor se puede fijar mediante anclajes que opongan una fuerza y un momento de reacción a la resultante del sistema.

Con esto podemos deducir que se producen dos tipos de desequilibrio: uno condicionado exclusivamente a la existencia de una distribución no homogénea de masa, que se puede detectar con el rotor parado, y otro asociado a su propio movimiento.

### 1.- Desequilibrio estático

Cuando un rotor presenta desequilibrio estático, si se apoyan sus extremos sobre dos piezas giratorias, se desplazará hasta que la parte más pesada quede situada en la posición más baja. Este tipo de desequilibrio se denomina desequilibrio estático, ya que en este caso no es necesario hacer girar el rotor para proceder a su equilibrio.

### 2.- Desequilibrio dinámico

Si se corta un rotor en pequeñas rodajas, la línea que pasa por sus centros de gravedad de cada una de ellas será su eje principal de inercia. Si el rotor se pone en movimiento, tratará de girar sobre su eje principal de inercia; por tanto, si el movimiento del rotor se restringe debido a la fijación de los cojinetes y el eje principal de inercia no coincide con el de rotación, se presentará una situación de desequilibrio dinámico.

En realidad la situación se podría resumir diciendo que en un rotor con una distribución longitudinal de pesos incorrecta se produce la intersección de los ejes de rotación y principal de inercia en un solo punto. En los rotores que están en servicio las causas de desequilibrio son bastante amplias; desgastes y erosiones por rozamiento, corrosión química, depósitos de material, deformaciones permanentes del rotor, etc.

Las tres primeras causas de desequilibrio son inherentes al proceso industrial en el que este involucrado el motor; sin embargo, la última puede tener diferentes orígenes:

### *Aspectos de mantenimiento de motores*

- a). - El mantenimiento de rotores de gran longitud y peso en una posición fija durante las paradas puede dar lugar a acomodamientos y deformaciones residuales que provoca niveles elevados de vibración una vez que el motor se pone en marcha.
- b). - La existencia de distorsiones térmicas en los ejes o en los aros de ajuste, causadas por un desigual reparto de temperaturas, produce fuerzas que tienden a curvar los ejes produciendo desequilibrios.
- c). - Los rozamientos de ejes, fricciones, presencia de escobillas, etc. Pueden causar zonas calientes localizadas, que combinadas con altas velocidades de giro pueden producir deformaciones que originan desequilibrios dinámicos.

En cuanto a la forma de detectar el desequilibrio mediante el análisis espectral de vibraciones, basta con indicar tres hechos fundamentales:

1. - El nivel global de vibración del motor está ligado al grado de desequilibrio y se incrementará con él.
2. - La presencia de desequilibrio en el rotor se traduce en un incremento en la amplitud en los armónicos de frecuencia idéntica a la velocidad de giro y en menor medida en los múltiplos de esta.
3. - Puesto que el desequilibrio esta producido por una fuerza resultante en la dirección radial, la vibración se detectará especialmente en dicha dirección.

### Desalineación

Casi toda la totalidad de las máquinas rotativas, bombas, compresores, molinos, ventiladores, etc., están accionadas habitualmente por un motor eléctrico. El acoplamiento entre ambas se realiza a través de un sistema rígido o flexible, en ambas situaciones se debe conseguir que el eje de las dos sean perfectamente colineales. En el caso de que esto no ocurra aparece una fuerza resultante sobre el acoplamiento que se puede calcular como lo muestra la siguiente figura:

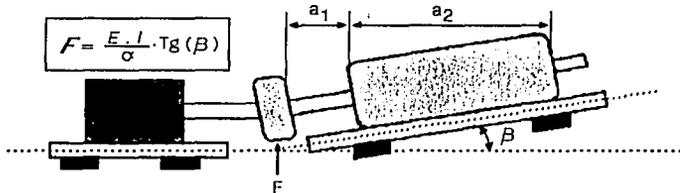


Figura 4.9 (desalineación de un motor y su carga los cuales tienen un acople flexible)

En ella  $E$ ,  $l$  son parámetros constructivos del rotor y "alfa" es una constante geométrica que depende de  $a_1$  y  $a_2$ . La presencia de esta fuerza resultante sobre el eje del rotor dará lugar a la aparición de vibraciones de amplitud proporcional a ella y, por tanto, al grado de desalineación.

Industrialmente existen diferentes técnicas para conseguir la perfecta alineación de los ejes, las cuales van desde los relojes de alineación hasta el empleo del láser.

### *Aspectos de mantenimiento de motores*

Con relación al efecto que puede tener sobre el motor la existencia de desalineaciones o desequilibrios hay que considerar el valor de su frecuencia natural y el de la estructura que la soporta: las amplitudes de las vibraciones originadas por el fallo siempre guardan una relación de proporcionalidad con el nivel que este haya alcanzado; sin embargo, en el caso de que la avería sea capaz de excitar la vibración de algún elemento del sistema a frecuencias próximas a las de resonancia, la amplitud de las vibraciones puede llegar a alcanzar niveles totalmente destructivos.

