

# Universidad Nacional de Ingeniería

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA



## **Proceso de Reparación de Motores Eléctricos Asíncronos**

### **INFORME DE INGENIERIA**

Para Optar el Título Profesional de:

### **INGENIERO ELECTRICISTA**

**PABLO EMILIANO BENDEZU SILVA**

Lima - Perú  
1997

A mis queridos padres, BONIFACIO y JULIA,  
por la confianza que depositaron en mí,  
y como un reconocimiento al esfuerzo y  
apoyo que significaron durante mi  
formación personal y profesional.

A mi querida esposa ALBERTA y a mis  
hijas LIGIA Y ALESSANDRA, quienes con su  
amor y constante apoyo me estimulan  
para seguir superándome e hicieron  
posible la culminación del presente  
trabajo.

## SUMARIO

Ante el uso masivo de los motores eléctricos en todas las ramas de la economía, especialmente en la industria, se necesita contar con un eficiente y confiable sistema de reparación de dichos motores.

Por tal motivo, el presente trabajo muestra una metodología para la reparación de los motores eléctricos asíncronos, indicándose la organización, secuencia de trabajos y pruebas de control, de manera tal que nos asegure un óptimo funcionamiento durante su servicio efectivo; además se hace una evaluación de los costos de reparación.

La experiencia nos demuestra que las reparaciones llevadas a cabo con esta metodología, utilizando el material de acuerdo a especificaciones técnicas, y con personal técnico calificado, son altamente confiables y nos garantiza una máxima expectativa de vida útil de los motores.

**PROCESO DE REPARACION  
DE MOTORES ELECTRICOS ASINCRONOS**



TEMA : PROCESO DE REPARACION DE MOTORES  
ELECTRICOS ASINCRONOS  
PRESENTADO POR : PABLO EMILIANO BENDEZU SILVA  
ESPECIALIDAD : INGENIERIA ELECTRICA  
FACULTAD : INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA  
UNIVERSIDAD : UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FECHA : AGOSTO 1997

---

### EXTRACTO

El presente trabajo, sobre el proceso de reparación de motores eléctricos asíncronos, se ha dividido en seis capítulos, los cuales se describen a continuación en forma resumida.

En el capítulo uno, se describe la organización de los trabajos de reparación, indicándose la secuencia de trabajos mediante un esquema típico del proceso de reparación, los tipos de reparaciones y los equipos e instrumentos utilizados en dicho proceso de reparación.

En el capítulo dos se indican las pruebas a que son sometidos los motores antes de su reparación, con el fin de determinar todos los defectos de los mismos y así poder determinar los trabajos a ejecutarse; luego, tomando como ejemplo un motor de estructura muy conocida, se indica el proceso de desmontaje.

En el capítulo tres se trata específicamente de la reparación y pruebas de los devanados, iniciándose con la toma de datos y el cálculo de verificación de sus

características y el cálculo de los parámetros de funcionamiento del motor; continuándose con el aislamiento de las ranuras, la preparación y colocación de las bobinas, y el barnizado; concluyéndose con las pruebas respectivas.

En el capítulo cuatro, utilizando como ejemplo el mismo motor de estructura conocida del capítulo dos, se detalla el proceso de montaje de los motores; asimismo, se indican las pruebas finales a que se someten los motores una vez concluido el montaje, a fin de constatar la buena calidad de la reparación.

En el capítulo cinco se expone una breve evaluación de los costos de reparación, indicándose los costos de materiales y mano de obra, así como los diferentes coeficientes de gastos y beneficio considerados para determinar el precio de venta del servicio de reparación, incluyéndose al final un ejemplo numérico para un motor de 100 HP.

Finalmente en el capítulo seis, como aplicación, se describe el proceso de reparación de un motor asíncrono de 125 HP, 440 V, 1750 RPM, detallándose las pruebas y cálculos respectivos, así como la evaluación del costo de reparación.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCION	1
CAPITULO I	
ORGANIZACION DE LOS TRABAJOS DE REPARACION	3
1.1 Organización estructural-tecnológica de la reparación	3
1.1.1 Tipos de reparación	3
1.1.2 Esquema típico del proceso de reparación	4
1.2 Equipos e instrumentos utilizados durante la reparación	4
1.2.1 Para la carga y descarga	5
1.2.2 Para las pruebas eléctricas	5
1.2.3 Para reparar los devanados	5
1.2.4 Para las reparaciones mecánicas	6
CAPITULO II	
PRUEBAS Y DESMONTAJE DE MOTORES ELECTRICOS	
ANTES DE LA REPARACION	19
2.1 Observaciones externas y pruebas de recepción	19
2.1.1 Medida de la resistencia de aislamiento	20
2.1.2 Medida de resistencia de los devanados	21
2.1.3 Prueba en vacío	22
2.1.4 Prueba de tensiones inducidas	23
2.2 Desmontaje electromecánico	24
2.3 Revisión electromecánica	26

2.3.1	Prueba monofásica del estator o del rotor	27
2.3.2	Prueba del núcleo magnético	28
2.3.3	Prueba de la jaula de ardilla	30
2.4	Esquemas de devanados y extracción del devanado	30
2.4.1	Toma de datos	31
2.4.2	Extracción del devanado	31
2.4.3	Esquemas de devanados	34

### CAPITULO III

PRUEBAS Y REPARACION DE DEVANADOS	41	
3.1	Cálculo del devanado	41
3.1.1	Datos del núcleo magnético	42
3.1.2	Fuerza electromotriz inducida en los devanados	42
3.1.3	Factor de paso $K_p$	43
3.1.4	Factor de distribución $K_d$	44
3.1.5	Factor de devanado o arrollamiento $K_a$	45
3.1.6	Número de conductores en serie por fase $N$	45
3.1.7	Cálculo del flujo magnético $\phi$	45
3.1.8	Cálculo de las inducciones magnéticas en el núcleo	45
3.1.9	Densidad de corriente $J$	48
3.1.10	Factor de utilización $F_u$	49
3.1.11	Densidad de carga lineal $Q$	49
3.1.12	Cálculo de la longitud media de una espira $L_m$	50
3.1.13	Cálculo del peso del conductor utilizado	51
3.1.14	Cálculo de los cables de salida	51
3.2	Aislamiento de las ranuras	53

3.3	Preparación de bobinas	53
3.4	Colocación de bobinas	55
3.5	Conexiones	57
3.6	Prueba previa	59
3.6.1	Prueba del campo magnético giratorio	60
3.6.2	Prueba de rigidez dieléctrica	61
3.7	Barnizado y secado	62

#### CAPITULO IV

<b>MONTAJE Y PRUEBAS FINALES</b>	<b>73</b>	
4.1	Montaje electromecánico	73
4.2	Pruebas finales	76
4.2.1	Prueba de rotor bloqueado	77
4.2.2	Diagrama circular de Heyland	78
4.3	Pintura y acabados	80
4.4	Inspección final	81

#### CAPITULO V

<b>EVALUACION DE LOS COSTOS DE REPARACION</b>	<b>83</b>	
5.1	Objetivo	83
5.2	Determinación del precio de venta	83
5.2.1	Costo de materiales (CM)	83
5.2.2	Costo de mano de obra (CT)	84
5.2.3	Coeficiente de gastos de materiales (fm)	84
5.2.4	Coeficiente de gastos de la mano de obra directa (ft)	84
5.2.5	Coeficiente de gastos generales (fg)	84
5.2.6	Coeficiente de beneficio o utilidad (fb)	84
5.2.7	Precio de venta (PV)	85

5.3	Ejemplo numérico	85
5.3.1	Resumen de costos y gastos	85
5.3.2	Precio de venta	86

## CAPITULO VI

### APLICACION: REPARACION DE UN MOTOR ASINCRONO

TRIFASICO DE 125 HP, 440 V		90
6.1	Observaciones externas y pruebas de recepción	90
6.2	Revisión electromecánica	90
6.2.1	Prueba del núcleo magnético	91
6.3	Toma de datos y cálculo del devanado antiguo	91
6.3.1	Datos del núcleo magnético	91
6.3.2	Datos del bobinado antiguo	92
6.3.3	Cálculo del factor de paso	93
6.3.4	Cálculo del factor de distribución	93
6.3.5	Cálculo del factor de arrollamiento	93
6.3.6	Número de conductores en serie por fase	94
6.3.7	Cálculo del flujo magnético	94
6.3.8	Inducción en la corona	94
6.3.9	Inducción en el entrehierro	94
6.3.10	Inducción en el diente	95
6.3.11	Densidad de corriente	95
6.3.12	Factor de utilización	95
6.3.13	Densidad de carga lineal	96
6.3.14	Cálculo de la longitud media de una espira	96
6.3.15	Cálculo del peso del conductor utilizado	96
6.3.16	Cálculo de los cables de salida	97
6.4	Cálculo del nuevo devanado	97

6.4.1	Factor de paso	97
6.4.2	Factor de distribución	98
6.4.3	Factor de arrollamiento	98
6.4.4	Número de conductores en serie por fase	98
6.4.5	Flujo magnético	98
6.4.6	Inducción en la corona	98
6.4.7	Inducción en el entrehierro	98
6.4.8	Inducción en el diente	98
6.4.9	Densidad de corriente	98
6.4.10	Factor de utilización	99
6.4.11	Densidad de carga lineal	99
6.4.12	Longitud media de una espira	99
6.4.13	Peso del conductor utilizado	99
6.4.14	Cables de salida	100
6.5	Pruebas finales	101
6.6	Cálculo del precio de venta	101
6.6.1	Costo de materiales	101
6.6.2	Costo de mano de obra directa	102
6.6.3	Precio de venta	102
<b>CONCLUSIONES</b>		109
<b>ANEXOS</b>		
<b>ANEXO I</b>		
TIPOS DE MOTORES ELÉCTRICOS ASÍNCRONOS		113
<b>ANEXO II</b>		
MATERIALES PARA LOS TRABAJOS DE DEVANADO Y		
AISLAMIENTO		117

<b>ANEXO III</b>	
OTROS CÁLCULOS DURANTE LA REPARACIÓN DE DEVANADOS	138
<b>ANEXO IV</b>	
ESQUEMAS DE LOS DEVANADOS TRIFÁSICOS	145
<b>ANEXO V</b>	
ESQUEMAS DE CONEXIÓN DE LOS MOTORES TRIFÁSICOS DE POLOS CONMUTABLES	156
<b>ANEXO VI</b>	
DESIGNACIONES DE LAS CLASES DE PROTECCIÓN PARA MÁQUINAS ELÉCTRICAS	157
<b>ANEXO VII</b>	
AVERÍAS EN LOS MOTORES DE INDUCCIÓN	158
<b>ANEXO VIII</b>	
TEMPERATURA EN LOS MOTORES ELÉCTRICOS	165
<b>ANEXO IX</b>	
BALANCEO DINÁMICO DE UN ROTOR DE MÁQUINA ELÉCTRICA	171
<b>ANEXO X</b>	
RODAMIENTOS	175
<b>ANEXO XI</b>	
VISTAS FOTOGRÁFICAS DE ALGUNAS AVERÍAS Y SECUENCIAS DE TRABAJO DURANTE LA REPARACIÓN	181
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	187



## INTRODUCCION

Las máquinas asíncronas, en particular los motores asíncronos (o de inducción) trifásicos, constituyen en la actualidad, las máquinas eléctricas de corriente alterna más divulgadas. Gracias a su sencilla estructura, alta seguridad de funcionamiento, características de trabajo satisfactorias y a su costo comparativamente bajo, los motores asíncronos han encontrado una amplia aplicación, prácticamente en todos los campos de la economía: la industria, la agricultura, el transporte, etc.

Ante el uso masivo de éstas máquinas, crece la necesidad de un sistema bien organizado de reparaciones de las mismas, y, como consecuencia de esto, surgen pequeñas empresas que ejecutan estas reparaciones con eficiencia, prontitud y confiabilidad.

El presente trabajo sobre el proceso de reparación de motores asíncronos, basado en la experiencia profesional acumulada en este tipo de empresas, trata de mostrar una secuencia de reparación, que permita asegurar un óptimo funcionamiento durante su servicio efectivo, y con la plena garantía que no surgirán problemas originados por anomalías no consideradas durante dicho proceso.

Para cumplir con este objetivo, inicialmente, se indican los tipos de reparaciones y la organización adecuada para

llevarlas a cabo. A continuación, se describen los trabajos y pruebas que se efectúan durante cada etapa de la reparación. Posteriormente, se hace una evaluación de los costos de reparación y se presenta, como aplicación, el proceso de reparación de un motor específico. Finalmente, en anexos, se adjuntan esquemas e información técnica complementaria referente a la reparación de los motores eléctricos.

## CAPITULO I ORGANIZACION DE LOS TRABAJOS DE REPARACION

### 1.1 Organización estructural-tecnológica de la reparación

#### 1.1.1 Tipos de reparación

Siendo el motor asíncrono una máquina robusta y de constitución simple, se deterioran con más frecuencia los devanados como resultado de sobrecalentamientos inadmisibles, provocados por sobrecargas sistemáticas o por otras violaciones de los regímenes normales de su funcionamiento; pero, generalmente, estas sobrecargas se producen como consecuencia de fallas de las partes mecánicas del motor.

Por lo tanto, cuando se repara un motor, aparte del rebobinado del devanado estatórico o rotórico, se deben corregir componentes averiados tales como:

- Reparar el núcleo magnético.
- Metalizar o cambiar de eje.
- Embocinar las tapas laterales.
- Reconstruir la jaula de ardilla.
- Cambiar rodamientos.
- Rectificar o cambiar anillos rozantes.
- Cambiar ventilador o bornera.
- Balancear dinámicamente el rotor.

Se puede realizar una reparación parcial o total del devanado; pero la experiencia nos demuestra que, en

general, un devanado parcialmente sustituido se estropea rápidamente, como consecuencia de la rotura del aislamiento de la parte del devanado en buen estado en el proceso de la reparación, así como a causa de la diferencia entre la calidad y el plazo de servicio del aislamiento nuevo y viejo. Por esta razón, resulta más conveniente la reparación total del devanado.

### **1.1.2 Esquema típico del proceso de reparación**

La secuencia de trabajos ejecutados durante el proceso de reparación de los motores asíncronos, y en general de las máquinas eléctricas, se expone en la Figura Nº 1.1. En ella también se indican los trabajos que corresponden a las diferentes secciones: sala de pruebas, mecánica, cálculo y bobinados.

Para un mejor control y seguimiento de los trabajos se utilizan los protocolos de pruebas, los cuales se muestran en los siguientes formatos:

- Formato 1.1 Reparación de motor trifásico de jaula de ardilla.
- Formato 1.2 Reparación de motor trifásico de rotor bobinado.
- Formato 1.3 : Reparación de motor monofásico

### **1.2 Equipos e instrumentos utilizados durante la reparación**

Para llevar a cabo la reparación de los motores eléctricos asíncronos, y en general de cualquier máquina eléctrica, las empresas dedicadas a esta actividad, básicamente, deben contar con los siguientes equipos e instrumentos:

### 1.2.1 Para la carga y descarga

- Grúa puente.
- Tecles.
- Montacargas.

### 1.2.2 Para las pruebas eléctricas

- Tablero de pruebas.
- Fuente de voltaje de corriente alterna (C.A.) trifásica variable.
- Fuente de voltaje de C.A. monofásica.
- Probador dieléctrico de alta tensión variable.
- Megóhmetros.
- Multímetros.
- Vatímetros.
- Probador de resistencias "puente wheatstone"
- Amperímetros.
- Termómetros.
- Probador de inducción (Growler).
- Tacómetro.
- Brújula, etc.

### 1.2.3 Para reparar los devanados

- Máquina de bobinado, para el arrollamiento manual o mecanizado de los devanados.
- Equipo para colocar bandajes en los devanados de rotores bobinados.
- Máquina de balanceo dinámico de rotores.
- Cámara (horno) de secado, para secar los devanados antes y después del barnizado.
- Cizalla de palanca, para cortar papeles aislantes.

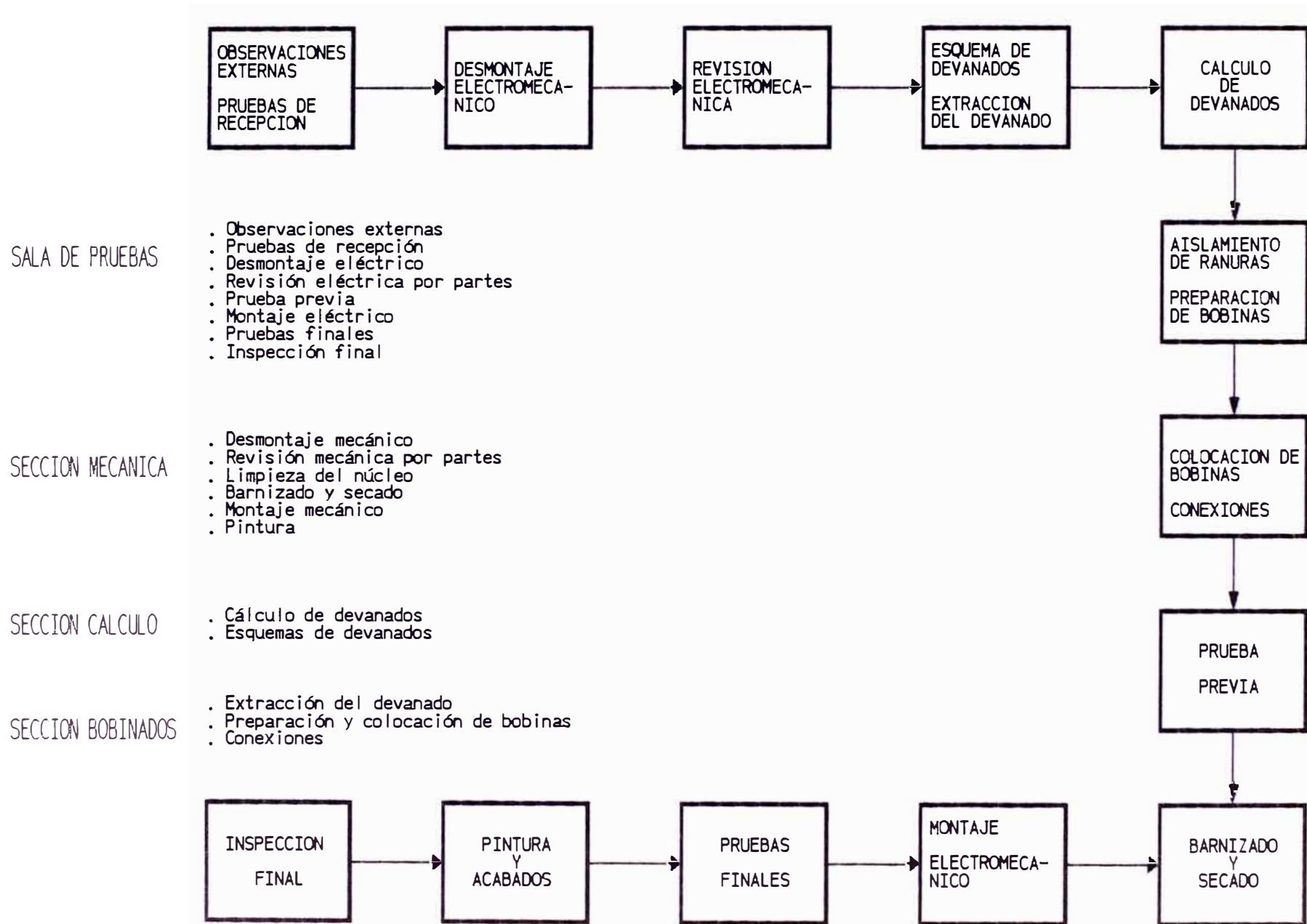
- Hacha de fibra, para apretar los conductores en la ranura durante el bobinado.
- Lámina de fibra, para colocar y tender en la ranura los lados de bobinas.
- Lengua de fibra, para eliminar intersecciones de conductores en la ranura.
- Llaves para doblar conductores rígidos de cobre (varillas).
- Empujadores para sacar las cuñas de las ranuras.
- Además, cada bobinador debe de tener unos ganchos de cable para hacer pasar la cinta, pinzas para pelar el aislamiento de cables, martillo de goma, punzón, tenazas, tijeras, reglas, soldador eléctrico o soplete, etc.

#### **1.2.4 Para las reparaciones mecánicas**

- Máquina para trabajar metales (torno).
- Máquina de soldar.
- Equipo de soldadura autógena.
- Compresora de aire.
- Taladros de banco y portátiles.
- Esmeriles de banco y portátiles.
- Prensa hidráulica.
- Herramientas de uso manual: destornilladores, llaves de boca y corona, alicates y martillos mecánicos, juego de dados, escuadras, etc.
- Extractores, casquillos, herramientas hidráulicas y calentadores de inducción para el montaje y desmontaje de rodamientos y coples.

Figura No. 1.1

Esquema Tipico del Proceso de Reparación



<b>U N I</b>		<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA</b>																							
PROTOCOLO DE PRUEBAS DE MOTOR TRIFASICO DE INDUCCION DE JAULA DE ARDILLA			O.T. N° _____ CLIENTE : _____																						
<b>DATOS DE PLACA</b>																									
Marca	N°	Conexión		Modelo																					
Tipo	Velocidad	Voltios		Frecuencia																					
Potencia	Cos φ	Amperios		Clase Aislamiento																					
<b>1) OBSERVACIONES EXTERNAS</b>			Fecha		Firma																				
Recepcionado	Estator y rotor <input type="radio"/> Estator solo <input type="radio"/> Rotor solo <input type="radio"/>																								
Placa	Rota <input type="radio"/>	Dorada <input type="radio"/>	No tiene <input type="radio"/>	Bien <input type="radio"/>																					
Tapas	Rotas <input type="radio"/>	Golpeadas <input type="radio"/>	Incompletas <input type="radio"/>	No tiene <input type="radio"/> Bien <input type="radio"/>																					
Caja de bornes	Rota <input type="radio"/>	Golpeada <input type="radio"/>	Incompleta <input type="radio"/>	No tiene <input type="radio"/> Bien <input type="radio"/>																					
N° de salidas	Conexión de recepción																								
Funda	Rota <input type="radio"/>	Incompleta <input type="radio"/>	No tiene <input type="radio"/>		Bien <input type="radio"/>																				
Aletas	Rotas <input type="radio"/>	Incompletas <input type="radio"/>	No tiene <input type="radio"/>		Bien <input type="radio"/>																				
Soportes	Rotos <input type="radio"/>	Incompletos <input type="radio"/>	No tiene <input type="radio"/>		Bien <input type="radio"/>																				
Eje	Gira <input type="radio"/>	Trabado <input type="radio"/>		No tiene <input type="radio"/>																					
Otros																									
<b>2) PRUEBA DE RECEPCION</b>			Fecha		Firma																				
2.1 <u>ESTATOR</u> 2.1.1 Medida del aislamiento 2.1.2 Medida de la resistencia de fases 2.2 <u>PRUEBA EN VACIO</u>																									
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:30%;">BORNES</td> <td style="width:15%;"></td> <td style="width:15%;"></td> <td style="width:15%;"></td> <td style="width:15%;"></td> </tr> <tr> <td>VOLTIOS</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>AMPERIOS</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>						BORNES					VOLTIOS					AMPERIOS									
BORNES																									
VOLTIOS																									
AMPERIOS																									
Observaciones: .....																									
<b>3) OBSERVACIONES INTERNAS</b>			Fecha		Firma																				
3.1 <u>ESTATOR</u> 3.1.1 Aislamiento de salidas : Bien <input type="radio"/> Mal <input type="radio"/> 3.1.2 Arrollamientos quemados : No <input type="radio"/> Si <input type="radio"/> en las fases 3.1.3 Cortocircuito entre : Espiras <input type="radio"/> Bobinas <input type="radio"/> Fases <input type="radio"/> 3.1.4 Fases en buen estado 3.1.5 Prueba monofásica de los arrollamientos																									
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:30%;">BORNES</td> <td style="width:15%;"></td> <td style="width:15%;"></td> <td style="width:15%;"></td> <td style="width:15%;"></td> </tr> <tr> <td>VOLTIOS</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>AMPERIOS</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>No. POLOS</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>						BORNES					VOLTIOS					AMPERIOS					No. POLOS				
BORNES																									
VOLTIOS																									
AMPERIOS																									
No. POLOS																									
Calentamiento: Normal <input type="radio"/> Excesivo <input type="radio"/>																									
3.1.6 Prueba del fierro con ..... Gauss Bien <input type="radio"/> Mal <input type="radio"/>																									
Observaciones: .....																									







<b>UNI</b>		<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA</b>																		
PROTOCOLO DE PRUEBAS DE MOTOR TRIFASICO DE INDUCCION DE ANILLOS ROZANTES		O.T. N° :																		
		CLIENTE :																		
DATOS DE PLACA																				
Marca	N°	ESTATOR		ROTOR																
Tipo	Cos φ	Conex		Conex																
Potencia	Frecuencia	Voltios		Voltios																
Velocidad	Clase Aislamiento	Amperios		Amperios																
<b>1) OBSERVACIONES EXTERNAS</b>		Fecha		Firma																
Recepcionado	Estator y rotor <input type="radio"/>		Estator solo <input type="radio"/>		Rotor solo <input type="radio"/>															
Placa	Rota <input type="radio"/>	Dorrada <input type="radio"/>	No tiene <input type="radio"/>	Dien <input type="radio"/>																
Tapas	Notas <input type="radio"/>	Golpeadas <input type="radio"/>	Incompletas <input type="radio"/>	No tiene <input type="radio"/>	Dien <input type="radio"/>															
Caja bornes estator	Rota <input type="radio"/>	Golpeada <input type="radio"/>	Incompleta <input type="radio"/>	No tiene <input type="radio"/>	Dien <input type="radio"/>															
Caja bornes rotor	Rota <input type="radio"/>	Golpeada <input type="radio"/>	Incompleta <input type="radio"/>	No tiene <input type="radio"/>	Dien <input type="radio"/>															
N° salidas - rotor	Conexión de recepción																			
N° salidas - estator	Conexión de recepción																			
Funda	Rota <input type="radio"/>	Incompleta <input type="radio"/>	No tiene <input type="radio"/>	Dien <input type="radio"/>																
Aletas	Notas <input type="radio"/>	No tiene <input type="radio"/>	No tiene <input type="radio"/>	Dien <input type="radio"/>																
Soportes	Rotos <input type="radio"/>	Incompletos <input type="radio"/>	No tiene <input type="radio"/>	Dien <input type="radio"/>																
Eje	Gira <input type="radio"/>	Trabado <input type="radio"/>	No tiene <input type="radio"/>																	
Otros																				
<b>2) PRUEBA DE RECEPCION</b>		Fecha		Firma																
2.1	<u>AISLAMIENTO</u>																			
	Devanado estátorico vs. masa =		, Portacarbonés vs. masa =																	
	Devanado rotórico vs masa =		, Entre portacarbonés =																	
	Devanado estátorico vs. rotórico =																			
2.2	<u>CONTINUIDAD</u>																			
	Devanado estátorico : .....																			
	Devanado rotórico : .....																			
2.3	<u>TENSIONES INDUCIDAS EN EL</u>																			
	2.3.1 Alimentación por el ..... con A.C.																			
	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:25%; text-align: center;">BORNES</td> <td style="width:25%;"></td> <td style="width:25%;"></td> <td style="width:25%;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">VOLTIOS</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		BORNES				VOLTIOS				<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:25%; text-align: center;">BORNES</td> <td style="width:25%;"></td> <td style="width:25%;"></td> <td style="width:25%;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">VOLTIOS</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		BORNES				VOLTIOS			
BORNES																				
VOLTIOS																				
BORNES																				
VOLTIOS																				
	Calentamiento en el ..... : NORMAL <input type="radio"/> EXCESIVO <input type="radio"/>																			
<b>3) OBSERVACIONES INTERNAS</b>		Fecha		Firma																

PROCOLO DE PRUEBAS DE MOTOR TRIFASICO DE INDUCCION  
DE ANILLOS ROZANTES

OT N°

CLIENTE :

3.1

ESTATOR

3.1.1 Prueba monofásica de los arrollamientos

BORNES			
VOLTIOS			
AMPERIOS			
No. POLOS			

Calentamiento:

Normal Excesivo 3.1.2 Aislamiento de salidas : Bien  Mal 3.1.3 Arrollamientos quemados : No  Si  en las fases3.1.4 Cortocircuito entre : Espiras  Bobinas  Fases 

3.1.5 Fases en buen estado : ..... láminas de hierro .....

3.2

ROTOR

3.2.1 Prueba monofásica de los arrollamientos

BORNES			
VOLTIOS			
AMPERIOS			
No. POLOS			

Calentamiento:

Normal Excesivo 3.2.2 Arrollamientos quemados : No  Si  en las fases3.2.3 Cortocircuito entre : Espiras  Bobinas  Fases 

3.2.4 Fases en buen estado : .....

3.2.5 Láminas del hierro : .....

**4) CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Fecha

Firma

DEPARTAMENTO TECNICO

Fecha

Firma

**5) PRUEBA PREVIA**

Fecha

Firma

PROTOCOLO DE PRUEBAS DE MOTOR TRIFASICO DE INDUCCION  
DE ANILLOS ROZANTES

O.T. N° :

CLIENTE :

5.1 ESTATOR

5.1.1 Medida del aislamiento

5.1.2 Medida de la resistencia en fases

5.1.3 Prueba monofásica de los arrollamientos

BORNES			
VOLTIOS			
AMPERIOS			
No. POLOS			

Calentamiento:

Normal Excesivo 5.2 ROTOR

5.2.1 Medida del aislamiento

5.2.2 Medida de la resistencia de fases

5.2.3 Prueba monofásica de los arrollamientos

BORNES			
VOLTIOS			
AMPERIOS			
No. POLOS			

Calentamiento:

Normal Excesivo 6) PRUEBA FINAL

Fecha

Firma

6.1 AISLAMIENTO6.2 PRUEBA EN VACIO

BORNES			
VOLTIOS			
AMPERIOS			

Calentamiento : Normal Excesivo 

Velocidad : .....



PROTÓCOLO DE PRUEBAS DE MOTOR TRIFASICO DE INDUCCION  
DE ANILLOS ROZANTES

O.T. N° :

CLIENTE :

Observaciones :

**7) INSPECCION FINAL**

Fecha

Firma

7.1 Aislamiento

7.2 N° salidas

7.3 Conexión de entrega

7.4 Condiciones de despacho

7.5 Observaciones

7.6 Trabajos realizados en su reparación:

Vo. Bo. Sala de Pruebas :

Vo. Bo. Dpto. Técnico :

<b>U N I</b>		<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA</b>			
PROTOCOLO DE PRUEBAS DE MOTOR MONOFASICO			O.T. N° :		
			CLIENTE :		
<b>DATOS DE PLACA</b>					
Marca	N°	Conexión		Modelo	
Tipo	Velocidad	Voltios		Frecuencia	
Potencia	Cos φ	Amperios		Capacitor	
<b>1) OBSERVACIONES EXTERNAS</b>				Fecha	Firma
Recepcionado	Estator y rotor <input type="radio"/>		Estator solo <input type="radio"/>		Rotor solo <input type="radio"/>
Placa	Nota <input type="radio"/>	Doradas <input type="radio"/>	No tiene <input type="radio"/>	Bien <input type="radio"/>	
Tapas	Rotas <input type="radio"/>	Golpeadas <input type="radio"/>	Incompletas <input type="radio"/>	No llene <input type="radio"/>	Bien <input type="radio"/>
Caja bornes	Rota <input type="radio"/>	Golpeada <input type="radio"/>	Incompleta <input type="radio"/>	No tiene <input type="radio"/>	Bien <input type="radio"/>
N° salidas	Conexión de recepción				
Funda	Rota <input type="radio"/>	Incompleta <input type="radio"/>	No tiene <input type="radio"/>	Bien <input type="radio"/>	
Aletas	Rotas <input type="radio"/>	No tiene <input type="radio"/>	No tiene <input type="radio"/>	Bien <input type="radio"/>	
Soportes	Rotos <input type="radio"/>	Incompletos <input type="radio"/>	No tiene <input type="radio"/>	Bien <input type="radio"/>	
Eje	Gira <input type="radio"/>	Trabado <input type="radio"/>	No tiene <input type="radio"/>		
Otros					
<b>2) PRUEBA DE RECEPCION</b>				Fecha	Firma
2.1	<u>ESTATOR</u>				
2.1.1	Medida del aislamiento .....				
2.1.2	Medida de la resistencia de arrollamiento .....				
2.2	<u>PRUEBA EN VACIO</u>				
	Vo		OBSERVACIONES: .....		
	Io				
	RPM				
<b>3) OBSERVACIONES INTERNAS</b>				Fecha	Firma
3.1	<u>ESTATOR</u>				
3.1.1	Aislamiento de salidas :	Bien <input type="radio"/>	Mal <input type="radio"/>		
3.1.2	Arrollamientos quemados:	Arranque	Si <input type="radio"/>	No <input type="radio"/>	
		Régimen	Si <input type="radio"/>	No <input type="radio"/>	
3.1.3	Cortocircuito entre:	Espiras <input type="radio"/>	Bobinas <input type="radio"/>	Arrollamientos <input type="radio"/>	

PROTOCOLO DE PRUEBAS DE MOTOR MONOFASICO

O.T. N° :

CLIENTE :

## 3.1.4 Prueba de los arrollamientos

ARROLLAMIENTO			
VOLTIOS			
AMPERIOS			
No. POLOS			

Calentamiento : Normal Excesivo 

3.1.5 Prueba de inducción magnética con ..... gaus

Observaciones : .....

3.2 ROTOR3.2.1 Jaula de ardilla : Golpeada  Abierta  No tiene  Bien 3.2.2 Bobinado : Abierto  Quemado  No tiene  Bien 

3.2.3 Lámina de hierro: .....

3.3 OTROSColector: Rayado  Ennegrecido  Desbastado  Contacto a masa Perforado  Delgas cortocircuitadas  No tiene  Bien 

Portaescobillas: ..... Escobillas : .....

Condensador: ..... Termóstato: .....

Int. centrífugo: ..... Int. Magnético: .....

**4) CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Fecha

Firma

DEPARTAMENTO TECNICO

Fecha

Firma

**5) PRUEBA PREVIA**

Fecha

Firma



PROTOCOLO DE PRUEBAS DE MOTOR MONOFASICO

O.T. N° :

CLIENTE :

5.1 ESTATOR

5.1.1 Medida del aislamiento

5.1.2 Medida de la resistencia de arrollamientos

5.1.3 Prueba de los arrollamientos:

ARROLLAMIENTO			
VOLTIOS			
AMPERIOS			
No. POLOS			

Calentamiento : Normal Excesivo 

Observaciones :

## 6) PRUEBA FINAL

Fecha

Firma

6.1 Aislamiento :

6.2 Resistencias :

6.3 Prueba en Vacío

$V_0$	
$I_0$	
RPM	

Calentamiento : Normal Excesivo 

Velocidad :

Observaciones:

## 7) INSPECCION FINAL

Fecha

Firma

PROTOCOLO DE PRUEBAS DE MOTOR MONOFASICO

O.T. N° :

CLIENTE :

7.1 Aislamiento

7.2 N° salidas

7.3 Conexión

7.4 Condiciones de despacho

7.5 Observaciones

7.6 Trabajos realizados en su reparación:

Vo. Bo. Sala de Pruebas :

Vo. Bo. Dpto. Técnico :

**CAPITULO II**  
**PRUEBAS Y DESMONTAJE DE MOTORES ELECTRICOS**  
**ANTES DE LA REPARACION**

**2.1 Observaciones externas y pruebas de recepción**

Cuando un motor es recepcionado para su reparación, lo primero que se hace es registrar, en el protocolo de pruebas antes mencionado (formatos 1.1, 1.2 y 1.3), lo siguiente:

- Las características de placa, donde se especifican la marca, el número de serie, tipo, potencia, tensión, corriente, velocidad, factor de servicio, factor de potencia, frame, frecuencia, conexión, clase de aislamiento, etc.
- El estado en que se encuentran las diferentes partes tales como: tapas (escudos), caja de bornes, funda (tapa del ventilador externo), ventilador, soportes, aletas, eje, placa de datos, etc.

Una vez concluidas con estas observaciones externas, se procede a realizar las pruebas de recepción con el fin de determinar las averías, así como definir los trabajos de reparación a ejecutar.

En el anexo VII se muestra una relación abreviada de las averías más frecuentes de los motores y las causas que las originan:

Las pruebas que se realizan, con el motor armado, son

las siguientes:

### **2.1.1 Medida de la resistencia de aislamiento**

#### **a) Objetivo**

Determinar posibles contactos de los devanados a masa, o cortocircuitos entre devanados, tanto del estator como del rotor (en motores de rotor bobinado).

#### **b) Material**

Megóhmetro de 500, 1000 ó 2500 voltios de corriente continua (VDC), en función de la tensión del motor.

#### **c) Procedimiento**

- El estator y el rotor deben estar desenergizados.
- Limpiar los terminales del estator y anillos del rotor.
- Tener un buen contacto a masa en el estator y rotor.
- Comprobar el buen estado del megóhmetro. Para ello, el instrumento se coloca en posición horizontal, los bornes se cortocircuitan, se acciona y se comprueba la coincidencia de la aguja con el índice cero de la escala; luego, permaneciendo los bornes desconectados, se verifica la coincidencia de la aguja con el índice de infinito ( $\infty$ ).
- Para medir la resistencia de aislamiento de los devanados con respecto a masa, conectar el cable de un borne del megóhmetro al borne del devanado, y el del otro borne a la masa del motor. Al medir la resistencia de aislamiento entre fases, los bornes se conectan a los terminales de los devanados.
- Registrar las medidas en el protocolo de pruebas.
- El valor mínimo de la resistencia de aislamiento, en

megaohm ( $M\Omega$ ), debe ser:

$$R_{\text{mín}} = (1 + 0.001 V_n)$$

Donde:

$R_{\text{mín}}$  : Resistencia mínima de aislamiento.

$V_n$  : Tensión nominal del motor.

- Para motores de rotor bobinado, se deben medir también las resistencias de aislamiento entre: devanado rotórico y masa, devanados estático y rotórico, portacarbonos y masa, y portacarbonos.

### 2.1.2 Medida de resistencia de los devanados

La medida de la resistencia de los devanados o sus elementos se pueden realizar con un ohmímetro de lectura directa o con un puente universal de resistencias.

#### a) Objetivo

Detectar cortocircuitos entre espiras de la misma fase, o interrupciones en los devanados.

#### b) Material

Un probador de resistencia "puente wheatstone".

#### c) Procedimiento

- Conectar el devanado a prueba en forma paralela al puente wheatstone, en la escala mínima o conveniente.
- Regular la perilla del instrumento en cero.
- Efectuar la medición de la resistencia entre cada par de fases en el estator, o entre anillos en el rotor.
- Registrar las medidas en el protocolo de pruebas.

### 2.1.3 Prueba en vacío

#### a) Objetivo

Determinar, a tensión y frecuencia nominales, las características de vacío que trae el motor: corriente ( $I_o$ ), potencia ( $P_o$ ) y factor de potencia ( $\cos\phi_o$ ); asimismo, determinar el grado de saturación del núcleo magnético, tomando los valores de corriente al hacer variar la tensión entre el 50 y 110% de su valor nominal, para obtener la curva de saturación.

#### b) Material

- Una fuente de alimentación de C.A. trifásica variable.
- Un multímetro.
- Un vatímetro.
- Un amperímetro de pinza.
- Un tacómetro.

#### c) Procedimiento

- Poner en marcha el motor, a tensión y frecuencia nominales, y dejar funcionar durante cinco minutos.
- Tomar los valores de tensión ( $V_o$ ), corriente ( $I_o$ ) y potencia ( $P_o$ ).
- Medir con el tacómetro la velocidad (RPM).
- Comprobar el calentamiento del estator y las tapas (escudos).
- Registrar las medidas en el protocolo de pruebas.
- Calcular el factor de potencia con la siguiente fórmula:

$$\cos\phi_o = \frac{P_o}{\sqrt{3} I_o V_o}$$

Para un motor de construcción normal, la corriente en vacío es del orden de 20 a 40% de la corriente nominal.

Un motor que tiene una gran corriente en vacío, debido a una fuerte inducción, es más estable; pero su factor de potencia es más bajo.

#### **2.1.4 Prueba de tensiones inducidas**

##### **a) Objetivo**

Comprobar las tensiones nominales, tanto del estator como del rotor, en los motores de rotor bobinado.

##### **b) Material**

- Una fuente de voltaje de C.A. trifásica variable.
- Un multímetro.
- Un amperímetro de pinza.

##### **c) Procedimiento**

- Levantar las escobillas de los anillos.
- Conectar el estator a tensión y frecuencia nominales.
- Tomar los valores de tensión entre bornes y de corrientes de línea del estator.
- Tomar los valores de las tensiones inducidas en los bornes del devanado del rotor.
- Registrar las medidas en el protocolo de pruebas.
- Si existe algún defecto en los devanados, las tensiones inducidas en el rotor serán diferentes a los que se indican en la placa de características.

Las mediciones de la resistencia de aislamiento, resistencia de los devanados y la prueba en vacío son comunes para los motores de jaula de ardilla y para los de rotor bobinado (de anillos rozantes). Para éstos últimos,

en la prueba de vacío, se debe cortocircuitar los bornes del devanado rotórico.

## **2.2 Desmontaje electromecánico**

Una vez finalizadas las pruebas de recepción, el motor es enviado a la sección de mecánica para su desmontaje.

El orden del desmontaje de cada motor eléctrico a reparar se determina por su estructura, así como por la necesidad de conservar intactas sus partes en buen estado, y el grado de desmontaje depende del carácter y del grado de reparación a ejecutar.

Antes de desmontar el motor a reparar, se debe contar con todas las herramientas, equipos necesarios y adecuados que se van a utilizar, a fin de facilitar el trabajo.

A continuación se hace una descripción de la secuencia de procedimientos de ejecución de las operaciones fundamentales del desmontaje de los electromotores de estructura muy conocida en nuestro medio (marca Delcrosa), cuya nomenclatura de partes se muestra en la Fig. N° 2.1. Los procedimientos que se describen, pueden aplicarse prácticamente para la mayoría de los motores que se fabrican en la actualidad, y para los fabricados anteriormente.

