

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA



**Propuesta nacional de estándar para la reparación  
y rebobinado de motores eléctricos.**

PRESENTADO POR:

**LUIS EDGARDO FLORES LÓPEZ**

**RUBEN AUGUSTO PORTILLO SALAZAR**

PARA OPTAR AL TITULO DE:

**INGENIERO ELECTRICISTA**

CIUDAD UNIVERSITARIA, SEPTIEMBRE 2013

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR :**

**ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO**

**SECRETARIA GENERAL :**

**DRA. ANA LETICIA ZAVALA DE AMAYA**

**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**

**DECANO :**

**ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL**

**SECRETARIO :**

**ING. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA**

**DIRECTOR :**

**ING. JOSÉ WILBER CALDERÓN URRUTIA**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO ELECTRICISTA**

Título :

**Propuesta nacional de estándar para la reparación  
y rebobinado de motores eléctricos.**

Presentado por :

**LUIS EDGARDO FLORES LÓPEZ**

**RUBEN AUGUSTO PORTILLO SALAZAR**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Director :

**ING. ARMANDO MARTÍNEZ CALDERÓN**

San Salvador, Septiembre 2013

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Director :

**ING. ARMANDO MARTÍNEZ CALDERÓN**

## ACTA DE CONSTANCIA DE NOTA Y DEFENSA FINAL

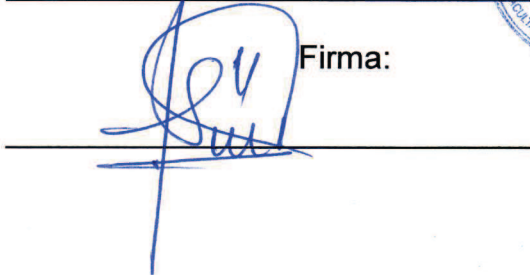
En esta fecha, 16 de agosto de 2013, en la Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a las 5:30 horas, en presencia de las siguientes autoridades de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador:

1. Ing. José Wilber Calderón Urrutia  
Director

Firma: 



2. Ing. Salvador de Jesús Germán  
Secretario

Firma: 

Y, con el Honorable Jurado de Evaluación integrado por las personas siguientes:

1- Ing. Eduin Ruyé Mendoza

2- Ing. René Arturo Maza

3- Ing. Carlos Osmin Pocasangre Jiménez

Firma: 

Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

### Propuesta nacional de estándar para la reparación y rebobinado de motores eléctricos.

A cargo de los Bachilleres:

- Luís Edgardo Flores López

- Rubén Augusto Portillo Salazar

Habiendo obtenido en el presente Trabajo una nota promedio de la defensa final, de:

9.6

(nueve punto seis )

## DEDICATORIA

Al término de esta etapa de mi vida, quiero expresar un profundo agradecimiento a quienes con su ayuda, apoyo y comprensión me alentaron a lograr esta hermosa realidad.

A Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizaje, experiencias y sobre todo felicidad.

Mis padres José Luis Flores y Milagro López, no tengo palabras para agradecerles todo el apoyo que me proporcionaron, gracias por no perder la fe en mí durante tantos momentos difíciles y siempre estar a mi lado, dándome ánimos para seguir adelante y no desfallecer, gracias por los valores que me han inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación, quiero decirles que esto no es solamente mi logro si no que es nuestro logro.

A mis hermanos José Edwin y José Ernesto por ser parte importante de mi vida y representar la unidad familiar, gracias por apoyarme y ayudarme en esos momentos difíciles.

Gracias Linda Carrillo por ser una parte importante en mi vida, por haberme apoyado en las buenas y en las malas, sobre todo por tu paciencia y amor incondicional.

Ingeniero Armando Calderón gracias por brindarnos la oportunidad de desarrollar nuestro trabajo de graduación, por aconsejarnos y guiarnos profesionalmente.

A Ruben Portillo y Luis Calidonio por haber sido unos excelentes compañeros y amigos, por haber tenido la paciencia necesaria y motivarme a seguir adelante, sobre todo por hacer de su familia, una familia para mí.

Y principalmente a mi abuelita Arcadia Sevillano ya que no se encuentra con nosotros físicamente, siempre estará presente en mi corazón, por haberme cuidado y creído en su último momento. ¡Ya Soy Ingeniero!.

**Luis Edgardo Flores López**

## DEDICATORIA

El presente trabajo de tesis primeramente me gustaría agradecerle a ti Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, por haberme dado la vida y una familia hermosa, porque hiciste realidad este sueño anhelado.

A mis padres Alicia Salazar y Julio Portillo, por ser los mejores padres del mundo y darme una educación con amor, por ser el mejor ejemplo de lucha y perseverancia al alcanzar sus metas. Por su comprensión y apoyo incondicional en todo momento. Sin ellos no pudiera soñar tanto como ahora.

A mis hermanos y sus familias, Carina y Fabio Portillo, por el apoyo incondicional que me brindaron, corregirme, aconsejarme, alegrarme cuando más lo necesite y sobre todo por la paciencia que tuvieron hacia mí, gracias.

A las personas que a través de sus oraciones me ayudaron a salir adelante, a Luis Flores y su familia por abrirme las puertas de su casa y darme lo mejor de ellos, infinitas bendiciones.

A todos mis amigos en especial a Pedro Monge, Ricardo Gutiérrez, Juan Quintanilla, Lester Padilla y a los hermanos surfer Pino y Amílcar, con los cuales disfrute y compartí estos momentos geniales de mi vida.

A todas aquellas personas que de alguna u otra forma me han acompañado en mis esfuerzos, y me han motivado a seguir adelante y finalizar una de mis grandes metas.

Agradecer al Ingeniero Armando Calderón por la oportunidad de desarrollar nuestro trabajo de graduación, por brindarnos su apoyo y guiarnos profesionalmente.