#### **Medición del flujo axial**

Puesto que se pretende utilizar el flujo axial del mismo modo que se usa la corriente, es necesario disponer de un transductor que permita introducir una señal de tensión proporcional al flujo en el correspondiente instrumento electrónico de análisis. Este tipo de medición se podría realizar mediante sondas de efecto Hall; sin embargo, resulta mucho más sencillo y práctico el uso de bobinas exploradoras. Mediante estas bobinas, el análisis experimental del contenido en armónicos del flujo axial de dispersión se puede llevar a cabo a partir del estudio de la fuerza electromotriz que la variación de flujo induce en ellas.

Dadas las particularidades características que presenta el flujo axial, el primer problema que se plantea es la geometría y ubicación de la bobina en el motor.

Si el flujo de dispersión se canaliza a lo largo del rotor en la dirección axial, la forma más simple de hacer la medida sería construir una bobina, que ubicada en el interior del motor y concéntrica con el eje, permitiese el paso a través de ella.

### *Aspectos de mantenimiento de motores*

Un sensor consiste tan solo en un bobinado de hilo de cobre, sin núcleo magnético alguno, es perfectamente válido para el estudio del flujo axial del motor, ya que con un número relativamente bajo de vueltas (100 aproximadamente) es posible obtener suficiente tensión para el análisis en cualquier instrumento digital de medida.

El procedimiento de introducir una bobina en el interior del motor para la medición del flujo axial es útil en el caso de que se encuentre parado por otros motivos, o bien se pueda ubicar el sensor durante la fase de fabricación. Sin embargo, para emplear el flujo como método de diagnóstico en las instalaciones industriales es necesario poder medirlo desde el exterior. Por este motivo, en nuestros trabajos de investigación se ensayaron diferentes disposiciones de bobina externa con capacidad para la medición del flujo: la primera aproximación consiste en el arrollamiento de cobre, situado en la parte posterior del motor debajo del ventilador.

La bobina que tiene 200 vueltas, produce una señal de tensión, perfectamente válida para su estudio directo en un analizador dinámico o en cualquier otro instrumento de medida.

Mediante distintas mediciones se pudo comprobar que el contenido en armónicos de las señales de la bobina interna y de la bobina externa era básicamente el mismo; si bien, lógicamente, en la bobina externa los armónicos del flujo aparecían más atenuados. Por tanto, se puede concluir que ambas señales son válidas para el diagnóstico, y que la medición del flujo axial de dispersión desde el exterior del motor es posible.

### *Aspectos de mantenimiento de motores*

Las conclusiones obtenidas respecto a la geometría y aplicación de la bobina se pueden resumir diciendo que es posible la medición del flujo de dispersión tanto desde el interior como del exterior del motor; en ambos casos con el eje pasando a través de la bobina. En el caso de la medida desde el exterior, para el tipo de motores ensayados, el número de espiras utilizado y con el que se obtuvieron resultados satisfactorios fue de 200. No obstante, no debe considerarse este número como mínimo absoluto, ya que según el motor, es posible obtener resultados satisfactorios con un número de espiras bastante inferior, incluso sin recurrir a la amplificación de la señal.

Si bien la bobina externa es válida para la medida del flujo axial, hay que dar una serie de consejos, resultantes de las pruebas realizadas, sobre su ubicación y características: obviamente, cuanto mayor es el número de vueltas de la bobina mayor es la tensión que se induce en ella; sin embargo, su tamaño crece considerablemente con lo cual su posterior aplicación a motores en plantas industriales se ve dificultada.

Por otro lado, con la bobina situada en el exterior del motor se determinó cuál era la posición más adecuada para su fijación; se observó que la posición que permitía la mejor medida del flujo era aquella en la que el eje atravesaba a la bobina, concéntrica con él. De hecho, si la bobina se instalaba en el exterior de la carcasa en la parte trasera del motor, o no se permitía el paso a través de ella, los niveles de tensión inducidos se reducían considerablemente.

Por otro lado, se obtuvieron también muy buenos resultados con bobinas de gran diámetro capaces de arrollar al motor completo. Sin embargo, este método se complica al ser aplicado a motores de gran tamaño.

En definitiva las conclusiones a las características de la bobina exploradora se pueden resumir en la siguiente idea: es perfectamente posible la medición del flujo axial de dispersión desde el exterior del motor. Para ello es necesario que la bobina tenga un número de vueltas elevado, suficiente diámetro, y este situada de forma concéntrica al eje, tanto por el lado del acoplamiento como por el del ventilador. En la figura 4.10, se muestra un diagrama simplificado en el que se observan los emplazamientos más adecuados para la bobina externa.