El desmontaje de la mayoría de motores comienza con el desmontaje de la polea o cople del eje, utilizando extractores: manuales, dotados de una amplia variedad de brazos desmontables y de diversos tamaños (Fig. 2.2), o hidráulicos (Fig. 2.3).

Una vez desmontados poleas o coples, el resto de las



operaciones de desmontaje se lleva a cabo en el orden indicado a continuación (ver Fig. 2.1):

Marcar el escudo (tapa) del lado de acoplamiento L.A. y su correspondiente lado de la carcasa, con un ligero golpe de punzón; y con dos golpes el escudo y carcasa del lado opuesto al acoplamiento L.O.A.. Esto se realiza para que, al ser de nuevo montados, se dispongan exactamente de igual manera como se recepcionó.

Sólo para los tamaños NV 180-200, sacar el anillo V-Ring del lado de acoplamiento L.A.

Sacar la tapa exterior de rodamiento L.A. (33), aflojando los pernos hexagonales (32). Sólo para los tamaños NV-225 al 315, sale con el anillo sello exterior (31).

Sacar el escudo L.A. (1), aflojando los pernos hexagonales (2). Este escudo tiene dos agujeros roscados de extracción.

Sacar la tapa del ventilador (20), aflojando los pernos hexagonales (10).

Sacar los pernos distanciadores (7).

Sacar el escudo del L.O.A. (6), dando un golpe en el extremo del eje de salida. Sale de la carcasa del estator junto con el eje rotor (5) y el ventilador (11).

Sacar el ventilador (11), aflojando el prisionero socket (15) y la chaveta ventilador (16).

Sólo para los tamaños NV 180-200, sacar el anillo V-Ring L.O.A.

Sacar la tapa exterior de rodamiento L.O.A. (14), aflojando los pernos hexagonales (13). Sólo para los

tamaños NV 225 al 315, sale con el anillo sello interior (17)

- Sacar escudo L.O.A. (6) del eje rotor (5).
- Sólo para los tamaños NV 225 al 315, sacar el seguro media luna (18) y la tuerca válvula de grasa (28).
- Sacar el rodamiento L.O.A. (21) con la ayuda de un extractor y la tapa interior de rodamiento L.O.A. (22).
- Sólo para los tamaños NV 225 al 315, aflojar el prisionero socket (29) y sacar el anillo válvula de grasa (28).
- Sacar el rodamiento L.A. (26) con la ayuda de un extractor y la tapa interior de rodamiento L.A. (34).

Al hacer el desmontaje de un motor asíncrono de rotor bobinado, primero se desmonta la tapa de los anillos contactores (rozantes) y se quitan las escobillas.

El desmontaje se efectúa de tal modo que se evite el deterioro de los devanados, los anillos contactores, puente de escobillas, ventilador, rodamientos o cualquier otro elemento que se encuentre en buen estado.

Todos los elementos y piezas en buen estado de los motores desmontados deben de conservarse para ser reutilizados.

### **2.3 Revisión electromecánica**

Concluido el desmontaje, en la misma sección de mecánica, se procede al limpiado y lavado de todas las partes; luego, para determinar los defectos de la parte mecánica, se revisan el estado de los accesorios tales como: tapas, funda, rodamientos, eje, anillos rozantes,

escobillas, ventilador, cople, pernos, chavetas, etc.; asimismo, se revisa el ajuste de los rodamientos con respecto al eje y con respecto a sus respectivos alojamientos (asientos).

Para completar con el diagnóstico de defectos de la parte eléctrica, en la sala de pruebas, se realizan las siguientes mediciones y pruebas por partes:

- Medida de la resistencia de aislamiento.
- Medida de la resistencia de los devanados.
- Prueba monofásica del estator o del rotor.
- Prueba del núcleo magnético.
- Prueba de la jaula de ardilla.

A continuación, solamente se describe el procedimiento de ejecución de las tres últimas pruebas, ya que para la medición de las resistencias de aislamiento y de devanados se procede en forma similar al descrito en los apartados 2.1.1 y 2.1.2, respectivamente.

### **2.3.1 Prueba monofásica del estator o del rotor**

La prueba monofásica del rotor se realiza para los motores de rotor bobinado, y el procedimiento es similar a la prueba monofásica del estator que se va a describir.

#### **a) Objetivo**

Detectar posibles cortocircuitos entre fases o entre espiras, y verificar la polaridad y el número de polos de los devanados.

#### **b) Material**

- Una fuente de voltaje de C.A. trifásica variable.
- Un multímetro.

- Un amperímetro de pinza.
- Una brújula.

### **c) Procedimiento**

- Aplicar tensión reducida a las fases 1 y 2, de tal manera que circule la corriente nominal del motor.
- Tomar los valores de tensión y de corrientes.
- Acercar la brújula al núcleo magnético, desplazarlo a lo largo de toda su superficie interna y observar el movimiento de la aguja magnética. Si la aguja se invierte sucesivamente, la conexión de las fases es correcta y no existe cortocircuito.
- Registrar los valores de tensión, corriente y el número de polos en el protocolo de pruebas correspondiente.
- Aplicar tensión reducida a las fases 2 y 3, y luego a las fases 3 y 1, siguiendo el mismo procedimiento anterior.
- Comparar los valores de tensiones y corrientes medidos. Si las corrientes son significativamente desiguales, y por ende las tensiones, significa que existe cortocircuito.

### **2.3.2 Prueba del núcleo magnético**

#### **a) Objetivo**

Comprobar experimentalmente el buen aislamiento de las chapas que conforman el núcleo magnético.

#### **b) Material**

- Una fuente de tensión de C.A. variable.
- Un multímetro.
- Un amperímetro de pinza.
- Un termómetro de mercurio o digital.
- Cables de sección adecuada.

**c) Procedimiento**

- Tomar las medidas de la longitud activa  $L_a$  y altura de corona  $H_c$  del núcleo magnético.
- Calcular la sección del núcleo  $S$  con los datos medidos y un factor de apilamiento  $F_a$ , que varía de 0.9 a 0.96

$$S = L_a H_c F_a$$

- Asumir una inducción  $B_c$  de prueba, como la inducción de trabajo en la corona del núcleo. De acuerdo al tamaño del motor, esta inducción puede estar comprendida entre 14,000 y 20,000 Gauss.
- Asumir un número  $n_e$  de vueltas (espiras) de prueba.
- Con los datos calculados y asumidos anteriormente, calcular la tensión inducida de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$E = 4.44 f n_e B_c S 10^{-8}$$

$f$  : Frecuencia (Hz).

$n_e$  : NO de espiras.

$B_c$ : Inducción magnética en la corona (Gauss).

$S$  : Sección del núcleo ( $\text{cm}^2$ ).

- Con el cable dar las  $n_e$  vueltas asumidas alrededor del núcleo magnético del estator (ver Fig. 2.4), y aplicar la tensión calculada.
- Dejar conectado durante 10 minutos aproximadamente.
- Comprobar físicamente, con la palma de la mano, el calentamiento producido en el núcleo. Si las chapas del núcleo se encuentran bien aisladas, se tendrá un calentamiento normal y homogéneo; de lo contrario se tendrá un calentamiento anormal que no se podrá soportar.

- Marcar las zonas que presentan calentamiento excesivo, las cuales deberán ser reparadas.
- Medir la temperatura final en °C.

### **2.3.3 Prueba de la jaula de ardilla**

#### **a) Objetivo**

Comprobar experimentalmente si las barras que conforman la jaula de ardilla del rotor se encuentran en buen estado.

#### **b) Material**

- Una fuente de tensión de C.A. monofásica.
- Un probador de inducción (Growler).
- Una hoja de sierra.

#### **c) Procedimiento**

- Colocar el probador de inducción sobre el rotor de tal manera que el circuito magnético del probador se cierre a través del núcleo magnético del rotor.
- Aplicar la tensión al probador de inducción.
- Colocar la hoja de sierra, en forma paralela, sobre cada una de las barras de la jaula de ardilla.
- Si la hoja de sierra vibra cuando está sobre la barra, ésta se encuentra en buen estado; de lo contrario, se encuentra abierta.

### **2.4 Esquemas de devanados y extracción del devanado**

Si el motor a reparar tiene el devanado defectuoso, su extracción se lleva a cabo una vez desmontado todo el motor, utilizando para ello dispositivos y herramientas adecuadas; pero antes se deben tomar datos para poder realizar el esquema correspondiente del devanado.

#### **2.4.1 Toma de datos**

La toma de datos, como operación, consiste en anotar cuidadosamente todas las características necesarias del devanado original del motor, con el fin de poder efectuar un rebobinado idéntico, o para hacer el cálculo del nuevo devanado. En conjunto, interesa conocer:

- Datos de placa.
- Número de ranuras.
- Número de polos.
- Número de grupos de bobinas.
- Número de bobinas por grupo.
- Número de bobinas por ranura.
- La clase de conexión.
- Número de conductores en paralelo.
- Número de cables de salida.
- Longitud de cables de salida.

Además, antes de proceder a extraer el devanado, hay que medir con cuidado la longitud máxima que las cabezas de bobinas (flechas) sobresalen, a cada lado, por fuera de las ranuras. Dicha longitud no debe ser rebasada al disponer el nuevo devanado; de lo contrario, es posible que los escudos del motor presionen sobre las cabezas de las nuevas bobinas, con el consiguiente peligro de deterioro de las mismas.

Todos estos datos son registrados en la hoja de bobinado de motores, la cual se muestra en el formato 2.1.

#### **2.4.2 Extracción del devanado**

Antes de extraer el arrollamiento estático de las

ranuras, es preciso determinar y anotar de que modo están unidos entre sí las diversas ramas de arrollamiento, y cuál es la clase de conexión entre fases.

Los motores trifásicos de gran tamaño tienen las ranuras estáticas abiertas (Fig. 2.5) Para extraer el arrollamiento (de varillas) del mismo, basta simplemente quitar las cuñas que cierran las ranuras e ir sacando las bobinas (secciones) una tras otra.

En los motores de pequeño y mediano tamaño, las ranuras estáticas son semicerradas (Fig. 2.5), lo cual dificulta más la extracción del devanado (relleno). Puesto que el devanado de estos motores están impregnados de barniz endurecido, y algunos han sido además encapsulados (cubiertos con un barniz a base de resina "epoxy" como protección adicional), es necesario carbonizar el aislamiento que llevan; efectuándose esto en hornos adecuados, y a una temperatura conveniente. Luego se cortan las cabezas de bobinas del lado opuesto al que se encuentran las conexiones, se retiran las cuñas aislantes que cierran las ranuras y se sacan el resto de las bobinas, tirando de sus cabezas. Se conservará intacta una de las bobinas extraídas, a fin de que su forma y dimensiones sirvan de modelo para la ejecución de las nuevas bobinas.

Durante esta etapa del trabajo, se procederá a completar los datos que faltan registrar, tales como: paso de bobinas, el número de espiras por bobina, las dimensiones de las bobinas, el calibre y clase de aislamiento de los conductores.



En los motores con el rotor bobinado, se utilizan también los dos tipos de devanado: relleno y de varillas. En los motores medios y grandes, se utilizan más frecuentemente los devanados ondulados de varillas de dos capas. En estos devanados, por lo general, lo que se estropea es el aislamiento de las varillas. Las varillas se sacan de los rotores siguiendo el siguiente orden:

- Se quitan los bandajes.
- Se marcan las ranuras en las cuales se encuentran los comienzos y los terminales de las fases, así como los puentes de unión, de acuerdo a la enumeración de las ranuras en el diseño del devanado.
- Se sacan las cuñas de las ranuras del rotor.
- Se desueldan las cabezas, se quitan los estribos de conexión, y se limpian las varillas y los estribos de los desechos de soldadura.
- Con una llave especial, se desdoblan las partes frontales de las varillas de la capa superior por el lado de los anillos contactores, se sacan las varillas de la ranura marcando cada varilla, indicando el número de la ranura y la capa; en el mismo orden se sacan las varillas de la capa inferior.

El aislamiento de las varillas se elimina calcinándolas a temperaturas no mayores de 650°C, porque a esta temperatura se empeoran las propiedades eléctricas y mecánicas del cobre de las varillas como resultado del requemado.

### 2.4.3 Esquemas de devanados

Con los datos obtenidos, se procede a la representación del devanado en forma de esquema, el cual ofrece una idea bastante clara acerca de la estructura y la colocación en el núcleo de todos los elementos del devanado y sus conexiones. Sin verificar el esquema, en el proceso de los trabajos de devanado, es muy difícil hacer el devanado, por lo cual, antes de comenzar la reparación del devanado, hace falta hacer su esquema.

Se utilizan, fundamentalmente, dos procedimientos principales en la representación de los devanados en los esquemas.

En el primer procedimiento, se representa la superficie cilíndrica del núcleo junto con el devanado, como si fuera cortada mentalmente según la generatriz y desarrollada sobre el plano del dibujo (Fig. 2.6). Los esquemas de este tipo se denominan **esquemas desarrollados**.

En el segundo procedimiento, el devanado se representa como si se hubiera proyectado sobre el plano perpendicular al eje del núcleo, demostrando la imagen del devanado del lado de conexiones. Los conductores (o los lados activos de secciones y bobinas) dispuestos en la superficie del núcleo, están representados con círculos y demuestran las conexiones extremas del devanado. Dado el caso de necesidad, se representan no sólo las conexiones extremas del devanado visibles desde un lado, sino también las partes frontales invisibles dispuestas en el lado inverso del núcleo, con la particularidad de que su imagen gráfica,

en este caso, está fuera de la circunferencia del núcleo (Fig. 2.7). Los esquemas de este tipo se denominan **extremos o circulares**.

Hay que destacar que los esquemas completos, desarrollados o extremos, de los devanados multipolares con un gran número de ranuras, resultan ser muy voluminosos y difíciles para su lectura. En estos casos, se utilizan con frecuencia los esquemas prácticos desarrollados, donde se representa, por ejemplo, una fase (a veces una parte de la misma) del devanado trifásico. También son ampliamente utilizados los esquemas extremos simplificados, en los cuales los grupos de bobinas enteros son representados como un sector del arco con terminales marcados, y los elementos más pequeños del devanado no se representan o se representan en esquemas aparte. Los esquemas extremos simplificados son cómodos para ejecutar conexiones entre grupos de bobinas en los devanados complejos.

En la práctica de ejecución de los trabajos de devanado, se utilizan también otros tipos de los esquemas simplificados.

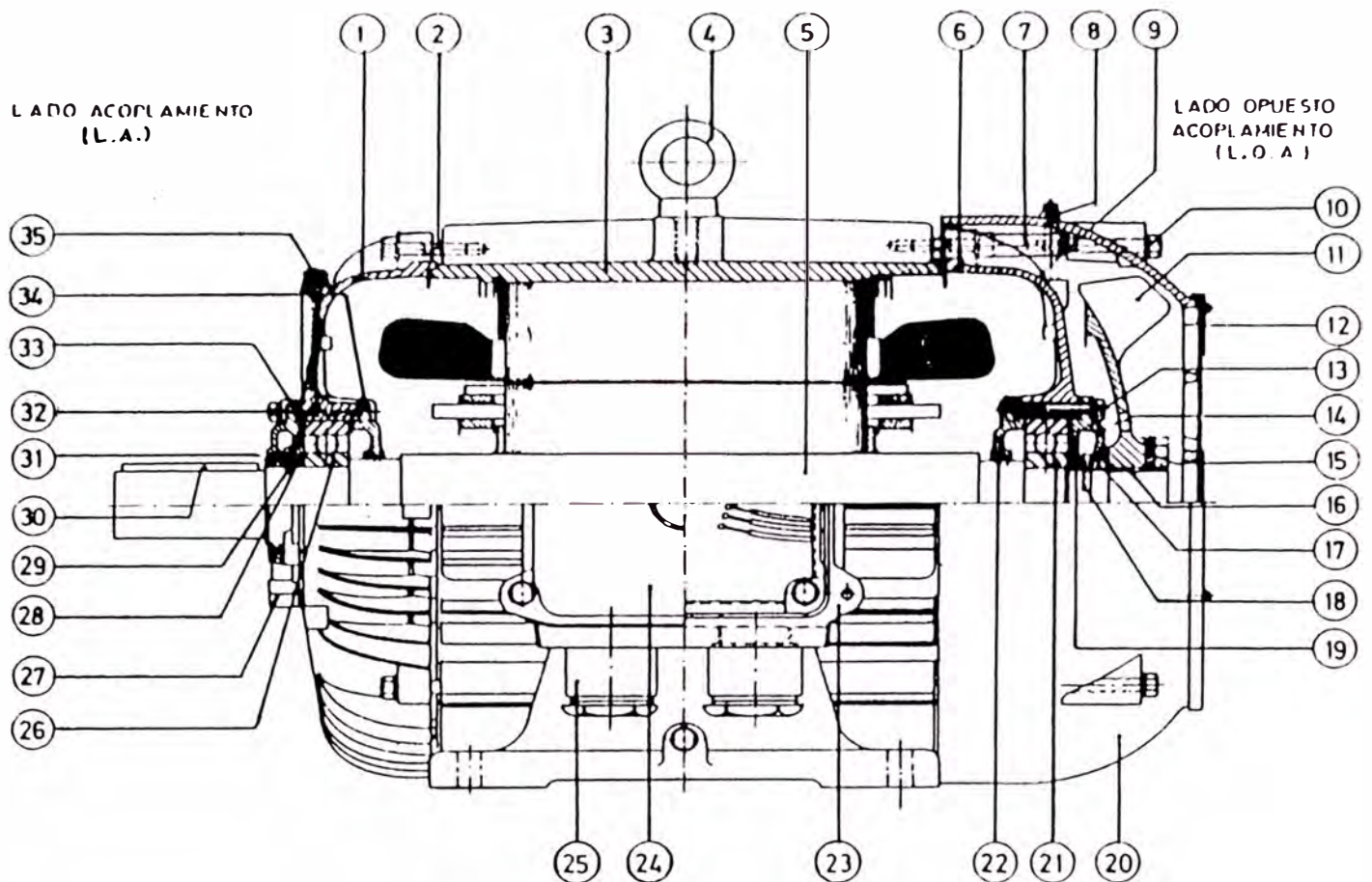
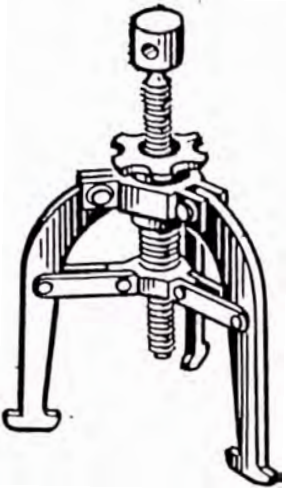


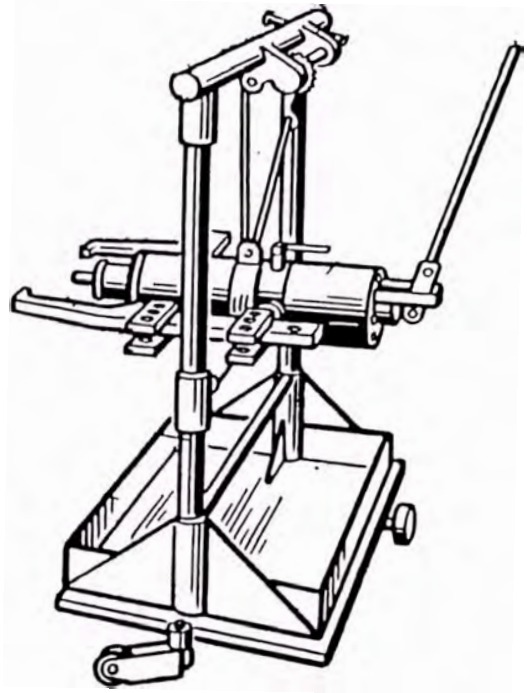
Figura 2.1

Nomenclatura de partes de motores asíncronos trifásicos  
Totalmente cerrados con ventilación externa y rotor de jaula serie nv

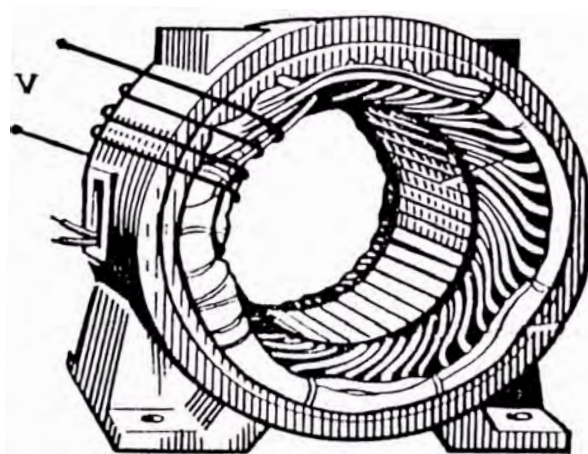
- |   |   |
|---|---|
| 1. Escudo L.A.                          | 22. Tapa interior de rodamiento, L.O.A. |
| 2. Pernos hexagonales de fijación       | 23. Marco caja conexión                 |
| 3. Carcasa estator                      | 24. Tapa caja conexión                  |
| 4. Cancamo                              | 25. Pasacables                          |
| 5. Eje rotor                            | 26. Rodamiento rígido de bolas L.A.     |
| 6. Escudo L.O.A.                        | 27. Plaquita sello                      |
| 7. Perno distanciador                   | 28. Anillo válvula de grasa             |
| 8. Unión simple                         | 29. Prisionero socket                   |
| 9. Niple                                | 30. Chaveta eje salida                  |
| 10. Pernos hexagonales de fijación      | 31. Anillo sello exterior               |
| 11. Ventilador                          | 32. Pernos hexagonales de fijación      |
| 12. Protección tapa ventilador          | 33. Tapa exterior de rodamiento, L.A.   |
| 13. Pernos hexagonales de fijación      | 34. Tapa interior de rodamiento, L.A.   |
| 14. Tapa exterior de rodamiento, L.O.A. | 35. Graseira de presión                 |
| 15. Prisionero socket                   |   |
| 16. Chaveta ventilador                  |   |
| 17. Anillo sello interior               |   |
| 18. Seguro media luna                   |   |
| 19. Tuerca válvula de grasa             |   |
| 20. Tapa ventilador                     |   |
| 21. Rodamiento rígido de bolas, L.O.A.  |   |



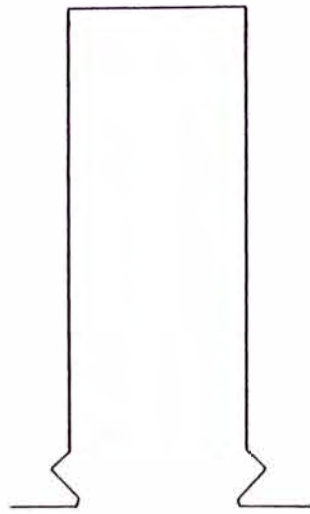
**Figura 2.2**  
Extractor manual para desmontar coples y rodamientos



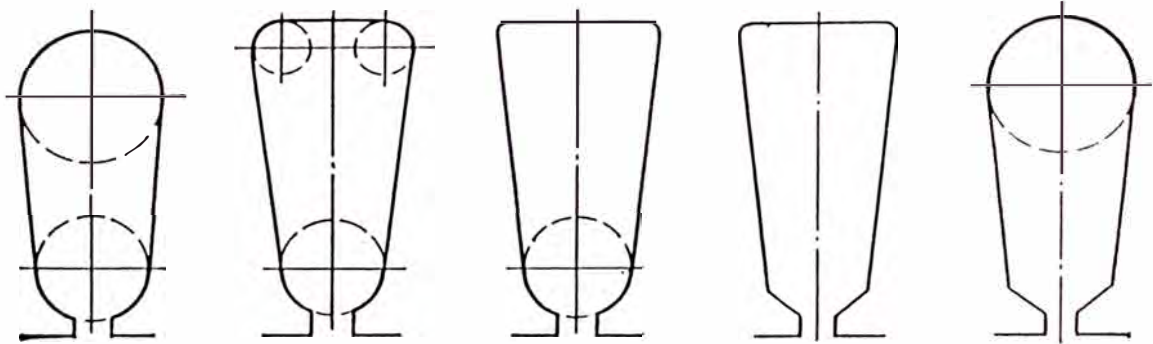
**Figura 2.3**  
Extractor hidráulico para desmontar coples y rodamientos



**Figura 2.4**  
Disposición del estator para la Prueba del núcleo magnético



a)



b)

**Figura 2.5**  
Tipos de ranuras estáticas  
a) Ranura abierta  
b) Ranuras semicerradas



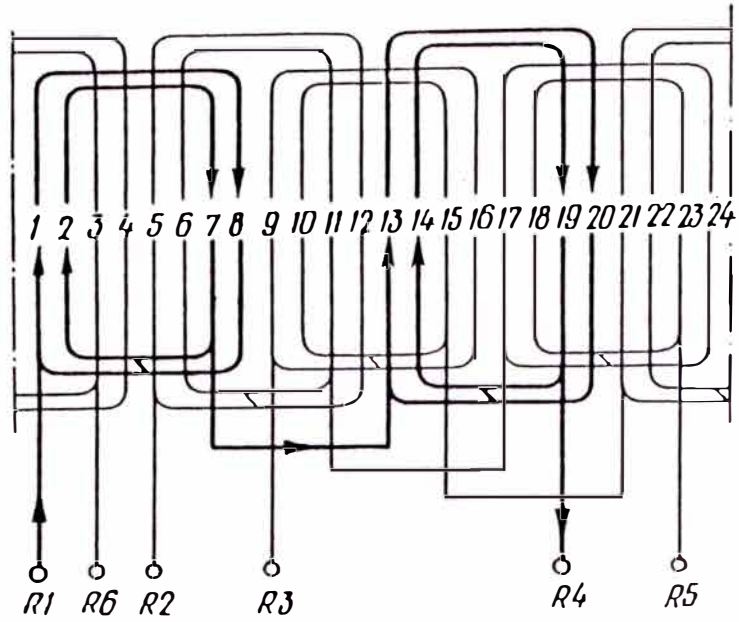


Figura 2.6  
Esquema desarrollado de un devanado

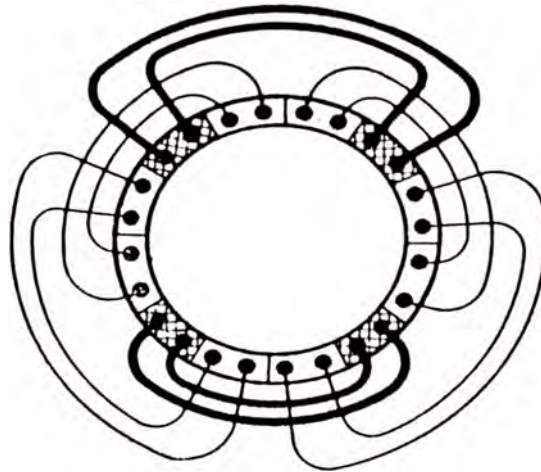


Figura 2.7  
Esquema circular de un devanado





## CAPITULO III PRUEBAS Y REPARACION DE DEVANADOS

### 3.1 Cálculo del devanado

Por lo general, el nuevo devanado se realiza con las mismas características del devanado antiguo; pero muchas veces se toman mal los datos de algunas características del devanado antiguo, tales como: el número de espiras por bobina, el paso de bobina, conductores en paralelo, conexiones, calibre del conductor, etc.

Por lo tanto, con la información obtenida en el proceso anterior, más la información recibida de la sala de pruebas, se procede al cálculo de verificación de las características del devanado, y al cálculo de los parámetros de funcionamiento del motor. A continuación se expone este procedimiento de cálculo para el caso del estator de un motor asíncrono trifásico. El procedimiento de cálculo para un rotor bobinado es similar.

En el anexo III, se exponen métodos de cálculo para el caso de la ausencia completa del devanado antiguo, o de algunas características técnicas acerca del motor a reparar, así como en los casos de reconstrucción del motor para otra tensión, otra velocidad de rotación y otra frecuencia de la red de alimentación, así como en el caso de sustitución del cable de bobinado de cobre por el de aluminio.

### 3.1.1 Datos del núcleo magnético

Antes de empezar con el cálculo es necesario tomar las siguientes medidas en el núcleo magnético:

- La longitud activa ( $L_a$ ).
- La altura de la corona ( $H_c$ ).
- El ancho de diente ( $A_d$ ).
- El diámetro interior ( $D_i$ ).
- El número de ranuras ( $z$ ).
- El ancho de ranuras ( $b_m$ ).
- La altura de ranura ( $h_m$ ).
- La profundidad de ranura ( $H_m$ ).

### 3.1.2 Fuerza electromotriz inducida en los devanados

Se sabe que la fuerza electromotriz eficaz inducida en una bobina de  $n_e$  espiras que se desplaza en un campo sinusoidal giratorio es proporcional al flujo y a la frecuencia de este campo, independientemente del número de polos:

$$E = 4.44 f n_e \phi 10^{-8}$$

$E$  = Fuerza electromotriz inducida en voltios.

$f$  = Frecuencia de la red en Hertzios.

$\phi$  = Flujo magnético por polo en Maxwell.

$n_e$  = Número de espiras de la bobina.

Para  $N$  conductores en serie por fase, con un factor de arrollamiento  $K_a$ , y considerando la fuerza electromotriz inducida  $E$  igual a la tensión de fase en voltios ( $V$ ), tenemos:

$$V = 4.44 f K_a \frac{N}{2} \phi 10^{-8}$$

$$V = 2.22 f K_a N \phi 10^{-8}$$

$$n_e = K_a \frac{N}{2}$$

$$K_a = K_p K_d$$

$K_p$  = Factor de paso.

$K_d$  = Factor de distribución.

$N$  = Número de conductores en serie por fase.

### 3.1.3 Factor de paso $K_p$

Una de las características de la bobina o sección es el paso  $y$ , o sea, el número de dientes que abarca. El paso puede determinarse como la diferencia entre los números de ranuras en las cuales son colocadas ambos lados de la bobina.

El paso se denomina diametral si es igual al intervalo polar  $\tau$ , es decir, a la distancia entre los ejes de los polos vecinos opuestos, o también al número de ranuras (dientes) correspondientes a un polo. En este caso:

$y = \tau = \frac{z}{2p}$ , donde  $z$  es el número de ranuras (dientes) del

núcleo, y  $2p$  el número de polos del devanado.

Normalmente, el paso de la bobina es menor que el paso polar y se denomina corto. El acortamiento del paso se caracteriza por el factor de paso  $K_p = y/\tau$  permite ahorrar el cable de devanado (a costa de las partes frontales más cortas), facilitar la colocación del devanado

y mejorar las características de los motores. El acortamiento del paso utilizado, normalmente, se encuentra dentro de los límites de 0.85 a 0.66.

El factor de paso  $K_p$  se calcula de la siguiente manera:

$$K_p = \text{Sen}(90^\circ y/\tau)$$

$y$  = paso real

$\tau$  = paso diametral

### 3.1.4 Factor de distribución $K_d$

Las f.e.m.s. inducidas en las bobinas individuales de un grupo  $q$ , correspondientes a cada polo y fase, no están en fase; sino que se encuentran desplazados entre sí de un ángulo  $\gamma$  (ángulo de ranura) en grados eléctricos.

El factor de distribución  $K_d$  expresa la reducción de la f.e.m. resultante del grupo de bobinas, originada por la distribución de las espiras en  $q$  pares de ranuras, en vez de colocarlas en un solo par de ranuras. Para calcular este factor se procede de la siguiente manera:

$$K_d = \frac{\text{f.e.m. resultante}}{\text{Suma de las f.e.m.s. inducidas individuales}}$$

$$K_d = \frac{\text{Sen}(q\gamma/2)}{q\text{Sen}(\gamma/2)}$$

$$\gamma = (360/z)p$$

$$q = z/2pm$$

$$\gamma = \text{Angulo de ranura en grados eléctricos.}$$

$$q = \text{Número de ranuras por polo y fase, o número de bobinas por grupo.}$$

$$m = \text{Número de fases.}$$

- 2p = Número de polos.  
p = pares de polos.  
z = Número de ranuras.

### 3.1.5 Factor de devanado o arrollamiento Ka

El factor de arrollamiento Ka se define como el producto del factor de paso Kp por el factor de distribución Kd:

$$K_a = K_p K_d$$

La distribución del arrollamiento causa una pérdida de espira, o bien una pérdida de tensión, de 3.5 a 4.5% en arrollamientos trifásicos.

### 3.1.6 Número de conductores en serie por fase N

Esta dado por:

$$N = \frac{(N^\circ \text{ espiras/bobina}) (N^\circ \text{ bobinas/ranura}) (N^\circ \text{ ranuras})}{(N^\circ \text{ de fases}) (N^\circ \text{ de circuitos en paralelo})}$$

### 3.1.7 Cálculo del flujo magnético $\phi$

El campo giratorio, al igual que todo campo magnético, se calcula como flujo  $\phi$  y se expresa en Maxwell.

De la expresión de la f.e.m. inducida, mencionada anteriormente, tenemos:

$$\phi = \frac{V 10^8}{2.22 f K_a N}$$

$\phi$  = Flujo magnético por polo en Maxwell.

V = Tensión de fase en voltios.

N = Número de conductores en serie por fase.

### 3.1.8 Cálculo de las inducciones magnéticas en el núcleo.

#### a) Inducción en la corona Bc.

El flujo magnético se reparte en la corona en dos partes,

considerándose aproximadamente que la inducción máxima está uniformemente repartida en todas las secciones de la corona del núcleo. Se deduce de ello que entre el flujo y la inducción máxima de dicha corona existe la relación:

$$B_C = \frac{\phi}{2 S_C}$$

$$S_C = L_a H_c f_a$$

$S_C$  = Sección de la corona.

$L_a$  = Longitud activa.

$H_c$  = Altura de corona.

$f_a$  = Factor de apilamiento.

$B_C$  = Inducción magnética en la corona en Gauss.

Reemplazando, y para un factor de apilamiento igual a 0.9, tenemos:

$$B_C = \frac{\phi}{2 \times 0.90 L_a H_c}$$

$$B_C = 0.556 \frac{\phi}{L_a H_c}$$

#### b) Inducción en el entrehierro $B_r$

La relación entre el flujo magnético y la inducción en el entrehierro es la siguiente:

$$B_r = \frac{\pi}{2} \frac{\phi}{S_e}$$

$$S_e = (\pi D_i L_a) / 2p$$

$S_e$  = Sección en el entrehierro.

$B_r$  = Inducción en el entrehierro.

$D_i$  = Diámetro interior.

$2p$  = Número de polos.

Reemplazando:

$$B_r = \frac{\pi}{2} \frac{\phi}{(\pi D_i L_a)/2p}$$

$$B_r = \frac{\phi p}{D_i L_a}$$

$p$  = Pares de polos.

### c) Inducción en el diente $B_d$

Considerando la misma relación entre el flujo y la inducción en el diente, como en el entrehierro, tenemos:

$$B_d = \frac{\pi}{2} \frac{\phi}{S_d}$$

$$S_d = (z f_a L_a A_d)/2p$$

$B_d$  = Inducción magnética en el diente.

$S_d$  = Sección de los dientes en un polo.

Reemplazando:

$$B_d = \frac{\pi}{2} \frac{\phi}{(z f_a L_a A_d)/2p}$$

$$B_d = 1.75 \frac{\phi}{L_a A_d (z/2p)}$$

Las magnitudes de  $B_c$ ,  $B_r$  y  $B_d$  utilizadas para motores de uso general varían en el siguiente rango:

-  $B_c = 14000 \quad 20000$

-  $B_r = 6000 \quad 9000$

-  $B_d = 14000 \quad 21000$

Estos valores varían de acuerdo al número de polos, la potencia, tipo constructivo y antigüedad del motor. Los

motores modernos utilizan inducciones más altas porque se ha mejorado la calidad de los materiales del núcleo magnético.

En la tabla 3.1 se muestra la variación de las inducciones en función de la potencia[8].

### 3.1.9 Densidad de corriente J

La densidad de corriente J la calculamos mediante la siguiente expresión:

$$J = \frac{I_f}{a C_p s}$$

- J = Densidad de corriente en A/mm<sup>2</sup>
- I<sub>f</sub> = Corriente de fase en Amperios.
- a = Número de circuitos en paralelo.
- C<sub>p</sub> = Número de conductores en paralelo.
- s = Sección del conductor en mm<sup>2</sup>

Esta magnitud define las pérdidas en el cobre del bobinado y está, por lo tanto, ligado a la temperatura de operación del motor. Esta magnitud varía de acuerdo a la clase de aislamiento, velocidad del motor y tipo constructivo. Las densidades de corriente, de acuerdo al tipo constructivo del motor, pueden tener los siguientes valores:

- Motores cerrados con ventilación radial: 3.5 - 4.5 A/mm<sup>2</sup>.
- Motores semiprotegidos con ventilación radial: 4.5 - 6.5 A/mm<sup>2</sup>.
- Motores con ventilación reforzada: 6.5 - 8.5 A/mm<sup>2</sup>.

Los valores mayores de las densidades de corriente



indicadas, se refieren a los motores de menores dimensiones y más veloces.

En la tabla 3.2 se muestran valores de la densidad de corriente en función a la clase de aislamiento [8].

### 3.1.10 Factor de utilización $F_u$

Llamado también factor de relleno de la ranura, representa la proporción entre el área sumaria de la sección transversal de los conductores colocados en la ranura ( $S_m$ ) y el área total de la sección transversal de la ranura ( $S_r$ ).

$$F_u = \frac{S_m}{S_r}$$

$$S_m = N_r C_p s$$

$N_r$  = Número de conductores en la ranura.

Este factor nos indica si todos los conductores podrán ser colocados o no en las ranuras. Además nos indica si la ranura quedará llena o no.

La variación de este factor, de acuerdo al tipo de devanado y forma de la ranura, se muestra en la tabla 3.3 [8]

### 3.1.11 Densidad de carga lineal $Q$

Representa el producto de la corriente en un conductor por el número de conductores en la ranura para una unidad de longitud periférica del diámetro interior del núcleo. Según esta definición se tiene:

$$Q = \frac{z N_r I_f}{\pi D_i a} \quad (A/mt)$$

$Q$  = Densidad de carga lineal.

$N_r$  = Número de conductores en cada ranura.

$I_f$  = Corriente de fase.

$D_i$  = Diámetro interior.

$a$  = Circuitos en paralelo.

Para motores de construcción cerrada, con aletas o nervaduras, ventilación externa, clase de aislamiento F, cuatro polos y frecuencia de la red de 60 Hz, se muestra, en la tabla 3.4, la densidad lineal en función del diámetro exterior  $D_e$  del núcleo magnético. Asimismo, en la tabla 3.5, se dan los factores de corrección para motores con otros números de polos. Por otro lado, para la clase de aislamiento B, los valores de densidad lineal es menor aproximadamente en 20% a los de clase F [8].

### 3.1.12 Cálculo de la longitud media de una espira $L_m$

Para poder calcular el peso del conductor utilizado en el devanado del motor, es necesario primero calcular la longitud media de una espira. A continuación se indica el modo de cálculo para un arrollamiento imbricado en punta y para un arrollamiento concéntrico. De acuerdo a la Fig. 3.1, tenemos para un bobinado imbricado en punta:

$$L_m = 2 L_a + 4 d_o + \frac{2 \pi D_m y}{z \text{Sen} \alpha} - \frac{2 l_m}{\text{Sen} \alpha}$$

$$D_m = D_i + H_m + 4 \text{mm}$$

$$l_m = (l_1 + l_2) / 2$$

$D_m$  = Diámetro medio.

$H_m$  = Profundidad de ranura.

$l_m$  = Longitud media de la ranura.

Para calcular el diámetro medio  $D_m$ , se añaden 4mm para tener en cuenta las formas de la ranura y de la cuña de cierre.

Los valores de  $d_0$  varían de acuerdo a la clase de aislamiento:

- Clase A : 12.5 - 20 mm.
- Clase B : 20 - 27.5 mm.
- Clase F : 27.5 - 35 mm.

Para un bobinado concéntrico:

$$L_m = 2L_a + 2f_c + 2f_{nc} + \frac{2\pi D_m y}{z}$$

$f_c$  = Flecha del lado de conexión.

$f_{nc}$  = Flecha del lado de no conexión.

$y$  = paso de bobina.

### 3.1.13 Cálculo del peso del conductor utilizado

El peso del conductor utilizado en el devanado de un motor trifásico se calcula de la siguiente manera:

$$P_c = 26.7 C_p s L_m N a 10^{-3} \quad (Kg)$$

Este peso representa el peso neto del cobre y no comprende las conexiones entre las secciones, así como las pérdidas inevitables de recorte durante la preparación. Por lo tanto, es necesario preveer un exceso de 5 a 10% del peso neto.

### 3.1.14 Cálculo de los cables de salida

Para calcular la sección de los cables de salida del devanado a la caja de bornes del motor, primero se calcula la sección neta ( $S_{\parallel}$ ) en una rama:

$$S_n = s C_p a$$

El valor de la sección del cable de salida debe ser mayor o igual a la sección neta de la rama, cumpliéndose:

$$S_{\text{cable}} > S_n$$

El tipo de cable se selecciona de acuerdo a los diferentes requerimientos, tales como la tensión de servicio, temperatura de operación y flexibilidad. Normalmente se eligen los tipos flexiplast y ws por sus altas flexibilidades (ver tabla 3.6).

Todas las dimensiones del núcleo magnético, las características y parámetros calculados anteriormente se registran en la hoja de cálculo de motores (formato 3.1).

Realizados todos los cálculos, y de acuerdo a los resultados obtenidos, la sección de cálculo pasa a la sección de bobinados la hoja de bobinado de motores (formato 2.1), en donde, además de los datos de placa, se indican las medidas del núcleo y las siguientes características del arrollamiento:

- Ranuras por polo.
- Bobinas por ranura.
- Bobinas por grupo.
- Número de grupos.
- Espiras por bobina.
- Paso de bobina.
- Conexión.
- Calibre del conductor.
- Conductores en paralelo.
- Número de salidas.