**Ruben Augusto Portillo Salazar**



## CONTENIDO

TEMA	PÁG.
<b>CAPITULO I INTRODUCCIÓN</b>	
1. Introducción	2
2. Objetivos	3
2.1.    Objetivo General	3
2.2.    Objetivos Específicos	3
3. Alcances	4
4. Glosario Técnico	5
5. Situación Actual	6
5.1.    Evaluación Del Impacto En La Eficiencia De Un Motor Por Medio Del Método De Deslizamiento Descrito En El IEEE Std. 739-1995, Luego De Someterse A Un Proceso De Reparación Y Rebobinado Según Estudios Realizados En El Año 2009 En El Salvador	12
5.2.    Evaluación Del Impacto En La Eficiencia De Un Motor Por Medio Del Método IEEE Std. 112-B, Luego De Someterse A Un Proceso De Reparación Y Rebobinado Según Estudios Realizados Por EASA/AEMT	17
<b>CAPITULO II Desarrollo De La Propuesta Nacional De Estándar Para La Reparación Y Rebobinado De Motores Eléctricos</b>	
1. Responsabilidades Y Actividades De Pre-Reparación	24
1.1.    Responsabilidades Del Usuario	24
1.1.1. Información Del Motor	24
1.1.2. Elección Del Taller De Reparación	24
1.2.    Responsabilidad Del Taller De Reparación	26
1.2.1. Inspección Inicial	26
1.2.2. Verificaciones Y Pruebas De Recepción	27
1.2.3. Instrucciones Y Procedimientos De Desmontaje	28
1.2.3.1. En Máquinas DC	28

<b>1.2.3.2.</b> En Máquinas AC	29
<b>1.2.4.</b> Remoción De Las Bobinas De Campo Para Rotores Síncronos.	29
<b>1.2.5.</b> Remoción De Los Polos De Campo En Máquinas Dc	30
<b>1.2.6.</b> Inspección De Los Polos Del Rotor	30
<b>1.2.7.</b> Otras Inspecciones Mecánicas	31
<b>1.3.</b> Evaluación De Daños	32
<b>1.3.1.</b> Evaluación Eléctrica	33
<b>1.3.2.</b> Evaluación Mecánica	39
<b>2.</b> Reacondicionamiento Sin Reparación De Los Daños	40
<b>3.</b> Proceso De Reparación	41
<b>3.1.</b> Taller De Reparación	41
<b>3.1.1.</b> Durante La Recepción	41
<b>3.1.2.</b> Desarmado Y Limpieza	41
<b>3.1.2.1.</b> Quemado Por Horno	41
<b>3.1.2.2.</b> Corte Por Presión De Agua	43
<b>3.1.2.3.</b> Por Medios Mecánicos	43
<b>3.1.3.</b> Reemplazo De Bobinas	43
<b>3.1.4.</b> Reemplazo De Cojinetes Y Restauración De Ajustes Y Sellos.	45
<b>3.1.5.</b> En El Rotor Y Estator	49
<b>3.1.5.1.</b> Reparaciones De Láminas Del Rotor Y Estator	49
<b>3.1.5.2.</b> Balanceo	52
<b>3.1.6.</b> Conexiones Eléctricas	55
<b>3.1.7.</b> Ajustes	56
<b>3.1.8.</b> Pintura	57
<b>3.1.9.</b> Precauciones En El Envío	57
<b>3.2.</b> Campo De Reparaciones	57
<b>4.</b> Posterior A La Reparación	58
<b>4.1.</b> Taller De Reparación	58
<b>4.1.1.</b> Usuario	58

## **CAPITULO III**

<b>Anexo 1: Armazón De Un Motor</b>	61
<b>A1.1</b> Sistema Para El Diseño De La Armazón De Un Motor	61
<b>A1.2</b> numeración De La Armazón:	61
<b>Anexo 2: Formulario De Recepción Para El Motor Eléctrico</b>	
<b>A2.1</b> Formulario De Recepción Para El Motor Eléctrico	64
<b>Anexo 3: Resistencia De Aislamiento</b>	
<b>A3.1</b> Teoría General	66
<b>A3.2</b> Causas De Fallo Del Aislamiento	70
<b>A3.3</b> Resistencia De Aislamiento (IR):	71
<b>A3.3.1</b> Compensación De Temperatura Para La IR:	72
<b>A3.3.2</b> Valores De La Resistencia De Aislamiento IR:	74
<b>A3.3.3</b> Factores Que Afectan La Medición De Resistencia De Aislamiento	76
<b>A3.4</b> Relación De Absorción Dieléctrica (DAR)	79
<b>A3.5</b> Índice De Polaridad (PI):	80
<b>A3.6</b> Circuito De Conexiones	82
<b>Anexo 4: Prueba De Alto Potencial (Hit-Pot)</b>	
<b>A4.1</b> Teoría General.	89
<b>A4.2</b> Condiciones A Considerar Para Realizar La Prueba Hipot	89
<b>A4.3</b> Aplicación De Alto Potencial A Devanados Nuevos.	90
<b>A4.4</b> Aplicación De Alto Potencial A Devanados Reacondicionados.	91
<b>A4.5</b> Aplicación De Alto Potencial A Embobinados No Reacondicionados.	91
<b>A4.6</b> Conexiones.	94
<b>Anexo 5: Medición De Resistencia Óhmica</b>	
<b>A5.1</b> Medición De Resistencia Óhmica A La Bobina De Campo Y A Él Devanado De Un Motor Eléctrico	96
<b>Anexo 6: Prueba De Impulso (Test Surge)</b>	
<b>A6</b> Prueba De Impulso (Test Surge) Para Motores Form Wound	101
<b>A6.1</b> Teoría De La Prueba Impulso (Surge Test)	102
<b>A6.2</b> Procedimiento De Prueba.	106