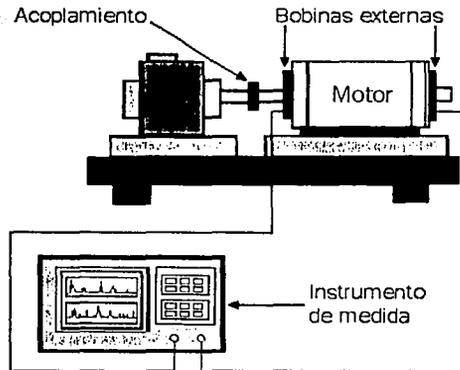


Figura 4.10 (medición del flujo axial de dispersión)

### *Aspectos de mantenimiento de motores*

Queda un problema que aún no ha sido resuelto: el hecho de que el eje del motor deba ser pasante a través de la bobina. Para que se cumpla esta condición la bobina debe ser desmontable o bien se debe construir con el motor parado, devanándola alrededor del eje. Debido a esta limitación, se hicieron importantes esfuerzos por desarrollar un sensor desmontable, apto para el uso en motores en funcionamiento.

Los resultados de las mediciones fueron muy favorables, ya que la bobina desmontable resulto ser válida y muy fácilmente utilizable sobre grandes motores. En ningún caso fue necesario alterar la velocidad de giro del motor, ni disponer de instrumento alguno para su instalación.

Tras realizar diferentes pruebas en el laboratorio se llegó a la conclusión de que el número de vueltas no era un parámetro demasiado crítico, ya que cualquier amplificador diseñado a partir de circuitos electrónicos comerciales de muy bajo costo, era suficiente para amplificar la señal y obtener una tensión válida para el diagnóstico.

Debe tenerse en cuenta que no se van a estudiar frecuencias muy elevadas (inferiores a un kHz), por lo que la amplificación de la señal no plantea casi ninguna dificultad. De hecho, se diseñó un amplificador de instrumentación muy sencillo, que permite obtener ganancias superiores a 100 en la señal de la salida de la bobina. De este modo, las dimensiones de la bobina se reducen y el conjunto formado por esta y el amplificador pueden ser aplicados a un número mayor de motores.

Una ventaja primordial de los sensores es su reducido costo de fabricación y sencillez de uso, ya que, combinados con cualquiera de los equipos empleados habitualmente en el diagnóstico de vibraciones, permiten efectuar el estudio en el dominio de la frecuencia del flujo de dispersión del motor. Este último hecho demuestra las ventajas de un método no invasivo como este, frente a los métodos actuales para el análisis de asimetrías rotóricas y del aislamiento.

#### **Detección de asimetrías rotóricas**

En la detección de asimetrías rotóricas es necesario encontrar parámetros que se vean afectados directamente por la alteración de corrientes introducidas en la jaula por la rotura de barras o anillos.

Desde este punto de vista el camino a recorrer es corto, ya que en realidad, todas las variables eléctricas de una máquina asincrona están directamente relacionadas entre sí, y por tanto, cualquiera de ellas se verá afectada por la anomalía en la jaula. En particular, existen dos en la que la perfecta simetría del rotor tiene una gran influencia:

1. - El flujo axial de dispersión: se presenta en los motores como consecuencia de que nunca pueden ser construidas de forma perfectamente simetría. En este tipo de motor, como en cualquier otro, existen pequeñas e inevitables asimetrías en los circuitos eléctricos y magnéticos debidas a diferencias propias del proceso de fabricación, tolerancia, anisotropía de los materiales, etc. A estas asimetrías, que dan lugar a pequeñas variaciones en la corriente que circulan por las bobinas del motor, hay que añadir las diferencias que pueden

surgir como consecuencia de las alteraciones en la disposición física de los conductores, tanto en las zonas de ranura como en las cabezas de bobina.

Si bien la trayectoria de este flujo no está perfectamente definida, sí que parece razonable que en su mayor parte se establezca por el eje. Para visualizar y comprender lo anterior se puede observar en la figura 4.11 su representación, esto debe ser interpretado con ciertas reservas.

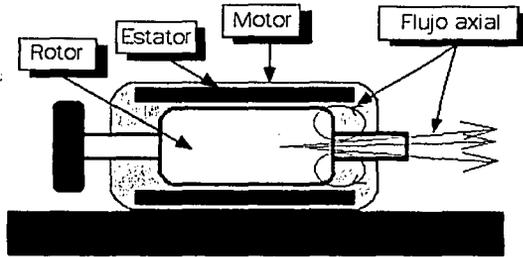


Figura 4.11 (*asimetrías rotóricas causadas por el flujo axial*)

Las existencias de las asimetrías darán lugar a que aparezca una diferencia neta entre las corrientes que circulan en una determinada zona de las cabezas de bobina y las que circulan por las cabezas de bobina diametralmente opuestas. Este desequilibrio será el que origine una componente de axial neto, este argumento particularizado para el circuito estático, es igualmente aplicable para el circuito rotórico.