- Número de polos.
- Clase de aislamiento.
- Peso del conductor.

Además, si se trata de un devanado especial, se adjunta el esquema del mismo y los detalles de bobinas y aislamientos.

### **3.2 Aislamiento de las ranuras**

Para recibir los conductores, las ranuras, ya sea de los estatores como los rotores bobinados, deben estar provistas de un aislamiento cuya clase depende de las condiciones térmicas de los motores. Normalmente, el aislamiento original es reemplazado por otro de igual calidad y espesor. El tamaño adecuado se corta con una cizalla de palanca, la cual tiene unas sobrejuntas de tope y apriete; luego se le dá la forma adecuada para que encaje bien en los lados de la ranura.

Para motores de tamaño pequeño o mediano, es muy usual el empleo de aislamiento con los bordes doblados. Otras veces se utiliza aislamiento liso y tiras dobladas en sus bordes.

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

### **3.3 Preparación de bobinas**

En los estatores de los motores asíncronos de pequeña y mediana potencia, que constituyen la gran mayoría de motores a reparar, se utilizan devanados rellenos. Estos devanados se hacen de bobinas (secciones) suaves,

enrollados con conductores redondos aislados, de cobre o aluminio.

Las bobinas de los devanados rellenos se confeccionan con hormas, llamadas también plantillas o moldes, con el accionamiento a mano o mecánico. El bobinado manual requiere considerables gastos de tiempo y trabajo. A fin de acelerar este proceso es utilizado el bobinado mecanizado, usando para ello máquinas bobinadoras con plantillas especiales articuladas, que permiten enrollar todas las bobinas de un grupo.

En la Fig. 3.2 se muestra una máquina bobinadora manual.

Para la confección de bobinas es preferible usar conductores de cobre de hasta 1.81 mm de diámetro, o de aluminio hasta de 2.26 mm de diámetro, porque utilizar conductores de mayor diámetro dificulta la colocación del devanado y puede originar el deterioro del aislamiento propio de los conductores. En este caso se usan dos, tres o más conductores en paralelo, cuya suma de secciones sea igual a la requerida; pero se debe evitar el uso excesivo de conductores en paralelo, ya que se pueden producir intersecciones de los conductores en la ranura, con el consiguiente deterioro del aislamiento.

Las bobinas más utilizadas en motores de pequeña y mediana potencia tiene forma hexagonal (devanado imbricado en punta) y rectangular (devanado concéntrico), las cuales solamente se encintan las cabezas, es decir, las partes que sobresalen a ambos lados del núcleo, ya que las espiras de cada bobina se colocan una por una en las ranuras

semicerradas de éstos motores.

Las bobinas pueden ejecutarse individualmente o por grupos. La mayoría de los motores, a excepción de los de gran tamaño y los que tienen ranuras abiertas, llevan bobinas devanadas por grupos. Con el devanado por grupos, se ejecutan varias bobinas consecutivamente, es decir, sin cortar el conductor. Esto permite un ahorro de tiempo, ya que no es necesario conectar luego los terminales de las bobinas entre sí.

La ejecución de bobinas para estatores con ranuras abiertas (motores de gran tamaño), exige el uso de moldes y máquinas especiales. Para que los lados de bobina se adapten perfectamente a la forma de las ranuras, los conductores deben ser de sección cuadrada o rectangular (varillas). Una vez conformadas convenientemente, dichas bobinas se encintan por completo, manualmente o con una máquina de encintar.

En los rotores con devanado de varillas, generalmente, se vuelven a utilizar estas mismas varillas; por lo tanto, se debe restaurar su aislamiento utilizando materiales de aislamiento con las mismas características y dimensiones utilizadas por el fabricante; luego este aislamiento se impregna con barniz y se seca. Asimismo, se deben preparar las varillas de tal manera que sólo un extremo de ellas estén encorvadas.

### **3.4 Colocación de bobinas**

La colocación de bobinas del devanado relleno de dos capas se desarrolla del modo siguiente: Primero se

introducen todas las espiras de un lado de la bobina, y el otro lado se deja fuera. A continuación, en la ranura contigua a la ya ocupada, se aloja un lado de la segunda bobina, y se procede de igual manera con las bobinas sucesivas, hasta que todas las ranuras abarcadas por un paso completo de bobina contengan un lado de cada bobina en su mitad inferior. El segundo lado de cada bobina se deja fuera hasta que el fondo de la que le corresponde ha sido ocupado por el primer lado de otra bobina, a partir de cuyo momento puede alojarse ya en la parte superior de dicha ranura.

Los lados superiores e inferiores de las bobinas en las ranuras se aíslan convenientemente, colocando juntas de material aislante, cortadas de tal manera que se adapte al ancho de la ranura y que sobresalga por ambos extremos de ésta.

Las partes frontales entre grupos de bobinas también se aíslan con juntas aislantes. Esto se realiza a medida que se va alojando cada grupo de bobinas en sus ranuras. El ancho de estas juntas aislantes se determina por el paso de bobina y su longitud de salida de las partes frontales.

Los conductores en las ranuras deben estar sujetos sólidamente mediante cuñas. En los motores pequeños y medios se enclavan en las ranuras usando un martillo y una alargadera de madera; y en las ranuras de motores grandes, con ayuda de un martillo neumático. Las cuñas se fabrican de madera o fibra prensada, y su espesor depende de la forma de la parte superior de la ranura y del grado de



relleno.

El devanado de varillas de un rotor bobinado se monta de la siguiente manera:

- Colocar en las ranuras las varillas de la capa inferior (Fig. 3.3).
- Con un bandaje provisional, hecho de hilo de acero suave, apretar estrechamente los extremos de las partes frontales encorvadas contra el portadevanado. Hacer lo mismo, con otro bandaje provisional, con los extremos rectos de las varillas.
- Hacer el doblado de los extremos frontales rectos, primero en el sentido del paso y luego por el radio, asegurando la salida axial requerida y su contacto compacto con el portadevanado.
- Colocar las varillas de la capa superior.
- En forma análoga a las de la capa inferior, doblar los extremos de las varillas superiores; pero en el sentido opuesto.

### 3.5 Conexiones

Una vez concluída la colocación de las bobinas en las ranuras, así como terminado el acuñamiento del devanado, se realizan las conexiones para componer el esquema del devanado. Los terminales de los grupos de bobinas salientes de las ranuras, situadas cerca de la caja de bornes, son considerados como comienzos de las fases.

Las tres fases de un motor trifásico están siempre conectadas en estrella (Y) o en triángulo ( $\Delta$ ). En la conexión en estrella, los finales de las fases están unidos

conjuntamente en un punto común (centro de estrella), y cada principio de fase va conectado a una de las líneas de alimentación de la red. En la conexión en triángulo, el final de cada fase está unido al principio de la siguiente.

Muchos motores trifásicos están concebidos de manera que cada una de sus fases esté subdividida en varias ramas o derivaciones iguales, unidas entre sí en paralelo. Según el número de derivaciones existentes en cada fase se tiene una conexión de dos ramas (o doble paralelo), de tres ramas (o triple paralelo), etc., pudiendo ser en estrella o en triángulo.

Por lo tanto, tenemos conexiones tanto en estrella como en paralelo: serie ( $Y, \Delta$ ), doble paralelo ( $2Y, 2\Delta$ ), triple paralelo ( $3Y, 3\Delta$ ), etc.. A continuación se indica el procedimiento para la conexión en serie (ver Fig. 3.4):

- Primero se conectan todas las bobinas en grupos si éstas no han sido confeccionadas por grupos.
- Seguidamente se conectan entre sí todos los grupos que pertenecen a la fase A, empezando por el primer grupo, de tal manera que las corrientes circulen por los grupos, alternadamente, en sentidos inversos.
- A continuación se conectan entre sí los grupos de la fase C, empezando por el tercer grupo, exactamente igual que los de la fase A.
- Luego se conectan los grupos de la fase B del mismo modo que se ha procedido con los de las fases A y C; pero empezando por el quinto grupo.
- Si la conexión es en estrella, se unen los finales de

cada fase; y si es en triángulo, se conectan el final de la fase A con el principio de la fase C, el final de la fase C con el principio de la fase B, y el final de la fase B con el principio de la fase A.

Para las conexiones en paralelo se sigue el mismo procedimiento; pero teniendo en cuenta que, al formarse las derivaciones paralelas, la dirección de las corrientes en los grupos de bobinas deben permanecer iguales que en la conexión en serie. En la Fig. 3.5 se muestra el procedimiento de conexión en estrella/doble paralelo.

Los devanados de los rotores bobinados de los motores asíncronos se conectan primordialmente en estrella; conectándose juntas las tres de las seis varillas libres, y las otras tres con los anillos contactores (rozantes) del rotor.

Las conexiones se efectúan con soldaduras de estaño, plomo, plata, etc., de acuerdo a la dureza de los conductores; luego se aíslan, generalmente, con tubos aislantes (spaguetty). En el anexo II se muestran estas soldaduras y materiales aislantes.

Una vez realizadas las conexiones, se procede a sujetar y aislar las partes frontales del devanado (cabezas de bobinas). En el caso del rotor bobinado se sujetan con unos bandajes de alambre de acero o con cintas de fibra de vidrio especiales.

### **3.6 Prueba previa**

Concluido el nuevo devanado del motor que se está reparando, éste es sometido a diferentes pruebas, con el

objeto de detectar posibles defectos a masa, interrupciones, cortocircuitos o inversiones de polaridad. Las pruebas a realizarse son las siguientes:

- Medida de la resistencia de aislamiento.
- Medida de la resistencia de los devanados.
- Prueba monofásica (del estator o del rotor).
- Prueba de tensiones inducidas (para motores de rotor bobinado).
- Prueba del campo magnético giratorio.
- Prueba de rigidez dieléctrica.

A continuación se describe solamente el procedimiento de las dos últimas pruebas, ya que las otras fueron descritas en el capítulo II.

### **3.6.1 Prueba del campo magnético giratorio**

#### **a) Objetivo**

Verificar experimentalmente la producción de campo magnético giratorio; y, además, detectar conexiones incorrectas (inversiones de polaridad) o cortocircuitos.

#### **b) Material**

- Una fuente trifásica de tensión de C.A. variable.
- Un multímetro.
- Un amperímetro de pinza.
- un tambor giratorio.

#### **c) Procedimiento**

- Aplicar tensión reducida de tal manera que circule la corriente nominal del motor.
- Tomar los valores de tensión entre bornes y corrientes de línea, y registrarlos en el protocolo de pruebas.

- Acercar el tambor giratorio al núcleo magnético y desplazarlo a lo largo de toda su superficie interna. Si el tambor gira en un mismo sentido, el campo es el correcto y, por lo tanto, no existen inversiones de polaridad ni cortocircuitos. Esta prueba puede efectuarse también con una bola de acero (de un rodamiento de bolas) en lugar del tambor giratorio.

### 3.6.2 Prueba de rigidez dieléctrica

#### a) Objetivo

Verificar la rigidez dieléctrica del aislamiento de los devanados. Consiste en aplicar una tensión superior a la tensión de servicio durante un cierto tiempo, entre arrollamientos y masa, y entre arrollamientos. El valor de esta tensión de prueba, en general, debe ser igual a:

$(2V_n + 1000)$  voltios, siendo  $V_n$  la tensión nominal del motor.

#### b) Material

Un probador dieléctrico de alta tensión ajustable.

Una fuente de tensión de C.A. monofásica.

#### c) Procedimiento

Conectar el probador a la fuente de tensión monofásica. Aplicar una tensión inicial de prueba de valor igual al 50% de la tensión de prueba prevista.

Incrementar la tensión en valores no superiores al 5% de la tensión de prueba, hasta llegar a este valor de prueba en un tiempo de diez segundos.

Mantener aplicada durante un minuto esta tensión de prueba. Si durante este tiempo no se produce ninguna interrupción en los aislamientos, significa que se

encuentran en buenas condiciones.

Esta prueba también se puede realizar utilizando un transformador, cuya instalación debe tener un armario especial, con conexión a tierra, o una barrera; y, teniendo en cuenta que, al abrirse las puertas de este armario o barrera, se desconecte toda la instalación.

### **3.7 Barnizado y secado**

Una vez concluída las pruebas, el devanado debe ser secado e impregnado con barniz. El barnizado sirve para compactar los devanados, así como para elevar la conductibilidad térmica y la resistencia a la humedad.

El secado del devanado antes de la impregnación permite eliminar la humedad de los materiales aislantes y la penetración profunda del barniz. Dependiendo de la clase de aislamiento con que se ha realizado el devanado, el secado se lleva a cabo en un tiempo de 2 a 6 horas, en unos hornos especiales y a una temperatura de 105 a 120°C.

La impregnación se lleva a cabo hundiendo el devanado en el baño con barniz, el cual debe ser del tipo de impregnación, de pequeña viscosidad y muy buena penetrabilidad (anexo II). La impregnación se realiza una, dos o tres veces en función de las exigencias de rigidez dieléctrica, del medio ambiente, del régimen de funcionamiento, etc.. Es muy importante controlar la viscosidad y la densidad del barniz, para lo cual se añaden solventes en cantidades adecuadas.

Después de la impregnación, los devanados se secan en las cámaras mencionadas anteriormente, siendo las más

utilizadas las cámaras con calentamiento eléctrico. El proceso de secado se divide en dos etapas: el secado inicial para eliminar el solvente, y el secado de la película barnizada. Para eliminar el solvente, la temperatura no debe exceder de 100 ó 110 °C porque parte de la película barnizada se puede secar sin haberse eliminado el solvente, provocando porosidades en la película.

En la segunda etapa, con el fin de acelerar el secado de la película barnizada, se pueden elevar las temperaturas de secado por encima de las de clase de aislamiento de los materiales; pero durante tiempos de corta duración (no más de 5 a 6 horas).

**TABLA 3.1**  
**VARIACION DE LAS INDUCCIONES EN LA CORONA, ENTREHIERRO**  
**Y DIENTES CON RESPECTO A LA POTENCIA [8]**

POTENCIA (HP)	INDUCCIONES		
	Bc (GAUSS)	Br (GAUSS)	Bd (GAUSS)
0.4 - 12	14000 - 18000	6000 - 8500	14000 - 19000
15 - 30	15000 - 20000	6000 - 9000	15000 - 20000
36 - 60	14000 - 18500	6500 - 8500	15000 - 21000
70 - 125	14000 - 16500	6000 - 7500	14000 - 18000

**TABLA 3.2**  
**RANGOS DE DENSIDAD DE CORRIENTE EN FUNCION A LA**  
**CLASE DE AISLAMIENTO [8]**

	CLASE DE AISLAMIENTO		
	A y E	B	F
Densidad de corriente (A/mm <sup>2</sup> )	4	4 - 6	6 - 10
Temperatura Máxima Admisible (°C)	120	130	155

**TABLA 3.3**  
**VARIACION DEL FACTOR DE UTILIZACION DE ACUERDO**  
**AL TIPO DE RANURA Y DEVANADO [8]**

TIPO DE RANURA	TIPO DE DEVANADO	FACTOR DE UTILIZACION (Fu)
TRAPEZOIDAL O CUADRADA	SIMPLE CAPA	0.36 - 0.43
	DOBLE CAPA	0.30 - 0.40
OVALADA	SIMPLE CAPA	0.40 - 0.43
	DOBLE CAPA	0.36 - 0.43



TABLA 3.4

DENSIDAD LINEAL VS. DIAMETRO EXTERIOR PARA  
MOTORES DE CUATRO POLOS Y CLASE DE AISLAMIENTO F [8]

CLASE F, 60 Hz, 4 POLOS	
DIAMETRO EXTERIOR De (m)	DENSIDAD LINEAL Q (10 <sup>3</sup> A/m)
0.10	19
0.12	21
0.14	23
0.15	24
0.16	24
0.18	24
0.20	27
0.22	27
0.24	28
0.26	29
0.28	33
0.30	35
0.32	35
0.34	35
0.35	36
0.36	36
0.38	37
0.40	37
0.42	38
0.44	38
0.45	38
0.46	39
0.48	39
0.50	44
0.55	45
0.60	45
0.65	46
0.70	46
0.75	46
0.80	46
0.90	46
1.00	46

TABLA 3.5

FACTORES DE CORRECCION PARA LA TABLA 3.4 CUANDO  
EL MOTOR TIENE OTRO NUMERO DE POLOS [8]

DIAMETRO EXTERIOR De (m)	NUMERO DE POLOS			
	2	6	8	10, 12
0.10 - 0.26	0.93	1.000	1.000	0.84
0.26 - 0.50	1.00	0.930	0.930	0.84
0.50 - 0.65	1.10	0.915	0.915	0.84
0.65 - 1.00	1.10	0.920	0.870	0.84

TABLA 3.6

INTENSIDAD DE CORRIENTE ADMISIBLE EN CONDUCTORES  
PARA INSTALACIONES GENERALES

TIPOS: TW, UT, MT, XT, INDOPRENE TM, TFF TX, CTM, NLT, NMT, NPT, WS, TZZ, CCT-B, GPT.

Temperatura Ambiente: 30 °C

Temperatura alcanzada en el conductor: 60 °C

Calibre AWG-MCM	Sección <sub>2</sub> Real mm <sup>2</sup>	Intensidad Admisible en amperios	
		Al aire	En Ductos (**)
22	0.324	3 (*)	1 (***)
20	0.517	5 (*)	2 (***)
18	0.821	7 (*)	5 (***)
16	1.310	10 (*)	7
14	2.081	20	15
12	3.309	25	20
10	5.261	40	30
8	8.366	55	40
6	13.300	80	55
4	21.150	105	70
2	33.630	140	95
1	42.410	165	110
1/0	52.48	195	125
2/0	67.43	225	145
3/0	85.03	260	165
4/0	107.20	300	195
250 MCM	126.7	340	215
300	151.0	375	240
350	177.4	420	260
400	202.7	455	280
500	253.4	515	320
600	304.0	575	335

- (\*) Calibres permitidos sólo para instalaciones interiores.
- (\*\*) No más de 3 conductores en el ducto.
- (\*\*\*) Calibres permitidos solamente para sistemas con tensiones inferiores a 100 voltios.

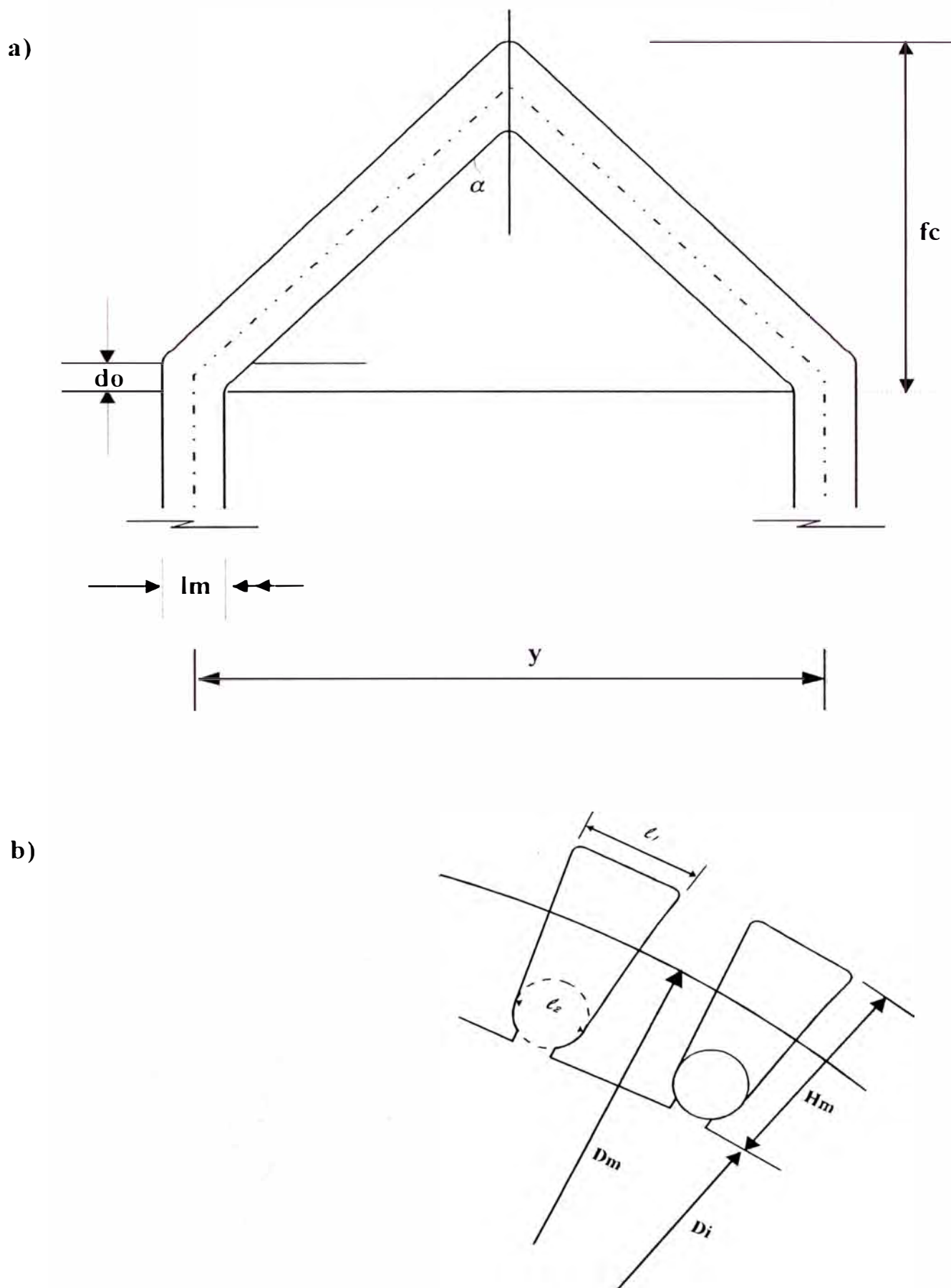


Figura 3.1 a) Parte frontal de bobina imbricada  
 b) Diámetro medio  $D_m$

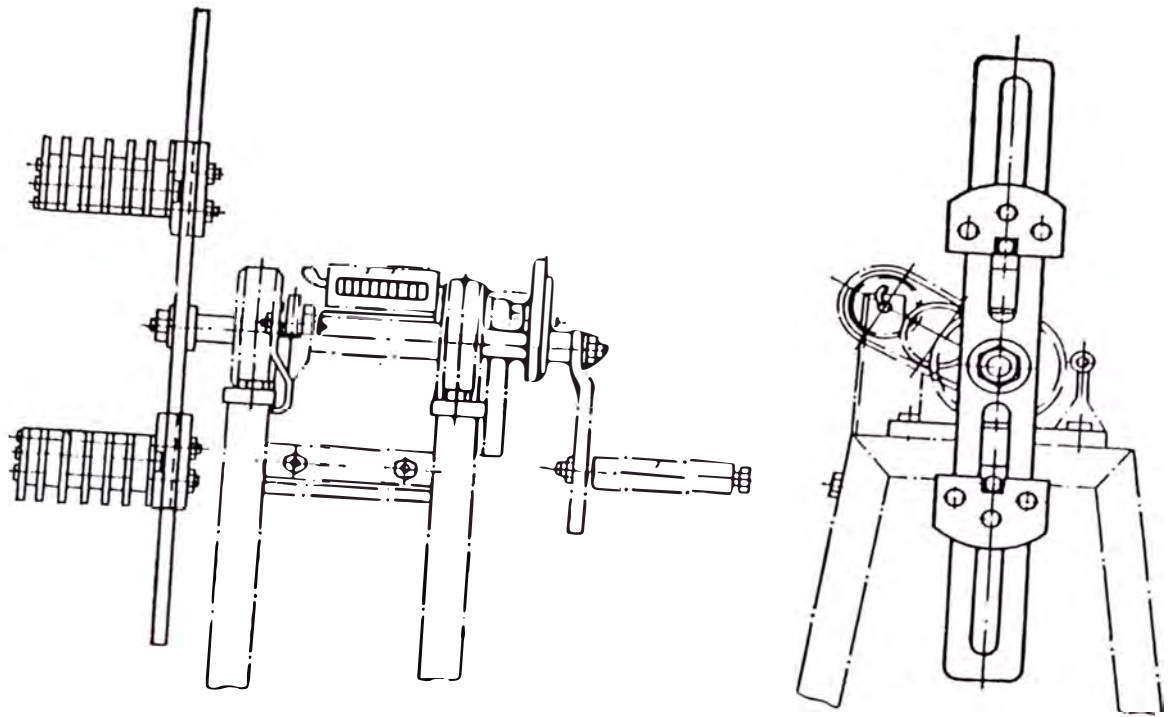


Figura 3.2  
Máquina para el enrollamiento manual de bobinas

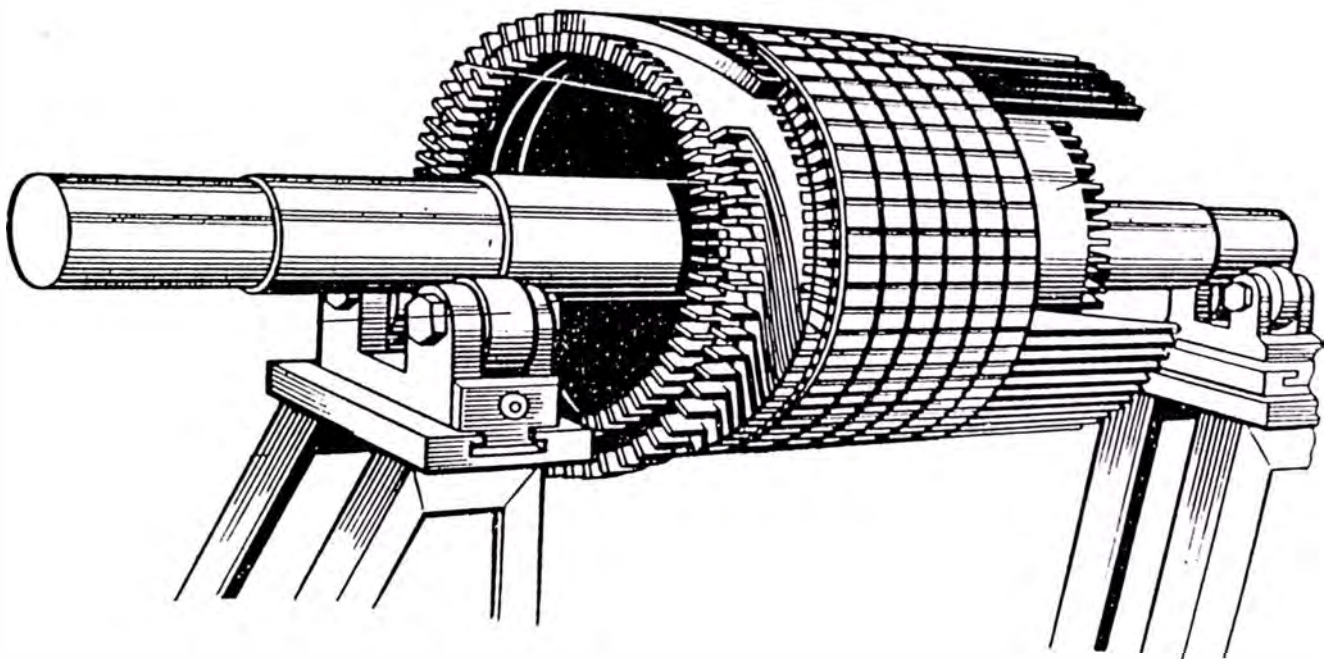
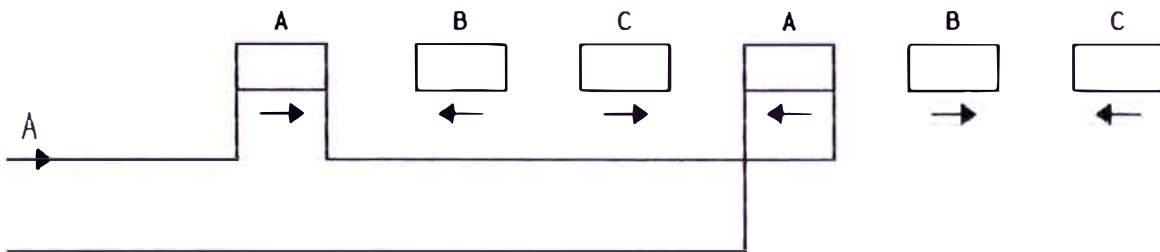
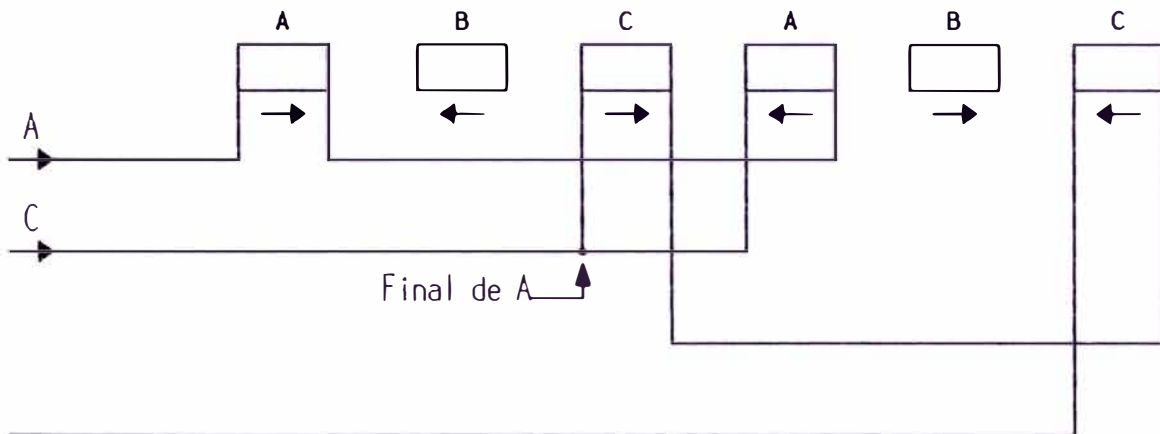


Figura 3.3  
Rotor bobinado en proceso de montaje  
Del devanado de varillas

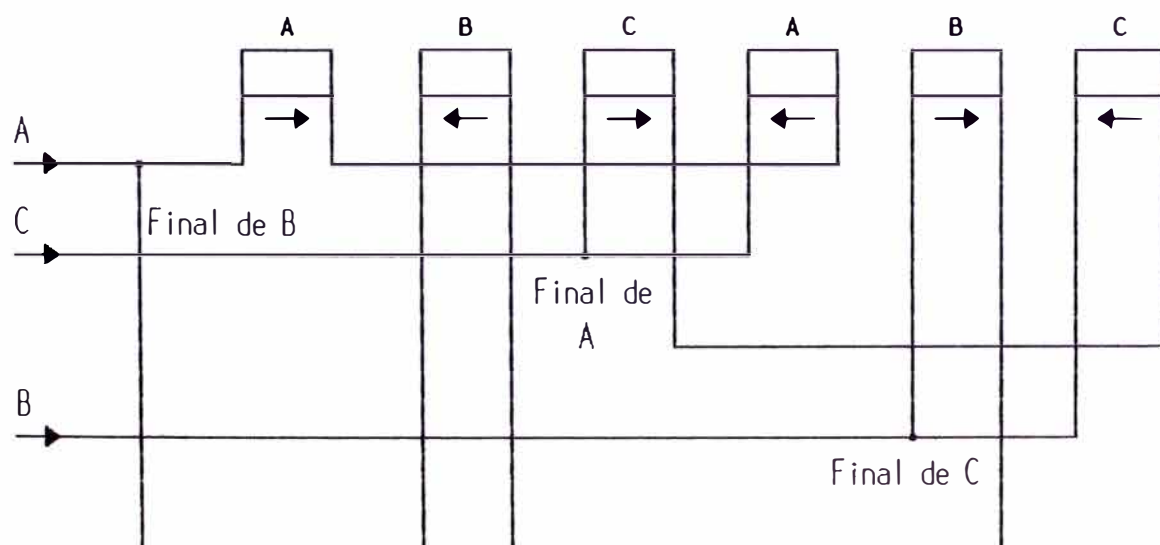
**Figura 3.4**  
**CONEXION TRIANGULO SERIE**



a) Conexión de los grupos de la fase A.



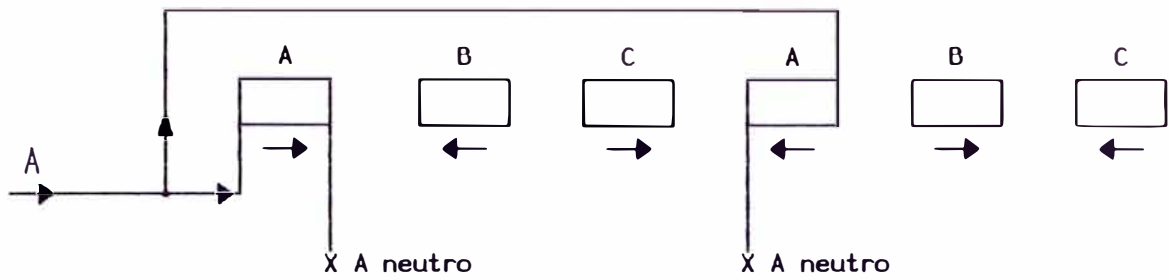
b) Conexión de los grupos de la fase C. El final de la fase A se une al principio de la fase C.



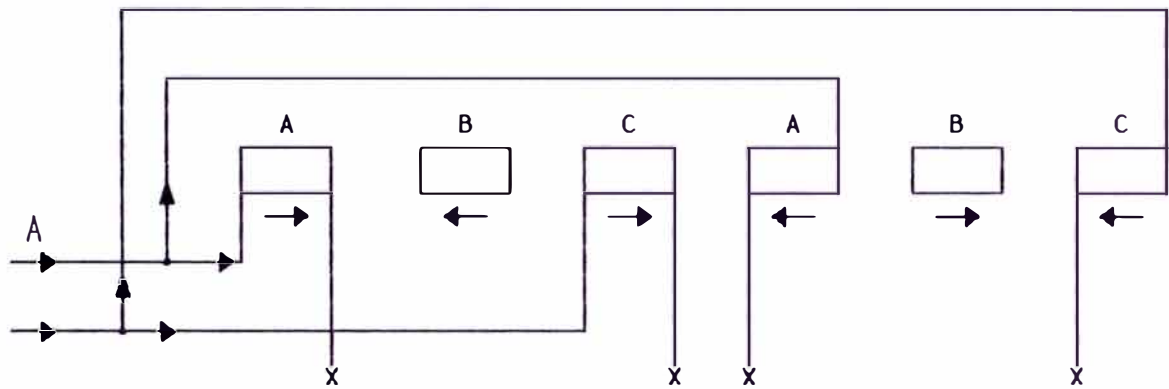
c) Conexión completa. El final de la fase A está conectado al principio de la fase C, el final de la fase C al principio de la fase B y el final de la fase B al principio de la fase A.

Figura 3.5

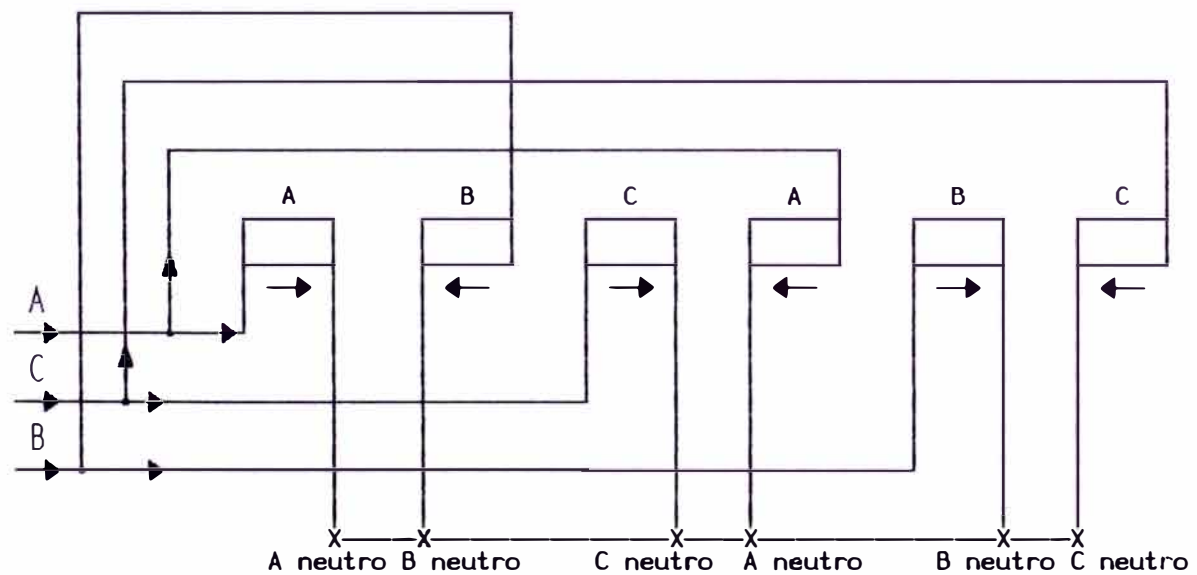
CONEXION ESTRELLA DOBLE PARALELO



a) Conexión en doble paralelo de los dos grupos de la fase A.



b) Conexión en doble paralelo de los dos grupos de la fase C.



c) Conexión completa. Los seis terminales libres están conectados conjuntamente y forman el punto neutro.



FORMATO 3.1

UNI		HOJA DE CALCULO DE MOTORES					
CALCULO DEL		ESTATOR <input type="radio"/>	MOTOR <input type="radio"/>	AC <input checked="" type="radio"/>			
		ROTOR <input type="radio"/>	DC <input type="radio"/>	GENERADOR <input type="radio"/>	DC <input type="radio"/>		
CLIENTE:							
<b>1. DATOS DE PLACA</b>							
MARCA		POTENCIA		R.P.M.		V R	
N°		TENSION		FRECUENCIA		I R.	
TIPO		CORRIENTE		COS $\phi$		C. AISL.	
MODELO		FASES		REND.		PROTEC.	
FRAME		CONEX.		F.S.		DELGAS	
<b>2. DIMENSIONES DEL NUCLEO mm.)</b>							
Lo	LONG. ACT.	Di	DIAM. INT.	Z	RANURAS		
Hc	ALT. CORONA	De	DIAM. EXT.	Bm	ANCHO RAN.		
Ad	ANCHO DIEN	G	ENTREHIER	Hm	PROF. RAN.		
<b>3. ARROLLAMIENTO</b> <span style="float: right;">ORIGINAL <input type="radio"/> REBOBINADO <input type="radio"/></span>							
DENOMINACION		RECIB.	EFFECT.	DENOMINACION		RECIB.	EFFECT.
RANURA/POLO				$\phi$ CONDUCTOR			
BOBINA/RANURA				TIPO DE CONDUCTOR			
BOBINA/GRUPO				CONDUCT. PARALELO			
N° GRUPOS				N° DE SALIDAS			
ESPIRAS POR BOBINA				FLECHA (CONEX.)			
PASO DE BOBINA				FLECHA (NO CONEX.)			
PASO DE DELGA				CABLE DE SALIDA			
NUMERO DE POLOS	OPUESTOS			DIM. SALIDAS			
	CONSEC.			AISLAMIENTO			
LONG. ESPIRA MED.				PESO COBRE			
CONEXION							
<b>4. PARAMETROS DE CALCULO</b>				RECIBIDO		EFECTUADO	
				V:	FAS:	HZ:	V:
				CONEXION:		CONEXION:	
N	COND. SERIE POR FASE						
$\phi$	FLUJO POR POLO						
Bc	INDUC. EN LA CORONA						
Br	INDUC. EN EL ENTREHIERRO						
Bd	INDUC. EN LOS DIENTES						
J	DENSIDAD DE CORRIENTE						
Q	DENSIDAD DE CARGA LINEAL						
Ka	FACT. DE ARROLL./	1	3	5	7	9	11
	RECIBIDO						
	EFECTUADO						
<b>OBSERVACIONES</b>				FECHA:		FECHA:	
<b>DEPARTAMENTO TECNICO</b>	CALCULO:			REVISO:		VISTO:	
	FECHA:			FECHA:		FECHA:	



## CAPITULO IV MONTAJE Y PRUEBAS FINALES

### 4.1 Montaje electromecánico

Antes de comenzar el montaje del motor, se debe realizar lo siguiente:

- Constatar que todos sus elementos estén limpios, lavados, reparados y aprobados.
- Balancear el rotor si es que se han hecho reparaciones en él, cuyo procedimiento se describe en el anexo IX.
- Verificar que la resistencia de aislamiento de las partes conductoras de corriente (portaescobillas, anillos contactores, etc.) no sea menor a la magnitud determinada por la siguiente relación:

$$Ra = \frac{Vn}{1000 + P/100}$$

Donde:

Ra = Resistencia de aislamiento de los anillos en Megaohmios (MΩ).

Vn = Tensión nominal del motor en voltios (V).

P = Potencia del motor en Kilovatios (KW).

- Comprobar la calidad de la película de barniz del devanado, la cual no debe presentar grietas, rayaduras, etc.

El montaje del motor se debe realizar con mucho cuidado,

evitando el deterioro de las piezas especialmente sensibles a los efectos mecánicos, es decir, los devanados, los anillos, las portaescobillas, los anillos de engrase de los cojinetes de deslizamiento, etc..

El montaje se debe desarrollar de tal manera que no se tenga que volver a desmontar piezas ni a repetir operaciones. Durante el montaje se verifica la distancia entre las partes frontales del devanado y los elementos metálicos del motor. Esta no debe ser menor a 10 mm para los motores de tensión nominal de 220 V y 15 mm para los de hasta 500 V.

Durante el montaje se debe tener presente que el eje del motor, durante su funcionamiento, se dilata como consecuencia del calentamiento; por lo tanto, los rodamientos se deben ajustar de tal manera que uno de ellos pueda desplazarse axialmente, ya sea dentro del propio rodamiento, o entre el rodamiento y su asiento; de lo contrario, al dilatarse el eje, los rodamientos se trabarán y dejarán de girar.