<b>A6.2.1</b>	Secuencia De La Prueba:	106	
<b>A6.2.2</b>	Condiciones De Prueba.	108	
<b>A6.2.3</b>	Niveles De Tensión Del Impulso Para Bobinas Nuevas.	108	
<b>A6.3</b>	Conexiones Para La Prueba De Impulso	110	
<b>Anexo 7: Medición De Las Pérdidas En El Núcleo</b>			
<b>A7</b>	Medición De Las Pérdidas En El Núcleo	114	
<b>A7.1</b>	Prueba Al Núcleo Por Medio Del Método De Loop-Test	114	
<b>Anexo 8: Causas típicas de fallas en devanados</b>			121
<b>Anexo 9: Prueba Growler</b>			
<b>A9.</b>	Prueba Growler	126	
<b>A9.1.</b>	Generalidades	126	
<b>A9.2.</b>	Aplicación De La Prueba Growler	126	
<b>Anexo 10: Vibración De Máquinas Rotativas</b>			
<b>A10.1.</b>	Vibración De Máquinas Rotativas	129	
<b>A10.2.</b>	Mediciones.	129	
<b>A10.2.1.</b>	Vibración En La Superficie De Los Cojinetes.	129	
<b>A10.2.2.</b>	Vibración Relativa Del Eje.	129	
<b>A10.3.</b>	Equipo Para La Toma De Medidas.	129	
<b>A10.4.</b>	Montaje De La Maquina	129	
<b>A10.4.1</b>	Montaje Flexible.	130	
<b>A10.4.2</b>	Montaje Rígido	130	
<b>A10.5.</b>	Condiciones Para Ejecución De La Máquina En La Toma De Mediciones	131	
<b>A10.5.1</b>	Puntos De Medida Para Vibraciones	131	
<b>A10.5.1.1</b>	Superficie De Los Cojinetes	131	
<b>A10.5.2</b>	Eje	131	
<b>A10.5.3</b>	Condición De Operación.	132	
<b>A10.5.4</b>	Fuente De Alimentación	132	
<b>A10.5.5</b>	Velocidad De Operación	132	
<b>A10.5.6</b>	Montaje De Transductor De Vibración.	133	
<b>A10.6</b>	Límite De Vibración Para Maquinas Estándar	134	

<b>A10.7</b> Vibraciones Axiales	135
<b>A10.8</b> Límite De Vibración En El Eje	136
<b>A10.8.1</b> Límites Para Maquinas Estándar	137
<b>A10.8.2</b> Límites Para Maquinas Especiales	137

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURAS	PÁG.
<b>CAPITULO I</b>	
<b>Figura 1:</b> Porcentaje De Reducción En La Eficiencia En Motores De 75hp Por Cada Rebobinado	14
<b>Figura 2:</b> Porcentaje De Reducción En La Eficiencia En Motores De 100hp Por Cada Rebobinado	14
<b>Figura 3:</b> Porcentaje De Reducción En La Eficiencia En Motores De 125hp Por Cada Rebobinado	15
<b>Figura 4:</b> Porcentaje De Reducción En La Eficiencia En Motores De 150hp Por Cada Rebobinado	15
<b>Figura 5:</b> Porcentaje De Reducción En La Eficiencia En Motores De 200hp Por Cada Rebobinado	16
<b>Figura 6:</b> Porcentaje De Reducción En La Eficiencia En Motores De 250hp Por Cada Rebobinado	16
<b>Figura 7:</b> Comparación En La Distribución De Perdidas En Porciento Para Los Motores En El Estudio De EASA / AEMT	20
<b>Figura 8:</b> Grupo A: Motores De Baja Tensión, Rebobinados Una Vez, Sin Especificación En El Control De Temperatura Para La Extracción Y Rebobinado	20
<b>Figura 9.</b> Grupo B: Motores De Baja Tensión, Rebobinados Una Vez, Controlando La Temperatura Para La Extracción Y Rebobinado	21
<b>Figura 10</b> Grupo C: Motores De Baja Tensión, Rebobinados Más De Una Vez,	21

Controlando La Temperatura Para La Extracción Y Rebobinado	
<b>Figura 11</b> Grupo D: Motor De Media Tensión, Rebobinado Una Vez, Controlando La Temperatura Para La Extracción Y Rebobinado	22
<b>CAPITULO II</b>	
<b>Figura 1:</b> Coeficiente De Resistencia De Aislamiento Aproximado, Reduciendo A La Mitad La Ir Por Cada 10°C De Aumento En La Temperatura.	36
<b>CAPITULO III</b>	
<b>Figura A1.1:</b> Diseño De Un Motor Según Nema	61
<b>Figura A2.1.</b> Placa De Un Motor Eléctrico	65
<b>Figura A3.1:</b> Circuito Equivalente Que Muestra Las Cuatro Corrientes Monitoreadas Durante La Prueba De Resistencia De Aislamiento	67
<b>Figura A3.2:</b> Los Tipos De Corrientes Para Un Aislamiento Epoxi-Mica Con Una Corriente De Fuga Superficial Relativamente Baja	69
<b>Figura A3.3:</b> Coeficiente De Resistencia De Aislamiento Aproximado, Reduciendo A La Mitad La IR Por Cada 10°C De Aumento En La Temperatura.	73
<b>Figura A3.4:</b> Mediciones De Resistencia De Aislamiento A 5 Kv DC Para La Misma Máquina Antes Con Un Aislamiento De Asfáltico-Mica Y Después Con Un Aislamiento Epoxi-Mica	80
<b>Figura A3.5:</b> Pruebas En Generador O Motor Síncrono, Sin Utilizar La Guarda.	84
<b>Figura A3.6:</b> Pruebas En Generador O Motor Síncrono, Utilizando Guarda.	85
<b>Figura A3.7:</b> Pruebas En Generador O Motor Síncrono, Utilizando La Guarda Conectada A Tierra	85
<b>Figura A3.8:</b> Prueba En Generador O Motor De Inducción.	86
<b>Figura A3.9:</b> Pruebas En Máquinas De Corriente Directa.	86
<b>Figura A4.1:</b> Diagrama De Conexiones Para La Prueba De Alto Potencial	95
<b>Figura A5.1:</b> Circuito Del Puente Kelvin	97