### *Aspectos de mantenimiento de motores*

Es fácil deducir que cualquier anomalía o fallo incipiente contribuirá a incrementar el grado de asimetría inicial de la máquina, y por tanto, se verá reflejado un cambio en el flujo axial, y más concretamente en sus componentes de frecuencia.

Puesto que el flujo axial neto contiene una componente debida a las corrientes estáticas y otras debida a sus corrientes rotóricas. Como las corrientes de ambos devanados se modifican con el fallo, el flujo axial también experimentará cambios que podrán ser detectados cuando se produzca la avería.

Si se supone un motor trifásico perfectamente simétrico, y se alimenta su devanado estático mediante un sistema trifásico equilibrado de tensiones. La forma de onda de la inducción magnética en el entrehierro tendrá carácter no senoidal debido a los armónicos espaciales motivados por el propio devanado.

Hay que tener en cuenta que, mediante un adecuado acortamiento del paso de las bobinas y mediante su distribución, el devanado estático puede eliminar o minimizar alguno de estos armónicos; sin embargo, esta posibilidad no se tendrá en cuenta y se supondrá que el devanado de partida es de tipo diametral, incrementando de esta forma el número y amplitud de los armónicos presentes.

La figura 4.12, se muestra claramente la relación entre el punto fijo del estator y un punto fijo del rotor.

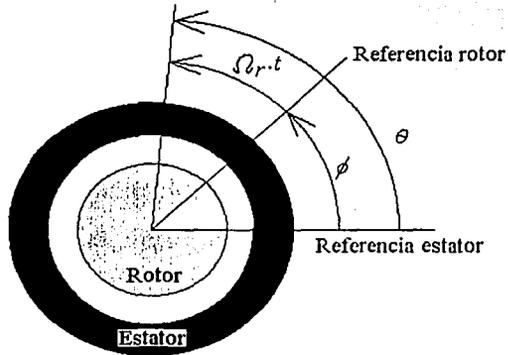


Figura 4.12 (relación entre el punto fijo del estator y un punto fijo del rotor)

Esta relación viene dada por la siguiente ecuación:

$$\theta = \varnothing + \Omega_r \cdot t \dots\dots\dots (4.2)$$

donde  $\Omega_r$  es la velocidad angular del rotor y  $\varnothing$  es su posición inicial en el instante  $t = 0$ .

Teniendo en cuenta que el deslizamiento,  $S$ , para un motor se debe expresar como:

$$S = \Omega_s - \Omega_r / \Omega_s \dots\dots\dots (4.3)$$

donde;

$$\Omega_s = \omega / p \dots\dots\dots (4.4)$$

Es la velocidad de sincronismo. Entonces la ecuación se transforma así:

$$\theta = \varnothing + \omega \cdot (1-s) / p = t \dots\dots\dots (4.5)$$

de modo que la expresión general para un armónico de la densidad de flujo en el entrehierro, referido al estator será:

$$B_n \times \cos(\omega \times t \pm n \times p \times \theta) \dots \dots \dots (4.6)$$

Ecución que se puede expresar como:

$$B_n \times \cos[(1 \pm n(1 - s)) \omega \times t \pm n \times p \times \theta] \dots \dots \dots (4.7)$$

Esta expresión proporciona las componentes de frecuencia de las corrientes que se inducen en el rotor, debido a los armónicos espaciales de la inducción en el entrehierro, para el caso de un devanado trifásico simétrico alimentado de forma equilibrada. Estos armónicos de las corrientes darán lugar a los consiguientes armónicos de flujo axial; a los que habrá que añadir los correspondientes a la frecuencia de alimentación.

Queda patente, por tanto, que el espectro de flujo axial presenta armónicos, incluso para en el caso en el que se considere un motor perfectamente bien construido y perfectamente simétrico sin ningún tipo de avería.

Cuando inevitables imperfecciones de fabricación, o se produzca algún tipo de fallo, tendrá lugar un cambio en la distribución de armónicos espaciales en el entrehierro, el cual irá acompañado por el correspondiente cambio en el espectro de flujo axial, ya que los nuevos armónicos presentes en el campo del motor inducirán a su vez nuevas componentes en el flujo de dispersión.

Si bien el empleo del flujo axial puede ser un principio útil para el mantenimiento predictivo, aparece sobre el una importante limitación que ya habrá resultado obvia: la dificultad que parece implicar su medición. Si el flujo debe medirse en el interior del motor se estará contraviniendo uno de los principios básicos del mantenimiento predictivo, que es

realizar la recolección de datos sin alterar el normal funcionamiento del motor, ni su estructura.