Por regla, el proceso de montaje de cualquier motor se ejecuta en la sucesión inversa al desmontaje. A continuación se detalla el montaje de los tipos de motores cuyo proceso de desmontaje se describió en el apartado 2.2:

- Colocar en el eje rotor (5) las tapas interiores de rodamientos L.A. y L.O.A. (22, 34); luego los rodamientos (21 y 26).

Para colocar los rodamientos es oportuno calentarlos en aceite, entre 80 y 90 °C como máximo; en caso contrario,

usar un tubo corto de caras perpendiculares, apoyado sólo en el aro interior del rodamiento, introduciéndolo con una prensa o golpeando con un mazo de plomo hasta colocarlo en su lugar; luego engrasarlos.

- Sólo para los tamaños NV 225 al 315 colocar la tuerca válvula de grasa (19), y para fijarla colocar el seguro media luna (18).
- Colocar el escudo L.O.A. (6) y la tapa exterior de rodamiento L.O.A. (14) en el eje del rotor (5); luego fijarlos junto con la tapa interior L.O.A. (22) mediante los pernos hexagonales (13).
- Introducir con cuidado el conjunto eje rotor-escudo en la carcasa estator (3); luego fijar el escudo a la carcasa estator con los pernos distanciadores (7).
- Sólo para los tamaños NV 225 al 315 colocar el anillo válvula de grasa (28) hasta que tope con el rodamiento; luego fijarla con el prisionero socket (29).
- Con el objeto de facilitar el montaje del L.A. enroscar en la tapa interior de rodamiento L.A. (34) un largo tirante guía; luego colocar el escudo L.A. (1) y la tapa exterior de rodamiento L.A. (33), de tal manera que el tirante guía coincida con uno de los agujeros del escudo y tapa. Luego fijarlos con los pernos hexagonales (32), retirando finalmente el tirante guía.
- Centrar el escudo L.A. (1) y fijarlo a la carcasa estator con los pernos hexagonales (2).
- Colocar el anillo V-Ring L.A. en los tamaños NV 180 - 200, o el anillo sello exterior (17) en los tamaños NV

225 al 315.

- Colocar la chaveta ventilador (16) y el ventilador (11), asegurándolo con el prisionero socket (15).
- Colocar la tapa ventilador (20) fijándolo con los pernos hexagonales (10).
- Colocar la chaveta eje salida (30) y la polea o cople.

Terminado el montaje del motor, se comprueba la resistencia mecánica de sujeción de todas sus piezas, ausencia de torceduras y choques de las partes móviles contra las fijas, ligereza de rotación y posibilidad del pequeño desplazamiento axial del rotor.

#### **4.2 Pruebas finales**

Una vez concluido el montaje, el motor debe ser sometido a unas pruebas para comprobar la calidad de dicha reparación. Después de una reparación, si en el proceso de la misma no ha sido modificada la potencia o la velocidad del motor, éste es sometido a las pruebas de control ya mencionadas:

- Medida de la resistencia de aislamiento de los devanados, con respecto a masa y entre los mismos.
- Medida de la resistencia de los devanados.
- Prueba de tensiones inducidas (para los motores con rotor bobinado).
- Prueba en vacío.

Además, durante la prueba en vacío, se debe constatar el buen funcionamiento de los rodamientos, controlando su temperatura y su juego axial.

Si ha sido modificada la potencia o la rotación, es

necesario realizar la prueba de rotor bloqueado (de cortocircuito) y, con los datos de esta prueba y la de vacío, construir el diagrama circular, para determinar la potencia, factor de potencia, eficiencia, deslizamiento, par motor y el rendimiento. A continuación se describe la prueba de rotor bloqueado y la construcción del Diagrama Circular de Heyland.

#### 4.2.1 Prueba de rotor bloqueado

##### a) Objeto

Medir los valores de la corriente y el factor de potencia del motor con el rotor bloqueado o en cortocircuito, para poder construir el diagrama circular.

##### b) Material

- Una fuente de tensión trifásica de C.A. variable.
- Un freno mecánico o electromagnético.
- Un multímetro.
- Un amperímetro de pinza.
- Un vatímetro.

##### c) Procedimiento

- Bloquear el rotor a fin de evitar el arranque.
- Aplicar al motor una tensión muy débil (5 a 10% de la tensión nominal).
- Aumentar la tensión hasta que la corriente absorbida alcance la corriente nominal. Medir los valores de tensión ( $V_{cc}$ ), corriente ( $I_{cc} = I_n$ ) y potencia ( $P_{cc}$ ).
- Repetir las mediciones para diferentes posiciones del rotor. Es preciso determinar los valores extremos de  $V_{cc}$  y  $P_{cc}$  y tomar la media. Las variaciones pueden ser del

orden de  $\pm 5$  a 7%.

- Calcular la corriente de cortocircuito  $I_{cc}$  para la tensión nominal aplicando la siguiente relación:

$$I_{cc} = (V_n / V_{cc}) I_n$$

- Calcular el factor de potencia usando la siguiente fórmula:

$$\cos \phi_{cc} = \frac{P_{cc}}{\sqrt{3} I_n V_{cc}}$$

#### 4.2.2 Diagrama circular de Heyland

##### a) Objeto

Determinar gráficamente las características en carga del motor.

##### b) Datos

$V_n$  = Tensión nominal.

$I_{cc}$  = Corriente de cortocircuito para la tensión  $V_n$ .

$I_0$  = Corriente en vacío.

$\phi_{cc}$  = Angulo de desfase de  $I_{cc}$  con relación a  $V_n$ .

$\phi_0$  = Angulo de desfase de  $I_0$  con relación a  $V_n$ .

##### c) Procedimiento

Se construye el diagrama de la siguiente manera (Fig. 4.1).

- Trazar dos ejes perpendiculares. En el eje vertical trazar la tensión nominal  $V_n$ .
- Trazar las corrientes  $I_0$  e  $I_{cc}$  con sus ángulos  $\phi_0$  y  $\phi_{cc}$ , respectivamente, con respecto a  $V_n$ .
- Unir los puntos A y B y levantar una perpendicular en su punto medio, la cual cortará a la horizontal que pasa por

A en el punto O. Tomando como centro este punto, trazar un círculo.

- Unir D (punto de cruce entre el eje horizontal y el círculo) con A y B. Trazar la recta vertical BJ y dividirla en 100 partes iguales, donde J es el punto de cruce con la recta AD.
- Prolongar la recta AB hasta un punto arbitrario G. Desde F (punto de cruce de AB con el eje horizontal) bajar una perpendicular hasta H, de modo que se tenga una recta GH horizontal; dividir esta recta en cien partes iguales.

**d) Determinación de las características**

Para la corriente nominal  $I_n$ , trazar el vector de esta corriente, siendo K el punto de intersección con el círculo.

- Potencias: Trazar la recta vertical KN, obteniéndose los puntos R (cruce con PB), L (cruce con AB) y M (cruce con la horizontal AO). Luego la potencia en Kilovatios viene dada por los segmentos KN para la potencia absorbida, MN para las pérdidas en el fierro, LM para las pérdidas en el cobre, KL para la potencia en el eje (Util o mecánica), medidas a la escala de las corrientes y multiplicadas por  $\sqrt{3} V_n$ .
- Rendimiento: Uniendo K con F y prolongando hasta cortar GH, se lee directamente en centésimas en la escala de rendimientos. También se puede calcular con la siguiente relación:

$$\eta = \frac{\text{Potencia útil}}{\text{Potencia absorbida}} = \frac{KL}{KN}$$

- Deslizamiento: Uniendo K con D con una recta, se lee directamente en centésimas en la escala de deslizamiento. Otra forma de hallar el deslizamiento es:

$$\sigma = \frac{RL}{KL}$$

- Par motor: Se calcula con la siguiente relación:

$$T = \frac{0.96 KR V_n}{(1 - \sigma) n} \quad (\text{Kg-cm})$$

Donde:

T = par motor en Kg-cm.

n = Velocidad síncrona en RPM.

- Factor de potencia: Se lee directamente el ángulo  $\phi_n$  y se halla el  $\text{Cos}\phi_n$ .

#### 4.3 Pintura y acabados

Concluídas con las pruebas finales, el motor es enviado a la sección de mecánica para su respectivo pintado. Antes de ser pintado, todas las superficies deben estar limpias y secas, libre de óxido, grasa, pintura suelta o en mal estado.

Primero se debe aplicar una capa de pintura anticorrosiva, la cual debe tener una buena resistencia a la intemperie y a los agentes oxidantes; además debe tener una magnífica adhesión a las superficies ferrosas.

Luego se le dá el acabado, aplicando una o dos capas de pintura de acabado, la cual debe tener propiedades especiales para hacerla resistente al calor, al aceite y a la intemperie, quedando las superficies con un color



uniforme, libre de áreas dejadas en blanco, pandeos, derrames, salpicaduras u otros desperfectos. Se debe evitar de pintar el eje, los cables de salida, la placa de datos, borneras, ventilador, etc.

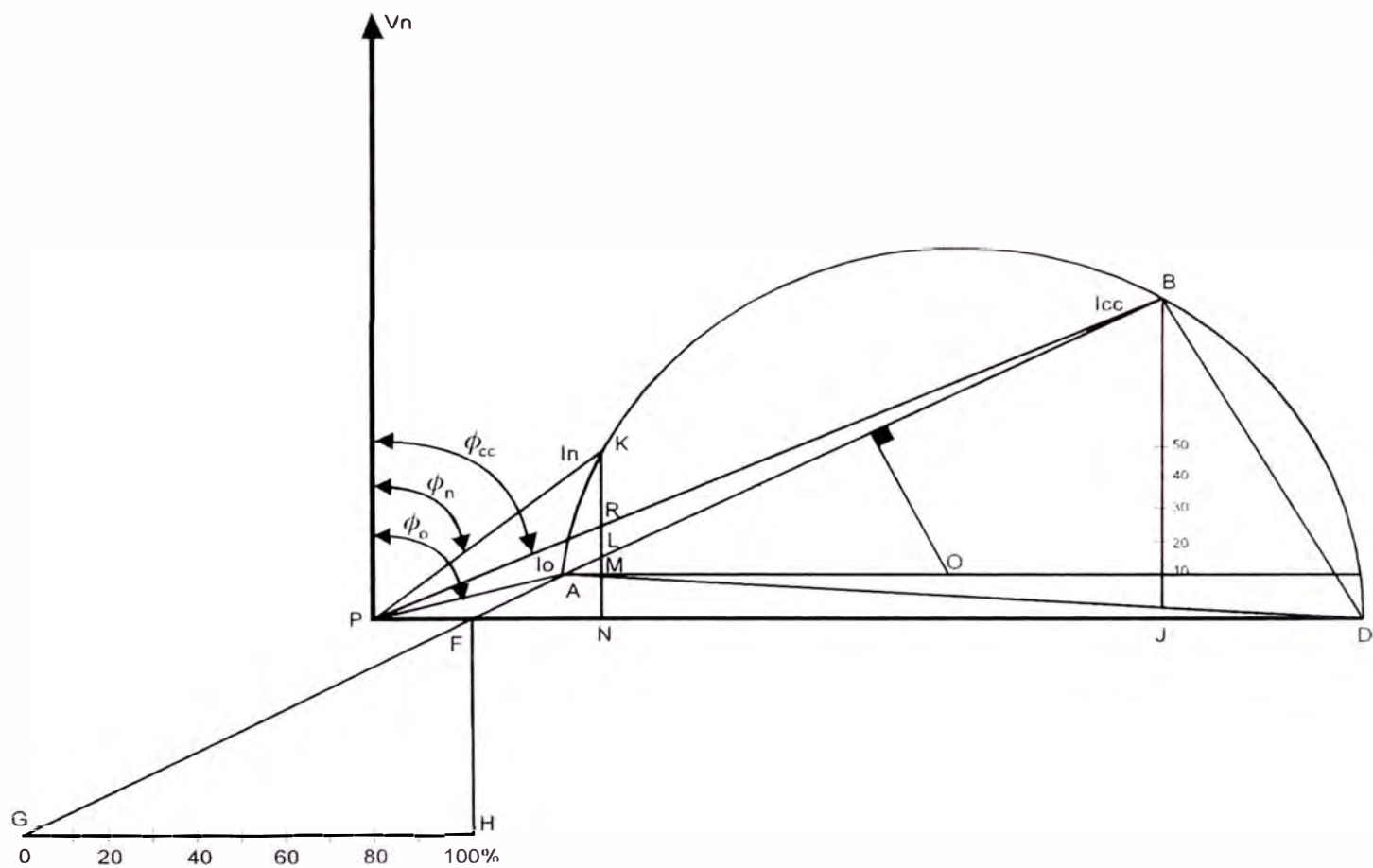
#### **4.4 Inspección final**

Finalmente se realiza una inspección final en cuanto a:

- La resistencia de aislamiento.
- El número de cables de salida y la conexión de entrega.
- Las condiciones de despacho, respecto a su funcionamiento y al estado de algunas piezas como: ventilador, funda, portaescobillas, escobillas, etc.

Todo esto es registrado en el protocolo de pruebas; asimismo, en el mismo protocolo de pruebas, se hace un resumen de los trabajos realizados en su reparación.

Figura 4.1: Diagrama Circular de Heyland.



## **CAPITULO V EVALUACION DE LOS COSTOS DE REPARACION**

### **5.1 Objetivo**

El presente capítulo tiene como objetivo indicar los criterios básicos para determinar el precio de venta del servicio de reparación de los motores eléctricos y, en general, de cualquier máquina eléctrica.

### **5.2 Determinación del precio de venta**

Normalmente, el precio de venta es proporcional al peso y costo de los distintos materiales que intervienen en la producción; por lo tanto, en el precio de venta así calculado se consideran los costos de los materiales y de la mano de obra que intervienen directamente, los gastos de almacenamiento de los materiales, los gastos de mano de obra indirecta, los gastos generales y los beneficios (utilidades).

A continuación se detallan cada uno de los costos y gastos mencionados y luego se indica la forma de calcular el precio de venta.

#### **5.2.1 Costo de materiales (CM)**

Es la suma de los costos de todos los materiales que intervienen directamente en la reparación.

En la tabla 5.1 se indican los materiales y sus precios unitarios más utilizados en la reconstrucción de los devanados de los motores.

### 5.2.2 Costo de mano de obra (CT)

Lo constituyen los salarios pagados a los trabajadores que intervienen directamente en el proceso.

Estos son los obreros y empleados que intervienen directamente en el bobinado, cálculos, pruebas eléctricas, montaje y desmontaje de las máquinas.

El costo de mano de obra varía de acuerdo a la potencia y velocidad de los motores.

### 5.2.3 Coeficiente de gastos de materiales ( $f_m$ )

Este coeficiente es mayor que uno ( $f_m > 1$ ), mediante el cual se consideran los gastos de almacenamiento de los materiales.

### 5.2.4 Coeficiente de gastos de la mano de obra directa ( $f_t$ )

Este coeficiente, mayor que uno ( $f_t > 1$ ), tiene en cuenta el costo adicional que hay que aplicar al costo de la mano de obra directa, para cubrir los salarios y cargas del personal que intervienen indirectamente en el proceso: maestros de taller, aprendices (practicantes), control y organización de talleres, etc.

### 5.2.5 Coeficiente de gastos generales ( $f_g$ )

Mediante el cual se consideran todos los demás gastos de gestión y servicio: gastos financieros, gastos de comercialización y gastos generales propiamente dichos. Este coeficiente también es mayor que uno ( $f_g > 1$ )

### 5.2.6 Coeficiente de beneficio o utilidad ( $f_b$ )

Tomando este coeficiente menor que la unidad ( $f_b < 1$ ) y aplicando como divisor del costo total, la diferencia:  $1 - f_b$  indica el beneficio bruto expresado en fracción del

precio de venta. Por ejemplo:  $f_b = 0.8$  significa un beneficio comercial del 20% sobre este precio de venta.

### 5.2.7 Precio de venta (PV)

De acuerdo a todo lo expuesto, el precio de venta se determina de la siguiente manera:

$$PV = \frac{(CM f_m + CT f_t) f_g}{f_b}$$

Los coeficientes  $f_m$ ,  $f_t$  y  $f_g$  son parámetros de gestión de cada empresa, revisados periódicamente, los cuales varían muy lentamente en el curso de los años.

### 5.3 Ejemplo Numérico

A continuación se detalla el cálculo del precio de venta de reparación del devanado de un motor trifásico, jaula de ardilla, de las siguientes características:

Potencia	:	100 HP
Tensión	:	230/460 V
Corriente	:	230/115 A
Conexión	:	2 $\Delta$ / $\Delta$
Velocidad	:	3550 RPM
Clase de aislamiento	:	"F"

#### 5.3.1 Resumen de costos y gastos

El costo de los materiales (CM) se detalla en la tabla 5.2, obteniéndose un total de \$ 668.49.

De acuerdo a la experiencia y a los archivos de los partes de tiempo, el costo de la mano de obra directa (CT) se puede estimar en un 20% del costo de los materiales (CM). Por lo tanto, tenemos:  $CT = 20\%(CM) = \$ 133.70$ .

Para considerar los demás gastos y el beneficio (utilidad), para los diferentes coeficientes se asumen los siguientes valores:

- Coeficiente de gastos de materiales:

$$f_m = 1.05$$

- Coeficiente de gastos de mano de obra directa:  $f_l = 1.05$

- Coeficiente de gastos generales:  $f_g = 1.05$

- Un beneficio comercial de 20%:  $f_b = 0.8$

### 5.3.2 Precio de venta

$$PV = \frac{(668.49 \times 1.05 + 133.70 \times 1.05) \times 1.05}{0.8}$$

$$PV = \$ 1105.52$$

En la tabla 5.3 se muestran los precios de venta de reparación de motores asíncronos trifásicos, tipo "Delcrosa" o similar, jaula de ardilla, con aislamiento clase "B", tensión máxima de 550 v.

TABLA 5.1

DESCRIPCION DEL ARTICULO UTILIZADO	UNIDAD	PRECIO UNITARIO \$
Alambre doble esmalte clase F del calibre N°12 AWG - DE AL N°28 AWG-DE	Kg	14,72
Papel aislante de acuerdo a clase de aislamiento: Clase F: papel NOMEX puro del 0,18 al 0,30 mm Clase B: papel TRIVOLTON o revestido del 0,18 mm al 0,30 mm Papel MYLAR del 0,18 mm al 0,300.	Kg Kg Kg	61,66 43,16 16,78
Spaguetty de vidrio barnizado clase F De: 1 mm a 5 mm 5 mm a 9 mm	Mt Mt	1,00 1,80
Varillas de soldadura de plata de 1/8".	Kg	13,29
Carretes de soldadura de estaño de 60/40 de 1/8".	Kg	12,38
Cable para una tensión de servicio de 600 voltios Calibre del Conductor:		
20 AWG tipo - Flexiplast	Mt	0,09
18 AWG tipo - Flexiplast	Mt	0,13
16 AWG tipo - Flexiplast	Mt	0,22
14 AWG tipo - Flexiplast	Mt	0,28
12 AWG tipo - Flexiplast	Mt	0,43
10 AWG tipo - Flexiplast	Mt	0,67
8 AWG tipo - WS	Mt	1,11
6 AWG tipo - WS	Mt	1,73
4 AWG tipo - WS	Mt	3,46
2 AWG tipo - WS	Mt	5,58
1 AWG tipo - WS	Mt	6,86
1/0 AWG tipo - WS	Mt	8,53
2/0 AWG tipo - WS	Mt	10,64
3/0 AWG tipo - WS	Mt	13,21
4/0 AWG tipo - WS	Mt	16,19
Cinta Filamentape 893 3/4"	Rll.	6,00
Terminales de cobre tipo anillo, corriente de:		
35 AMP	Pza.	0,50
50 AMP	Pza.	0,75
70 AMP	Pza.	0,95
90 AMP	Pza.	1,20
125 AMP	Pza.	1,50
150 AMP	Pza.	2,00
175 AMP	Pza.	2,50
Lija de fierro N° 40 al N° 120	Pl.	0,70
Barniz aislante transparente S.W. secado al horno	Gln.	18,30

TABLA 5.2

DESCRIPCION DEL ARTICULO UTILIZADO	UNID.	CANT.	PRECIO UNIT.	IMPORTE
Alambre de Calibre N° 14 AWG - Doble Esmalte Clase H 180 °C.	Kg	33,451	14,72	492,40
Papel Nomex puro Clase F de 0,30 mm.	Kg	0,80	61,66	49,33
Spaguetty de vidrio barnizado de 3 mm Clase F.	Mt	9	1,0	9,00
Spaguetty de vidrio barnizado de 6 mm Clase F.	Mt	5	1,80	9,00
Cable de calibre N°2 AWG-WS	Mt	9	5,58	50,22
Cinta Filamentape 893 de 3/4".	Rll	1/2	6,00	3,00
Terminales de cobre de 70 Amp.	Pza	12	0,95	11,70
Soldadura de Plata de 1/8".	Kg	0,20	13,29	2,66
Soldadura de Estaño de 60/40 1/8".	Kg	0,20	12,38	2,48
Lija de fierro N° 80.	Pl	3	0,70	2,10
Barniz aislante transparente.	Gln	2	18,30	36,60
TOTAL :				\$ 668,49



TABLA 5.3

PRECIO DE VENTA EN DOLARES

Reparación de Motores Asíncronos Trifásicos, tipo "DELCROSA" o similar, jaula de ardilla, con aislamiento clase "B", máx. 550 V.

TIPO	3600 RPM (2 POLOS)		1800 RPM (4 POLOS)		1200 RPM (6 POLOS)		900 RPM (8 POLOS)	
	HP	PV (\$)	HP	PV (\$)	HP	PV (\$)	HP	PV (\$)
71a	0.6	40.00	0.4	46.00				
71b	0.9	50.00	0.6	48.00				
80a	1.2	52.00	0.9	59.00	0.6	67.00		
80b	1.8	66.00	1.2	68.00	0.9	83.00		
90La	2.4	73.00	1.8	72.00	1.2	95.00	0.6	101.00
90L	3.6	89.00	2.4	84.00	1.8	101.00	0.9	125.00
100La			3.6	105.00			1.2	143.00
100L	4.8	104.00	4.8	126.00	2.4	126.00	1.8	152.00
112M	6.6	134.00	6.6	147.00	3.6	158.00	2.4	189.00
132Sa	9.0	148.00						
132S	12.0	177.00	9.0	170.00	4.8	189.00	3.6	237.00
132Ma					6.6	221.00		
132M	15.0	215.00	12.0	219.00	9.0	238.00	4.6	284.00
160Ma	18.0	248.00					6.6	332.00
160M	24.0	292.00	18.0	269.00	12.0	307.00	9.0	357.00
160L	30.0	337.00	24.0	337.00	18.0	377.00	12.0	430.00
180M	36.0	422.00	30.0	391.00				
180L			36.0	493.00	24.0	472.00	18.0	566.00
200La	48.0	496.00			30.0	547.00		
200L	60.0	572.00	48.0	548.00	36.0	690.00	24.0	708.00
225cS			60.0	630.00			30.0	875.00
225cM			70.0	705.00	48.0	877.00	36.0	1104.00
225M	70.0	640.00						
250cM	90.0	775.00						
250M			90.0	848.00	60.0	1008.00	48.0	1228.00
280S	125.0	937.00	125.0	1010.00	70.0	1199.00	60.0	1411.00

NOTA:

- (1) Los precios indicados no incluyen IGV.
- (2) No incluye suministro de rodamientos, ni trabajos de carácter mecánico.
- (3) En caso de recibirse y repararse estator sólo, se aplicará un descuento del 10% sobre el valor de lista.
- (4) Los trabajos de emergencia sufrirán un recargo del 12%.
- (5) Para otros valores de potencia y/o tensión, se cotizará de acuerdo a las características de la máquina.

**CAPITULO VI**  
**APLICACION: REPARACION DE UN MOTOR ASINCRONO**  
**TRIFASICO DE 125 HP, 440 V**

Como ejemplo de aplicación, a continuación se describe el proceso de reparación de un motor asíncrono trifásico de jaula de ardilla, cuyos datos de placa son:

Marca	: WEG
Potencia	: 125 HP
Tensión	: 440 Voltios
Corriente	: 173 Amperios
Conexión	: Triángulo serie
Velocidad	: 1750 RPM
Frecuencia	: 60 Hz.
Clase de Aislamiento	: B

### **6.1 Observaciones externas y pruebas de recepción**

Las diferentes partes tales como escudos, caja de bornes, funda, ventilador, soportes, aletas, eje, placa de datos, etc., se encuentran en buen estado. Estas observaciones se encuentran registradas en el protocolo de pruebas que se adjunta al final.

Solamente se realizó la medida de la resistencia de aislamiento entre fases y con respecto a masa, concluyéndose que existe cortocircuito entre espiras.

### **6.2 Revisión electromecánica**

Concluído el desmontaje, se comprobó que los rodamientos

estaban en buenas condiciones, requiriéndose simplemente un cambio de lubricante; asimismo se verificó el correcto ajuste de los rodamientos con respecto al eje y a sus respectivos alojamientos.

Se realizaron las pruebas del núcleo magnético y de la jaula de ardilla, cuyos resultados se encuentran registrados en el protocolo de pruebas.

### 6.2.1 Prueba del núcleo magnético

$$L_a = 28.6 \text{ cm.}$$

$$H_c = 4.2 \text{ cm.}$$

$$F_a = 0.9$$

$$B_c = 16000 \text{ Gauss (valor asumido)}$$

$$n_e = 10 \text{ espiras (asumido)}$$

$$S = L_a H_c F_a = 28.6 \times 4.2 \times 0.9$$

$$S = 108.11 \text{ cm}^2.$$

$$E = 4.44 f n_e B_c S 10^{-8}$$

$$= 4.44 \times 60 \times 10 \times 16000 \times 108.11 \times 10^{-8}$$

$$E = 46 \text{ Voltios.}$$

Tiempo de prueba = 10 minutos.

Resultado : Bien.

### 6.3 Toma de datos y cálculo del devanado antiguo

#### 6.3.1 Datos del núcleo magnético

$$\text{Diámetro exterior} \quad D_e = 48 \text{ cm.}$$

$$\text{Diámetro interior} \quad D_i = 32 \text{ cm.}$$

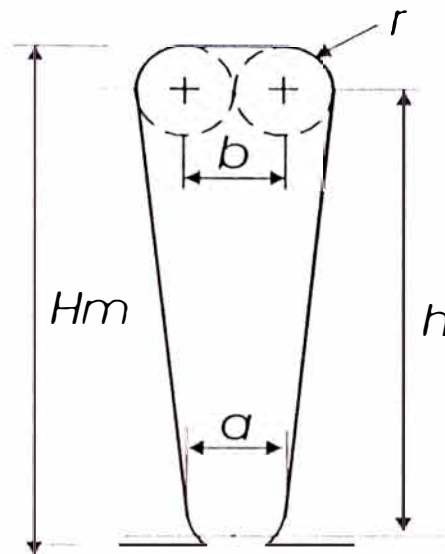
$$\text{Longitud activa} \quad L_a = 28.6 \text{ cm.}$$

$$\text{Altura de corona} \quad H_c = 4.2 \text{ cm.}$$

$$\text{Ancho de diente} \quad A_d = 7.5 \text{ mm.}$$

$$\text{Número de ranuras} \quad z = 72$$

**Dimensiones de la ranura:**



$r = 2.5 \text{ mm.}$

$a = 6.5 \text{ mm.}$

$b = 5.0 \text{ mm.}$

$h = 33.5 \text{ mm.}$

$Hm = 38 \text{ mm.}$

**6.3.2 Datos del bobinado antiguo**

Ranuras por polo	: 18
Bobinas por ranura	: 2
Bobinas por grupo	: 6
Número de grupos	: 12
Espiras por bobina	: 2
Paso de bobina	: 1-9-11-13-15-17-19
Cable de salida	: No. 2 AWG
Conexión	: $\Delta/Y$
Alambre	: No. 16 AWG
Alambres en paralelo	: 16
Número de salidas	: 6
Número de polos	: 4

Clase de aislamiento : "B"  
Flecha lado conexión : 95 mm.  
Flecha lado no conexión : 90 mm.

### 6.3.3 Cálculo del factor de paso

$$K_p = \text{Sen}(90^\circ y/\tau)$$

$$K_{p_1} = \text{Sen} (90 \times 8/18) = 0.6428$$

$$K_{p_2} = \text{Sen} (90 \times 10/18) = 0.7660$$

$$K_{p_3} = \text{Sen} (90 \times 12/18) = 0.8660$$

$$K_{p_4} = \text{Sen} (90 \times 14/18) = 0.9397$$

$$K_{p_5} = \text{Sen} (90 \times 16/18) = 0.9848$$

$$K_{p_6} = \text{Sen} (90 \times 18/18) = 1.0000$$

$$K_p = \frac{0.6428 + 0.7660 + 0.8660 + 0.9397 + 0.9848 + 1.0000}{6}$$

$$K_p = 0.8666$$

### 6.3.4 Cálculo del factor de distribución

$$K_d = \frac{\text{Sen}(q \gamma/2)}{q \text{Sen}(\gamma/2)}$$

$$\gamma = (360/z) \quad p = (360/72) \quad 2 = 10$$

$$q = z/(2p \ m) = 72/(4 \times 3) = 6$$

$$K_d = \frac{\text{Sen} (6 \times 10/2)}{6 \text{Sen}(10/2)}$$

$$K_d = 0.9561$$

### 6.3.5 Cálculo del factor de arrollamiento

$$K_a = K_p K_d = 0.8666 \times 0.9561$$

$$K_a = 0.8286$$

### 6.3.6 Número de conductores en serie por fase

$$N = \frac{(\text{N}^\circ \text{ espiras/bobina})(\text{N}^\circ \text{ bobinas/ranura})(\text{N}^\circ \text{ ranuras})}{(\text{N}^\circ \text{ de fases})(\text{N}^\circ \text{ de circuitos en paralelo})}$$

$$N = \frac{2 \times 2 \times 72}{3 \times 1}$$

$$N = 96$$

### 6.3.7 Cálculo del flujo magnético

$$\phi = \frac{V 10^8}{2.22 f K_a N}$$

$$\phi = \frac{440 \times 10^8}{2.22 \times 60 \times 0.8286 \times 96}$$

$$\phi = 4152716.56 \text{ Maxwell}$$

### 6.3.8 Inducción en la corona

$$B_c = 0.556 \frac{\phi}{L_a H_c}$$

$$B_c = 0.556 \times \frac{4152716.56}{28.6 \times 4.2}$$

$$B_c = 19222 \text{ Gauss}$$

### 6.3.9 Inducción en el entrehierro

$$B_r = \frac{\phi p}{D_i L_a}$$

$$B_r = \frac{4152716.56 \times 2}{32 \times 28.6}$$

$$B_r = 9075 \text{ Gauss}$$

### 6.3.10 Inducción en el diente

$$Bd = 1.75 \frac{\phi}{La Ad (z/2p)}$$

$$Bd = 1.75 \times \frac{4152716.56}{28.6 \times 0.75 (72/4)}$$

$$Bd = 18822 \text{ Gauss}$$

### 6.3.11 Densidad de corriente

$$J = \frac{I_f}{a Cp s}$$

$$J = \frac{173/\sqrt{3}}{1 \times 16 \times 1.3090}$$

$$J = 4.77 \text{ A/mm}^2$$

### 6.3.12 Factor de utilización

$$Fu = \frac{Sm}{Sr}$$

$$Sm = Nr Cp s = 4 \times 16 \times 1.3090 = 83.78 \text{ mm}^2$$

$$Sr = \frac{\pi r^2}{2} + h \left( \frac{a}{2} + \frac{b}{2} + r \right) + br$$

$$Sr = \frac{\pi \times 2.5^2}{2} + 33.5 \left\{ \frac{6.5}{2} + \frac{5}{2} + 2.5 \right\} + 5 \times 2.5$$

$$Sr = 298.69 \text{ mm}^2$$

$$Fu = \frac{83.78}{298.69}$$

$$Fu = 0.28$$

### 6.3.13 Densidad de carga lineal

$$Q = \frac{z N r I_f}{\pi D_i a}$$

$$Q = \frac{72 \times 4 \times 173 / \sqrt{3}}{\pi \times 0.320 \times 1}$$

$$Q = 28614 \quad \text{A/mt.}$$

### 6.3.14 Cálculo de la longitud media de una espira

Para un devanado concéntrico:

$$D_m = D_i + H_m + 4 \text{ mm} = 320 + 38 + 4$$

$$D_m = 362 \text{ mm.}$$

$$L_m = 2L_a + 2f_c + 2f_{nc} + \frac{2\pi D_m y}{z}$$

$$L_m = 2 \times 286 + 2 \times 95 + 2 \times 90 + \frac{2\pi \times 362 \times y}{72}$$

$$L_m = 942 + 31.59y$$

$$L_{m_1} = 942 + 31.59 \times 8 = 1.1947 \text{ mt.}$$

$$L_{m_2} = 942 + 31.59 \times 10 = 1.2579 \text{ mt.}$$

$$L_{m_3} = 942 + 31.59 \times 12 = 1.3211 \text{ mt.}$$

$$L_{m_4} = 942 + 31.59 \times 14 = 1.3843 \text{ mt.}$$

$$L_{m_5} = 942 + 31.59 \times 16 = 1.4474 \text{ mt.}$$

$$L_{m_6} = 942 + 31.59 \times 18 = 1.5106 \text{ mt.}$$

### 6.3.15 Cálculo del peso del conductor utilizado

$$P_c = 26.7 C_p s L_m N a 10^{-3}$$

Como hay que calcular para cada tipo de bobina, en este

caso:  $N = \frac{96}{12} = 8$ , ya que hay 12 grupos.



$$P_c = 26.7 \times 16 \times 1.3090 \times L_m \times 8 \times 1 \times 10^{-3}$$

$$P_c = 4.4736 L_m$$

$$P_{c_1} = 4.4736 \times 1.1947 = 5.347 \text{ Kg.}$$

$$P_{c_2} = 4.4736 \times 1.2579 = 5.627 \text{ Kg.}$$

$$P_{c_3} = 4.4736 \times 1.3211 = 5.910 \text{ Kg.}$$

$$P_{c_4} = 4.4736 \times 1.3843 = 6.193 \text{ Kg.}$$

$$P_{c_5} = 4.4736 \times 1.4474 = 6.475 \text{ Kg.}$$

$$P_{c_6} = 4.4736 \times 1.5106 = 6.758 \text{ Kg.}$$

$$P_c = P_{c_1} + P_{c_2} + P_{c_3} + P_{c_4} + P_{c_5} + P_{c_6}$$

$$P_c = 36.308 \text{ Kg.}$$

Considerando un 10% adicional, tenemos:

$$P_c = 39.939 \text{ Kg.}$$

### 6.3.16 Cálculo de los cables de salida

$$S_n = s C_p a = 1.3090 \times 16 \times 1$$

$$S_n = 20.94 \text{ mm}^2$$

Según la tabla 3.6, el cable tipo WS N° 4 AWG tiene una sección igual a  $21.15 \text{ mm}^2$ ; pero considerando una reserva, tomamos como cable de salida el N° 2 AWG.

### 6.4 Cálculo del nuevo devanado

En los cálculos del devanado antiguo, observamos que las inducciones magnéticas son muy altas, número de alambre en paralelo muy alto y factor de utilización muy bajo. Para que estos valores se adecúen a los normales recomendados, se deben variar algunas características, tales como el tipo de conexión y el número de espiras por bobina.

#### 6.4.1 Factor de paso

$$K_p = 0.8666$$

#### 6.4.2 Factor de distribución

$$K_d = 0.9561$$

#### 6.4.3 Factor de arrollamiento

$$K_a = 0.8286$$

#### 6.4.4 Número de conductores en serie por fase

Considerando 5 espiras por bobina, tenemos:

$$N = \frac{5 \times 2 \times 72}{3 \times 2}$$

$$N = 120$$

#### 6.4.5 Flujo magnético

$$\phi = \frac{440 \times 10^8}{2.22 \times 60 \times 0.8286 \times 120}$$

$$\phi = 3322173.25 \text{ Maxwell}$$

#### 6.4.6 Inducción en la corona

$$B_c = 0.556 \times \frac{3322173.25}{28.6 \times 4.2}$$

$$B_c = 15377 \text{ Gauss}$$

#### 6.4.7 Inducción en el entrehierro

$$B_r = \frac{3322173.25 \times 2}{32 \times 28.6}$$

$$B_r = 7260 \text{ Gauss}$$

#### 6.4.8 Inducción en el diente

$$B_d' = 1.75 \times \frac{3322173.25}{28.6 \times 0.75 \times 18}$$

$$B_d = 15058 \text{ Gauss}$$

#### 6.4.9 Densidad de corriente

Considerando 8 alambres en paralelo, tenemos:

$$J = \frac{173/\sqrt{3}}{2 \times 8 \times 1.3090}$$

$$J = 4.77 \text{ A/mm}^2$$

#### 6.4.10 Factor de utilización

$$S_m = 10 \times 8 \times 1.3090 = 104.72$$

$$S_r = 298.69$$

$$Fu = \frac{104.72}{298.69}$$

$$Fu = 0.35$$

#### 6.4.11 Densidad de carga lineal

$$Q = \frac{72 \times 10 \times 173/\sqrt{3}}{\pi \times 0.320 \times 2}$$

$$Q = 35767 \text{ A/mt}$$

#### 6.4.12 Longitud media de una espira

$$Lm_1 = 1.1947 \text{ mt}$$

$$Lm_2 = 1.2579 \text{ mt}$$

$$Lm_3 = 1.3211 \text{ mt}$$

$$Lm_4 = 1.3843 \text{ mt}$$

$$Lm_5 = 1.4474 \text{ mt}$$

$$Lm_6 = 1.5106 \text{ mt}$$

#### 6.4.13 Peso del conductor utilizado

$$\text{En este caso: } N = \frac{120}{12} = 10$$

$$P_c = 26.7 \times 8 \times 1.3090 \times Lm \times 10 \times 2 \times 10^{-3}$$

$$P_c = 5.592 \text{ Lm}$$

$$P_{c1} = 6.681 \text{ Kg}$$

$$Pc_2 = 7.034 \text{ Kg}$$

$$Pc_3 = 7.388 \text{ Kg}$$

$$Pc_4 = 7.741 \text{ Kg}$$

$$Pc_5 = 8.094 \text{ Kg}$$

$$Pc_6 = 8.447 \text{ kg}$$

$$Pc = 45.385 \text{ Kg}$$

Considerando un 10% adicional, tenemos:

$$Pc = 49.924 \text{ Kg}$$

#### 6.4.14 Cables de salida

$$S_n = 1.3090 \times 8 \times 2$$

$$S_n = 20.94 \text{ mm}^2$$

se usará cable N° 2 AWG, tipo WS o flexiplast

De los cálculos anteriores, observamos que los valores de las inducciones, la densidad de corriente, el factor de utilización y la densidad de carga lineal se encuentran dentro de los rangos establecidos. Por lo tanto, el nuevo devanado tendrá las siguientes características:

Ranuras por polo	:	18
Bobinas por ranura	:	2
Bobinas por grupo	:	6
Número de grupos	:	12
Espiras por bobina	:	5
Paso de bobina	:	1-9-11-13-15-17-19
cable de salida	:	N° 2 AWG
conexión	:	2 $\Delta$ /2Y
Alambre	:	N° 16 AWG
Alambres en paralelo	:	8
Número de salidas	:	6

Número de polos : 4  
Clase de aislamiento : B  
Flecha lado conexión : 95 mm  
Flecha lado no conexión: 90 mm

### 6.5 Pruebas Finales

Se realizaron las siguientes pruebas:

- Prueba monofásica del estator.
- Prueba en vacío.