<b>Figura A5.2</b> Micro-Ohmímetro	98
<b>Figura A5.3:</b> Midiendo La Resistencia Del Devanado Del Estator De Un Motor AC	99
<b>Figura A5.4:</b> Midiendo La Resistencia Del Devanado Del Rotor De Un Motor De Anillos Rozantes.	99
<b>Figura A6.1:</b> Cortocircuito De Espira A Espira	102
<b>Figura A6.2:</b> Circuito Eléctrico Con El Generador De Pulso Y Bobina Bajo Prueba.	103
<b>Figura A6.3:</b> Oscilación Amortiguada De La Prueba De Impulso	104
<b>Figura A6.4:</b> Simulación De La Prueba De Impulso En Una Bobina Que Tiene Corto De Espira A Espira.	106
<b>Figura A6.5:</b> Impulso Eléctrico Que Soporta La Bobina Bajo Prueba.	109
<b>Figura A6.6.</b> Diagrama De Conexión Para Realizar La Prueba De Resistencia Óhmica (En El Diagrama No Se Muestran Los Otros 2 Hilos Para Que La Medida Sea Más Precisa)	111
<b>Figura A6.7.</b> Diagrama De Conexión Para Realizar La Prueba De Impulso A Una Bobina	111
<b>Figura A6.8.</b> Diagrama De Conexión Para Realizar La Prueba De Impulso Para Comparar Dos Bobinas	112
<b>Figura A7.1:</b> Esquema De La Prueba Del Núcleo.	114
<b>Figura A7.2:</b> Las Líneas De Trazos Cortos (---) Representan Trayectorias De Flujo Creado Por El Devanado Del Estator. Las Líneas De Puntos (...) Ilustrar Las Trayectorias De Flujo De Un Loop-Test.	115
<b>Figura A7.3:</b> Instrumentos Para Medir La Temperatura	117
<b>Figura A7.4:</b> Imágenes Térmicas De Un Núcleo.	118
<b>Figura A8.1:</b> Devanado En Buenas Condiciones De Operación	121
<b>Figura A8.2:</b> Una Falla Monofásica En El Devanado Es El Resultado De Una Fase Abierto En La Fuente De Alimentación Del Motor. La Abertura Por Lo General Es Causada Por Un Fusible Fundido, Un Contactor Abierto, Una Línea Eléctrica Rota O Una Mala Conexión.	122

<b>Figura A8.3:</b> Una Falla Monofásica En El Devanado Es El Resultado De Una Fase Abierto En La Fuente De Alimentación Del Motor. La Abertura Por Lo General Es Causada Por Un Fusible Fundido, Un Contactor Abierto, Una Línea Eléctrica Rota O Una Mala Conexión.	122
<b>Figura A8.4:</b> Esta Es Una Típica Falla En El Aislamiento Es Causado Por Contaminantes, Abrasión Y Vibración O Picos De Tensión.	122
<b>Figura A8.5:</b> Esta Es Una Típica Falla En El Aislamiento Es Causado Por Contaminantes, Abrasión Y Vibración O Picos De Tensión.	122
<b>Figura A8.6:</b> Esta Es Una Típica Falla En El Aislamiento Es Causado Por Contaminantes, Abrasión Y Vibración O Picos De Tensión.	123
<b>Figura A8.7:</b> Esta Es Una Típica Falla En El Aislamiento Es Causado Por Contaminantes, Abrasión Y Vibración O Picos De Tensión.	123
<b>Figura A8.8:</b> Esta Es Una Típica Falla En El Aislamiento Es Causado Por Contaminantes, Abrasión Y Vibración O Picos De Tensión.	123
<b>Figura A8.9:</b> Esta Es Una Típica Falla En El Aislamiento Es Causado Por Contaminantes, Abrasión Y Vibración O Picos De Tensión.	123
<b>Figura A8.10:</b> El Deterioro Térmico Del Aislamiento En Una Fase Del Devanado Del Estator Puede Resultar En Una Desigualdad De Tensión Entre Las Fases. Tensiones Desiguales Generalmente Son Causadas Por Las Cargas Desequilibradas En La Fuente De Alimentación, Una Mala Conexión En El Terminal Del Motor, O Un Contacto De Alta Resistencia.	124
<b>Figura A8.11:</b> El Deterioro Térmico Del Aislamiento En Todas Las Fases Del Devanado Del Estator Típicamente Es Causado Por Demandas De Carga Superiores A La Capacidad Nominal Del Motor.	124
<b>Figura: A8.12:</b> Un Severo Deterioro Térmico Del Aislamiento En Todas Las Fases Del Motor, Es Normalmente Causado Por Corrientes Muy Altas En El Devanado Del Estator Debido A Una Condición De Rotor Bloqueado, También Puede Ocurrir Como Resultado De Arranques O Inversiones Excesivas.	125