### **Fallos importantes en los motores eléctricos**

#### **1.- Fallos en engranajes**

Debido a la elevada velocidad de giro de los motores eléctricos y de combustión, y al hecho de que una gran cantidad de procesos mecánicos implican diferentes rangos en los pares motores y velocidades de giro, en muchas ocasiones resulta necesario introducir trenes de engranajes.

Los trenes de engranajes pueden estar constituidos por una pareja de piñones, un piñón y un conjunto de engranajes o varios conjuntos de estos formando una estructura mucho más compleja.

Se deducirán a continuación una serie de frecuencias propias del engranaje.

1. - Frecuencia de giro del engranaje: esta no es más que la velocidad de giro de la rueda dentada de salida del engranaje expresada en Hz. Dicha frecuencia se puede calcular de acuerdo a la siguiente expresión:

$$f_{rg} = R_g / 60 \dots\dots\dots ( 4.8 )$$

2. - Frecuencia de giro del piñón: se puede expresar como;

$$f_{rp} = R_p / 60 \dots\dots\dots ( 4.9 )$$

3. - Frecuencia de engrane: se puede definir como la frecuencia a la cuál engranan la rueda dentada y el piñón, y se puede obtener a partir de la frecuencia de giro del piñón o a partir de la frecuencia de giro del engranaje:

$$f_m = f_{rp} \times N_p = f_{rg} \times N_g \dots\dots\dots ( 4.10 )$$

4. - Frecuencia de paso de ensamblaje: empezaremos por definir el concepto de fase de ensamblaje. Dicho concepto se puede comprender fácilmente a partir de un caso práctico; se considerará una rueda dentada de 15 dientes y un piñón con 9, y además se supondrá que los dientes de rueda y piñón están enumerados tal como aparece en la figura 4.13. Se parte de que, en el instante inicial los dientes que engranan son los números 1 de ambos engranajes, si se considera la posición de los dientes de la rueda y el piñón al cabo de una revolución, podremos ver que el diente número 1 de la rueda dentada engrana con el número 7 del piñón, no entrando en contacto con ninguno de los seis dientes restantes durante esta primera vuelta.

Si se analiza la segunda vuelta de la rueda dentada el diente número 1 engranará con el diente número 4 del piñón, no entrando en contacto con ninguno de los otros dientes. Si por último se considera la tercera vuelta de la rueda dentada, el diente número 1 de esta estará de nuevo en contacto con el número 1 del piñón.

Durante todo el proceso se ha definido una de las fases de ensamblaje correspondiente al engranaje del diente número 1 de la rueda dentada con los dientes 1, 7 y 4 del piñón. Si en vez de considerar que inicialmente los dientes número 1 estaban en contacto, se considerase que estaban engranados los dientes número 1 de la rueda y 2 del piñón se definiría la

segunda fase de ensamblaje, correspondiente al diente 1 de la rueda y los dientes 2, 8 y 5 del piñón. Por último, si se partiera de la situación inicial de engrane del diente número 1 de la rueda dentada y 3 del piñón, la tercera fase de ensamblaje correspondería al diente 1 de la rueda y los dientes 3, 9 y 6 del piñón.

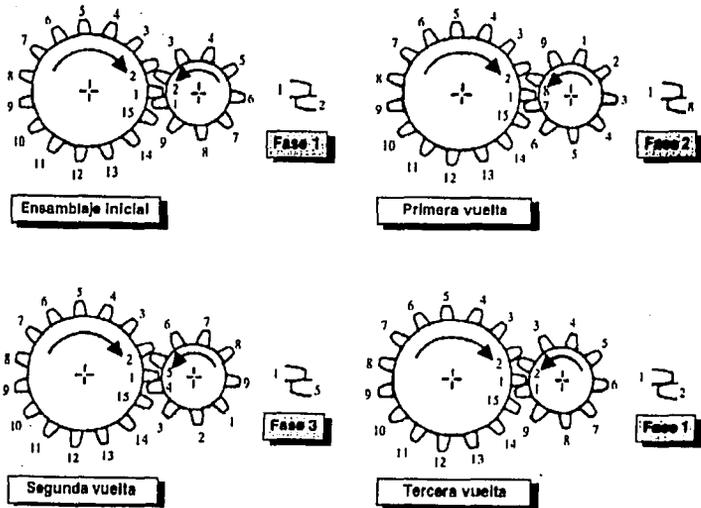


Figura 4.13 (ensamblaje de rueda dentada y piñón)

Matemáticamente, el número de fases de ensamblaje viene dado por el producto de los factores primos comunes del número de dientes de la corona y del piñón:

$$N_p = 9 = 3 \times 3 \times 1 \dots\dots\dots ( 4.11 )$$

$$N_g = 15 = 5 \times 3 \times 1 \dots\dots\dots (4.12)$$

En este caso los factores primos comunes son 1 y 3 cuyo producto vale 3. El número de fases de ensamblaje determina la distribución del desgaste entre dientes de la rueda dentada y del piñón. En el ejemplo se vio como cada diente de la rueda solo entra en contacto con tres dientes del piñón.