Los resultados de ambas pruebas se muestran en el protocolo de pruebas adjunto. Asimismo se adjuntan la hoja de bobinado, la hoja de cálculo y el esquema lineal de conexión del devanado con 6 salidas (Figura 6.1)

### 6.6 Cálculo del precio de venta

#### 6.6.1 Costo de materiales

El costo de materiales (CM) se muestra en la tabla 6.1

TABLA 6.1

DESCRIPCION DEL ARTICULO UTILIZADO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE
Alambre N° 16 AWG clase B	Kg	49.924	10.3	514.22
Papel Nomex, clase B de 0.30 mm	Kg	0.90	43.16	38.84
Spaguetty de 3 mm, clase B	Mt	9	0.7	6.3
Spaguetty de 6 mm, clase B	Mt	2.5	1.26	3.15
Cable tipo WS N°2 AWG	Mt	4.5	5.58	25.11
Cinta filamentape 893 de 3/4"	Ro	0.5	6.00	3.00
Terminales de cobre de 70 Amp	Pz	6	0.95	5.7
Soldadura de plata de 1/8"	Kg	0.20	13.29	2.66
Soldadura de estaño de 60x40	Kg	0.20	12.38	2.48
Lija de fierro N°80	Pl	3	0.70	2.10
Barniz aislante transparente	Gl	2	18.30	36.60
<b>CM : \$ 640.16</b>				

### 6.6.2 Costo de mano de obra directa

$$CT = 20\% \text{ de CM}$$

$$CT = \$ 128.03$$

### 6.6.3 Precio de venta

considerando:

$$f_m = 1.05$$

$$f_t = 1.05$$

$$f_g = 1.05$$

$$f_b = 0.8$$

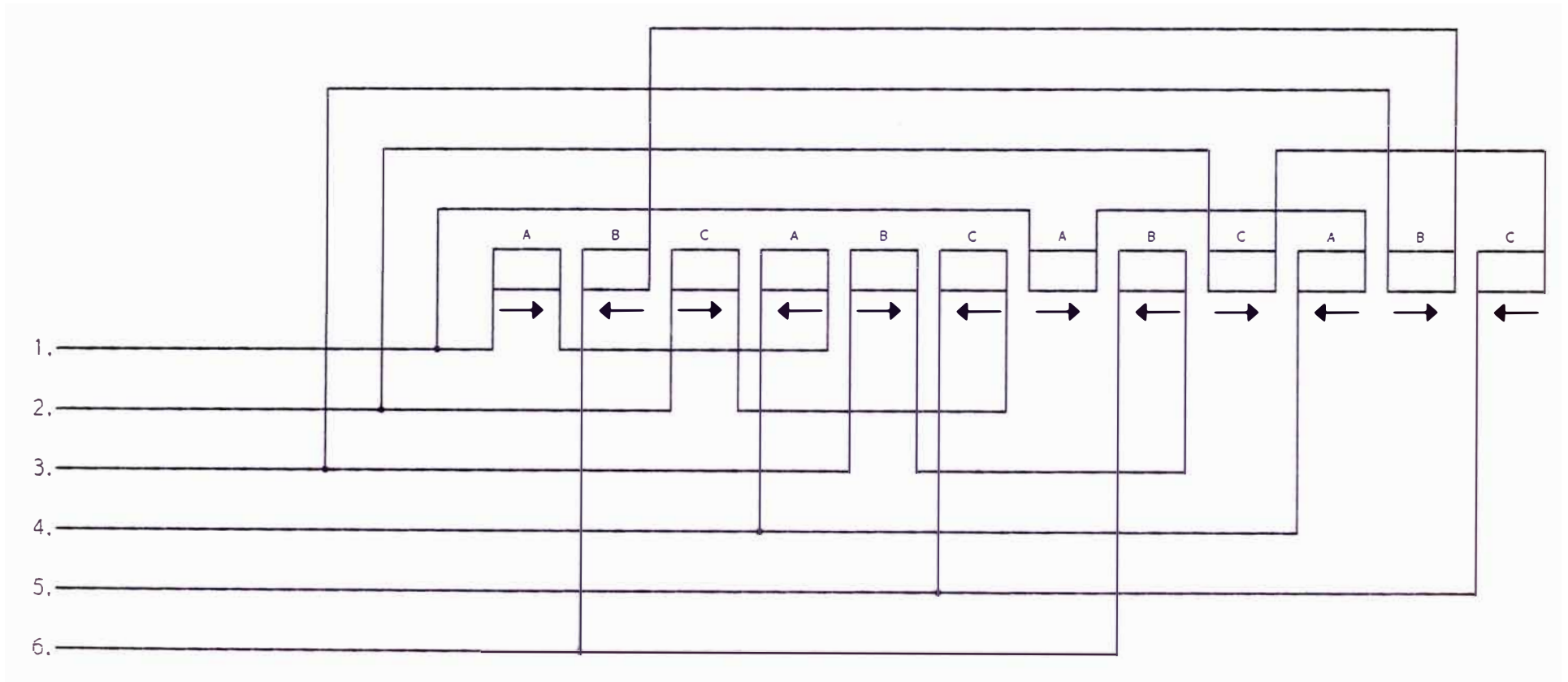
Tenemos:

$$PV = \frac{(640.16 \times 1.05 + 128.03 \times 1.05) \times 1.05}{0.8}$$

$$PV = \$ 1058.66$$

Figura 6.1

Esquema lineal de conexión del devanado del motor de 125 Hp, 440 V, con seis salidas



<b>UNI</b>		<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA</b>			
PROTOCOLO DE PRUEBAS DE MOTOR TRIFASICO DE INDUCCION DE JAULA DE ARDILLA			O.T. N°		
			CLIENTE :		
<b>DATOS DE PLACA</b>					
Marca <b>WEG</b>	N°	Conexión $\Delta$		Modelo	
Tipo	Velocidad <b>1750 RPM</b>	Voltios <b>440</b>		Frecuencia <b>60 Hz</b>	
Potencia <b>125 HP</b>	Cos $\phi$	Amperios <b>173</b>		Clase Aislamiento <b>B</b>	
<b>1) OBSERVACIONES EXTERNAS</b>			Fecha		Firma
Recepcionado	Estator y rotor <input checked="" type="checkbox"/>	Estator solo <input type="checkbox"/>	Rotor solo <input type="checkbox"/>		
Placa	Rota <input type="checkbox"/>	Dorrada <input type="checkbox"/>	No tiene <input type="checkbox"/>	Bien <input checked="" type="checkbox"/>	
Tapas	Rotas <input type="checkbox"/>	Golpeadas <input type="checkbox"/>	Incompletas <input type="checkbox"/>	No tiene <input type="checkbox"/>	Bien <input checked="" type="checkbox"/>
Caja de bornes	Rota <input type="checkbox"/>	Golpeada <input type="checkbox"/>	Incompleta <input type="checkbox"/>	No tiene <input type="checkbox"/>	Bien <input checked="" type="checkbox"/>
N° de salidas	<b>6</b>		Conexión de recepción <b>sin conexión</b>		
Funda	Rota <input type="checkbox"/>	Incompleta <input type="checkbox"/>	No tiene <input type="checkbox"/>	Bien <input checked="" type="checkbox"/>	
Alas	Rotas <input type="checkbox"/>	Incompletas <input type="checkbox"/>	No tiene <input type="checkbox"/>	Bien <input checked="" type="checkbox"/>	
Soportes	Rotas <input type="checkbox"/>	Incompletos <input type="checkbox"/>	No tiene <input type="checkbox"/>	Bien <input checked="" type="checkbox"/>	
Eje	Gira <input checked="" type="checkbox"/>	Trabado <input type="checkbox"/>	No tiene <input type="checkbox"/>		
Otros					
<b>2) PRUEBA DE RECEPCION</b>			Fecha		Firma
2.1	<b>ESTATOR</b>				
2.1.1	Medida del aislamiento <b>Entre fases: 0 M<math>\Omega</math></b> <b>a masa: 0 M<math>\Omega</math></b>				
2.1.2	Medida de la resistencia de fases <b>—</b>				
2.2	<b>PRUEBA EN VACIO</b>				
	BORNES				
	VOLTIOS				
	AMPERIOS				
Observaciones					
<b>3) OBSERVACIONES INTERNAS</b>			Fecha		Firma
3.1	<b>ESTATOR</b>				
3.1.1	Aislamiento de salidas : Bien <input checked="" type="checkbox"/> Mal <input type="checkbox"/>				
3.1.2	Arrollamientos quemados : No <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> en las fases				
3.1.3	Cortocircuito entre : Espiras <input checked="" type="checkbox"/> Bobinas <input checked="" type="checkbox"/> Fases <input type="checkbox"/>				
3.1.4	Fases en buen estado				
3.1.5	Prueba monofásica de los arrollamientos				
	BORNES				
	VOLTIOS				
	AMPERIOS				
	No. POLOS				
Calentamiento: Normal <input type="checkbox"/> Excesivo <input type="checkbox"/>					
3.1.6	Prueba del fierro con <b>16000</b> Gauss Bien <input checked="" type="checkbox"/> Mal <input type="checkbox"/>				
Observaciones:					





PROTOCOLO DE PRUEBAS DE MOTOR TRIFASICO DE  
INDUCCION DE JAULA DE ARDILLA

O.T. N° :

CLIENTE :

## 7) INSPECCION FINAL

Fecha

Firma

7.1 Aislamiento &gt; 100 MΩ

7.2 N° salidas 6

7.3 Conexión de entrega 2Δ

7.4 Condiciones de despacho En buenas condiciones operativas

7.5 Observaciones

7.6 Trabajos realizados en su reparación:

Rebobinado del devanado estatórico

Barnizado

Relubricación de rodamientos

Pintado

Vo. Bo. Sala de Pruebas :

Vo. Bo. Dpto. Técnico :

FORMATO 2.1

UNI		HOJA DE BOBINADO DE MOTORES						ALTERNA <input type="radio"/>		CONTINUA <input type="radio"/>	
CLIENTE:								O.T. N°:			
MARCA	WEG	POTENCIA	125 HP	CONEXION	$\Delta$	CONEXION		SALIDAS			
N°		COS $\phi$		V. ESTATOR	440	V. ROTOR		AISLAM.			
MODELO		FRECUENCIA	60 Hz	I. ESTATOR	173	I. ROTOR		F.S.			
TIPO		RPM	1750	ARROLLAMIENTO ORIGINAL <input type="radio"/> REBOBINADO <input type="radio"/>				PROT.			
FRAME		FASES	3	CABLES CON BORNERA <input type="radio"/> SIN BORNERA <input type="radio"/>							
MEDIDAS DEL NUCLEO				CARACTERISTICAS DEL ARROLLAMIENTO							
N°	DESCRIPCION	(mm)	N°	DESCRIPCION	RECIBIDO	EFECTUADO					
01	LONG. ACTIVA	286	01	RANURAS / POLO	18	18					
02	ALT. CORONA	42	02	BOBINAS / RANURA	2	2					
03	ANCH. DIENTE	7.5	03	BOBINAS / GRUPO	6	6					
04	DIAM. INTERIOR	320	04	N° GRUPOS	12	12					
05	DIAM. EXTERIOR	480	05	ESPIRAS POR BOBINA	2	5					
06	ENTREHIERRO		06	PASO DE BOBINA	1-9-11-13-15-17-19	1-9-11-13-15-17-19					
07	ANCH. RANURA		07	PASO DE COLECTOR							
08	PROF. RANURA	38	08	CONEXION	$\Delta/\Delta$	2 $\Delta$ /2 $\Delta$					
09	N° DE RANURA	72	09	ALAMBRE	N° 16 AWG	N° 16 AWG					
10	#BARRAS-JAULA		10	A. EN PARALELO	16	8					
11	N° DE DELGAS		11	N° DE SALIDAS	6	6					
12	FLECHA L. CON.	95	12	N° DE POLOS	4	4					
13	FLECHA NO. CON.	90	13	CLASE DE AISLAMIENTO	B	B					
14	DIM. DE CABLES		14	PESO DEL COBRE (Kg.)	36.308	49.924					
DETALLES DE BOBINAS Y AISLAMIENTOS											
TRABAJOS A REALIZAR											
OBSERVACIONES:											
V*B°DPTO. TECNICO	SUPERVISO:	BOBINO:	INICIO:	TERMINO:	TIEMPO EMPLEADO:						



FORMATO 3.1

UNI		HOJA DE CALCULO DE MOTORES					
CALCULO DEL		ESTATOR <input type="radio"/>		MOTOR <input type="radio"/>		AC <input type="radio"/>	
		ROTOR <input type="radio"/>		DC <input type="radio"/>		GENERADOR <input type="radio"/>	
CLIENTE:							
<b>1. DATOS DE PLACA</b>							
MARCA	<b>WEG</b>	POTENCIA	<b>125 HP</b>	R.P.M.	<b>1750</b>	V.R.	
Nº		TENSION	<b>440 V</b>	FRECUENCIA	<b>60 Hz</b>	I.R.	
TIPO		CORRIENTE	<b>175 A</b>	COS φ		C. AISL	<b>B</b>
MODELO		FASES	<b>3</b>	REND.		PROTEC.	
FRAME		CONEX.	<b>Δ</b>	F.S.		DELGAS	
<b>2. DIMENSIONES DEL NUCLEO mm.)</b>							
Lo	LONG. ACT.	<b>286</b>	Di	DIAM. INT.	<b>320</b>	Z	RANURAS
Hc	ALT. CORONA	<b>42</b>	De	DIAM. EXT.	<b>480</b>	Bm	ANCHO RAN.
Ad	ANCHO DIEN	<b>7.5</b>	G	ENTREHIER		Hm	PROF. RAN.
<b>3. ARROLLAMIENTO</b>							
ORIGINAL <input type="radio"/>				REBOBINADO <input type="radio"/>			
DENOMINACION		RECIB.	EFFECT.	DENOMINACION		RECIB.	EFFECT.
RANURA/POLO		<b>18</b>	<b>18</b>	S CONDUCTOR		<b>1.3090</b>	<b>1.3090</b>
BOBINA/RANURA		<b>2</b>	<b>2</b>	TIPO DE CONDUCTOR		<b>Nº16 AWG</b>	<b>Nº16 AWG</b>
BOBINA/GRUPO		<b>6</b>	<b>6</b>	CONDUCT. PARALELO		<b>16</b>	<b>8</b>
Nº GRUPOS		<b>12</b>	<b>12</b>	Nº DE SALIDAS		<b>6</b>	<b>6</b>
ESPIRAS POR BOBINA		<b>2</b>	<b>5</b>	FLECHA (CONEX.)		<b>95</b>	<b>95</b>
PASO DE BOBINA		<b>1-9-11-13-15-17-19</b>	<b>1-9-11-13-15-17-19</b>	FLECHA (NO CONEX.)		<b>90</b>	<b>90</b>
PASO DE DELGA				CABLE DE SALIDA		<b>Nº 2 AWG</b>	<b>Nº 2 AWG</b>
NUMERO DE POLOS	OPUESTOS	<b>4</b>	<b>4</b>	DIM. SALIDAS			
	CONSEC.			AISLAMIENTO		<b>B</b>	<b>B</b>
LONG. ESPIRA MED.				PESO COBRE		<b>36.308</b>	<b>49.924</b>
CONEXION		<b>Δ/A</b>	<b>2Δ/2A</b>				
<b>4</b>	<b>PARAMETROS DE CALCULO</b>			RECIBIDO		EFECTUADO	
				V: <b>440</b> FAS: <b>3</b> HZ: <b>60</b>		V: <b>440</b> FAS: <b>3</b> HZ: <b>60</b>	
				CONEXION: <b>Δ</b>		CONEXION: <b>2Δ</b>	
N	COND. SERIE POR FASE			<b>96</b>	<b>120</b>		
φ	FLUJO POR POLO			<b>4152716.56</b>	<b>3322173.25</b>		
Bc	INDUC. EN LA CORONA			<b>19222</b>	<b>15377</b>		
Br	INDUC. EN EL ENTREHIERRO			<b>9075</b>	<b>7260</b>		
Bd	INDUC. EN LOS DIENTES			<b>18822</b>	<b>15058</b>		
J	DENSIDAD DE CORRIENTE			<b>4.77</b>	<b>4.77</b>		
Q	DENSIDAD DE CARGA LINEAL			<b>28614</b>	<b>35767</b>		
Ka	FACT. DE ARROLL.	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>11</b>
	RECIBIDO	<b>0.8286</b>					
	EFECTUADO	<b>0.8286</b>					
<b>OBSERVACIONES</b>				FECHA:		FECHA:	
<b>DEPARTAMENTO TECNICO</b>	CALCULO:			REVISO:			VISTO:
	FECHA:			FECHA:			FECHA:

## CONCLUSIONES

1. Los motores eléctricos asíncronos, por su principio sencillo y construcción robusta, constituyen en la actualidad las máquinas eléctricas más empleadas en la industria y no exigen grandes requisitos de mantenimiento para evitar costosas interrupciones en el servicio que prestan y los gastos consiguientes de reparación, si se tiene el cuidado de emplearlos correctamente.
2. Las empresas o talleres dedicados a la reparación de motores, y en general de cualquier máquina eléctrica, deben estar equipadas convenientemente y contar con el personal idóneo y calificado para poder garantizar una reparación de alta calidad.
3. La confiabilidad y eficiencia de las reparaciones está respaldada, entre otros factores, por la realización de las siguientes rutinas:
  - Diagnóstico del origen de falla.
  - Análisis de la densidad de flujo y de corriente en toda la máquina.
  - Utilización de materiales de acuerdo a la clase de aislamiento.
  - Selección del ajuste de los rodamientos.

4. En el proceso de reparación de máquinas eléctricas deben aplicarse los materiales aislantes cuya clase de aislamiento es idéntica a la de los materiales utilizados por la fábrica proveedora; justificándose la sustitución de los materiales aislantes de una clase por las de otra, sólo en aquel caso cuando al hacer la sustitución, se eleva el nivel del aislamiento de la máquina eléctrica.
5. Un dimensionamiento deficiente del aislamiento compromete la seguridad de la máquina desde el punto de vista eléctrico; un dimensionamiento excesivo reduce la potencia disponible, ya que los aislantes eléctricos son, a la vez aislantes térmicos y dificultan la dispersión de calor; por lo tanto, se debe utilizar los materiales más apropiados.
6. En el proceso de reparación se realizan varias pruebas:
  - Antes de la reparación, a fin de determinar los defectos.
  - Intermedias, para comprobar el cumplimiento correcto y cualitativo de las operaciones tecnológicas ejecutadas en el proceso de reparación, así como detectar defectos posibles en el nuevo devanado.
  - Después de la reparación, para comprobar la calidad de la máquina eléctrica reparada.
7. Para un motor de construcción normal, la corriente en vacío  $I_0$  debe ser del orden de 20 a 40% de la corriente nominal, dependiendo del tipo de servicio y forma de

- construcción. Un motor que tiene una gran corriente en vacío debido a una fuerte inducción es más estable; pero su factor de potencia es menor.
8. Los valores usuales adoptados para la inducción en la construcción de las máquinas eléctricas varían entre límites bastante amplios, según el material y las características específicas del tramo correspondiente al circuito magnético.
  9. El valor de la densidad de corriente, que define las pérdidas en el cobre del devanado, varía de acuerdo a la clase de aislamiento, velocidad y tipo constructivo del motor; siendo, por ejemplo, más grande para los motores abiertos y más pequeño para los motores blindados, más grande para los motores veloces y más pequeño para los más lentos; más grande para los motores de clase F que para los de clase B.
  10. La determinación del valor de la sección del conductor utilizado para el bobinado es muy importante, ya que está relacionada con la corriente circulante y con las dimensiones de la ranura. Lo primero por razones de calentamiento del bobinado y lo segundo por razones de posibilidad de ubicación dentro de cada ranura.
  11. Si un motor, luego de ser rebobinado, se comporta dentro de ciertos límites que lo acercan a las condiciones de fabricación, puede estimarse que el trabajo está bien realizado, ya que las pequeñas diferencias en el rendimiento, factor de potencia, corriente absorbida de la red, etc., se aceptan porque

no es posible repetir con mayor exactitud las cifras originales de fábrica.



## ANEXO I TIPOS DE MOTORES ELECTRICOS ASINCRONOS

Se distinguen dos tipos de motores: los de rotor en cortocircuito (jaula de ardilla) y los de rotor bobinado.

### **1. Motores de Rotor de Jaula de Ardilla**

Se le llama motores con rotor en cortocircuito o de jaula de ardilla porque el devanado rotórico está formado por varillas conductoras, alojadas en ranuras practicadas en el hierro del propio rotor, y cortocircuitadas en ambos extremos mediante dos anillos conductores, dispuestos en cada lado del rotor.

Los motores con rotor de jaula de ardilla se dividen en tres modificaciones principales: con rotor en simple jaula de ardilla, con rotor de barras profundas, y con rotor de doble jaula de ardilla. Estos tipos de motores difieren, uno de otro, por sus particularidades de arranque.

#### **1.1 Motores con rotor de jaula de ardilla simple**

Estos motores tienen un par de arranque bajo, que en términos medio varía entre 1.5 a 2 veces el nominal y su intensidad de arranque puede variar de 4 a 7 veces la nominal.

Los motores de este tipo se construyen en potencia desde 1/16 HP hasta 200 HP y mayores con velocidades sincrónicas desde 300 hasta 3600 RPM.

Estos motores se emplean en máquinas tales como

ventiladores, extractores, bombas centrífugas, máquinas de imprenta, máquinas para labrar metales y maderas, cintas transportadoras livianas, ejes de transmisión y en general máquinas que arrancan en vacío o que no exigen el suministro de una potencia elevada durante el arranque.

### **1.2 Motores con rotor de jaula de ardilla con barras profundas**

Estos motores tienen un par de arranque ligeramente elevado y se emplean en máquinas tales como: compresoras, moledoras, calandrias, transportadoras, clasificadoras, elevadoras, etc.; en términos generales, en máquinas que deben efectuar arranques frecuentes o que deben arrancar accionando desde un principio masas de relativa pequeña consideración; pero que al empezar a girar producen una acentuada reacción al movimiento (efecto volante).

En la fig. 1 se muestra en sección una ranura con una barra profunda y estrecha, en la que se representa también el aspecto general del campo o flujo de dispersión en la ranura, producido por la corriente que circula por la barra.

### **1.3 Motores con rotor de doble jaula de ardilla**

Estos motores también tienen un par de arranque ligeramente elevado y se emplean en máquinas que deben arrancar accionando desde un principio masas de relativa pequeña consideración.

En la Fig. 2 se muestra una ranura con doble jaula. El devanado consiste en barras dispuestas en dos capas, separadas por una hendidura relativamente larga y estrecha.

## 2. Motores con Rotor Bobinado

Estos motores tienen un elevado par de arranque y se utilizan en máquinas de potencia más o menos grande que arrancan a plena carga, donde se requiere un arranque lento y libre de golpes bruscos.

El rotor bobinado tiene un devanado polifásico similar al del estator y con el mismo número de polos que él. Se conectan generalmente en estrella y sus terminales se sacan a través de anillos rozantes aislados, montados sobre el eje, en los que se apoyan escobillas de carbón, con los que dichos terminales resultan accesibles desde el exterior.

Mediante resistencias de arranque, adecuadamente dimensionadas, puede obtenerse con estos motores un par de arranque hasta 2.5 veces el nominal, con la correspondiente variación de la corriente en proporción algo mayor.

Estos motores se construyen en potencias comprendidas entre 1/4 HP hasta 200 HP para operar con las bajas tensiones normalizadas, y entre 250 HP y 15000 HP o más para operar con alta tensión. Las velocidades sincrónicas para las que se construyen estos motores varían entre 125 a 1800 RPM.

Los motores con rotor bobinado tienen una estructura más compleja, son más caros y menos seguros comparado con los de rotor cortocircuitado.

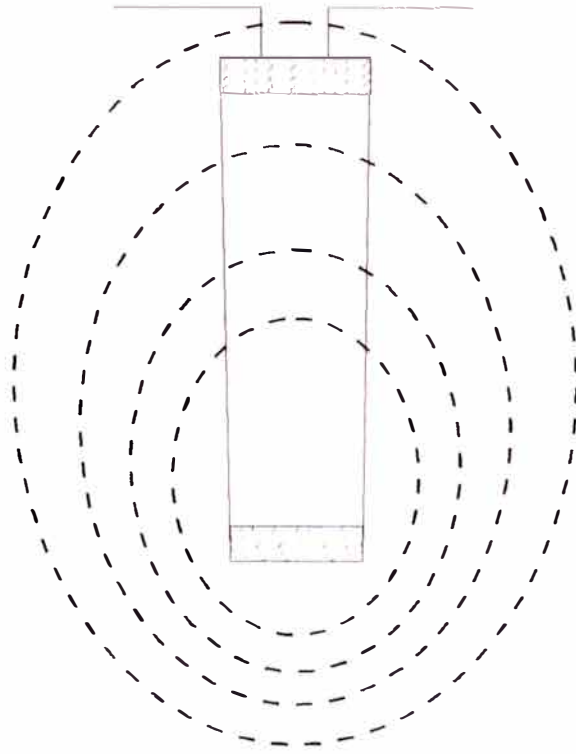


Figura 1: Barra profunda de un rotor y flujo de dispersión en la ranura.

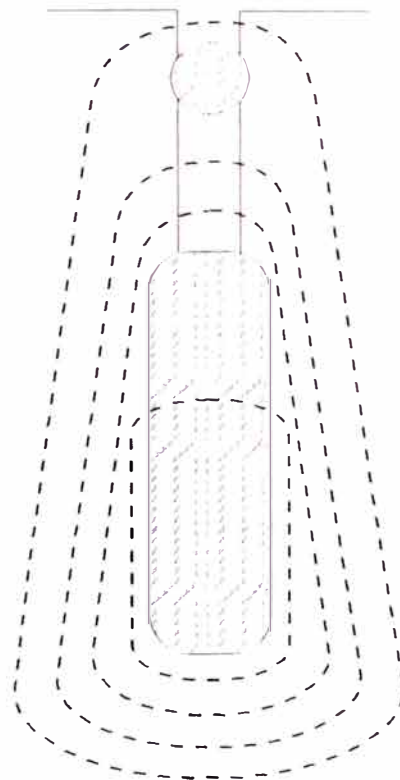


Figura 2: Barras de un rotor de doble jaula y flujo disperso en la ranura.

**ANEXO II**  
**MATERIALES PARA LOS TRABAJOS DE DEVANADO**  
**Y AISLAMIENTO**

1. Cables de Devanado

Los hilos (cables) de devanado constituyen el material fundamental para los devanados de las máquinas eléctricas. Normalmente, tienen la parte conductora fabricada de cobre o aluminio, y el aislamiento externo de esmalte. También se utilizan hilos de devanado sin aislamiento, los cuales se aíslan en el proceso de devanado; éstos se usan principalmente en los devanados de grandes máquinas.

Los hilos de devanado se fabrican de dimensiones estandarizadas y pueden tener sección circular, rectangular y perfilada.

Los materiales conductores utilizados en los hilos de devanado deben tener una pequeña resistencia específica eléctrica, suficiente resistencia mecánica y estabilidad química; asimismo, no deben ser demasiado costosos. La plata, que tiene la mínima resistencia específica, no se usa por su alto costo. En cambio el cobre es un metal relativamente barato, posee suficiente resistencia mecánica y estabilidad química, por lo cual es el más usado.

La resistencia específica del cobre aumenta sustancialmente con las impurezas, por lo tanto para los

hilos de devanado se utiliza el cobre electrolítico que contiene no más de 0.1% de impurezas.

Junto al cobre, en los cables de devanado también se utiliza el aluminio. La resistencia específica del aluminio es aproximadamente 1/3 mayor que la del cobre, más frágil; pero más ligero y barato que el cobre y, lo que es fundamental, menos escaso.

Para los terminales de devanados (cables de salida) se utilizan, normalmente, unos cables especiales, flexibles, con núcleos conductores de varios hilos de cobre y el aislamiento seguro de capas múltiples. En nuestro medio, se usan ampliamente los cables de marcas Indeco y Pirelli.

## **2. Materiales Electroaislantes**

En los materiales aislantes (dieléctricos) que se utilizan para el aislamiento de devanados, con el transcurso del tiempo, se desarrollan unos procesos físico químico irreversibles, los que provocan el envejecimiento del aislamiento, es decir, la pérdida paulatina de la resistencia mecánica y propiedades aislantes. La intensidad de los procesos del envejecimiento de materiales aislantes dependen sustancialmente del régimen de temperatura del funcionamiento del aislamiento.

Diferentes materiales aislantes sufren el calentamiento de una manera diferente, es decir, diferentes materiales aislantes poseen diferente termorresistencia, o sea, la capacidad de soportar, en el transcurso de un tiempo largo, cierta temperatura conservando con ello sus características físico-químicas, en un nivel requerido.

Precisamente la termorresistencia es la base de la clasificación de materiales aislantes utilizados en las máquinas eléctricas. En la tabla 1 se muestra la clasificación de los materiales aislantes según la norma VDE 0530, y en la Fig 1 según la norma IEC.

El aislamiento de devanados constituye un componente muy importante de la estructura de una máquina eléctrica. El plazo de su vida útil, en condiciones de un trabajo normal, se determina, en lo fundamental, por el plazo de servicio del aislamiento. En la Fig. 2 se muestra la expectativa de vida de los bobinados en función a la clase de aislamiento.

### **3. Barnices Dieléctricos**

Los barnices representan de por sí unas soluciones de sustancias filmógenas: resinas, betunes, aceites secantes, esterres de celulosa y composiciones de estos materiales en disolventes orgánicos. En el proceso de secado del barniz, los disolventes se evaporan y en la base barnizada se desarrollan procesos físico-químicos que provocan la formación de una película barnizada. Según su importancia, los barnices dieléctricos son subdivididos en los para impregnación y los de acabado.

Los barnices para impregnación se utilizan para impregnar los devanados con el fin de cementar sus espiras, elevar la conductibilidad térmica y la resistencia a la humedad. Los barnices de acabado permiten crear revestimientos de protección, resistentes a la humedad y al aceite y otros en la superficie de devanados y de otras piezas de aislamiento.

Entre los barnices de acabado tenemos los esmaltes, los cuales son barnices con extensores inorgánicos introducidos en los mismos (óxido de zinc, dióxido de titanio, sanguina, etc.); esto se hace a fin de elevar la dureza, la resistencia mecánica, la resistencia a la humedad y otras propiedades de las películas de esmalte.

Según el procedimiento del secado, existen barnices y esmaltes de secado en caliente (en hornos) y en frío (aéreo). Los primeros requieren para solidificarse temperaturas elevadas (de 80 a 200 °C); los segundos, cerca de 20 °C.

#### **4. Soldaduras y fundentes**

Para unir los conductores de cobre y de aluminio, mediante su soldadura, son utilizadas una composiciones metálicas especiales (soldaduras), las que en función de la temperatura de fusión se dividen en las fusibles (blandas) y poco fusibles (duras).

Las soldaduras fusibles abarcan aleaciones de estaño y plomo. A los pocos fusibles pertenecen las soldaduras de plata, de cobre y zinc, y fosforosas de cobre; la soldadura con las mismas garantiza una unión de conductores mecánicamente resistente y estable contra corrosión.

Para limpiar las superficies de metales a soldar, de óxidos y contaminaciones, así como para prevenir la oxidación de estas superficies, en el proceso de la soldadura se aplican fundentes.

Al soldar con estaño y plomo, como fundente solamente se aplica colofonia, tanto sólida como disuelta en gasolina o



en alcohol etílico. Para soldaduras con plata o fosfóricas de cobre, como fundente se usa bórax calcinado en polvo.

A continuación se muestran informaciones técnicas de los diferentes materiales mencionados anteriormente: cables de devanado, aislantes, barnices y soldaduras.

TABLA 1

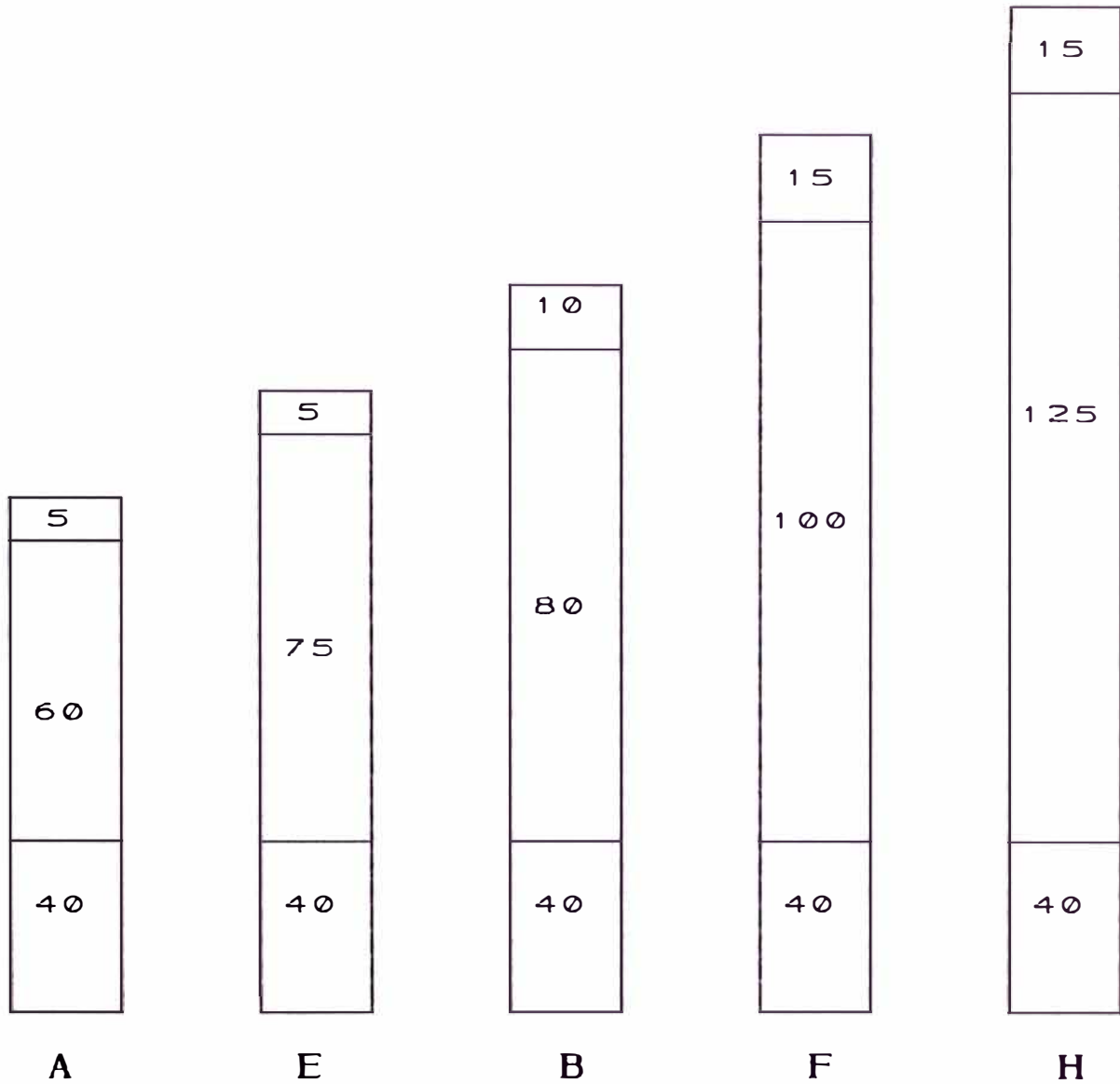
CLASIFICACION DE LOS MATERIALES AISLANTES (Según VDE 0530)

CLASE	MATERIAL AISLANTE	TRATAMIENTO	TEMP. MAX. ADMISIBLE EN SERV. PERMANENTE
A	Algodón, viscosilla, seda, papel, prespan, laca para hilos de cobre (aceite de secado al aire).	Impregnación en una masa aislante o de dielectrico líquido.	105 °C
E	Lacas para hilos (también con papel de celulosa) con laca a base de acetano de polivinilo, poliamida, láminas a base de triacetato de celulosa y otros.	Impregnados o sumergidos en masa aislante.	120 °C
B	Productos de mica, amianto y derivados del vidrio, por ejemplo micafolio, micanita.	Con líquido de impregnar clase B.	130 °C
F	Productos de mica, amianto y derivados del vidrio con sustancias inorgánicas, micanita.	Con líquido de impregnar clase F.	155 °C
H	Productos de mica, amianto y derivados del vidrio con sustancias inorgánicas, micanita, silicon puro.	Con líquido de impregnar clase H.	180 °C
C	Mica, porcelana, vidrio, cuarzo y otras sustancias refractarias al calor	Sin líquido aglutinante.	>180 °C

Figura 1

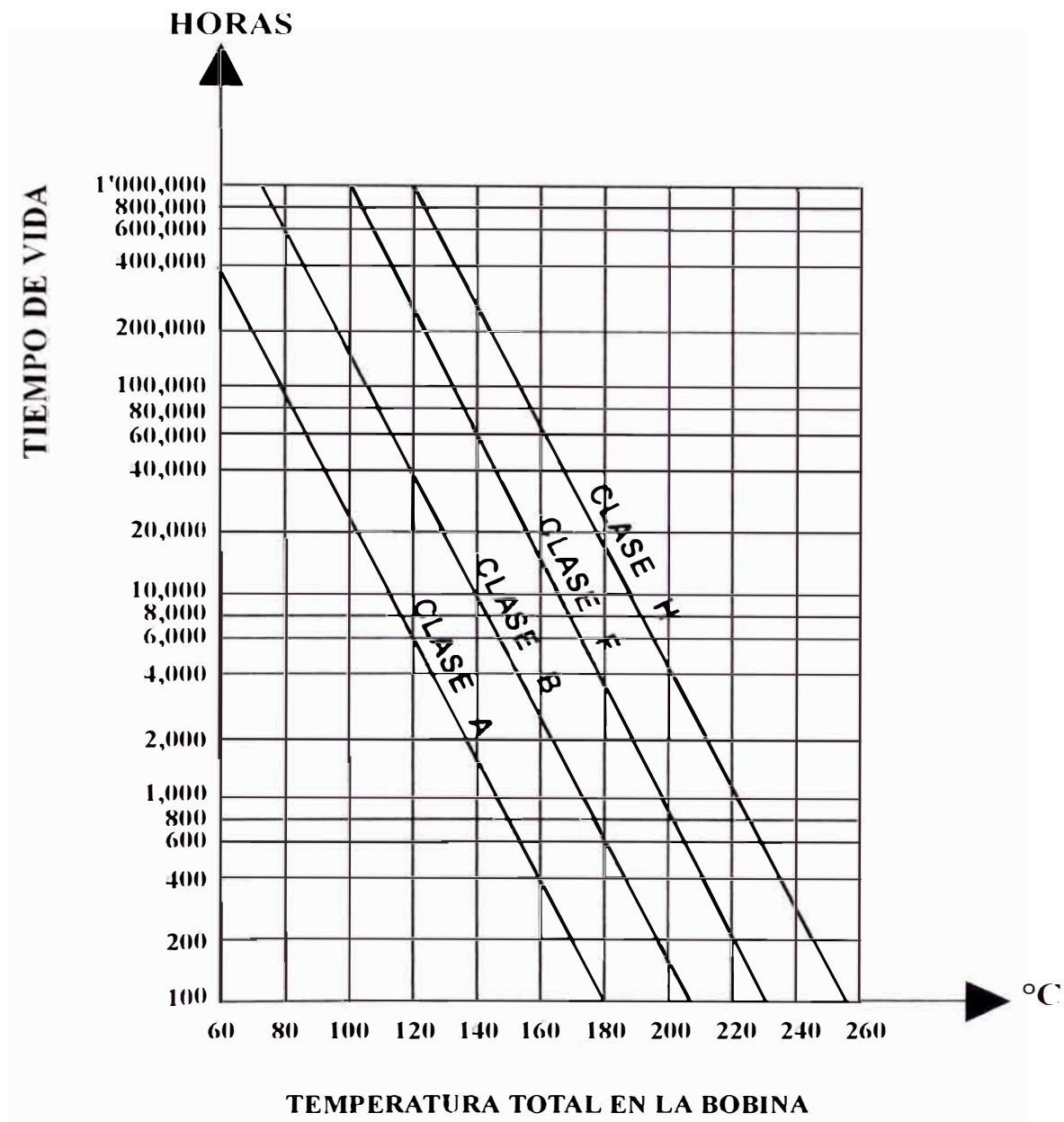
CLASES DE AISLAMIENTO SEGUN LA NORMA

IEC



CLASES DE AISLAMIENTO	A	E	B	F	H
TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	40	40	40	40	40
SOBREELEVACION MAXIMA DE TEMPERATURA (°C)	60	75	80	100	125
TEMPERATURA LIMITE (°C)	105	120	130	155	180

Figura 2 : Expectativa de vida de los bobinados en función a la clase de aislamiento.





# RESUMEN DE AISLANTES ELECTRICOS

**MEDIDAS COMPOSICION USOS REEMPLAZA**

## AISLANTES FLEXIBLES

SUMITHERMNMN, Clase «F»	(50 m)	(80 m)	(130)
	0.18	0.23	0.38*
	0.25	0.28	
	0.30	0.35	
Homologados C clase «H»		0.52	
		0.42	

MYLAR, Clase «B»	0.25	0.20
	0.25	0.30
	0.35	

Film polyester recubierto con Nomex 410 por ambas caras

Film polyester

Aislante ideal para ranuras, separador de bobinas, fases, cabezas de bobinas ( uso genérico ).

Micanita flexible. Tela de vidrio u otros.

Aislante para motores Delcrosa y otros Clase «B».

Papel Pescado, Melinex, Tela Cambridge.

## CINTAS AISLANTES

SUMIVIC «GS»	3/4"	1"
	0.08	0.10
	0.13	0.13

SUMICA 9.50 Clase «F»	3/4"	1"
	0.11	0.11

SUMICA 9.51 Clase «F»	3/4"	1"
	0.15	0.15

POLYGLASS ó SCOTCHPLY Clase «F»		1"
------------------------------------	--	----

BRAIDAD Clase «F»	4mm.,	7mm.

FILAMENT TAPE Clase «B»		3/4"
----------------------------	--	------

Cinta de vidrio virgen.

Cinta de papel de mica con soporte de tejido de vidrio.

9.50 con film polyester en ambas caras.

Cinta de hilos paralelos impregnados con resina acrílica en estado «B».

Cinta de polyester impregnado con resina.

Film de acetato con filamentos de vidrio con adhesivo.

Cubierta exterior de bobinas exagonales u otros.

Encintado de bobinas de motores de C.C. y otros de baja y media tensión.

Especialmente en el encintado de bobinas de motores de media y alta tensión.

Bandajes de rotores bobinados de generadores.

Amarrar y sujetar cabezas de bobinas.

Aislar empalmes, alambres, y amarre de cabezas de bobinas.

Cinta de vidrio barnizada. Cinta Cambridge

Cinta de vidrio barnizada.

Cinta de vidrio barnizada.

Al bandaje con alambre de acero.

Cinta de algodón.

Cinta Cambridge.

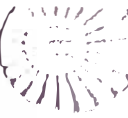
## TUBOS AISLANTES FLEXIBLES (SPAGUETTYS)

REVITEX GUF, Clase «F»	1 mm. a 20 mm. diám.
---------------------------	----------------------

Tubito de tejido de vidrio, impregnado con poliuretano.

Aislar alambres, cables, empalmes, salidas u otros, (ideal para rebobinados).

Spaguetty de algodón y polyester.



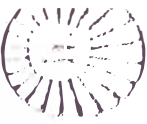
## RESUMEN DE AISLANTES ELECTRICOS

MEDIDAS	COMPOSICION	USOS	RECOMENDACIONES
REVITEX GS Clase «H»	4, 5, 6 y 8 mm. diám.	Tubito de tejido de vidrio sin barniz.	Aislar platinas de cobre.
REVITEX GSL, Clase «H»	1 mm. a 20 mm. diám.	Tubito de tejido de vidrio cubierto con silicona.	Aislar alambres, cables, empalmes u otros a temperaturas Clase «H», 180°C.
REVITEX GSLE, Clase «H»	2 mm. a 20 mm. diám.	Tubito de tejido de vidrio cubierto con silicona.	Su diámetro original se puede extender al doble, adaptándose a formas irregulares.
REVITEX GTT, Clase «C»	1 mm. a 12 mm. diám.	Tubito de tejido de vidrio estabilizado.	Aislar alambres de nícrón, empalmes u otros a temperatura de operación superior a 200°C.
REVITEX SSG,	8, 10, 12, 14, 16 mm. diám.	Cordón de vidrio relleno.	Para el amarre y separado de bobinas moldeadas de máquinas de media y alta tensión.
			Revitex GS en el amarre y a separadores entre bobinas.