<b>Figura A8.13:</b> Este Tipo De Fallos En El Aislamiento Por Lo General Son Causados Por Sobretensiones. Los Transitorios De Tensión Suelen Ser El Resultado De Los Circuitos De Conmutación De Energía, Rayos, Descargas De Condensadores Y Dispositivos Eléctricos De Estado Sólido.	125
<b>Figura A9.1:</b> Prueba Growler, Con Equipo Growler De Mesa	127
<b>Figura A9.2:</b> Prueba Growler, Con Equipo Growler Portátil	127
<b>Figura A9.3:</b> Utilizando Papel Magnetizante En La Prueba Growler Puede Facilitar La Detección De Barras Abiertas En El Rotor	128
<b>Figura A10.1:</b> Desplazamiento Mínimo En Función De La Velocidad Nominal De Prueba	131
<b>Figura A10.2:</b> Puntos De Medida Aplicables En Uno O Ambos Extremos De La Máquina	133
<b>Figura A.10.3:</b> Punto De Medida En Los Extremos De La Máquina Sin El Desmontaje De Las Parte.	133
<b>Figura A10.4:</b> Punto De Medida Para Cojinetes Tipo Pedestal	134
<b>Figura A10.5:</b> Posición Circular Del Transductor Para La Medida Del Desplazamiento Del Eje.	134
<b>FORMULARIOS</b>	<b>PÁG.</b>
<b>Formulario A2.1.</b> Formulario Para La Recepción De Datos De Un Motor Eléctrico.	64
<b>Formulario A3.1:</b> Registro Para Prueba De Resistencia De Aislamiento.	88
<b>Formulario A7.1:</b> Registro Para La Prueba Del Núcleo.	120

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLAS</b>	<b>PÁG.</b>
<b>CAPITULO I</b>	
<b>Tabla 1:</b> Lista De Talleres Que Se Realizaron Encuesta En Estudio Del 2009	12

## **CAPITULO II**

<b>Tabla 1:</b> Aplicación De Tensión Para La Prueba De Ir En Base A La Tensión Nominal De La Máquina.	35
<b>Tabla 2:</b> Limites De Vibración	54
<b>Tabla 3:</b> Límites Para El Máximo Desplazamiento Relativo Del Eje	54
<b>Tabla 4:</b> Límites Para El Máximo Desplazamiento Relativo Del Eje, Para Maquinas Especiales	54
<b>Tabla 5:</b> Torque Mínimo Para Determinado Tamaño De Perno	56

## **CAPITULO III**

<b>Tabla A1.1:</b> Numeración Para La Armazón De La Maquina	63
<b>Tabla A3.1:</b> Aplicación De Tensión Para La Prueba De Ir En Base A La Tensión Nominal De La Máquina	72
<b>Tabla A3.2:</b> Recomendación Mínima Para La Resistencia De Aislamiento A Una Temperatura De 40 °C (MΩ)	75
<b>Tabla A3.3:</b> Interpretación Del Resultado DAR	79
<b>Tabla A3.4:</b> Valores Mínimos Recomendados Del Índice De Polarización Para Todos Los Componentes De Una Maquinas Con Clases De Aislamiento Según IEC 60085-01: 1984	81
<b>Tabla A4.1:</b> Prueba De Alto Potencial Utilizando DC	92
<b>Tabla A4.2:</b> Prueba De Alto Potencial Utilizando DC	93
<b>Tabla A6.1.</b> Diferentes Tensiones Según Organismos	110
<b>Tabla A7.1:</b> Requerimientos De Inducción	116
<b>Tabla A10.1:</b> Limites De Vibración	135
<b>Tabla A10.2:</b> Maquinas Con Límites De Vibración (Montajes Flexibles)	135
<b>Tabla A.10.3:</b> Límites Para El Máximo Desplazamiento Relativo Del Eje	137
<b>Tabla A.10.4</b> Límites Para El Máximo Desplazamiento Relativo Del Eje, Para Maquinas Especiales	137

# **CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN**

## **1. INTRODUCCIÓN**

En las últimas décadas países desarrollados como Estados Unidos han elaborado y adoptado políticas energéticas, debido a recomendaciones de estudios e investigaciones de entidades como IEEE, DOE, etc. dando como resultado la necesidad de tener un mayor control y eficiencia de la energía eléctrica, una de estas políticas esta referenciada a la construcción y uso de motores eléctricos más eficientes, debido a que el 70% de la energía consumida por el sector industrial en todo el mundo<sup>1</sup>, es en motores eléctricos, estas máquinas son sometidas a fuertes cargas de trabajo por largos periodos de tiempo lo que producen fallas o daños, una opción que se tiene es la reparación, organismos como IEEE y EASA proponen buenas prácticas para la reparación y rebobinado de motores eléctricos que dan como resultado una eficiencia aproximadamente igual a la que fue diseñada.

Hasta la fecha El Salvador no cuenta con un estándar o documento que normalice la reparación y rebobinado de motores eléctricos, considerando este problema energético, este documento se basa en una investigación teórica que propone minimizar las pérdidas en la eficiencia de un motor a reparar por medio de buenas prácticas, tomando como base el estándar IEEE Std.1068-1996 “IEEE Recommended Practice for the Repair and Rewinding of Motor for The Petroleum and Chemical Industry” y EASA/AEMT “The Effect of Repair/Rewinding on Motor Efficiency”.

Dentro de los requerimientos propuestos en este documento para una buena práctica de reparación y rebobinado de motores eléctricos, se plantea al propietario del motor los requisitos mínimos que debe considerar al elegir el taller de reparación, y las garantías que esté ofrece.

Al igual se propone a los talleres de reparación una buena práctica para realizar una evaluación preliminar, pruebas eléctricas para detectar posibles fallas, procedimientos para el desmontaje y desarmado de la máquina al igual como procedimientos para una correcta extracción de bobinas sin causar daños en el núcleo, pruebas que brindan un diagnóstico del estado de las partes fundamentales, y una evaluación de si la maquina necesita solamente un reacondicionamiento de daños.