Analógicamente cada diente del piñón solo contacta con 5 dientes de la rueda dentada. Así pues, en el caso anterior el piñón presenta tres formas posibles de desgaste, correspondientes a las tres fases de ensamblaje que se definieron.

De esta forma en el caso de defecto de alguno de los dientes de ambos engranajes aparecerá una frecuencia de vibración que tendrá como valor el dado por la fórmula siguiente:

$$f_a = f_m / N_a \dots\dots\dots (4.13)$$

Donde  $N_a$  se define como el producto de los factores primos comunes del número de dientes del piñón y de la corona. La amplitud del armónico introducido en la frecuencia anterior dependerá del grado de desgaste y de cómo este haya afectado al espaciado entre dientes.

La frecuencia de paso de ensamblaje no aparece en algunos casos particulares: si  $N_a$  resultará ser 1, es decir, se considerase una pareja de rueda dentada y piñón que no compartiera ningún factor primo de sus respectivos números de dientes, cada diente de la rueda entraría en contacto con todos y cada uno de los dientes del piñón, evitándose de este

modo la frecuencia anterior. Este tipo de combinación en el número de dientes del engranaje es de uso común en el caso de engranajes de precisión.

5. - Frecuencia de repetición de diente: se comprueba como cada tres revoluciones del engranaje se ponen en contacto el mismo par de dientes, si existiera algún defecto en ambos simultáneamente, se produciría un máximo de vibración cuando dichos dientes engranaran, esta componente suele ser de muy baja frecuencia, y su expresión matemática es la siguiente;

$$f_{tr} = N_a \times f_m / N_p \times N_g \dots\dots\dots ( 4.14 )$$

Las frecuencias definidas aparecen en el espectro de vibraciones del motor, además, es habitual que aparezcan múltiplos enteros de las frecuencias fundamentales, así como combinaciones lineales de estas. Este último hecho provoca que cuando un tren de engranaje se encuentra en mal estado aparezcan en los espectros de vibraciones series de armónicos que pueden dificultar el diagnóstico de otras anomalías.

## 2.- El motor no arranca

La primera comprobación que el técnico debe realizar es ver si la red de alimentación tiene la tensión correcta o si la tensión es nula. Para ello basta con hacer una medida, con ayuda de un voltímetro en los bornes de entrada del motor. Esta comprobación es necesaria, por que una tensión muy por debajo de la nominal, provocada por caídas de tensión en las líneas de alimentación, puede impedir el arranque del motor. Si la tensión de alimentación es correcta y el motor no arranca, la causa puede atribuirse a fallo mecánico, que puede ser de origen interno o externo. La falta de lubricación de los cojinetes puede dificultar el

### *Aspectos de mantenimiento de motores*

movimiento del motor, impidiendo la rotación del eje. Las causas externas pueden ser una carga excesiva para la potencia del motor, un mal acoplamiento entre el motor y la carga o alguna otra conexión mal hecha, si la hubiera. Generalmente, en los casos en los que el motor no arranca debido a fallo o avería mecánicos, se produce un intenso zumbido, que indica que los devanados de la máquina están siendo recorridos por una corriente elevada. En este caso, la alimentación del motor se deberá interrumpir inmediatamente, antes de que los devanados se quemen.

En los motores de poca potencia, un defecto que implique el arranque podrá comprobarse rápidamente separando la máquina de todo elemento acoplado mecánicamente a su eje. Si el rotor puede girarse fácilmente por impulso manual, es probable que el fallo sea eléctrico, en cuyo caso deberá hacerse un análisis más minucioso del circuito eléctrico del motor, para lo cuál se deberá disponer de un amperímetro para comprobar el consumo del motor, figura 4.14.

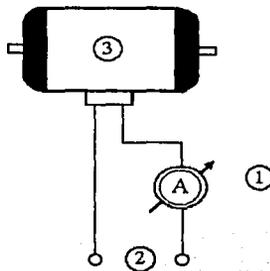


Figura 4.14 (amperímetro utilizado para medir el consumo del motor)

1.- Amperímetro con escala apropiada

2.- Línea

3.- Motor

En la prueba habrá de tenerse en cuenta de que con el motor frenado el consumo de corriente puede alcanzar valores diez veces superiores al consumo nominal, debiendo utilizar un amperímetro con escala apropiada. La prueba indicará que existe una corriente circulando por el motor, y el nuevo paso a dar será la determinación del recorrido de dicha corriente.