## AISLANTES RIGIDOS

SUMIC 9.41 Clase «F»	0.40, 0.50, 0.60, 0.80, 1.00 mm.	Capas de papel de polvo de mica, comprimidas y endurecidas.	Aislante entre delgas del colector.	A la mica colectora de escamas.
MICASIN, Clase «F»	0.30, 0.40, 0.50, 0.80, 1.00 mm.	Capas de papel de mica aglomeradas con una resina de silicona.	Soporte de resistencia y para aparatos de calefacción eléctrica.	
CANEVASITA, Clase «B»	2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 16, 18, 20, 25, 30, 35, 50 mm.	Placa aislante estratificada formada por capas superpuestas de tejido de algodón con resina fenólica.	Preparar cuñas para motores, como soporte, piñones y otros.	Fibra roja vulcanizada.
PERTINAX Clase «E»	1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 25, 30, 35, 40, 50 mm.	Placa aislante estratificada a base de papel Kraft y resina fenólica.	Como separador, soporte y como placa aislante. (absorbe humedad).	16, 18, 20





## RESUMEN DE AISLANTES ELECTRICOS

MEASURAS	COMPOSICION	USOS	REEMPLAZA
----------	-------------	------	-----------

VITRONITE Clase «F»	2, 3, 4, 5, 6 mm.	Placa aislante formada por capas de tejido de vidrio y resina epóxica.	Preparar cuñas para motores Clase «F» y de corriente continua	Fibra roja vulcanizada.
------------------------	-------------------	--	---	-------------------------

## BARNICES AISLANTES Y RESINAS

HITHERMBC-346-B Clase «H»	Envases de 5, 30 y 55 gln.	Barniz aislante a base de resina de poliéster Clase «H».	Su uso es genérico en máquinas Clase «B», «F» y «H».	Barniz nacional.
*DOLPHIONBC-352 Clase «H»	Envases de 5, 30 y 55 gln.	Barniz dieléctrico a base de resinas epóxicas modificadas. Clase «H» homologado ULE 104619.	Aplicación especial barnizando las laminas de fierro silicoso de las chapas magnéticas en las reparaciones.	

## RESUMEN

B = TEMPERATURA DE OPERACION HASTA 130° C., CLASE «B».

F = TEMPERATURA DE OPERACION HASTA 155° C., CLASE «F».

H = TEMPERATURA DE OPERACION HASTA 180° C., CLASE «H».

C = TEMPERATURA DE OPERACION SUPERIOR A 180° C., CLASE «C».

1\* PRODUCTO MUY RECOMENDADO.



Información  
Técnica

Technical  
Information

Aislamientos Eléctricos

Electrical Insulating Materials

## NOMEX LAMINAT 0905

Laminado rígido en papel aramida

**Composición:** NOMEX LAMINAT 0905 se compone de papel tipo NOMEX® T-410, laminado bajo temperatura y presión. El aglomerante es una resina tipo epoxi, polifuncional y resistente a la temperatura.

**Propiedades:** NOMEX LAMINAT 0905 puede ser mecanizado igual que los laminados rígidos standards con base de papel y posee una excelente calidad mecánica y eléctrica.

**Aplicaciones:** NOMEX LAMINAT 0905 puede ser usado por ejemplo como material de construcción cuando se requiere clase térmica H (separadores, soportes, etc).

### Datos Técnicos:

Espesor del papel de NOMEX	mm	0.13
Contenido de resina por capa:	g/m <sup>2</sup>	10
Densidad:	kg/dm <sup>3</sup>	1
Resistencia a la flexión RT	N/mm <sup>2</sup>	..
180°C	N/mm <sup>2</sup>	..

**Almacenamiento:** Ilimitado en condiciones normales

### Forma de suministro:

Espesores standard: 0.5; 1; 2; 3; 6; 9; 10; 13; 35 mm  
(otros espesores bajo pedido)  
Dimensiones máximas: 2000 x 900 mm

Nomex® es marca registrada de DuPont de Nemours

**P & R S.A.**

TECNOLOGIA EN AISLANTES ELECTRICOS

**TEINSER S.A**

GRUPO ISOVOLTA - AUSTRIA

Jr. Filadelfia Nº 1677 S.M.P. - Lima 31 PERU  
TELF.: (511) 571-0077 - 571-0851  
FAX: (511) 571-0851





**ISONOM NMN**

Aislante de clase térmica F 155°C

**Composición:** ISONOM NMN, es un laminado flexible compuesto basado en PAPEL ARAMIDA NOMEX® y un film de Políester calidad MYLAR A®, en forma de DUPLEX o bien TRIPLEX en cuyo caso el PAPEL NOMEX® cubre las caras exteriores del material.

**Aplicación:** ISONOM NMN, es un aislante de clase térmica F (155°C) utilizado generalmente en las siguientes aplicaciones: Aislantes de fondo y cierre de runrun en motores de baja tensión y particularmente en MOTORES DE TRACCION. Aislante entre fases y cabezas de bobinas. Tipo NMN 2035.(Nomex.T411): Aislamiento en bobinas de transformadores secos. Piezas aislantes troqueladas o bien conformadas en caliente.

**Propiedades:** ISONOM NMN, se fabrica en diferentes versiones, combinando entre sí el PAPEL NOMEX® con el film de Políester MYLAR A®.

-ISONOM NMN 0881: Laminado compuesto tipo triplex, con NOMEX T-410 de 50 µm de espesor recubriendo ambas caras.

-ISONOM NMN 8.0883: Laminado compuesto tipo triplex, con NOMEX T-410 de 80 µm de espesor recubriendo ambas caras.

-ISONOM NMN 2035: Laminado compuesto tipo triplex, con NOMEX T-411 no calandrado de 130µm de espesor recubriendo ambas caras.

Los espesores varían según la combinación que se realiza con el film de Políester MYLAR A®, cuyos espesores standard son: 23, 36, 50, 75, 100, 125, 190, 250, 300, 350 µm.

BAJO DEMANDA PODEMOS SUMINISTRAR EN FORMA DE TIRAS, Y PIEZAS TROQUELADAS O CONFORMADAS SEGUN PLANO.

**Almacenaje:** Recomendamos almacenar los rollos de ISONOM-NMN, en ambientes secos exentos de polvo.

**Datos técnicos:**

		ISONOM NMN 0881								
		0.15	0.20	0.22	0.24	0.30	0.36	0.42	0.48	
Espesor nominal	mm	0.15	0.20	0.22	0.24	0.30	0.36	0.42	0.48	
Tolerancia espesor	mm	±0.02	±0.02	±0.02	±0.02	±0.02	±0.02	±0.03	±0.03	
Gramaje	g/m²	171	206	241	276	367	451	529	591	
Espesor PETP	µm	50	75	100	125	190	250	300	350	
Espesor Nomex T-410	µm	50	50	50	50	50	50	50	50	
Tensión de perforación	kV	9	11	12	15	17	20	22	23	
Tensión de perforación después del plegado	kV	8	10	11	14	16	18	20	22	
Resistencia a tracción	Long.	N/cm	170	200	220	250	280	340	440	450
	Trans.	N/cm	150	170	200	240	260	300	400	420
Elongación	%	20	20	20	20	20	20	15-20	15-20	



**ISONOM NMN**

Aislante de clase térmica F 155°C

ISONOM NMN 0883										
		0.22	0.25	0.27	0.30	0.36	0.42	0.47	0.52	
Espesor nominal	mm	0.22	0.25	0.27	0.30	0.36	0.42	0.47	0.52	
Tolerancia espesor	mm	±0.02	±0.02	±0.02	±0.02	±0.02	±0.03	±0.03	±0.03	
Gramaje	g/m <sup>2</sup>	222	257	292	327	418	502	572	642	
Espesor PETP	µm	50	75	100	125	190	250	300	350	
Espesor Nomex T-410	µm	80	80	80	80	80	80	80	80	
Tensión de perforación	kV	9	10	13	14	18	21	22	23	
Tensión de perforación después del plegado	kV	9	10	13	14	16	19	20	22	
Resistencia a tracción	Long.	N/cm	200	250	280	300	360	380	450	480
	Trans.	N/cm	180	130	260	280	320	340	420	450
Elongación	%	20-25	20-25	20-25	20-25	20-25	20	15-20	15-20	

ISONOM NMN 2035					
		0.23	0.25	0.30	
Espesor nominal	mm	0.23	0.25	0.30	
Tolerancia espesor	mm	±0.04	±0.04	±0.04	
Gramaje	g/m <sup>2</sup>	160	180	250	
Espesor PETP	µm	36	50	100	
Espesor Nomex T-41	µm	110	110	130	
Tensión de perforación	kV	5	50	11	
Tensión de perforación después del plegado	kV	5	50	10	
Resistencia a tracción	Long.	N/cm	40	60	130
	Trans.	N/cm	20	50	120
Elongación	%	10	10	10	

**Forma de Suministro:**

En rollos de aprox. 910 mm de ancho y 50 Kg de peso. (ISONOM NMN 0883 - 8.0883).  
En rollos de aprox. 950 mm de ancho y 30 kgs de peso (ISONOM NMN 2035).

Bobinas cortadas a partir de 4 mm. de ancho.  
Diámetro interior 76 mm.

\*MYLAR A, marca registrada por Du Pont de Nemours Inc.  
\*NOMEX, marca registrada por Du Pont de Nemours Inc.





Información  
Técnica

Theoretical  
Information

Aislamientos Eléctricos

Electrical Insulating Material

**PRESSPAHN / MYLAR**  
Clase Térmica B 130°C

**Composición:** PRESSPAHN / MYLAR (PM), es un laminado compuesto por un papel calidad Presspahn color natural o color verde oscuro, combinado con un film de poliéster calidad Mylar A, en forma de Duplex. Dicho laminado puede realizarse en forma de triplex (PMP).

**Aplicación:** Por sus características el PM y PMP, son productos utilizados como aislamiento eléctrico clase térmica B (130°C).

**Aplicaciones:**

- Aislamiento de ranura (fondo y cierre).
- Aislamiento entre fases de motores eléctricos con hilo de cobre.
- Aislamiento entre espiras de transformadores.

**Propiedades:** PM y PMP en calidad standard pueden fabricarse en distintas combinaciones:

- PM.36 Combinación de diferentes espesores de Presspahn con Mylar A de 36 µm.
- PM.50 Combinación de diferentes espesores de Presspahn con Mylar A de 50 µm.
- PMP. Laminación de Presspahn sobre ambas caras del film Mylar A.
- MPM. Laminación de Mylar A sobre ambas caras del papel presspahn.

Diferentes espesores de Presspahn: 130, 180, 200, 250, 300, 380, 500, 800 µm.  
Diferentes espesores de Mylar A: 23, 36, 50, 75, 100, hasta 350 µm.

**Suministro:**

En rollos de aprox. 980 mm de ancho y 50 Kg de peso.  
Bobinas cortadas a partir de 4 mm. de ancho.  
Diámetro interior 76 mm.  
Color Verde.  
Color Marrón.

BAJO DEMANDA PODEMOS SUMINISTRAR EN FORMA DE TIRAS, Y PIEZAS TROQUELADAS SEGUN PLANO.

**Almacenaje:**

Recomendamos almacenar los rollos de PM y PMP, en ambientes secos exentos de polvo.

**P & R S.A.**

TECNOLOGIA EN AISLANTES ELECTRICOS

**TEINSER S.A**

GRUPO ISOVOLTA - AUSTRIA

Jr. Filadelfia Nº 1677 S.M.P. - Lima 31 PERU

TELEFONO: (511) 571-0077 - 571-0851

FAX: (511) 571-0851



**PRESSPAHN / MYLAR**

Clase Térmica B 130°C

Datos Técnicos:

TIPO PM 36									
Propiedades	Unid.	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	
Tipo		0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.50	
Espesor nominal	mm	0.14	0.19	0.25	0.30	0.35	0.44	0.54	
Tolerancias	mm	±0.02	±0.02	±0.02	±0.02	±0.03	±0.04	±0.05	
Gramaje	g/m <sup>2</sup>	197	250	313	375	438	563	687	
Espesor PRESSPAHN	µm	100	150	200	250	300	400	500	
Espesor PETP	µm	36	36	36	36	36	36	36	
Rigidez dieléctrica	kV	9	9	10	11	11	12	12	
Rigidez dieléctrica tras doblado	kV	8	8	9	10	10	11	11	
Resist. a tracción:	Longitudinal	MPa	78.6	107	143	160	200	221	286
	Transversal	MPa	57	71.5	85.7	114	143	150	171

Tipo PM 23						
Propiedades	Unid.	Valor	Valor	Valor	Valor	
Tipo		0.18	0.23	0.28	0.33	
Espesor nominal	mm	0.18	0.23	0.28	0.33	
Tolerancias	mm	±0.02	±0.02	±0.03	±0.03	
Gramaje	g/m <sup>2</sup>	224	294	357	420	
Espesor PRESSPAHN	µm	150	200	250	300	
Espesor PETP	µm	23	23	23	23	
Rigidez dieléctrica	kV	5	6	7	8	
Rigidez dieléctrica tras doblado	kV	4	5	6	7	
Resist. a tracción:	Longitudinal	MPa	77	113	130	170
	Transversal	MPa	54	92	105	142

Tipo PM 50			
Propiedades	Unid.	Valor	
Tipo		0.25	
Espesor nominal	mm	0.25	
Tolerancias	mm	±0.02	
Gramaje	g/m <sup>2</sup>	332	
Espesor PRESSPAHN	µm	200	
Espesor PETP	µm	50	
Rigidez dieléctrica	kV	10	
Rigidez dieléctrica tras doblado	kV	9	
Resist. a tracción:	Longitudinal	MPa	233
	Transversal	MPa	192

MYLAR A, marca registrada por Du Pont de Nemours Inc.

JE03/1994





Información  
Técnica

Technical  
Information

Aislamientos Eléctricos

Electrical Insulating Material

## CINTA POLIESTER TERMORETRACTIL

Cinta plana tejida a base de políester termoretractil

**Composición:** Cintas planas tejidas a partir de hilo 100% políester, sin ningún tipo de acabado o imprimación.

**Propiedades:** Gran resistencia a la tracción, muy buena adaptabilidad a las superficies, después de tratamiento térmico, la cinta se encoge sobre su eje longitudinal mejorando la consolidación del aislamiento y el factor de espacio.

**Aplicaciones:** Aplicaciones electromecánicas en general como cintas de acabado y consolidación, las cuales proporcionan un excelente sustrato para barnices aislantes de acabado. La cinta de políester se prefiere a menudo en pequeñas máquinas rotativas de temperatura media y allí donde se descarta el uso del vidrio por ser de manipulación más delicada.

### Características Técnicas

Espesor	mm	0.12
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	0.58
Tipo fibra		Políester 100/36 Semi mate
Urdimbre	hilos/cm	38
Trama	hilos/cm	24
Peso por metro	g/cm	0.70
Resistencia a tracción	kg/cm	25
Elongación a la rotura	%	9
Punto de fusión	°C	260
Contracción (1 hora @ 130°C)	%	6 a 8

**Almacenamiento:** Ilimitado en condiciones normales.

**Disponibilidad:** En rollos de anchuras 10, 15, 20, 25, 30, 40 mm.  
Rollo de 50 m de longitud y 25 mm de diámetro interior

1504 / 1004

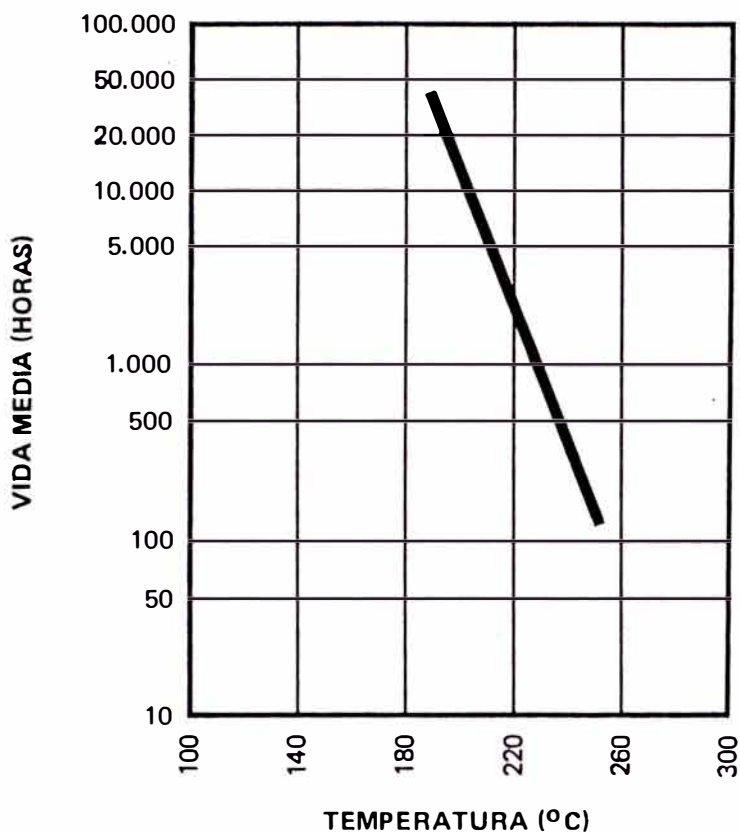
**P & R S.A.**

TECNOLOGIA EN AISLANTES ELECTRICOS

**TEINSER S.A**

GRUPO ISOVOLTA - AUSTRIA

Jr. Filadelfia Nº 1677 S.M.P. - Lima 31 PERU  
TELF.: (511) 571-0077 - 571-0851  
FAX: (511) 571-0851



## NORMAS DE FABRICACIÓN

	NBR 6700	NBR 6776
ABNT	NBR 6701	NBR 6777
	NBR 6775	NBR 6780
NEMA	MW - 30 - C	
	MW - 72 - C	
IEC	317 - 8	
	317 - 10	

## TIPO FABRICADO

SECCIÓN CIRCULAR  
INBRATERM R (DOBLE CAPA) (DE)

CLASE TÉRMICA H (180°C)  
CALIBRES DEL 8 AL 42 AWG

## EMBALAJE

### NORMAL:

CARRETE	CALIBRE		PESO NETO (kg.)		
	mm	AWG	nom.	min.	max.
P - 100	0,063-0,08	42 - 39	1,2	0,5	1,7
P - 125	0,06 -0,14	42 - 35	2,8	1,0	3,5
P - 160	0,16 -0,25	34 - 30	6,5	3,0	8,0
P - 200	0,28 -0,56	29 - 23	13,0	6,0	16,0
P - 250	0,63 -1,50	22 - 15	22,0	10,0	25,0
P - 355	1,60 -3,35	14 - 8	42,0	20,0	50,0
P - 260 *	0,16 - 0,40	34 - 26	22,0	10,0	25,0
P - 280 *	0,20 - 1,60	32 - 14	42,0	20,0	50,0
P - 315 *	0,355-1,60	27 - 14	90,0	40,0	100,0

### ESPECIAL:

P - 400 *	0,63 -1,60	22 - 14	180,0	80,0	200,0
-----------	------------	---------	-------	------	-------

NOTA: Los casos fuera de los especificados podran ser estudiados mediante consulta.

\* CONICOS

CALIBRES AWG	DIÁMETRO DEL HILO (mm)			DIÁMETRO EXTERNO AISLADO (mm)		INCREMENTO DE ESMALTE (mm)		RÍGIDEZ DIELÉCTRICA (V)		CONTINUIDAD FALLAS/ 30m		RESISTENCIA ELECTRICA (ohm/m)	ELONGACION A LA RUPTURA (%)	ANGULO DE RETORNO (°)	CALIBRES AWG
				S	R	S	R	S	R	S	R				
	nom.	min.	máx.	máx.	máx.	mln.	mln.	mln.	mln.	máx.	máx.	máx.	mln.	máx.	
44	0,051	0,048	0,054	0,061	0,069	0,003	0,010	500	1.300	20	5	9,11502	14	-	44
43	0,056	0,053	0,059	0,066	0,074	0,005	0,010	550	1.400	20	5	7,56000	15	-	43
42	0,064	0,061	0,067	0,076	0,081	0,005	0,010	625	1.525	20	5	5,97333	16	-	42
41	0,071	0,068	0,074	0,084	0,091	0,005	0,013	700	1.675	20	5	4,74740	17	-	41
40	0,079	0,076	0,082	0,094	0,102	0,005	0,015	775	1.800	15	5	3,80055	17	-	40
39	0,089	0,086	0,092	0,104	0,114	0,005	0,015	850	1.975	15	5	2,96809	18	-	39
38	0,102	0,099	0,105	0,119	0,130	0,008	0,018	950	2.150	15	5	2,23977	19	-	38
37	0,114	0,111	0,117	0,132	0,145	0,008	0,020	1.075	2.325	15	5	1,78187	20	-	37
36	0,127	0,124	0,130	0,147	0,160	0,010	0,020	1.200	2.525	15	5	1,42788	20	-	36
35	0,142	0,139	0,145	0,163	0,176	0,010	0,023	1.325	2.750	15	5	1,13617	21	-	35
34	0,160	0,157	0,163	0,183	0,196	0,013	0,025	1.500	2.975	10	5	0,890584	22	-	34
33	0,180	0,177	0,183	0,206	0,224	0,013	0,028	1.675	3.250	10	5	0,700693	23	-	33
32	0,203	0,200	0,206	0,231	0,249	0,015	0,030	1.850	3.525	10	5	0,648800	24	-	32
31	0,226	0,223	0,229	0,254	0,274	0,015	0,033	2.075	3.625	10	5	0,441432	24	-	31
30	0,254	0,251	0,257	0,284	0,302	0,016	0,036	2.300	4.150	10	5	0,348439	25	66	30
29	0,287	0,284	0,290	0,320	0,338	0,016	0,038	2.375	4.250	10	5	0,272168	28	61	29
28	0,320	0,317	0,323	0,356	0,373	0,020	0,041	2.425	4.375	10	5	0,218452	26	55	28
27	0,361	0,357	0,365	0,396	0,417	0,020	0,041	2.500	4.500	10	5	0,172241	27	50	27
26	0,404	0,400	0,408	0,439	0,462	0,023	0,043	2.550	4.600	10	5	0,137200	27	76	26
25	0,455	0,450	0,460	0,493	0,516	0,023	0,046	2.625	4.725	10	5	0,108405	28	72	25
24	0,511	0,506	0,516	0,551	0,577	0,025	0,048	2.700	4.850	10	5	0,085738	28	67	24
23	0,574	0,568	0,580	0,617	0,643	0,025	0,051	2.775	5.000	10	5	0,068042	29	62	23
22	0,643	0,637	0,649	0,686	0,714	0,028	0,053	2.850	5.125	10	5	0,054100	29	58	22
21	0,724	0,717	0,731	0,770	0,798	0,028	0,056	2.925	5.250	10	5	0,042701	30	53	21
20	0,813	0,805	0,821	0,861	0,892	0,030	0,058	3.000	5.400	10	5	0,033875	30	66	20
19	0,912	0,903	0,921	0,963	0,993	0,030	0,064	3.075	5.550	10	5	0,026921	31	62	19
18	1,024	1,014	1,034	1,077	1,110	0,033	0,066	3.175	5.700	10	5	-	32	58	18
17	1,151	1,139	1,163	1,207	1,240	0,036	0,071	3.250	5.850	10	5	-	32	54	17
16	1,290	1,277	1,303	1,349	1,384	0,036	0,074	3.325	6.000	10	5	-	33	50	16
15	1,450	1,435	1,465	1,509	1,547	0,038	0,076	3.425	6.175	10	5	-	33	46	15
14	1,628	1,612	1,644	1,692	1,732	0,041	0,081	3.525	6.325	10	5	-	33	42	14
13	1,829	1,811	1,847	-	1,923	-	0,071	-	5.600	-	-	-	34	-	13
12	2,052	2,031	2,073	-	2,151	-	0,074	-	5.800	-	-	-	34	-	12
11	2,304	2,281	2,327	-	2,408	-	0,076	-	6.000	-	-	-	35	-	11
10	2,588	2,562	2,614	-	2,695	-	0,079	-	6.200	-	-	-	35	-	10
9	2,906	2,877	2,935	-	3,020	-	0,081	-	3.200	-	-	-	36	-	9
8	3,264	3,231	3,297	-	3,383	-	0,084	-	3.300	-	-	-	36	-	8
7	3,665	3,628	3,702	-	3,787	-	0,086	-	3.400	-	-	-	36	-	7
6	4,115	4,074	4,156	-	4,244	-	0,089	-	3.500	-	-	-	37	-	6
5	4,620	4,574	4,666	-	4,755	-	0,091	-	3.600	-	-	-	37	-	5
4	5,189	5,137	5,241	-	5,329	-	0,094	-	3.700	-	-	-	38	-	4

NOTA: S = Simple capa de esmalte (SE)  
R = Doble capa de esmalte (DE)



Diámetro del Hilo (mm)			Diámetro Externo Aislado (mm)		Incremento del Esmalte (mm)		Rigidez Dieléctrica (V)		Continuidad Fallas/30m		Resist. Eléctrica (ohm/m)	Elongación a la Ruptura (%)	Angulo de Retorno (°)	Diámetro del Hilo (mm)
			S	R	S	R	S	R	S	R				
nom.	min.	máx.	máx.	máx.	min.	min.	min.	min.	máx.	máx.	máx.	min.	máx.	nom.
0,050	0,048	0,052	0,062	0,068	0,003	0,010	500	1.300	20	5	9,48326	14	—	0,050
0,063	0,060	0,066	0,076	0,081	0,005	0,010	625	1.525	20	5	5,97333	16	—	0,063
0,071	0,068	0,074	0,084	0,091	0,005	0,013	700	1.675	20	5	4,74740	17	—	0,071
0,080	0,077	0,083	0,098	0,105	0,005	0,015	775	1.800	15	5	3,70248	17	—	0,080
0,090	0,087	0,093	0,110	0,117	0,006	0,016	850	1.975	15	5	2,90025	18	—	0,090
0,100	0,097	0,103	0,121	0,129	0,007	0,018	950	2.150	15	5	2,33309	19	—	0,100
0,112	0,109	0,115	0,134	0,143	0,008	0,019	1.075	2.325	15	5	1,84766	20	—	0,112
0,125	0,122	0,128	0,149	0,159	0,010	0,020	1.200	2.525	15	5	1,47487	20	—	0,125
0,140	0,137	0,143	0,166	0,176	0,010	0,023	1.325	2.750	15	5	1,16959	21	—	0,140
0,160	0,157	0,163	0,183	0,198	0,013	0,025	1.500	2.975	10	5	0,890584	22	—	0,160
0,180	0,177	0,183	0,209	0,222	0,013	0,028	1.675	3.250	10	5	0,700693	23	—	0,180
0,200	0,197	0,203	0,230	0,245	0,014	0,030	1.850	3.525	10	5	0,565642	24	—	0,200
0,224	0,221	0,227	0,256	0,272	0,015	0,033	2.075	3.825	10	5	0,449458	24	—	0,224
0,250	0,246	0,254	0,284	0,301	0,017	0,036	2.300	4.150	10	5	0,362747	25	66	0,250
0,280	0,276	0,284	0,315	0,334	0,018	0,037	2.375	4.250	10	5	0,288175	26	61	0,280
0,315	0,311	0,319	0,352	0,371	0,019	0,040	2.425	4.375	10	5	0,226962	26	55	0,315
0,355	0,351	0,359	0,395	0,414	0,020	0,041	2.500	4.500	10	5	0,178180	27	50	0,355
0,400	0,395	0,405	0,442	0,462	0,022	0,042	2.550	4.600	10	5	0,140695	27	76	0,400
0,450	0,445	0,455	0,495	0,516	0,023	0,045	2.625	4.725	10	5	0,110855	28	72	0,450
0,500	0,495	0,505	0,548	0,569	0,025	0,047	2.700	4.850	10	5	0,089591	28	67	0,500
0,560	0,554	0,566	0,611	0,632	0,025	0,050	2.760	4.970	10	5	0,071524	28	63	0,560
0,630	0,624	0,636	0,684	0,706	0,027	0,052	2.840	5.100	10	5	0,056377	29	59	0,630
0,710	0,703	0,717	0,767	0,790	0,028	0,055	2.910	5.230	10	5	0,044418	29	54	0,710
0,750	0,742	0,758	0,809	0,832	0,029	0,057	2.945	5.300	10	5	0,039872	30	53	0,750
0,800	0,792	0,808	0,861	0,885	0,030	0,058	2.990	5.380	10	5	0,034996	30	53	0,800
0,850	0,841	0,859	0,913	0,937	0,030	0,060	3.030	5.455	10	5	0,031037	30	65	0,850
0,900	0,891	0,909	0,965	0,990	0,030	0,063	3.065	5.530	10	5	0,027651	31	62	0,900
0,950	0,940	0,960	1,017	1,041	0,033	0,065	3.110	5.600	10	5	0,024844	31	61	0,950
1,000	0,990	1,010	1,068	1,093	0,033	0,066	3.155	5.670	10	5	0,022398	32	59	1,000
1,060	1,049	1,071	1,130	1,155	0,035	0,068	3.195	5.745	10	5	—	32	57	1,060
1,120	1,109	1,131	1,192	1,217	0,036	0,070	3.230	5.815	10	5	—	32	55	1,120
1,180	1,168	1,192	1,254	1,279	0,036	0,072	3.265	5.880	10	5	—	32	53	1,180
1,250	1,237	1,263	1,325	1,351	0,036	0,073	3.300	5.955	10	5	—	32	49	1,250
1,320	1,307	1,333	1,397	1,423	0,037	0,074	3.285	6.035	10	5	—	33	49	1,320
1,400	1,386	1,414	1,479	1,506	0,038	0,075	3.370	6.120	10	5	—	33	47	1,400
1,500	1,485	1,515	1,581	1,608	0,040	0,078	3.455	6.215	10	5	—	33	45	1,500
1,600	1,584	1,616	1,683	1,711	0,040	0,080	3.510	6.300	10	5	—	33	43	1,600
1,700	1,683	1,717	1,785	1,813	0,041	0,068	—	5.365	—	—	—	—	—	1,700
1,800	1,782	1,818	1,888	1,916	0,042	0,070	—	5.520	—	—	—	—	—	1,800
1,900	1,881	1,919	1,990	2,018	0,043	0,072	—	5.665	—	—	—	—	—	1,900
2,000	1,980	2,020	2,092	2,120	0,043	0,074	—	5.795	—	—	—	—	—	2,000
2,120	2,099	2,141	2,214	2,243	0,044	0,075	—	5.855	—	—	—	—	—	2,120
2,240	2,218	2,262	2,336	2,366	0,045	0,076	—	5.950	—	—	—	—	—	2,240
2,360	2,336	2,384	2,459	2,488	0,045	0,077	—	6.155	—	—	—	—	—	2,360
2,500	2,475	2,525	2,601	2,631	0,046	0,079	—	6.140	—	—	—	—	—	2,500
2,650	2,623	2,677	2,754	2,784	0,047	0,080	—	6.240	—	—	—	—	—	2,650
2,800	2,772	2,828	2,907	2,938	0,047	0,081	—	6.335	—	—	—	—	—	2,800
3,000	2,970	3,030	3,110	3,142	0,048	0,082	—	6.225	—	—	—	—	—	3,000
3,150	3,118	3,182	3,263	3,294	0,049	0,083	—	6.270	—	—	—	—	—	3,150
3,350	3,316	3,384	3,466	3,498	0,049	0,085	—	6.320	—	—	—	—	—	3,350

NOTA: S = Simple capa de esmalte (SE)  
R = Doble capa de esmalte (DE)



# SOLDADURA SN AG

## 1. COMPOSICION

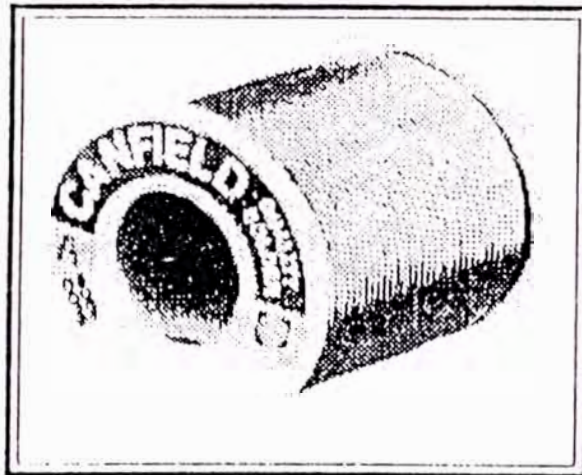
Estaño 95% y plata 5%

## 2. APLICACIONES

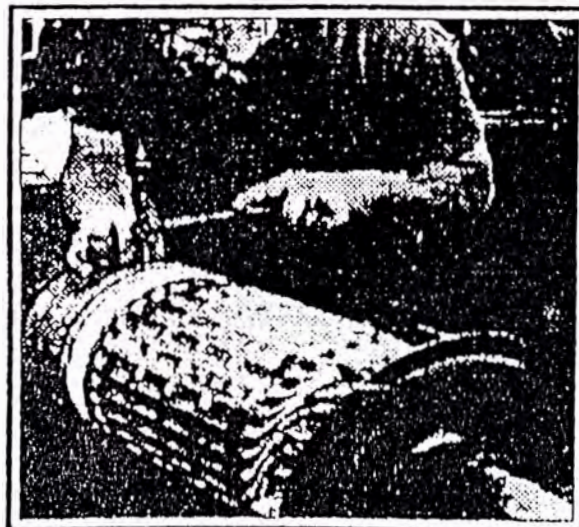
Soldar conexiones, en especial las que se efectúan en el colector; (reemplaza con mejores resultados y mayor garantía a la soldadura de estaño 60/40).

Presentación            En carretes de 500 gr. y 1/8 de diámetro.

Se Solicita            Por carretes



: PRESENTACIONES DE LA SOLDADURA



EFFECTUANDO LAS CONEXIONES PARA SU SOLDADO

ANEXO III  
OTROS CALCULOS DURANTE LA REPARACION  
DE DEVANADOS

A continuación se examinan métodos aproximados de cálculo para determinar las características del devanado del estator y algunos parámetros de los motores.

**1. Cálculo aproximado en el caso de la ausencia completa del devanado antiguo.**

Normalmente, primero hace falta solucionar el problema acerca del número de polos. Es posible determinarlo con cierta autenticidad partiendo de la proporción de las dimensiones geométricas del motor.

El número mínimo posible de los polos se determina por la fórmula[3]:

$$2p = 0.5 \frac{D_i}{H_c}$$

El resultado es reducido al próximo número par máximo.

El número máximo de polos del motor puede definirse basándose en la proporción entre los diámetros exterior  $D_e$  e interior  $D_i$  del núcleo, y utilizando los datos de la tabla 1.

El flujo magnético puede determinarse con aproximación mediante la fórmula:

$$\phi = \frac{D_i L_a B_r}{p}$$

Donde:

La : Longitud activa en cm

Br : Inducción magnética en el entrehierro en Gauss

p : Número de pares de polos.

Para seleccionar los valores de Br se puede aprovechar los datos de la tabla 2.

Determinados el número de polos  $2p$  y el flujo magnético  $\phi$ , el resto del cálculo se realiza siguiendo el mismo procedimiento que se desarrolló en el capítulo III.

Luego, conociendo la corriente de fase  $I_f$  y la tensión de fase  $V_f$ , mediante la siguiente fórmula, puede calcularse la potencia del motor en el eje P en KW:

$$P = \frac{3 V_f I_f \cos \phi \eta}{1000}$$

Donde:

$\cos \phi$  y  $\eta$  son el factor de potencia y el rendimiento del motor, respectivamente, cuyos valores se puede tomar de la tabla 3.

## 2. Cálculo durante la modificación del motor para otras revoluciones

El número de polos requerido se determina de la proporción:

$$p = \frac{60 f}{n}$$

Donde p es el número de pares de polos; f la frecuencia de la red de alimentación; n la velocidad sincrónica de rotación.

En la primera aproximación se puede considerar que la potencia P del motor modificado para nuevas revoluciones variará proporcionalmente a las revoluciones n, o sea:

$$P_n \approx P_v \frac{n_n}{n_v}$$

Donde los subíndices n y v significan nuevo y viejo, respectivamente.

La sección s de los conductores efectivos del devanado también varía aproximadamente proporcional a las revoluciones n:

$$s_n \approx s_v \frac{n_n}{n_v}$$

Podemos considerar con aproximación que si el tipo de devanado (de una capa, de dos capas) no cambia durante la modificación, entonces el número de espiras en la sección debe modificarse inversamente proporcional a las revoluciones:

$$w_n \approx w_v \frac{n_n}{n_v}$$

Donde w es el numero de espiras en la sección.

No obstante, las fórmulas anteriores brindan resultados aún muy aproximados, los que deben precisarse en cada caso concreto. Así, por ejemplo, para un motor de cuatro polos, modificado a dos polos, es necesario aumentar en un 25 a 30% el número de espiras calculado. Al aumentar el número de espiras es necesario disminuir la sección de los

conductores calculado con la fórmula anterior.

### 3. Cálculo al modificar el motor asíncrono para otra tensión

El nuevo número de espiras en cada sección  $w$  del devanado puede determinarse según la fórmula:

$$W_n = W_v \frac{V_{fn}}{V_{fv}}$$

La sección sumaria del cable se determina por la fórmula:

$$S_n = S_v \frac{V_{fn}}{V_{fv}}$$

Luego, según la tabla de las dimensiones tipo de los cables de bobinado, se precisa la magnitud  $s_n$  y se halla el diámetro respectivo.

### 4. Cálculo al modificar un motor asíncrono para otra frecuencia de la red de alimentación

Al rebobinar el motor para otra frecuencia  $f$  de la red de alimentación se puede considerar con aproximación que el número de espiras  $w$  en la sección del devanado debe variar inversamente proporcional a la frecuencia:

$$W_n = W_v \frac{f_v}{f_n}$$

La sección de los conductores efectivos  $s$  varía, en este caso, directamente proporcional a la frecuencia:

$$S_n = S_v \frac{f_n}{f_v}$$

Las revoluciones  $n$  del motor y su potencia  $P$  varían también directamente proporcional a la frecuencia:

$$n_n = n_v \frac{f_n}{f_v}$$

$$P_n = P_v \frac{f_n}{f_v}$$

No obstante, todas las fórmulas expuestas resultan ser muy aproximadas.

### 5. Cálculo durante la sustitución de los cables de bobinado de cobre por los de aluminio

Para conservar la potencia antigua del motor, es necesario aumentar el diámetro del cable de aluminio. A fin de que no varíe la transferencia de calor del devanado al medio ambiente, tampoco su corriente nominal, así como las pérdidas de calor en el devanado, debe cumplirse que sean iguales las resistencias de los devanados de cobre y de aluminio:

$$r_a = r_c$$

Pero la resistencia específica del aluminio es 1.63 veces mayor que la del cobre, por lo cual esta condición sólo se cumplirá si la sección del cable de aluminio es 1.63 veces mayor que la del cable de cobre. Debido a que la sección del cable redondo es proporcional al cuadrado de su diámetro, entonces el diámetro del cable de aluminio, para conservar la potencia antigua del motor, debe ser aumentado  $\sqrt{1.63} = 1.28$  veces, o el 28% en comparación con el cable de cobre.

**TABLA 1**  
**DEPENDENCIA ENTRE EL NUMERO DE LOS POLOS Y LA**  
**PROPORCION  $D_e/D_i$  [3]**

Número de Polos, $2p$	2	4	6	8	10
Proporción	1,7...	1,55...	1,4...	1,35...	1,3...
$D_e/D_i$	...1,9	...1,65	...1,5	...1,4	...1,35

**TABLA 2**  
**VALORES APROXIMADOS DE  $B_r$  PARA LOS ELECTROMOTORES**  
**ASINCRONOS TRIFASICOS [3]**

Intervalo polar $\tau$ , cm $\tau=(\pi D_p)/2p$	$B_r(T)$ para las máquinas									
	de ejecución protegida siendo el número de polos				de ejecución cerrada ventilada siendo el número de polos				pequeñas sien- do el número de polos	
	2	4	6	8	2	4	6	8	2	4
4	-	-	-	-	-	-	-	-	0,50	0,60
6	-	-	0,70	0,72	-	-	0,65	0,67	0,51	0,65
8	-	0,69	0,72	0,73	-	0,64	0,66	0,68	0,52	-
10	0,63	0,70	0,73	0,76	0,59	0,65	0,67	0,685	0,53	-
20	0,67	0,74	0,76	0,79	0,62	0,66	0,69	0,70	-	-
30	0,72	0,77	0,79	0,82	0,64	0,68	0,70	0,72	-	-
40	0,75	0,79	0,81	-	0,65	0,69	0,71	-	-	-



**TABLA 3**  
**RENDIMIENTO Y EL COS  $\varphi$  PARA LOS MOTORES ASINCRONOS**  
**TRIFASICOS DE EJECUCION PROTEGIDA [3]**

Potencia en kW	Rendimiento siendo el número de polos				Cos $\varphi$ siendo el número de polos			
	2	4	6	8	2	4	6	8
0,6	-	0,74	-	-	-	0,76	-	-
1,0	0,79	0,785	0,77	-	0,86	0,79	0,72	-
1,7	0,81	0,81	0,79	-	0,87	0,82	0,75	-
2,8	0,84	0,83	0,82	-	0,88	0,84	0,78	-
4,5	0,85	0,85	0,84	0,83	0,88	0,85	0,80	0,76
7,0	0,87	0,87	0,86	0,85	0,89	0,86	0,81	0,78
10	0,875	0,875	0,865	0,85	0,89	0,88	0,82	0,80
14	0,875	0,88	0,87	0,87	0,89	0,88	0,83	0,81
20	0,885	0,89	0,88	0,88	0,90	0,88	0,84	0,82
28	0,89	0,90	0,89	0,89	0,90	0,88	0,85	0,83
40	0,90	0,90	0,90	0,90	0,91	0,88	0,86	0,84
55	0,90	0,91	0,91	0,91	0,91	0,89	0,87	0,84
75	0,91	0,915	0,92	-	0,91	0,89	0,87	-
100	0,915	0,92	-	-	0,92	0,89	-	-

## ANEXO IV ESQUEMAS DE LOS DEVANADOS TRIFASICOS

Se pueden hacer diversas clasificaciones de los devanados según se atiende a unos u otros factores.