---

<sup>1</sup> Datos obtenidos de DOE(Departament Of Energy 2013)

## **2. OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- Obtener información de la situación actual del país conforme al tema de reparación y rebobinado de motores eléctricos.
- Realizar un documento primario que contengan lineamientos para una buena práctica de reparación y rebobinado de motores, basándose en el estándar IEEE Std. 1068-1996 y documentación elaborado por EASA.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Investigar la eficiencia que posee un motor luego de ser rebobinado o reparado con una buena práctica, y con las prácticas realizadas en nuestro país.
- Realizar una traducción y adecuación del estándar IEEE Std. 1068-1996, para obtener un documento base para la buena práctica de reparación y rebobinado de motores eléctricos.
- Comparar los métodos utilizados en el estándar IEEE Std. 1068-1996 con los planteados en el documento de EASA/AEMT “The Effect of Repair/Rewinding on Motor Efficiency”.
- Investigar la importancia y el impacto que tienen las pruebas eléctricas y mecánicas realizadas a motores, para evaluar y diagnosticar la condición de la máquina.

### **3. ALCANCES**

Este documento cubre generalidades para la reparación de motores eléctricos e incluye recomendaciones para el usuario y el taller de reparación. Muestran las metodologías de prueba experimentales para diagnóstico de fallas y posibles daños. Esto no pretende suplantar las instrucciones específicas contenidas en los manuales e instructivos del fabricante o cualquier acuerdo-contrato entre el fabricante y el comprador de un motor eléctrico.

Esta práctica pretende ser un documento básico o primario utilizado por dueños de motores eléctricos que necesitan reparación así como por propietarios y operadores de establecimientos que ofrecen servicios de reparación. El uso de este documento tiene como expectativa dar resultados de mayor calidad, mayor rentabilidad y reparaciones adecuadas.

Estas recomendaciones aplican a motores horizontales y verticales, tamaño de armazón NEMA 140 y superiores, teniendo una tensión nominal de 15 kV o menos. Es aplicada sólo a reparaciones de motores y no se pretende cubrir modificaciones mayores a ello.

## **4. GLOSARIO TÉCNICO**

**AWG:** American Wire Gauge

**°C:** Grado Celsius

**AC:** Corriente Alterna

**DC:** Corriente Directa

**°F:** Grado Fahrenheit

**FP:** Factor de Potencia.

**HP:** Horse Power

**Hz:** Hertz

**IEC:** Internacional Electrotechnical Commission (Comisión Electrotécnica Internacional)

**EASA:** Electrical Apparatus Service Association

**IEEE:** Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Ingenieros Electrónicos y Electricistas)

**DOE:** Department Of Energy

**K:** Grados Kelvin

**Kg/m:** Kilogramos por metro

**kVA:** Kilo Volt Ampere

**kW:** Kilowatts

**MG 1:** Motors and Generators 1 (Motores y Generadores 1)

**mm:** Milímetros

**NEMA:** National Electrical Manufacturers Association (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos)

**P.U.:** Por Unidad

**Pulg/seg:** Pulgada por segundo

**r/min o rpm:** Revoluciones por Minuto

**Sistema de aislamiento**<sup>2</sup>: Es un conjunto de conductores y partes de la estructura que se asocian con materiales aislantes. Los ítems siguientes están

---

<sup>2</sup> Datos tomados de NEMA MG 1; Sección I, Parte I, Ítem 1.65

asociados al bobinado estacionario y rotatorio, ambos constituyen diferentes sistemas de aislamiento, estos se describen a continuación.

- **Aislamiento de la bobina.** Todos los materiales aislantes que envuelven y separan a los conductores que conducen corrientes, componentes giratorios y cables trenzados forman el aislamiento entre ellos y la estructura de la máquina; incluye el revestimientos de cables, barniz, encapsulamientos, aislamiento de ranuras, relleno de ranuras, cintas, aislamiento de fase, aislamiento de pieza polar, y aislamiento de anillo cuando existan.
- **Aislamiento en las conexiones de los devanados.** Son materiales aislantes que envuelven las conexiones que llevan corriente de bobina a bobina, y que forman las terminales de la bobina estacionaria o rotativa en los puntos de enlace del circuito externo, y el aislamiento de cualquier soporte metálico para embobinado.
- **Estructura asociadas al sistema de aislamiento.** Son elementos como las cuñas de ranuras, bloques de espacio, y amarres que se usan para posicionar los extremos de la bobina y conexiones.

**Clases de aislamiento**<sup>3</sup>. Es conforme al estándar IEEE 1-1986, y se dividen en clases de acuerdo a la resistencia térmica del sistema. Los sistemas de aislamiento utilizados en los motores incluyen clases NEMA A, B, F y H. Los sistemas de aislamiento se clasificarán de la siguiente manera:

- **NEMA Clase A.** Es un sistema de aislamiento (105 °C temperatura límite, que incluye 40 °C de temperatura ambiente o 65 °C de aumento) que por la experiencia o pruebas aceptadas puede ser mostrado para tener una resistencia térmica adecuada cuando se opera en el límite térmico de la clase A, especificado en el estándar de aumento térmico para la máquina en consideración.

---

<sup>3</sup> Datos tomados de NEMA MG 1; Sección I, Parte I, Ítem 1.66



- **NEMA Clase B.** Es un sistema de aislamiento (130 °C temperatura límite, que incluye 40 °C de temperatura ambiente o 90 °C de aumento) que por la experiencia o pruebas aceptadas puede ser mostrado para tener una resistencia térmica adecuada cuando se opera en el límite térmico de la clase B, especificado en el estándar de aumento térmico para la máquina en consideración.
- **NEMA clase F.** Es un sistema de aislamiento (155 °C temperatura límite, que incluye 40 °C de temperatura ambiente 115 °C de aumento) que por la experiencia o pruebas aceptadas puede ser mostrado para tener una resistencia térmica adecuada cuando se opera en el límite térmico de la clase F, especificado en el estándar de aumento térmico para la máquina en consideración.
- **NEMA clase H.** Es un sistema de aislamiento (180 °C temperatura límite, que incluye 40 °C de temperatura ambiente 140 °C de aumento) que por la experiencia o pruebas aceptadas puede ser mostrado para tener una resistencia térmica adecuada cuando se opera en el límite térmico de la clase H, especificado en el estándar de aumento térmico para la máquina en consideración.