La resistencia de los devanados del motor deberá medirse a continuación con un ohmetro para bajas resistencias. Después, en condiciones normales los devanados deberán presentar una resistencia de una fracción de ohm, sobre todo tratándose de un motor de gran tamaño. En la placa del motor deberá leerse el valor de la resistencia total del estator y del inducido, si este estuviera devanado, enfrentándolo con el valor medido. Podrá realizarse un examen más profundo desmontándose el motor y quitando las soldaduras de las conexiones del estator y del inducido, para medir las resistencias de cada uno de dichos elementos. Esta comprobación es de gran importancia, debido a la posible existencia de bobinas en cortocircuito.

En los motores monofásicos de corriente alterna, la causa más frecuente de defectos en el arranque es el condensador. Si este por una causa cualquiera, se perforase, daría paso a la corriente por el devanado de arranque, sin poder proporcionar el desfase necesario entre esa

corriente y la que circula por el devanado de trabajo, condición indispensable para que el motor se ponga en marcha. También puede ocurrir que el interruptor centrifugo, o el relé de arranque, no hagan un contacto perfecto, razón por la cual no circulará corriente por el devanado de arranque, permaneciendo el motor parado. En estos motores, cuando el fallo es mecánico, si el arranque se hace con impulso manual y continúan funcionando normalmente, queda comprobado que el fallo está en uno de los componentes del circuito de arranque.

### 3.- Temperatura elevada en el motor

Este es otro defecto que puede ocurrir en un motor eléctrico, causado también por problemas mecánicos y eléctricos.

Todos los motores eléctricos se recalientan; pero tal recalentamiento no puede ser excesivo, aceptándose como calentamiento normal, dependiendo de la clase de aislamiento del motor, una elevación de temperatura de 30 a 40 °C por encima de la temperatura ambiente. Una comprobación rápida del calentamiento del motor puede realizarse colocando una mano sobre la carcasa; si se pudiera mantener en esta posición, probablemente es que el motor no se calienta excesivamente.

Un calentamiento anormal, puede reducir bastante la vida útil del motor. En los motores de corriente continua y universales el calentamiento puede tener su causa en cortocircuitos parciales en las bobinas de campo y del inducido.

En los motores monofásicos con arranque por condensador, puede provocarse un calentamiento excesivo al no abrirse el interruptor centrifugo o el relé de arranque. En este caso, lo más común es la explosión del condensador que, como ya se dijo, no ha sido proyectado para quedar continuamente en el circuito. En los motores de fase dividida, en los que el devanado de arranque está constituido por unas cuantas espiras, el calentamiento es muy rápido y fuerte, de modo que si el interruptor centrifugo no se desconecta, podría quemarse el motor si el fallo no se observa inmediatamente.

#### 4.- Ruidos zumbidos y trepidaciones

Teóricamente los motores eléctricos deberían ser absolutamente silenciosos, pero, sin embargo, en la práctica, producen un pequeño ruido debido a las vibraciones, al roce de las escobillas y de los cojinetes y al paso del aire entre el estator y el rotor. Este ruido no es muy perceptible cuando el motor está funcionando en condiciones normales, sin embargo, cuando el funcionamiento es normal, se observan fuertes ruidos, zumbidos y trepidaciones, que indican algún defecto en el motor.

Las trepidaciones, como ya se ha indicado, pueden deberse a una lubricación deficiente de los cojinetes, y pueden eliminarse revisando la lubricación, y tal vez, sustituyendo los cojinetes. Los zumbidos pueden ser provocados por cortocircuitos en las bobinas, cuando las recorren corriente elevadas, poniéndose en vibración. En todos los casos, no obstante, debe procederse con criterio para eliminar el defecto, pues los conocimientos técnicos son sólo útiles cuando se aplican debidamente a la solución de un problema.

## CONCLUSIONES

Realmente en este documento existe la información necesaria para dar solución a las expectativas inicialmente generadas, es decir, expone información de gran importancia en la cuál se habla de la mayor parte de fallos y causas de fallos en los motores eléctricos que se presentan directamente en el campo de trabajo:

Teniendo en cuenta que con frecuencia los motores eléctricos se encuentran en puntos vitales de sistemas de gran complejidad, y que los criterios industriales actuales tienden hacia una producción de elevada calidad y sin interrupciones, se hace cada vez más necesario el control de su funcionamiento para detectar los indicios de alguna posible avería.

La información obtenida de la vigilancia continua o periódica del funcionamiento de la máquina proporciona datos de gran utilidad sobre su estado interno, pudiendo de este modo ser previstos de una gran cantidad de fallos: rotura y agrietamiento de barras y anillos de cortocircuito, excentricidades estática y dinámica, desequilibrios y desalineaciones mecánicas, fallos en los cojinetes, pérdida de alguna fase, cortocircuitos entre espiras, imperfecciones en el circuito magnético, degradación en los aislantes, etc. De este modo se evita la aparición de alguna avería que pudiera ser peligrosa para el personal o crítica para el sistema de producción.