Considerando el número de lados de bobinas que alberga cada ranura, los devanados se dividen en:

- Devanados a una capa.
- Devanados a dos capas.
- Devanados mixtos.

Considerando la disposición geométrica de sus partes frontales de las bobinas se tiene:

- Devanados en dos planos.
- Devanados en tres planos.
- Devanados con cabezas de bobinas solapadas.

Atendiendo al paso de las bobinas se distinguen:

- Devanados con bobinas de paso constante.
- Devanados con bobinas de paso variable (concéntricos)

Considerando el valor del número de ranuras por polo y fase  $q$ , tenemos:

- Devanados enteros (cuando  $q$  es un número entero).
- Devanados fraccionarios (cuando  $q$  no es entero).

Atendiendo a como "avanza" el devanado a dos capas, cabe hacer una distinción análoga a la que se cita para los devanados de corriente continua:

- Devanado imbricado.

- Devanado ondulado.

A continuación se describen los devanados de bobinas concéntricas de una sola capa; los devanados imbricados de dos capas congruentes; devanados no congruentes (con  $q$  fraccionario); devanados ondulados de dos capas y los devanados de varias velocidades.

### **1. Devanados de bobinas concéntricas de una sola capa**

La denominación de este devanado se debe a que cada ranura está rellena completamente por un lado de bobina, es decir, los lados de bobinas se encuentran en la ranuras formando una sola capa; además, las bobinas que constituyen un grupo de bobinas del devanado son de diferente ancho, colocándose de tal modo que abarcan concéntricamente una a la otra.

Se usan ampliamente en los motores asíncronos de potencias pequeña y media. Con este tipo de devanado se obtiene un relleno total de las ranuras con materiales conductores, ya que no se requiere el aislamiento entre las capas del devanado.

El número de bobinas en el devanado de una capa es igual a la mitad del número de ranuras, ya que cada bobina ocupa dos ranuras.

En el devanado de bobinas concéntricas de una sola capa, los pasos de bobinas en el grupo son diferentes. En general, el paso de la bobina más ancha, la exterior, tiene el paso  $4q-1$ , mientras que el paso de cada bobina siguiente es dos veces menor. La bobina más estrecha, la interior, tiene el paso  $2q+1$ .

En el devanado de una sola capa, el número de los grupos de bobinas en cada fase es igual al número de los pares de polos y, por lo tanto, el número de todos los grupos de bobinas en el devanado trifásico, es igual a  $3p$ .

En la Fig. 1 se muestra un devanado concéntrico de una capa de dos pisos.

## **2. Devanados imbricados de dos capas, congruentes**

Actualmente, en los estatores de las máquinas trifásicas de corriente alterna (sincrónicas y asíncronas) han obtenido amplia divulgación los devanados de dos capas y, en particular, imbricados. En el devanado de dos capas, en cada ranura del núcleo, se colocan en dos capas los lados activos de dos bobinas diferentes, con la particularidad de que el lado de una bobina esté en el fondo de la ranura (capa inferior), en tanto que el de la otra, se encuentre por encima de esta primera. Los lados frontales de cada bobina también ocupan dos capas; el paso de una capa a la otra se efectúa en las cabezas de las bobinas. Este devanado se denomina imbricado porque en el esquema para contornearlo, hace falta ir haciendo vueltas adelante o atrás.

Los devanados de este tipo tienen las siguientes ventajas:

La posibilidad de diferente acortamiento del paso, lo que permite lograr buenas propiedades eléctricas y reducir el consumo de cobre.

La fabricación relativamente no complicada del devanado con el número de ranuras para el polo y para la fase

prácticamente de cualquier fracción.

La posibilidad de mecanizar la fabricación de las bobinas que tienen la misma forma.

El número de bobinas del devanado de dos capas es igual al número de ranuras; y a cada fase le corresponden  $z/m=z/3$  bobinas. El número de grupos de bobinas por fase se puede determinar al dividir el número de bobinas por fase entre el número de bobinas de cada grupo, el cual también es igual al número de polos.

En la Fig. 2 se muestra la composición del esquema de un devanado imbricado trifásico de dos capas.

### **3. Devanados no congruentes (con $q$ fraccionario)**

Los devanados con  $q$  fraccionario son utilizados con más frecuencia en los estatores de los generadores síncronos, siendo  $q < 3$ . Aquí estos devanados contribuyen a la aproximación de la forma de la curva de la f.e.m. inducida a la senoide.

En los estatores de los motores asíncronos se trata de evitar los devanados con  $q$  fraccionario porque su utilización provoca ciertas alteraciones en la simetría del campo magnético generado por la máquina. Sin embargo, al rebobinar los motores para otra velocidad de rotación (otro número de polos), o al fabricar los motores con el número variable de polos a base de núcleos que tienen una forma igual de hierro, hay veces cuando surge la necesidad de utilizar los devanados con  $q$  fraccionario.

Los devanados con  $q$  fraccionario pueden ser tanto de una capa como de dos. En la actualidad, han adquirido la mayor

distribución los devanados de dos capas, los que pueden fabricarse fácilmente con cualquier valor de  $q$  fraccionario.

Como el número de ranuras correspondiente al polo y a la fase  $q$  indica, al mismo tiempo, el número de bobinas por grupo; entonces si  $q$  es un número fraccionario, los grupos tienen un número diferente de bobinas, mas por término medio, a cada grupo de bobinas corresponde  $q$  unidades. Al componer los esquemas de los devanados con  $q$  fraccionario es necesario distribuir los grupos de bobinas con un número diferente de unidades entre las fases, de tal modo que las fases del devanado sean simétricas.

La diferencia fundamental entre los devanados congruentes y no congruentes consiste en el hecho de que estos últimos deben tener los grupos de bobinas constituídos por un número variable de unidades.

En la Fig. 3 se muestra un devanado trifásico de dos capas con  $q$  fraccionario.

#### **4. Devanados ondulados de dos capas**

Se denomina ondulado porque al observarlo en el esquema hace falta hacer zigzag (ondas) desplazándose hacia un mismo lado; por ejemplo, a la derecha.

Como regla, los devanados de este tipo son de varillas de cobre descubiertas, encorvadas debidamente y aisladas.

En los devanados ondulados, a diferencia de los imbricados, casi no hay conexiones entre bobinas, lo que, dado el caso de un número grande de polos, reduce sustancialmente el consumo de cobre. Son utilizados,

fundamentalmente, en las máquinas muy potentes de baja tensión; además, estos devanados se utilizan ampliamente en los rotores de motores asíncronos bastante potentes, dotados de anillos contactores porque permiten fijar fácilmente las partes frontales.

El acortamiento del paso en el devanado ondulado no reduce el consumo del cobre para las partes frontales, debido a que el acortamiento de los pasos del devanado de un lado del núcleo provoca el respectivo alargamiento de los mismos en su lado opuesto; por lo tanto, en los devanados ondulados, prácticamente, no se utiliza el acortamiento del paso.

Los devanados ondulados de dos capas se fabrican congruentes y no congruentes del número  $q$ , con la particularidad de que la parte fraccionaria del número  $q$ , en este caso, con más frecuencia se expresa como una mitad. Hace falta recurrir a los devanados ondulados no congruentes al modificar los motores dotados de rotores bobinados para otro número de polos.

En la Fig. 4 se muestra un ejemplo de devanado ondulado de dos capas.

##### **5. Devanados de varias velocidades**

Se denominan de varias velocidades porque pueden ser conmutados para un número variable de polos.

Han obtenido máxima divulgación entre estos devanados, aquellos donde el número de polos varía dos veces en el proceso de conmutación. En la Fig. 5 se representan unos esquemas que aclaran el principio de tal conmutación.



Para que la dirección de la rotación del motor permanezca inmutable funcionando a una velocidad tanto pequeña como alta, al conmutar el devanado hace falta modificar el orden de alternación de las fases, es decir, cambiar de lugar (intercruzar) dos de las tres fases conectadas al devanado.

Los devanados de varias velocidades son utilizados normalmente en los estatores de los motores asíncronos de rotor de jaula, porque aquí no existe la necesidad de conmutar el devanado del rotor, lo que haría la máquina más compleja.

También se puede variar el número de polos del motor colocando en las ranuras del estator dos devanados diferentes. Combinando los dos procedimientos se puede obtener motores con un número bastante grande de los grados de regulación de la velocidad.

En la Fig. 6 se muestra el esquema desarrollado de un devanado de dos capas de dos velocidades; y en el anexo V se muestran los esquemas de conexión de motores de polos conmutables.

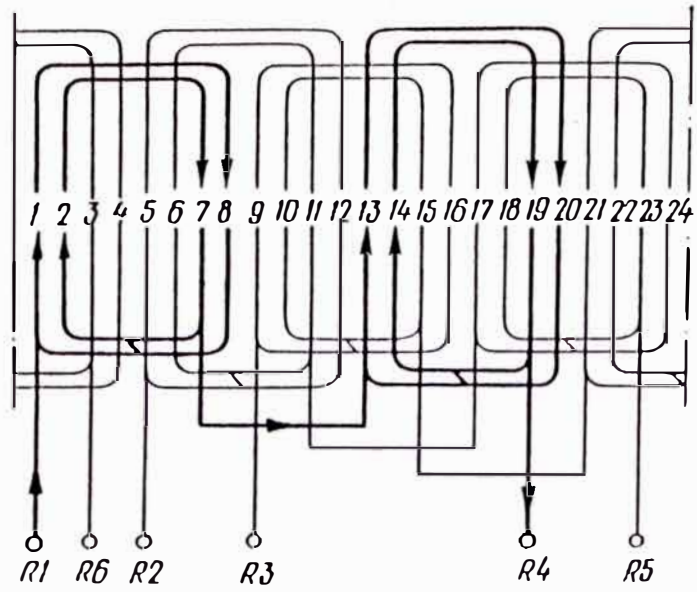


Figura 1  
 Devanado concéntrico trifásico de una capa y  
 Dos pisos  $z=24$ ,  $2p=4$ ,  $a=1$

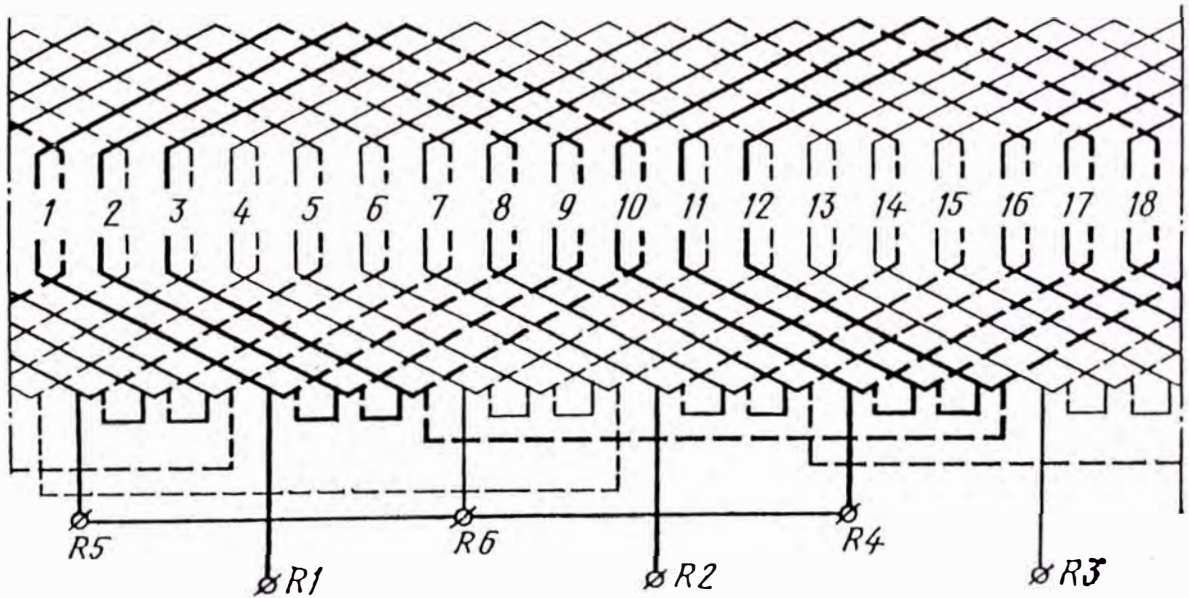


Figura 2  
 Devanado imbricado de dos capas  $Z=18$ ,  $2p=2$ ,  $a=1$

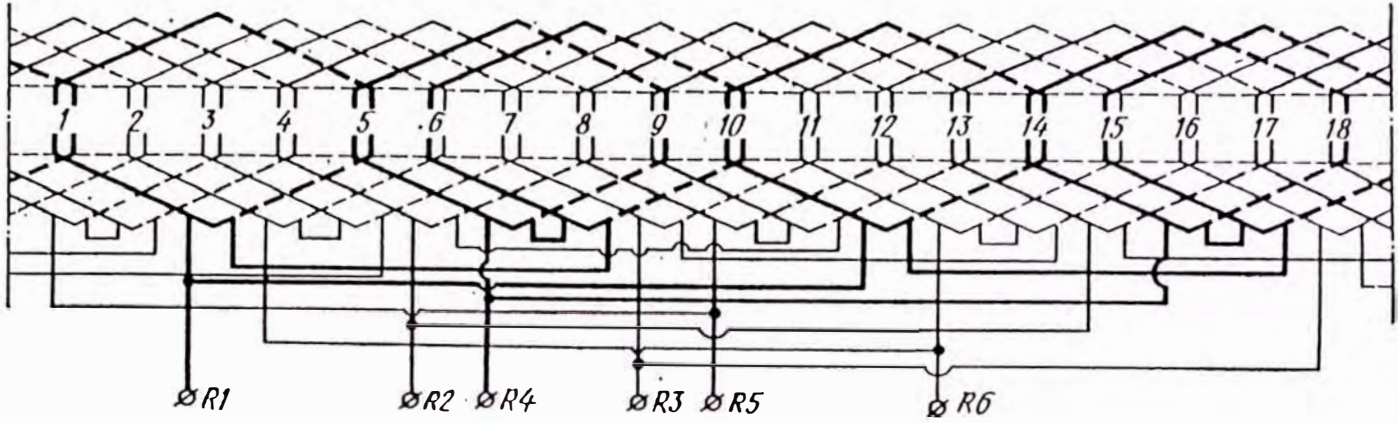


Figura 3  
 Devanado trifásico con q fraccionario de  
 Dos capas  $Z=18$ ,  $2p=4$ ,  $q=1\frac{1}{2}$ ,  $a=2$

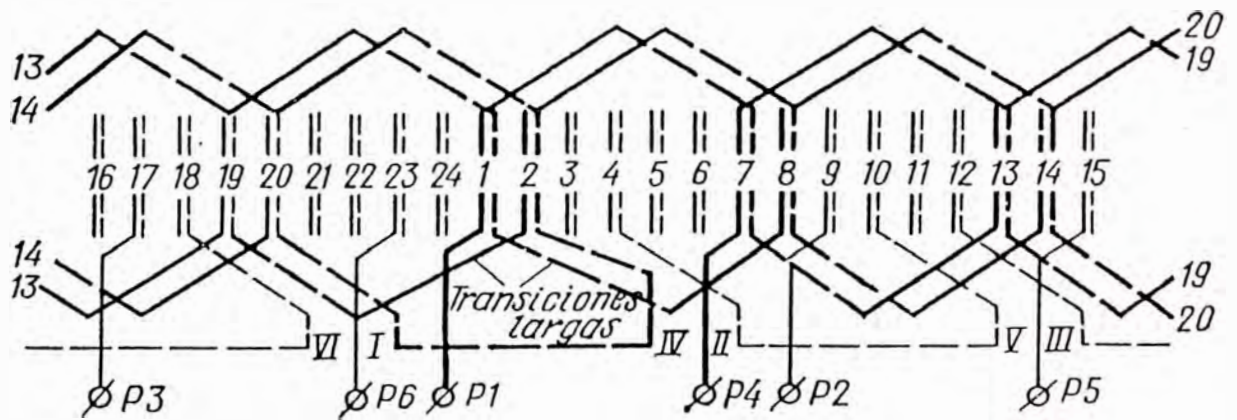


Figura 4  
 Devanado ondulado de dos capas Con  
 Transiciones largas  $Z=24$ ,  $2p=4$ ,  $a=1$

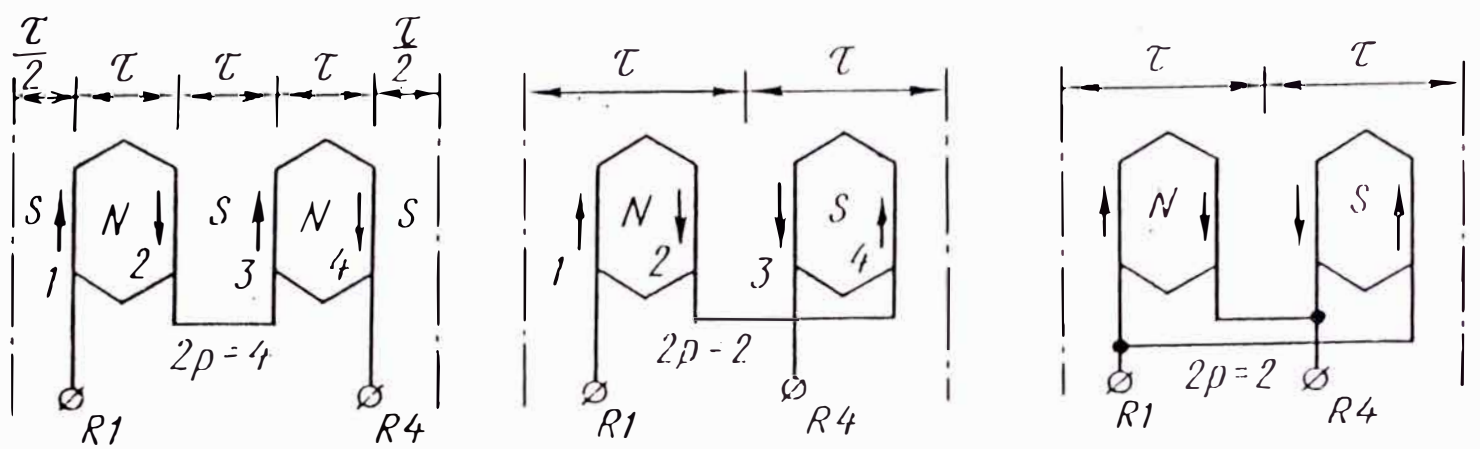


Figura 5  
 Esquemas de conexión del devanado para variar  
 El número de polos  
 a) Conexión serie aditiva  
 b) Conexión serie en oposición  
 c) Conexión paralelo



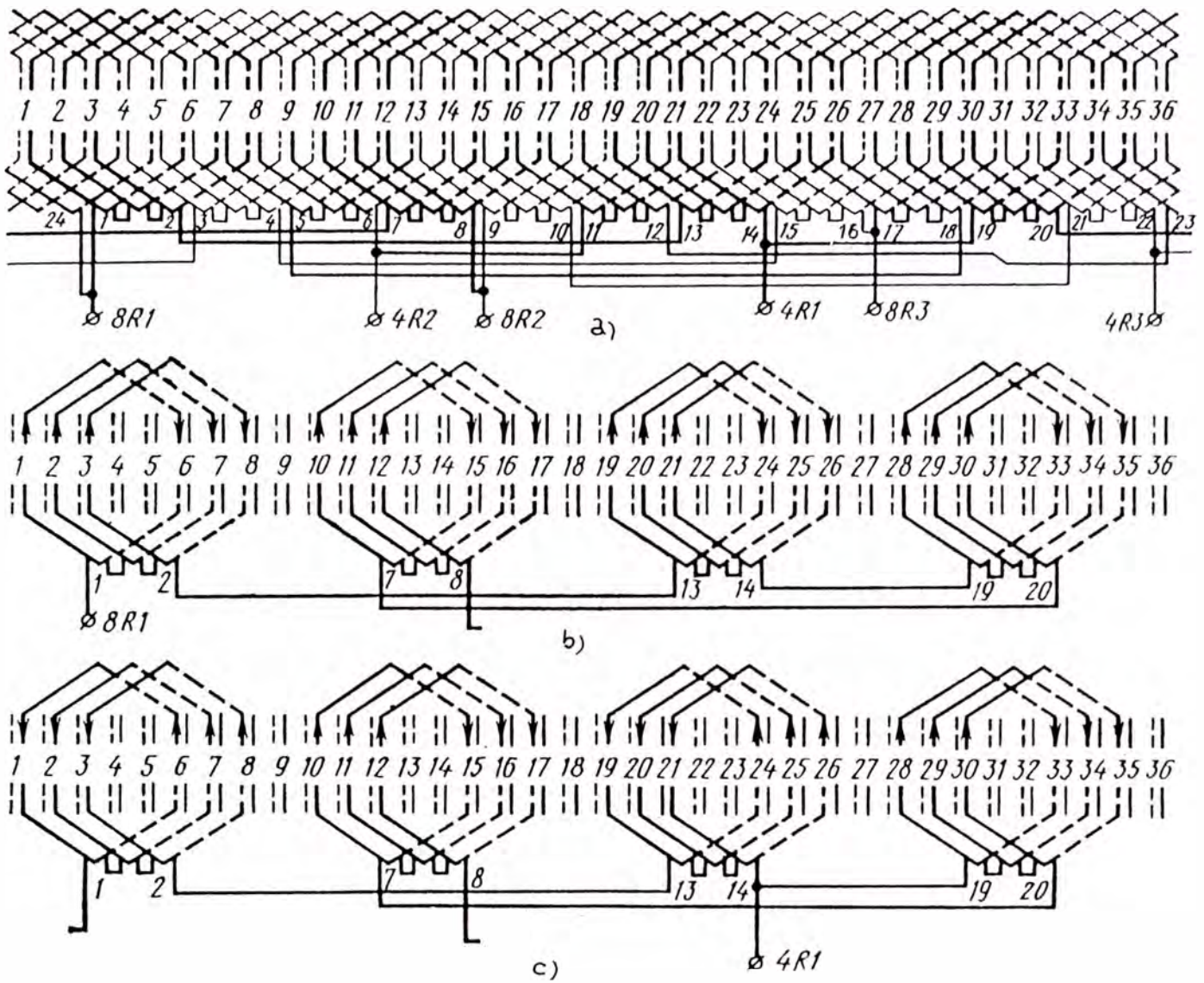


Figura 6  
 Devanado de dos capas de dos velocidades  
 $Z=36$ ,  $2p=8/4$ ,  $a=1$ , conexión  $\Delta/2Y$   
 a) Esquema general  
 b) Conexión para  $2p=8$  (primera fase)  
 c) Conexión para  $2p=4$  (primera fase)

**ANEXO V**  
**ESQUEMA DE CONEXION DE LOS MOTORES TRIFASICOS**  
**DE POLOS CONMUTABLES**

Número de arrollamientos	Tipo de devanado	Número de polos Ejecución ordinaria	Letras designativas adicionales	Número de revoluciones por minuto síncrono para 50 Hz	Conexión del devanado (Designaciones de bornes según VDE 0570)	Símbolo de conexión
1	Devanado Dahlander	4/2 6/4 12/8	a/b a/b a/b	1 500/3 000 750/1 500 600/1 000		$\Delta/Y/Y$
2	Devanados separados	4/6 6/6 4/12 6/12	b/a b/a b/a b/a	1 500/1 000 1 000/ 750 1 600/ 500 750/ 500		$Y - Y$
2	Un devanado Dahlander y otro separado	6/4/2 6/6/4 12/6/4 12/6/4 12/6/6	a/b/c a/b/c a/b/c a/b/c a/b/c	750/1 500/3 000 750/1 000/1 500 500/1 000/1 500 500/ 750/1 500 500/ 750/1 500		$\Delta/Y/Y - Y$
2	Devanados Dahlander	12/6/6/4 12/6/4/2	a/b/c/d a/b/c/d	500/750/1 000/1 500 500/1 000/1 500/3 000		$\Delta/Y/Y - \Delta/Y/Y$

Conexión de los conductores de red R, S, T a los bornes U, V, W con las letras adicionales según el número de polos deseados  
 Para las conexiones Dahlander correspondiente en cada caso al número más alto de revoluciones, se debe formar el centro de estrella, indicado por las líneas rayadas.

**ANEXO VI**  
**DESIGNACIONES DE LAS CLASES DE PROTECCION**  
**PARA MAQUINAS ELECTRICAS**  
**(según DIN 40050/1.63)**

Protección contra contactos involuntarios	Protección contra cuerpos extraños	Letra distintiva y primera cifra distintiva	Protección contra agua							
			Sin protección contra agua	Protección contra goteo de agua	Protección contra goteo de agua sin transmitir la máquina hasta 15 °C en todas las direcciones respecto a la posición normal	Protección contra salpicadura de agua en sentido vertical y estando la máquina inclinada 30 ° como máximo respecto a la horizontal	Protección contra gran pluvencia de agua en todas las direcciones	Protección contra chorro de agua	Protección contra inundaciones pasajeras	Protección contra agua a presión
			Segunda cifra distintiva o segunda cifra distintiva con la letra distintiva S adicional							
			0	1	1S	2	3	4	4S	5
Sin protección contra contactos	Sin protección contra cuerpos sólidos extraños	P 0	P 00	—	P 01 S	—	—	—	—	—
Protección contra contacto con la mano de superficies grandes	Protección contra cuerpos sólidos extraños de gran tamaño	P 1	—	P 11	P 11 S	P 12	—	—	—	—
Protección contra contacto con los dedos	Protección contra cuerpos sólidos de tamaño mediano	P 2	—	P 21	P 21 S	P 22	—	—	—	—
Protección contra contacto con cuerpos sólidos extraños pequeños	Protección contra cuerpos sólidos extraños pequeños	P 3	—	—	—	—	—	P 33 1) 2)	—	—
Protección contra contacto de las herramientas o cosas similares	Protección contra depósitos de polvo en el interior	P 3	—	—	—	—	—	—	—	—
Protección contra contacto con medios auxiliares de cualquier clase	Protección absoluta contra polvo	P 4	—	—	—	—	—	—	—	P 44 S 3) 4)
Protección contra contacto con medios auxiliares de cualquier clase	Protección absoluta contra polvo	P 5	—	—	—	—	—	—	—	—

- 1) Se debe dificultar la posibilidad de contacto con el ventilador. Con el fin de prevenir accidentes, las máquinas con refrigeración exterior clase de protección P 33 y superiores, deberán tener una cubierta de protección en ejecución por lo menos tipo P 1 (primera cifra distintiva) en las partes de entrada y salida del aire del ventilador.
- 2) La protección contra cuerpos extraños según P 33 incluye también en las máquinas la protección contra polvo grueso.
- 3) El agua depositada por condensación deberá tener desagüe.
- 4) Las máquinas eléctricas con aberturas cerradas pueden satisfacer a varias clases de protección, por ejemplo P 44 S ó P 22 correspondiente a las condiciones de servicios existentes.

Suplemento R (Conexión por tubo, Máquinas cerradas con refrigeración por corriente de aire refrigerante)

Las máquinas con refrigeración interior por corriente de aire tienen orificios empalmados a tuberías a canales; esta tubería no tiene comunicación con el recinto de emplazamiento de la máquina.

Ejemplo: P 33 R

Suplemento W (protección contra intemperie)

Las máquinas clase de protección P...W son máquinas con refrigeración interior con medidas de protección adicionales destinadas para los trabajos a la intemperie bajo condiciones climatológicas especiales.



ANEXO VII  
 AVERIAS EN LOS MOTORES DE INDUCCION

Anormalidad	Causa	Remedio
El motor no arranca.	Dispositivo de sobrecarga disparado.	Esperar a que se enfríe el dispositivo de sobrecarga y volver a ensayar el arranque. Si el motor no arrancase, compruébese las causas indicadas más abajo.
	Línea desconectada.	Conectar la línea al aparato de control y éste al motor. Comprobar que los contactos no estén flojos.
	Fusibles defectuosos (abiertos o quemados).	Comprobar los fusibles.
	Voltaje demasiado bajo.	Comprobar si las características del motor corresponden a las de la línea de alimentación. Medir el voltaje en los bornes del motor, con la carga conectada, para ver si el diámetro del alambre es el debido y no se produce excesiva caída de tensión en ellos.
	Conexiones del aparato de control equivocadas	Comprobar las conexiones realizadas con el esquema de conexiones del aparato de control.
	Conexiones flojas entre bornes y conductores.	Apretar las conexiones.
	La máquina impulsada está atascada.	Desconectar el motor de la carga. Si el motor no arranca bien, examínese la máquina impulsada para comprobar si no está atascada mecánicamente.

Anormalidad	Causa	Remedio
	Circuito abierto en los devanados del rotor o del estator.	Localizar los circuitos abiertos.
	Cortocircuito en el devanado del estator.	Localizar la bobina en cortocircuito.
	Contacto a tierra en el devanado.	Localizar el devanado con el contacto a tierra.
	Cojinetes duros.	Arreglar la falla o cambiar el cojinete.
	Grasa demasiado dura.	Emplear lubricante apropiado para la condición especial.
	Aparato de control defectuoso.	Revisar el aparato de control.
	Sobrecarga.	Reducir la carga.
Motor ruidoso	El motor funciona con una sola fase.	Parar el motor y probar arrancar de nuevo. El arranque no podrá realizarse si el motor estuvo funcionando con una sola fase.
	Carga eléctrica desequilibrada.	Comprobar y corregir el equilibrio.
	Bamboleo del eje (en los motores con cojinetes de deslizamiento).	Revizar el alineamiento y estado de la correa. En los motores con cojinetes de pedestal, comprobar el juego de la correa y el alineamiento axial del rotor.
	Trepidación.	La máquina impulsada está desequilibrada dinámicamente. Desconéctese el motor de la carga. Si el motor siguiera haciendo ruido, equilibrarlo.

Anormalidad	Causa	Remedio
	<p>Entrehierro desigual.</p> <p>Cojinetes de bolas ruidosas.</p> <p>Paquetes de láminas flojas o rotor flojo en el eje.</p> <p>El motor roza con el estator.</p> <p>Objetos presionados entre el ventilador y la tapa posterior.</p> <p>El motor se ha aflojado de su base.</p> <p>Acoplamiento flojo.</p>	<p>Alinear el rotor o reemplazar los cojinetes gastados.</p> <p>Comprobar la lubricación. Reemplazar los cojinetes si el ruido es persistente y excesivo.</p> <p>Apretar todos los pernos de sujeción.</p> <p>Centrar el rotor y reemplazar los cojinetes, si fuera necesario.</p> <p>Desmontar el motor y limpiarlo. Eliminar cualquier suciedad o basura alrededor del motor.</p> <p>Apretar los pernos de sujeción. Puede ser necesario alinear el motor.</p> <p>Insertar láminas calibradoras, entre cuatro puntos opuestos en cruz, en la junta del acoplamiento, antes de apretar los pernos para comprobar el alineamiento del mismo. Ajustar bien los pernos.</p>
<p>El motor se recalienta o humea.</p>	<p>Sobrecarga.</p> <p>Desequilibrio eléctrico del suministro.</p> <p>Fusible quemado, aparato de control defectuoso, etc.</p>	<p>Medir la carga con el amperímetro. Reducir la carga.</p> <p>Comprobar si existe desequilibrio del voltaje o si el motor trabaja con una sola fase.</p> <p>Ver si existe desequilibrio por algún circuito abierto en las líneas o circuitos internos del aparato de control.</p>

Anormalidad	Causa	Remedio
	Ventilación defectuosa.	Limpiar los conductos de ventilación y los devanados.
	Voltaje y frecuencia inadecuados.	Comprobar los datos de la placa de características con los de la línea de alimentación. Comprobar también el voltaje en los bornes del motor durante la marcha a plena carga.
	Motor parado por la máquina impulsada por cojinetes demasiado apretados.	Desconectar el motor de la línea de alimentación. Comprobar también la causa de la parada de la máquina impulsada.
	Devanado del estator en cortocircuito.	Comprobar si esto ocurre, midiendo y comparando las resistencias de los otros devanados con las de los defectuosos.
	Devanado del estator a tierra.	Comprobarlo con el Megger
	Conexiones flojas en los devanados del rotor.	Apretarlas si fuera posible, o rebobinar el rotor.
	Correa demasiado templada.	Eliminar la presión excesiva de los cojinetes.
Recalentamiento de los cojinetes	Empleo del motor para servicio de rápida inversión de la rotación.	Reemplazar el motor por otro apropiado para este servicio.
	Escudos laterales flojos o mal montados.	Ver si los escudos ajustan perpendicularmente y están bien apretados.

Anormalidad	Causa	Remedio
Cojinetes de deslizamiento	Exceso de la tensión de la correa o empuje lateral del engranaje.	Reducir la tensión de la correa o la presión del engranaje y alinear los ejes. Evitar la transmisión del empuje al cojinete.
	Eje torcido.	Enderezar el eje.
	Insuficiente aceite.	Añadir aceite. Si el nivel estuviera muy bajo, vaciarlo, limpiar el depósito de aceite y volver a llenarlo.
	El aceite contiene materias extrañas o es de mala calidad.	Vaciar el aceite, limpiar el depósito y volverlo a llenar, con un lubricante industrial de confianza.
	Los anillos de lubricación no giran o giran muy lentamente.	Aceite demasiado espeso. Vaciar el depósito y volver a llenarlo con el adecuado. El anillo de lubricación tiene algún punto desgastado. Instalar un anillo nuevo.
	Motor demasiado inclinado.	Nivelar o reducir la inclinación y realinear el motor si fuera necesario.
	Anillos torcidos o deteriorados al montarlos.	Reemplazarlos.
	Anillo fuera de su ranura (sujetador del anillo fuera de su sitio).	Ajustarlo o colocar el sujetador.
Empuje axial debido a inclinación del motor.	Nivelar el motor, reducir el empuje o emplear un motor adecuado para el caso.	

Anormalidad	Causa	Remedio
Cojinete de bolas	Cojinetes defectuosos o eje áspero.	Reemplazar los cojinetes. Alisar el eje.
	Grasa excesiva.	Quitar el tapón de descarga y poner el motor en marcha. Si el exceso de grasa no saliese, enjuagar con aceite ligero y volver a lubricar.
	Clase de grasa inadecuada.	Sustituirla por grasa apropiada.
	Grasa insuficiente.	Quitar el tapón de descarga y añadir grasa al cojinete por el tapón de llenado.
	La grasa contiene materias extrañas.	Lavar los cojinetes con aceite ligero y volver a engrasarlos; comprobar que la grasa esté limpia (mantener la tapa tapada cuando no se usa).
	Cojinetes desalineados.	Alinear el motor y revisar el montaje de la caja del cojinete. Ver si los anillos de guía están exactamente en ángulo recto con el eje.
El motor marcha a baja velocidad con la resistencia externa desconectada. (Motores con rotor devanado).	Cojinetes deteriorados.	Reemplazar los cojinetes.
	Los cables de conexión al aparato de control son de diámetro insuficiente.	Emplear conductores de sección mayor.



Anormalidad	Causa	Remedio
	Aparato de control situado demasiado lejos del motor.	Acercar el aparato de control.
	Circuito abierto en el rotor o en el cable de conexión al aparato de control.	Comprobar con el ohmímetro y corregirlo.
	Las escobillas chispean.	Asentarlas y ajustarlas correctamente.
	Suciedad entre las escobillas y los anillos.	Limpiar los anillos y las escobillas.
	Escobillas trabadas en los porta-escobillas.	Emplear escobillas de tamaño adecuado.
	Ajuste inadecuado de la tensión de escobillas.	Comprobar el ajuste y corregirlo.
	Anillos colectores ásperos.	Limarlos, pulirlos o tornearlos.
	Anillos excéntricos.	Tornearlos o redondearlos.
	Vibración excesiva.	Equilibrar el rotor.
	Excesiva densidad de corriente en las escobillas (sobrecarga).	Reducir la carga (si las escobillas hubiesen sido reemplazadas, comprobar que son de la misma clase que las suministradas con el motor).



## ANEXO VIII TEMPERATURA EN LOS MOTORES ELECTRICOS

En los motores, como en toda máquina eléctrica, se producen pérdidas por efecto joule que se traducen en aumento en la temperatura de la máquina sobre la temperatura ambiente.

Otra fuente de calor la constituye también los rozamientos mecánicos del eje con las chumaceras de apoyo.

El aumento de temperatura por efecto de las pérdidas eléctricas está prácticamente ligado a las condiciones de servicio del motor.

Estas temperaturas son consideradas como normales, operando el motor a plena carga. El sistema de ventilación forzada en los motores de tipo abierto y la radiación de la carcasa metálica en los de tipo cerrado, eliminan el exceso de calor y la temperatura se mantiene así dentro de los límites fijados. Las variaciones de la temperatura ambiente influyen directamente sobre la temperatura de funcionamiento del motor. La posición del motor sobre el nivel del mar influye también sobre la temperatura; pero esto se hace sentir más en los motores de tipo abierto que en los de tipo cerrado.

Los materiales aislantes modernos y los nuevos métodos de construcción, permiten que la temperatura del motor pueda llegar, en condiciones normales de funcionamiento, hasta

valores muy altos. En la tabla 1 se muestran los límites de sobretemperatura y los procedimientos de medición. La temperatura límite admisible no debe sobrepasarse, pues peligrarían el aislamiento y la seguridad de servicio del motor, acortando su expectativa de vida.

Existe un conjunto de factores que reducen considerablemente la expectativa de vida de los motores y, cuya incidencia frecuente, muchas veces determina el colapso prematuro de ellos. A continuación se indican dichos factores:

**a) Temperatura de trabajo superior a las consideradas durante el diseño de los motores.**

**b) Ventilación restringida.**

Esta condición determina que el volumen de aire para la refrigeración esté por debajo de los niveles previstos y, por lo tanto, originará una sobretemperatura relativa en los arrollamientos.

**c) Tensión excediendo los límites de variación  $\pm 10\%$ .**

Debe tenerse presente que los motores son diseñados según normas NEMA o IEC, y en ambas se indica que los motores trabajarán satisfactoriamente con  $\pm 10\%$  de variación de voltaje a frecuencia nominal, no garantizándose funcionamiento óptimo para variaciones superiores o inferiores a las ya indicadas.

**d) Frecuencia excediendo los límites de variación de  $\pm 5\%$**

Aquí también es bueno acotar que son las normas las que colocan estos límites de variación.

Una frecuencia mayor implica una mayor velocidad y, por

lo tanto, un desgaste excesivo de las partes móviles (rodamientos, etc.).

Una frecuencia menor origina un aumento de flujo, y esto puede conducir a una saturación del núcleo, la que a su vez conlleva a mayores pérdidas en el fierro.

**e) Velocidad diferente a la normal.**

**f) Corriente superior al valor nominal.**

Aumentan las pérdidas en el cobre, ya que ellos dependen del cuadrado de la corriente.

**g) Tensiones de Alimentación desbalanceadas.**

Según las normas NEMA, el desbalance de las tensiones no deben superar el 1%. Cuando dicho desbalance aumenta, el calentamiento también aumentará en aproximadamente dos veces el cuadrado del porcentaje del desbalance.

**h) Arranques frecuentes.**

Cuando un motor es sometido a frecuentes arranques en un corto período de tiempo, la temperatura del bobinado aumentará y, por lo tanto, disminuirá su expectativa de vida.

**i) Esfuerzos mecánicos anormales.**

Ellos se originan regularmente cuando hay vibraciones, roces del rotor y estator o golpes en el bobinado.

**j) Medio ambiente agresivo.**

No siempre se puede hacer operar una máquina en condiciones ambientales favorables, porque a veces ocurre que las plantas industriales están ubicadas en zonas geográficas cuyos niveles de humedad, temperatura ambiente, polvo, etc., deben conducir a tomar las precauciones del

caso, con el fin de preservar la vida de nuestros motores.

**k) Altitudes mayores de 1000 metros sobre el nivel del mar.**

Para alturas mayores, la temperatura del motor irá aumentando aproximadamente en 1% por cada 100 metros.

TABLA 1

LIMITES DE SOBRETENPERATURA Y PROCEDIMIENTOS DE MEDICION

Part. 1 Límites de sobretemperatura		Arrollamientos con aislamiento según clase					
		A	E	B	F	H	C
Todos los devanados (1) (a excepción de los devanados de campo, por capas)		60 grd	75 grd	80 grd	100 grd	125 grd	Solamente limitados por la influencia de partes aislantes próximas.
Arrollamientos de campo de una sola capa en general.		65 grd	80 grd	90 grd	100 grd	125 grd	
Núcleos y otras piezas que no estén en contacto directo con el devanado.		La temperatura de estas piezas no deberá poner en peligro los arrollamientos próximos y otras partes.					
Núcleo de hierro con arrollamientos embutidos.		Como los arrollamientos.					
Colectores de delgas	Mediciones efectuadas con termómetro de dilatación.	60 grd					
	Mediciones efectuadas con termómetro eléctrico.	70 grd					
Cojinetes	Rodamientos y cojinetes de deslizamiento con grasas usuales	45 grd					
	Rodamientos con grasas 2) especiales, goteo no inferior a 160 °C	55 grd					
Todas las partes restantes		Solamente limitadas por la influencia de piezas aislantes próximas.					
1) Para los límites de sobretemperatura de los arrollamientos con tensiones nominales superiores a 15 KV rigen acuerdos especiales 2) Distintivo especial necesario en la placa de características de la máquina (véase VDE 0530, art 69o).							
Parte 2 Procedimiento de medición							
Todos los arrollamientos a excepción de los que permanentemente están en circuito corto.				Aumento de la resistencia y termómetro			

Arrollamientos en circuito corto permanentes y todas las partes restantes.		Termómetro		
Devanados de estator de máquinas de corriente alterna con potencias nominales superiores a 5 WVA o con longitudes de núcleo de hierro mayores de 1 m.		Termómetros eléctricos incorporados		
Temperatura máxima del aire de refrigeración dependiente de la altura del lugar.				
Altura sobre el nivel del mar en m (NM)	0...1000	mas de 1000...2000	mas de 2000...3000	mas de 3000...4000
Temperatura máxima del aire de refrigeración °C	40	35	30	25

ANEXO IX  
BALANCEO DINAMICO DE UN ROTOR DE  
MAQUINA ELECTRICA

Las máquinas eléctricas rotativas de cierta potencia o de débil potencia, pero que giran a gran velocidad, deben tener su rotor perfectamente balanceado, a fin de evitar vibraciones perjudiciales para la buena marcha y para la conservación de los aislantes.