**Prueba aceptada:** Es una prueba en un sistema o sistema modelo en donde se simula los esfuerzos mecánicos y térmicos que ocurren en operación.

**Experiencia:** La operación exitosa de una máquina por un largo tiempo bajo condiciones reales, con un aumento de temperatura o cerca de su máxima temperatura nominal.

**Modificación Mayores:** Es convertir un tipo de máquina a otro tipo de máquina o un tipo de carcasa a otro tipo de carcasa, cambiar de una clasificación a otro tipo de clasificación diferente al diseño original.

**Motor:** Es una máquina rotativa capaz de transformar la energía eléctrica en energía mecánica, también puede ser en sentido inverso como un generador.

**Motor de inducción:** Es un motor eléctrico del cual solamente una parte (estator), se conecta a la fuente de energía, la otra (rotor) funciona por inducción electromagnética.

**Motor tipo jaula de ardilla:** Es un motor de inducción cuyo circuito secundario está formado por barras colocadas en ranuras del núcleo secundario, permanentemente cerradas en corto circuito por medio de anillos en sus extremos dando una apariencia de una jaula de ardilla.

**Reparación:** Incluye en el ingreso revisión y prueba, apreciación de daño, limpieza, remplazo o fijación de partes dañadas o ambos, ensamblado, inspección de pos-reparación, prueba y acabado.

**Taller de reparación:** Es la empresa contratada que brinda el servicio de reparación, incluye servicios en donde se encuentra instalado el motor o en las instalaciones del taller de reparación.

**Usuario:** El propietario del motor o personal autorizado por el dueño.

**Resistencia de aislamiento (IR)<sup>4</sup>:** Es la capacidad que tiene el aislamiento eléctrico de un devanado para resistir la corriente continua. Es la relación de una tensión negativa continua entre la corriente que circula en el aislamiento de la maquina corregida a 40 °C, y para un tiempo específico (t) desde el inicio de la aplicación de la tensión, el tiempo de aplicación de tensión es generalmente 1 min (IR<sub>1</sub>) o 10 min (IR<sub>10</sub>), sin embargo, se pueden utilizar otros valores.

---

<sup>4</sup>Datos Obtenidos de IEEE Std. 43-2000, Cap3, ítem 3.4

**Índice de polarización (PI)<sup>5</sup>:** Es la variación en el valor de la resistencia de aislamiento respecto al tiempo. Es la relación de la resistencia de aislamiento en el tiempo ( $t_2$ ) entre la resistencia de aislamiento en el tiempo ( $t_1$ ). Si los tiempos  $t_1$  y  $t_2$  no son especificados asumir 10 min y 1 min respectivamente, si el valor de  $t_1$  y  $t_2$  son mayores que 15 se asume que el tiempo está dado en segundos.

**Rigidez dieléctrica:** La máxima tensión aplicada que puede soportar un sistema de aislamiento sin fallar.

**Alta tensión directa:** Una tensión unidireccional cuya magnitud es mayor que el valor máximo del valor eficaz nominal de línea a tierra del sistema de aislamiento bajo prueba.

**Sobretensión (sobretensión):** Una tensión cuya magnitud está por encima del valor nominal o la tensión máxima de funcionamiento de un equipo.

**RTD:** Resistance Temperature Detector (Detector de Temperatura por Resistencia)

**Armazón:** Es un código o clave formado por números y letras que definen las dimensiones mecánicas y la posición de montaje del motor.

**Carcasa:** Es el envoltorio del núcleo del estator que en el caso de los motores cerrados, lo protege del ambiente y hace funciones de intercambiador de calor con el exterior.

**Eficiencia nominal:** Es el valor de la eficiencia mostrado en la placa de datos del motor.

---

<sup>5</sup> Datos obtenidos de: IEEE Std. 43-2000, Cap3, ítem 3.6

**Eficiencia:** Es el cociente entre la potencia mecánica disponible en el eje del motor y la potencia que toma de la línea, ambas expresadas en las mismas unidades, generalmente expresada en por ciento.

[Potencia de salida / potencia de entrada] X 100.

[(Potencia de entrada – pérdidas) / potencia de entrada] X 100.

[Potencia de salida / (potencia de salida + pérdidas)] X 100.

## **5. SITUACIÓN ACTUAL**

En la actualidad El Salvador no cuenta con una política o estándar para la reparación y rebobinados de motores eléctricos, según una encuesta<sup>6</sup> realizada a talleres de reparación en el área metropolitana de San Salvador, se preguntó lo siguiente:

**¿Se sigue una norma o técnica en el proceso de reparación de motores eléctricos?**

*R/ Se sigue un proceso pero no es en base a alguna norma o técnica existente para la reparación de motores. El procedimiento que se sigue es determinado por el taller a través de la experiencia de la persona encargada o propietario.*

**¿Cuál es el proceso de recepción de los motores a reparar?**

*R/ Tomar datos de la empresa o propietario, al igual que los datos de placa del motor, los cuales son anotados en un cuaderno y luego realizan una inspección completa del motor para establecer un diagnóstico.*

**¿Qué evaluación preliminar se hace al motor para efecto de desarrollar la reparación?**

*R/ Se realizan pruebas de aislamiento, también una revisión visual de los devanados, baleros y partes mecánicas. Si es posible, averiguar el historial de trabajo y si ya fue rebobinado.*

---

<sup>6</sup> Datos obtenidos de "Evaluación del impacto sobre el parámetro eléctrico en motores eléctricos rebobinados de bajo voltaje" Universidad de El Salvador Noviembre 2009, Encuesta a talleres de reparación de motores eléctricos.