En las máquinas eléctricas puede haber fallos de tipo eléctrico, mecánico, o una combinación de ambos, pudiendo ser debidos a factores térmicos (envejecimiento de los devanados por calentamiento excesivo), químicos (gases o líquidos corrosivos), o de otra

naturaleza. En general, la mayor parte de los fallos suelen estar relacionados con el ambiente o ciclo de trabajo de una máquina y ocurre durante un proceso transitorio, que es cuando los esfuerzos mecánicos y eléctricos a los que está sometida son mayores.

Por otra parte, muchos problemas operacionales se podrían resolver utilizando una máquina sobredimensionada; por ejemplo, en un ambiente con altas temperaturas puede ser más conveniente utilizar una máquina de mayor potencia que la de diseño, de forma que ofrezca un margen de trabajo mayor. Sin embargo, no se puede obviar el hecho de que en ocasiones, las máquinas no pueden ser sustituidas aún cuando sufran averías debidas a insuficiencias en las especificaciones originales, sobre todo si se trata de máquinas de gran tamaño, y por tanto, elevado costo. Por ello, en estos casos un seguimiento periódico eficaz de su funcionamiento puede ser aplicado para la detección precoz de fallos.

Mecánicamente, las máquinas pueden estar expuestas a periodos de marcha intermitente, arranques frecuentes y a ciclos de trabajo pesado, donde la carga varía frecuentemente entre plena carga y vacío con sobrecargas ocasionales. Esto puede provocar aflojamiento y/o agrietamiento de los devanados, degradación del aislamiento por envejecimiento térmico, desgaste de los cojinetes, etc. Del mismo modo, una máquina que soporte una carga pulsante, como un compresor o un molino, va a padecer un importante desgaste de sus cojinetes a sí como un nivel de vibración elevado.

De todos los transitorios el más severo que una máquina eléctrica experimenta se produce durante los arranques o reenganches de la alimentación, de modo que gran parte de las

averías de estas máquinas se deben a que sufren repetidos arranques y trabajan durante cortos espacios de tiempo. Esto causa sobrecargas térmicas y mecánicas, aflojamiento de los devanados, movimiento de las conexiones eléctricas y esfuerzos en las cajas de terminales.

Lo que es más importante es que antes de cualquier avería aparecen indicios que pueden ser detectados o identificados con relativa claridad permitiendo un diagnóstico precoz. Por otro lado, también es cierto que la mayoría de los fallos pueden tener varias causas distintas, y por tanto, distintos síntomas.

Es cada vez más importante la utilización de sistemas de seguimiento para conocer el estado de las máquinas eléctricas, algo que en la terminología anglosajona se conoce como "condition monitoring" y que en nuestro país también se denomina mantenimiento preventivo por condición. Con dichos sistemas se pueden obtener indicaciones de fallas inminentes, diagnosticar las necesidades actuales de mantenimiento y planificar las tareas de mantenimiento y reparación a largo plazo, evitándose, consecuentemente, todas las reparaciones innecesarias. Además, es posible prever las piezas de recambio que se van a necesitar, disminuyendo de ese modo los tiempos y los stocks de piezas necesarios para un correcto mantenimiento. Gracias a un buen sistema de mantenimiento, se podrá obtener una importante mejora en la calidad de la producción y sobre todo en la gestión de los propios recursos técnicos de la empresa.

## BIBLIOGRAFÍA

1. - *José Roldán Vitoria*; Motores eléctricos aplicación Industrial, Paraninfo 1996.
- 2.- *Manés Fernández Cabanas, Manuel García Melero, Gonzalo Alonso Orcajo, José Manuel Cano, Juan Solares*; Técnicas para el mantenimiento y diagnóstico de máquinas eléctricas rotativas, Marcombo Boixareu 1998.
3. - *Jim Cox*; Motores eléctricos, Gustavo Gili 1995.
4. - *Cyril G. Veinott*; Motores eléctricos de potencia fraccionaria y subfraccionaria, Marcombo Boixareu 1978.
5. - *Pedro Camarena M.*, Datos y cálculos prácticos para bobinadores electricistas, Compañía editorial continental 1983.
6. - *Raúl Peragallo Torreira*; Manual básico de motores eléctricos, Paraninfo 1990.
7. - *Lohosco y Díaz*; Selección y aplicación de motores eléctricos, Alfa omega 1998.
8. - *Fabregas*; Diagnóstico de averías en los motores eléctricos, Editia Mexicana 1984.
9. - *José Roldán Vitoria*; Motores eléctricos "Variación de velocidad", Paraninfo 1998.
10. - *José Manuel Puchol Vivas*; Motores de corriente alterna, Limusa 1978.
11. - *F. T. Bartho*; Motores eléctricos industriales y dispositivos de control, Urmo ediciones 1968.
- 12.- *R.L. Mc Intire*; Control de motores eléctricos, Mc Graw-Hill 1982.