Las máquinas nuevas se encuentran perfectamente balanceadas; pero después de una reparación, de una modificación o de un desmontaje, se pueden observar, a la puesta en marcha, vibraciones desconocidas previamente. Generalmente son debidas a un mal balanceo del rotor después de la reparación. Es indispensable entonces proceder a un nuevo balanceo. Se trata aquí del balanceo dinámico, puesto que nos encontramos en presencia de un cilindro y no de un disco de débil espesor.

El método descrito a continuación permite obtener un resultado preciso, utilizando una máquina especial.

**1. Máquina para el balanceo dinámico de rotores**

Para el balanceo dinámico es conveniente utilizar una máquina de resonancia, tal como la que se muestra en la figura 1. Esta máquina está constituida por las siguientes partes:

Dos apoyos soldados (1).



- Placas de apoyo (9).
- Cabezas de equilibrio.
- Indicador de aguja (3).
- Motor de accionamiento (5).
- Acoplamiento (4).

Las cabezas de equilibrio están constituidas por: rodamientos (8), segmentos (6) Las cabezas pueden sujetarse inmóvilmente mediante tornillos (7), o pueden balancear libremente sobre los segmentos.

El rotor a balancear (2) empieza a girar impulsado por el motor de accionamiento (5); los cuales se encuentran unidos mediante el acoplamiento (4).

## 2. Procedimiento

El balanceo dinámico de los rotores comprende dos operaciones:

- Medición del valor inicial de vibración que brinda una idea acerca del desequilibrio de las masas del rotor.
- Determinación del punto de instalación y de la masa de la carga de equilibrio para uno de los extremos del rotor. Durante la primera operación, las cabezas de la máquina son sujetadas mediante los tornillos. El rotor se hace girar mediante el motor de accionamiento, desconectándose el acoplamiento, y es liberada una de las cabezas de la máquina. La cabeza liberada se balancea bajo la acción de la fuerza centrífuga del desequilibrio radialmente dirigida, lo que permite medir la amplitud de la fluctuación de la cabeza mediante el indicador de aguja. Lo mismo se realiza para la segunda cabeza.

La segunda operación se efectúa al utilizar el llamado método de "rodeo de la carga". La periferia de ambos lados del rotor se dividen en seis partes iguales; en cada punto se sujeta consecutivamente una carga de prueba, la que debe ser inferior con respecto al desequilibrio supuesto. Luego, utilizando el procedimiento ya descrito, se miden las fluctuaciones de la cabeza para cada posición de la carga. Entonces, aquel punto en el cual la amplitud de fluctuaciones es mínima, será el lugar más ventajoso para colocar la carga. Una vez terminado el balanceo de un lado del rotor, del mismo modo se balancea el segundo lado.

Una vez terminado el balanceo del rotor, las cargas instaladas sobre el mismo provisionalmente, se fijan rígidamente, mediante tornillos o soldadura. Si estas cargas no están bien fijadas, durante el funcionamiento de la máquina, pueden separarse del rotor, provocando una avería o un accidente.

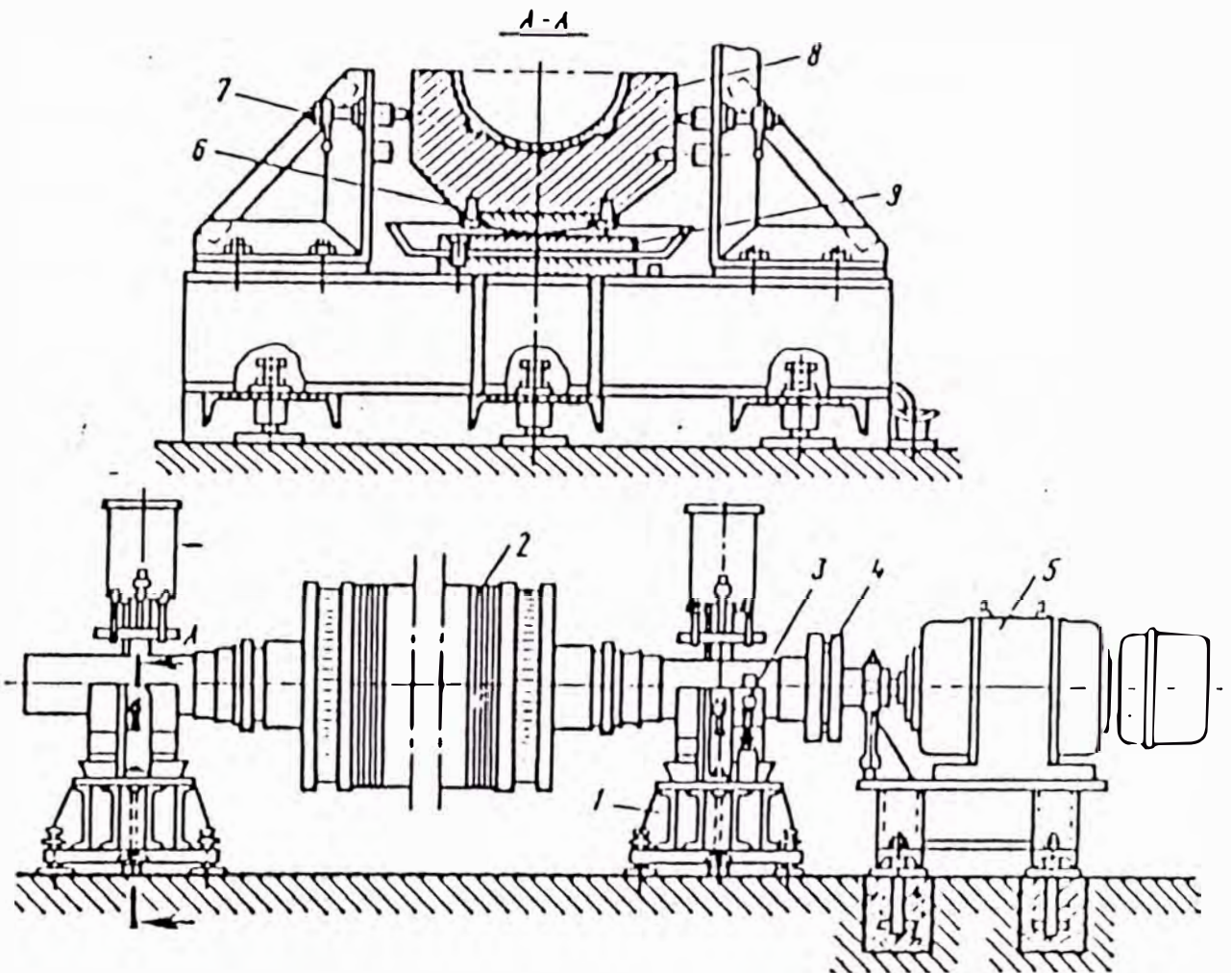


Figura 1

Máquina para el balanceo dinámico de rotores

- |                           |                      |
|---------------------------|----------------------|
| 1. Apoyo                  | 2. Rotor a balancear |
| 3. Indicador de aguja     | 4. Acoplamiento      |
| 5. Motor de accionamiento | 6. Segmento          |
| 7. Tornillos de apriete   | 8. Rodamiento        |
| 9. Plancha                |                      |

## ANEXO X RODAMIENTOS

Los rodamientos son uno de los elementos de máquina relativamente robustos y de larga duración, especialmente si están montados correctamente y se cuidan bien. El manejo correcto en el montaje y desmontaje no implica nada extraordinario, exigiéndose solamente limpieza, precisión y atención. El mantenimiento de los rodamientos significa, en pocas palabras, protegerlos de suciedad y humedad y vigilar que estén bien lubricados. La eficacia de la protección depende de la configuración de la disposición, del estado de las obturaciones y del lubricante. La buena lubricación depende del lubricante empleado y de la forma en que se emplea.

A continuación se indican algunas instrucciones y recomendaciones sobre la lubricación de los rodamientos; asimismo, se señalan sus diversas averías y sus probables causas.

### **1. Averías y sus causas**

Cuando un rodamiento se estropea, se debe siempre procurar averiguar el motivo y tratar de eliminarlo. A continuación se indican las averías y sus causas más corrientes:

#### **- Defectos de montaje.**

Si el rodamiento se monta mal puede sufrir precargas

axiales o radiales, las cuales producen averías en el camino de rodadura del aro exterior, así como también en el aro interior.

**- Lubricación defectuosa.**

Por regla general, cuando un rodamiento se encuentra mal lubricado, se rompe primero la jaula, con lo que una bola o un rodillo fácilmente queda acuñado y se produce la avería total del rodamiento. También puede ocurrir que el rodamiento se caliente por funcionar con falta de lubricante.

**- Impurezas en el rodamiento.**

Si en el rodamiento penetran impurezas en forma de partículas sólidas, éstas ocasionan huellas de presión en los caminos de rodadura y elementos rodantes, con posible descascarillado en forma de escamas.

**- Agua en el rodamiento.**

Los rodamientos son sensibles a la acción del agua, especialmente del agua salada. El agua produce corrosión en los rodamientos.

**- Defecto de forma en el soporte o eje.**

Falta de redondez del alojamiento del rodamiento en el soporte, o de su asiento sobre el eje, puede dar lugar a avería del rodamiento. En tales casos se producen, a menudo, los desperfectos en dos puntos opuestos.

**- Daños por vibración.**

En máquinas sometidas a vibraciones pueden originarse daños en rodamientos parados, debido a que los elementos rodantes rozan contra los caminos de rodadura al compás de

las vibraciones.

**- Paso de la corriente eléctrica.**

Aunque la diferencia de potencial entre el eje y el soporte sea baja (0.4 voltios), puede producirse una descarga de corriente a través de la delgada película de lubricante entre los elementos rodantes y los caminos de rodadura. El resultado es un número de cráteres por quemadura o zonas estriadas. Daños de esta clase pueden originarse, por ejemplo, por mal contacto con tierra al efectuar trabajos de soldadura en la máquina.

**- Fatiga del material.**

El motivo de que se presenten descascarillados por fatiga puede, a veces, ser simplemente porque el rodamiento ha alcanzado su duración efectiva. Esta sobrepasa generalmente en forma apreciable la duración nominal calculada.

## **2. Instrucciones de lubricación**

Todos los rodamientos pueden lubricarse o bien con grasa o bien con aceite. Los rodamientos axiales de rodillos a rótula exigen, normalmente, lubricación por aceite; grasa puede usarse solamente a muy bajas velocidades. En cuanto a los rodamientos estancos, o sea rodamientos con placas de protección o de obturación, se llenan de grasa en el momento de fabricación y no necesitan por tanto relubricarse nunca.

Determinante para la elección de lubricante es, en primer lugar, el campo de temperaturas y la velocidad a la que trabaja el rodamiento. En condiciones normales de

funcionamiento se puede, generalmente, emplear grasa, la cual se mantiene más fácilmente en el rodamiento en comparación con el aceite; la grasa contribuye también a proteger el rodamiento contra la humedad e impurezas. La lubricación con aceite se emplea comúnmente cuando las temperaturas de funcionamiento o las velocidades son elevadas, cuando interesa disipar calor y cuando los elementos contiguos de la máquina están lubricados por aceite. En las tablas de rodamientos se especifican los límites de velocidad que rigen para lubricación por grasa y aceite respectivamente.

### **2.1 Lubricación por grasa**

Las grasas lubricantes son aceites espesados con diversas sustancias, generalmente jabones metálicos. En la elección de la clase de grasa es necesario tener en cuenta su consistencia, la región de temperaturas en la cual puede usarse la grasa y su acción anticorrosiva en presencia de agua.

De no tener otras instrucciones, puede utilizarse el diagrama de la figura 1, basado en lubricación con una grasa de calidad media resistente al envejecimiento, para determinar el intervalo apropiado de relubricación, expresado en horas de servicio. Este diagrama es válido para rodamientos en máquinas estacionarias, a carga normal y a temperaturas de los rodamientos, tomadas sobre el aro exterior, de hasta + 70°C.

Si se carece de información sobre la cantidad necesaria de grasa para la relubricación, puede calcularse mediante



la fórmula:

$$G = 0.005 D B$$

G = Cantidad de grasa en gramos.

D = Diámetro exterior del rodamiento en milímetros.

B = Ancho del rodamiento en milímetros.

## 2.2 Lubricación por aceite

Deben emplearse aceites minerales refinados. A temperatura de funcionamiento por encima de +125°C se recomiendan aceites sintéticos del tipo poliglicol. Normalmente deben emplearse aceites con índice de viscosidad mediano o alto.

A elevado número de revoluciones debe elegirse un aceite ligero, ya que de lo contrario se produce un exceso de temperatura en el rodamiento. A bajas velocidades se emplea en cambio un aceite muy denso para conseguir una película de aceite suficientemente gruesa.

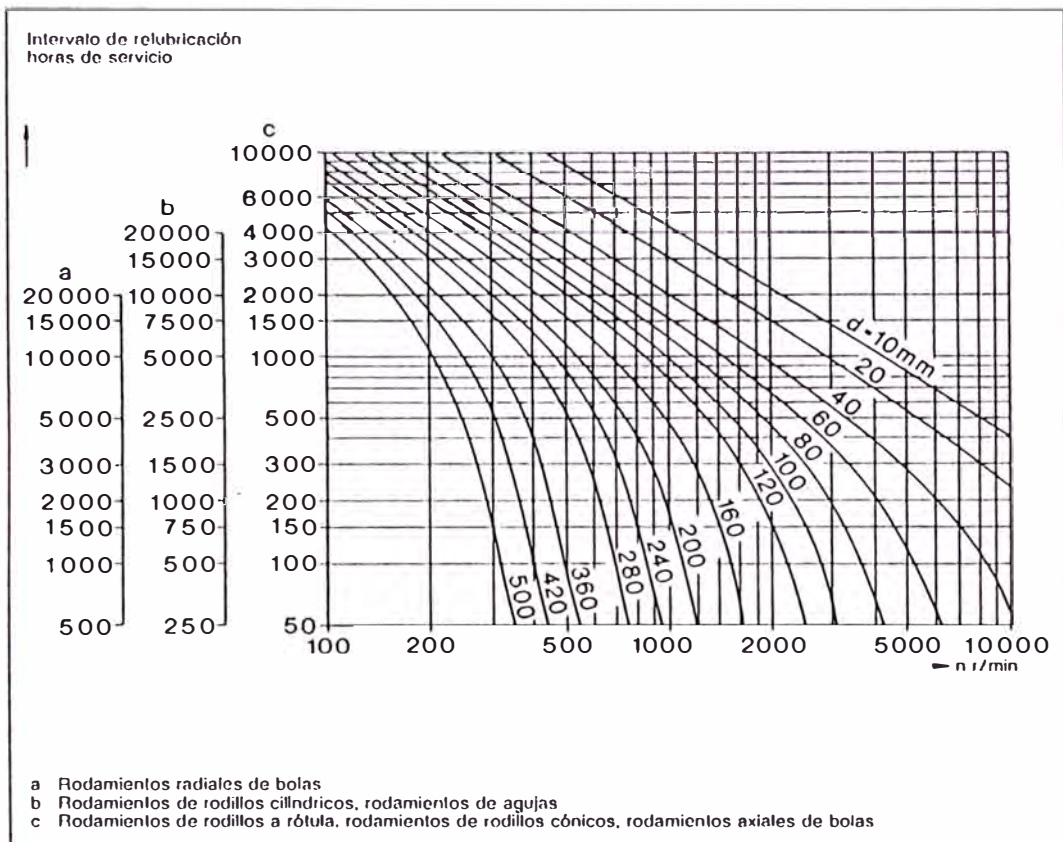


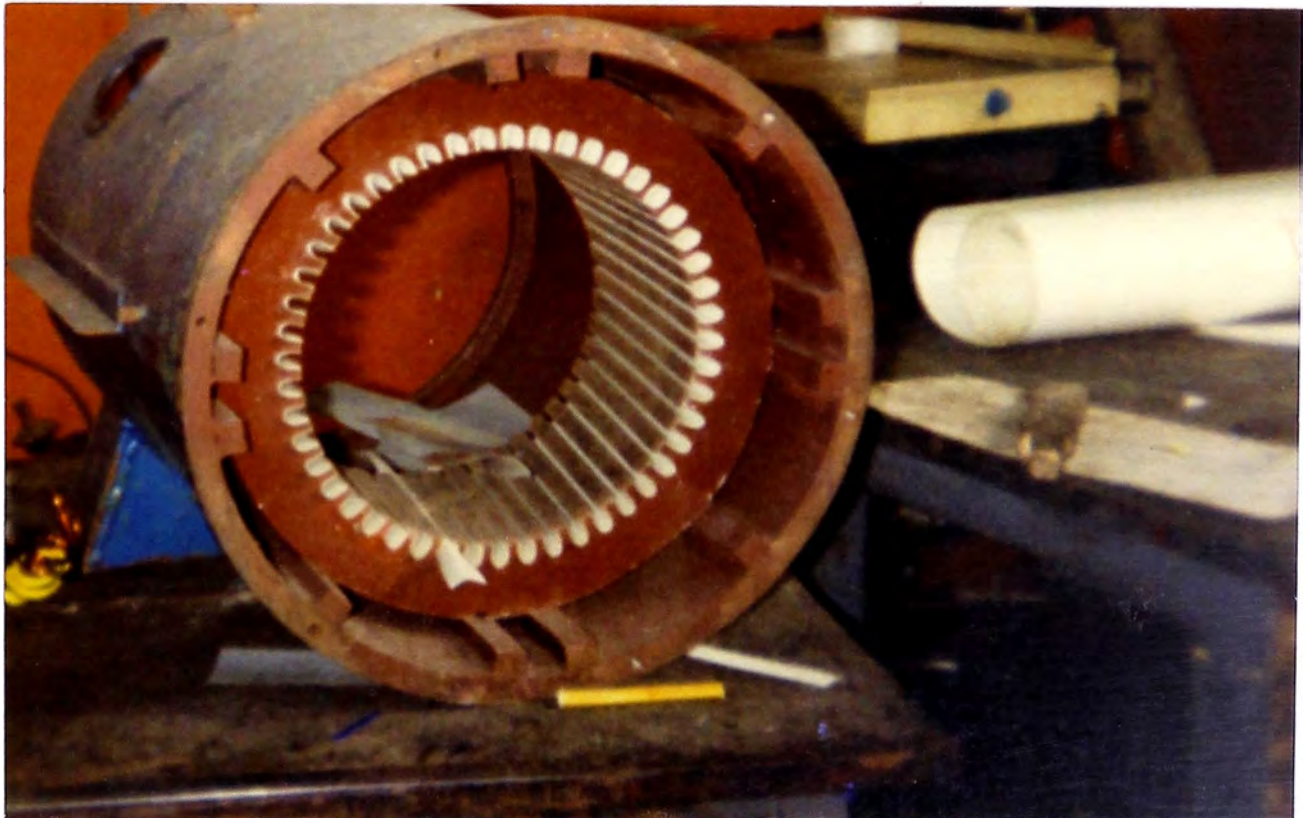
Figura 1  
Diagrama para determinar el intervalo de relubricación

**ANEXO XI**

**VISTAS FOTOGRAFICAS DE ALGUNAS AVERIAS Y SECUENCIAS  
DE TRABAJO DURANTE LA REPARACION**

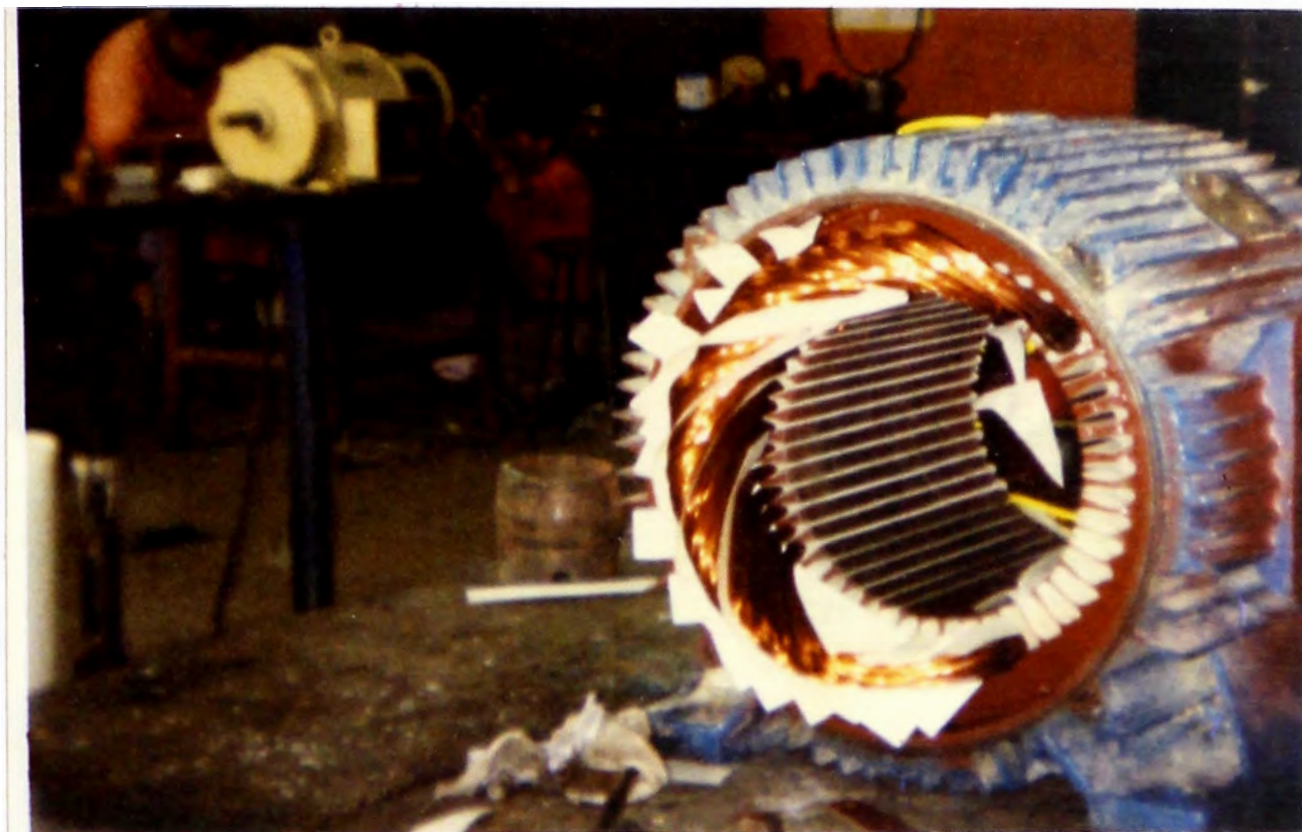


Preparación de bobinas

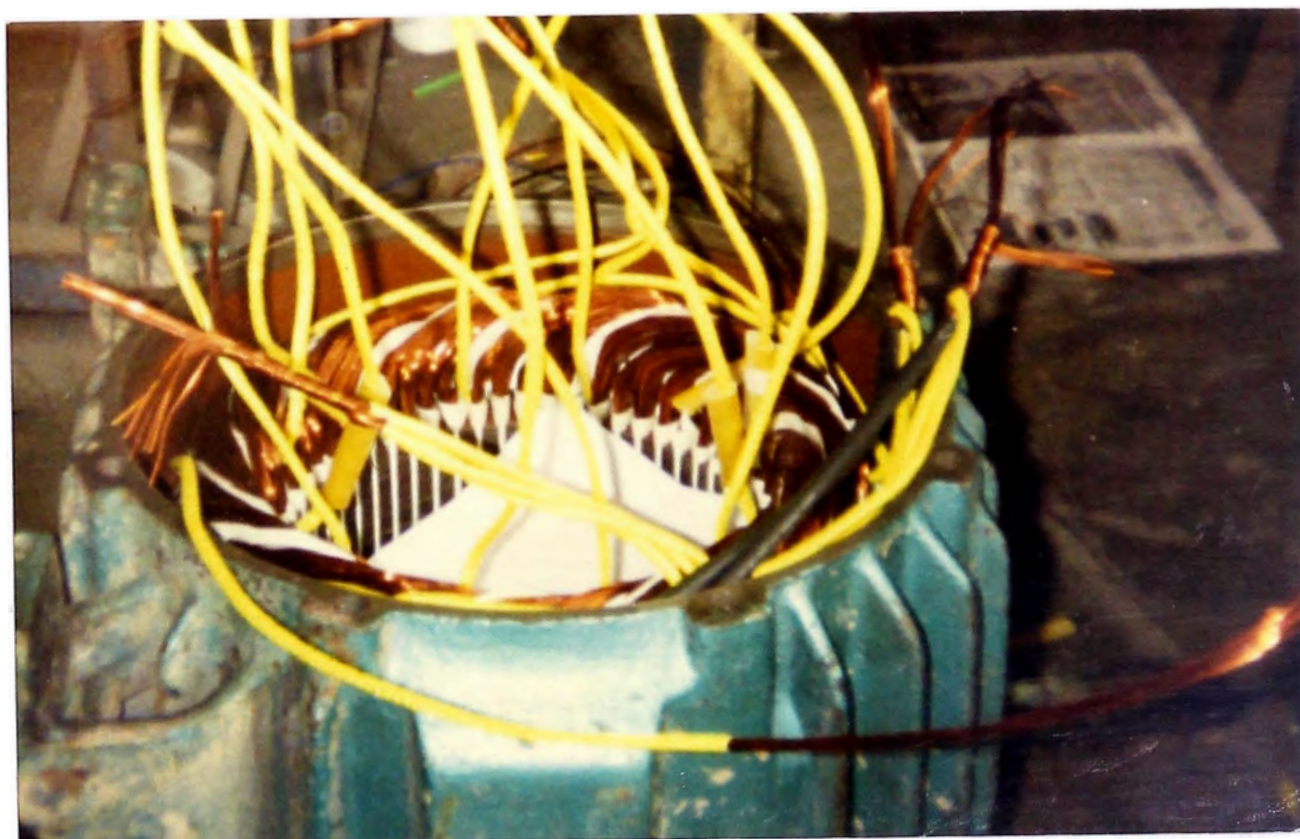


Aislamiento de las ranuras



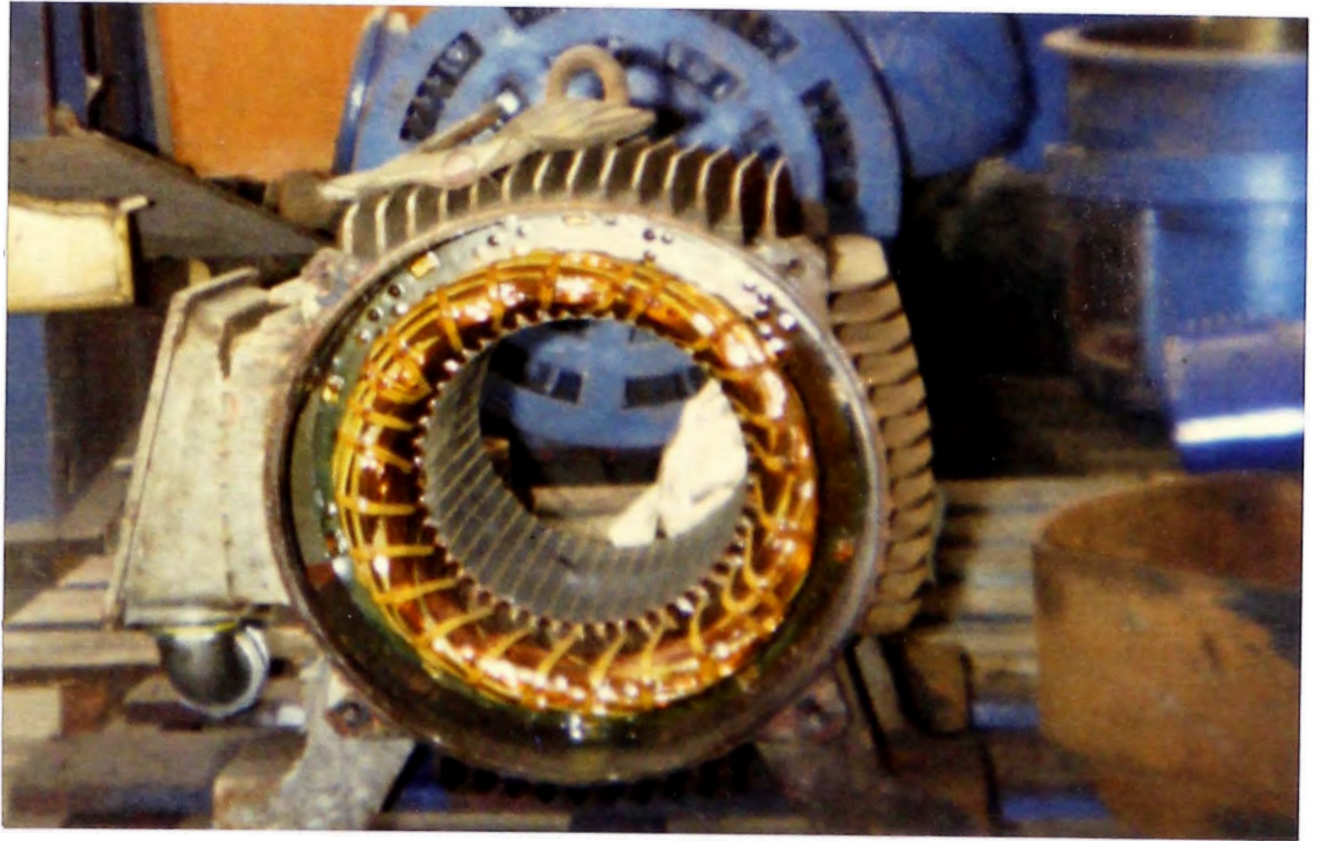


Colocación de bobinas

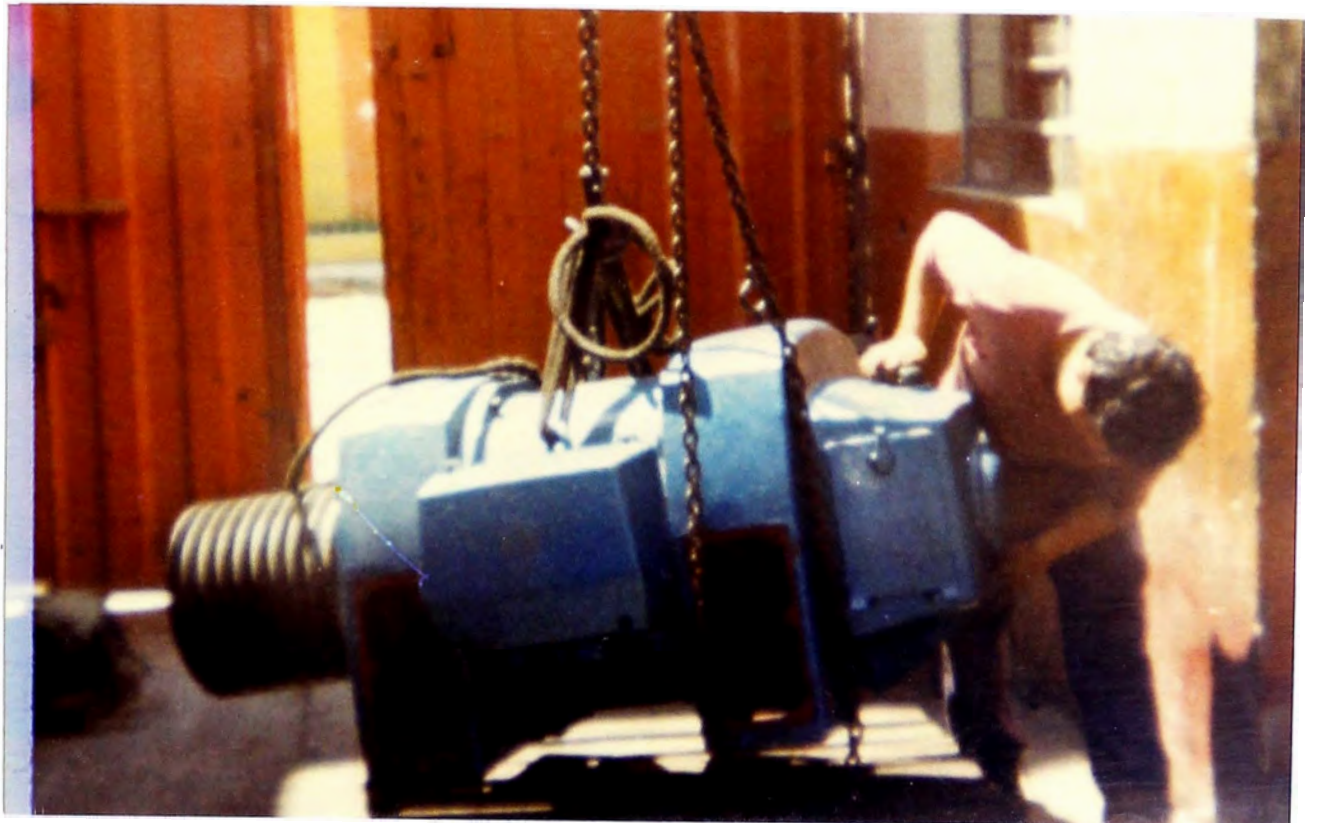


Conexiones





Devanado estático terminado

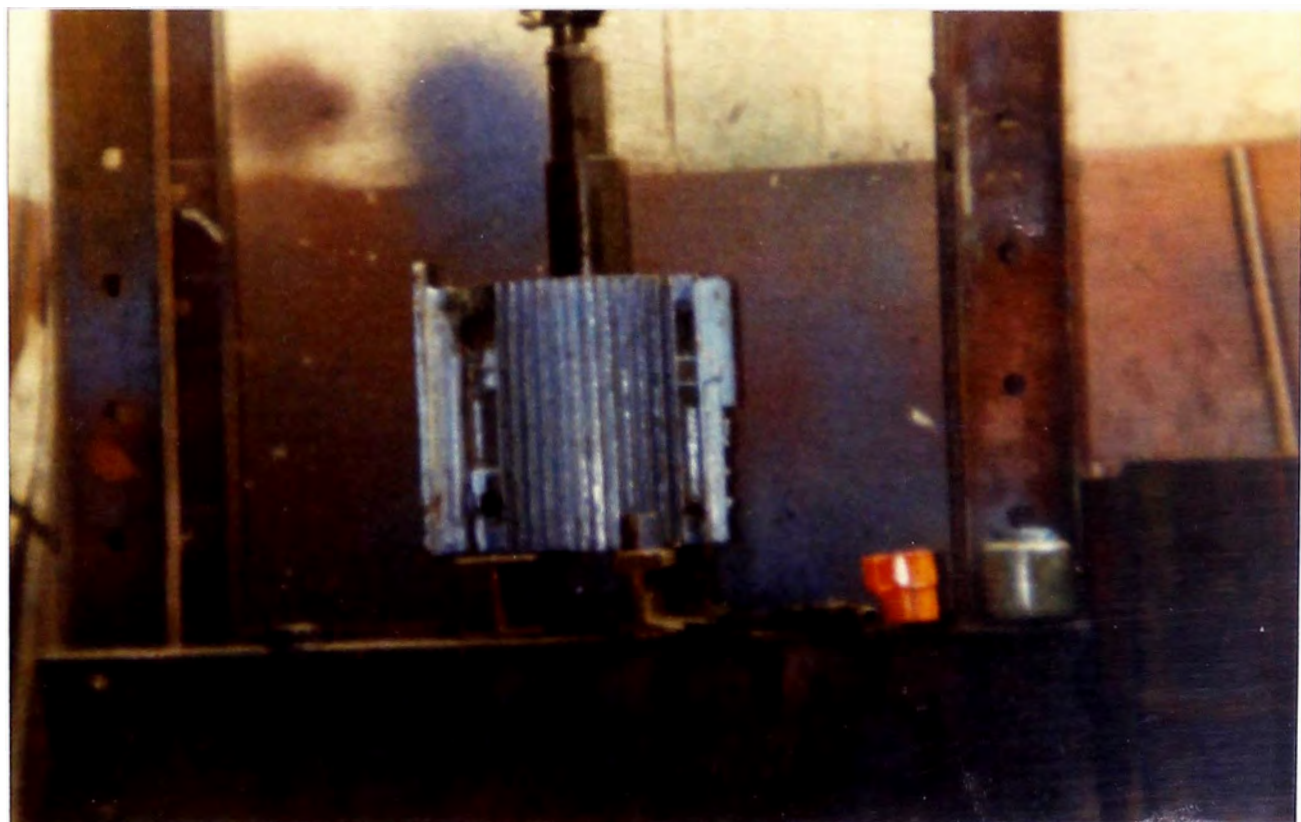


Motor reparado





Núcleo magnético averiado (cortocircuitado)

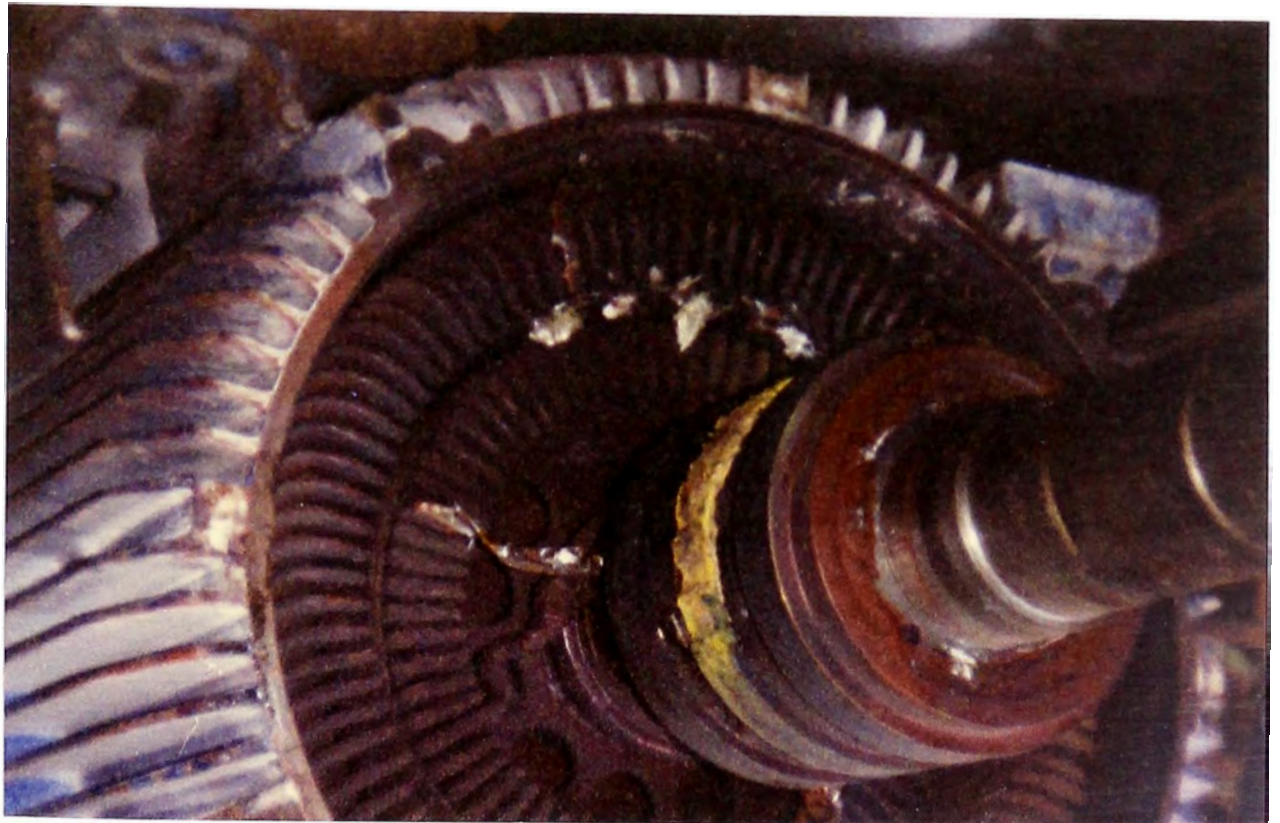


Núcleo magnético prensado después de aislar las chapas magnéticas





Eje averiado



Anillos rozantes averiados

## BIBLIOGRAFIA

- [1]. "Máquinas de Corriente Alterna", Michael Liwschitz - Garrik, Clyde C. Whipple, 1976.
- [2]. "Reparación de Motores Eléctricos", Robert Rosenberg.
- [3]. "Manual del Electricista en trabajos de devanado y aislamiento", N. M. Perelmuter, 1983
- [4]. "Cálculo industrial de Máquinas Eléctricas", tomo II. Juan Corrales Martín, 1976
- [5]. "Manual Práctico de medidas eléctricas y de ensayos de Máquinas", M. Lafosse, 1965
- [6]. "Consejos para la utilización de Motores Eléctricos", Ing. Antonio Ferreccio Nosiglia, 1978, UNI.
- [7]. "Máquinas Eléctricas", Ing. G. Donizetti, 1962, UNI.
- [8]. "Metodología para el Cálculo del rebobinado de motores asíncronos". Tesis, Luis Alberto Salcedo Cabezas, U.N. San Luis Gonzaga de Ica.
- [9]. "Manual de puesta en servicio y mantenimiento de motores eléctricos". Construcciones Electromecánicas DELCROSA S.A.
- [10]. "Manual de mantenimiento y recambio de rodamientos". SKF, 1986.

- [11]. "Máquinas eléctricas en la industria". Seminario profesional UNI, 1985.
- [12]. Materiales aislantes eléctricos, SUMILEC S.A.
- [13]. Materiales aislantes eléctricos, TEINSER S.A. Grupo Isovolta. Austria.
- [14]. Tablas, formatos y datos estadísticos de la Compañía REYSEL S.A.