**¿Qué tipo de evaluación se hace al hierro/núcleo del motor?**

*R/ Se realiza una inspección visual, con el objetivo de determinar el estado de las ranuras y chapas del estator, es decir que el núcleo no esté deteriorado. En cuando al rotor, se verifica que no estén abiertas las barras de la estructura jaula de ardilla. En ocasiones se realiza un diagnostico escrito, el cual incluye fotografías para sustentar la falla.*

**¿Qué procedimiento usan para extraer las bobinas?**

*R/ Se cortan las bobinas por un extremo con un cincel y se extraen a golpes con un instrumento artesanal hecho de metal. En otras ocasiones se utiliza un químico (thinner), temperatura y luego se corta la bobina con una sierra, para poder extraerla manualmente hilo a hilo con tenaza o a golpes con instrumentos artesanales.*

**¿Se utiliza altas temperaturas para quitar las bobinas?**

*R/Se aplica dependiendo del estado en que se encuentren las bobinas o cuando las bobinas tienen una resina epoxi, se aplica una llama directa a temperatura entre 98°C y 200°C aun cuando se tiene el conocimiento que esto daña el núcleo. Algunas veces se utiliza solventes (thinner) para ablandar el aislamiento y facilitar la extracción.*

**¿Qué garantías se dan respecto a la reparación?**

*R/La garantía solo aplica para motores grandes, entre 30 y 90 días, en fallas como (potencia, velocidad, conexión, aislamiento). Esto si el cliente tiene las debidas protecciones y una constante revisión del sistema eléctrico.*

**¿Dónde se ha capacitado el personal que realiza los rebobinados?**

*R/ Todo el personal ha aprendido empíricamente, es un proceso en el cual la persona de mayor experiencia le transmite conocimientos a otra, existen algunos que cursaron bachillerato industrial, pero el aprendizaje siempre es empírico. No se tiene una base teórica o capacitación en el proceso de rebobinado.*

**¿Qué rango de capacidad de motores reparan?**

*R/El rango de capacidad de motores que se reparan es desde fracciones de Hp hasta 400 HP. Existen trabajos de capacidades mayores, pero no es en todos los talleres.*

<b>LISTA DE TALLERES ENCUESTADOS<sup>7</sup></b>
<b>BOBINSAL</b>
<b>TALLER CARPIO</b>
<b>TALLER SANTA FE</b>
<b>MOTOR PLAN</b>
<b>TALLER MUNGUIA</b>
<b>TALLER CASTILLO</b>
<b>TALLER MARTINEZ</b>

Tabla 1: Lista de Talleres que se realizaron encuesta en estudio del 2009

**5.1. EVALUACIÓN DEL IMPACTO EN LA EFICIENCIA DE UN MOTOR POR MEDIO DEL METODO DE DESLIZAMIENTO DESCRITO EN EL IEEE STD. 739-1995, LUEGO DE SOMETERSE A UN PROCESO DE REPARACIÓN Y REBOBINADO SEGÚN ESTUDIOS REALIZADOS EN EL AÑO 2009 EN EL SALVADOR<sup>8</sup>**

En el año 2009, estudiantes de la Universidad de El Salvador UES, realizaron una investigación para averiguar el impacto que se tiene en la eficiencia de un motor cuando ha sido reparado y rebobinado, por medio del método de Deslizamiento establecido en el IEEE Std. 739-1995 Sec. 6.16, a continuación se explica la metodología y los resultados obtenidos en dicho estudio.

---

<sup>7</sup> Datos obtenidos de "Evaluación del impacto sobre el parámetro eléctrico en motores eléctricos rebobinados de bajo voltaje" Universidad de El Salvador Noviembre 2009.

<sup>8</sup> Datos obtenidos de "Evaluación del impacto sobre el parámetro eléctrico en motores eléctricos rebobinados de bajo voltaje" Universidad de El Salvador Noviembre 2009, Mediciones a motores eléctricos.

El desarrollo del estudio fue hecho a 28 motores pertenecientes a la entidad estatal de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), de los 28 motores 6 son de 75HP, 4 de 100HP, 2 de 125HP, 6 de 150HP, 8 de 200HP y 2 de 250HP.

El método del Deslizamiento descrito en IEEE Std. 739-1995 Sec. 6.16, es un procedimiento mediante el cual es posible la evaluación del parámetro eficiencia de un motor de una manera rápida y con una aceptable aproximación, recomendado cuando no es factible desmontar el motor, ya que implicaría dejar de prestar algún servicio o se tendrían pérdidas económicas de producción, debido al tiempo de suspensión que conlleva la evaluación si se efectúa con otros métodos, como los que se describen en IEEE Std. 112-1996 (Los métodos descritos en el IEEE Std. 112 son más exactos y recomendados que el del Deslizamiento, pero tienen el inconveniente de que la máquina tiene que ser desmontada y trasladada hasta el laboratorio para efectuar los procedimientos de evaluación, según se requiera estos métodos pueden ser A, B, C, D, E y F).

El método del Deslizamiento consiste en medir la velocidad de operación en carga real en el sitio donde la máquina esté funcionando, de esa manera, obtener el deslizamiento de operación y dividirlo con el deslizamiento de plena carga, especificado en el dato de placa del motor, y así determinar el porcentaje de carga de operación del motor y conocer la potencia de salida desarrollada en el eje del motor basándose en el principio de que el deslizamiento es lineal desde el 10% al 110% de carga.

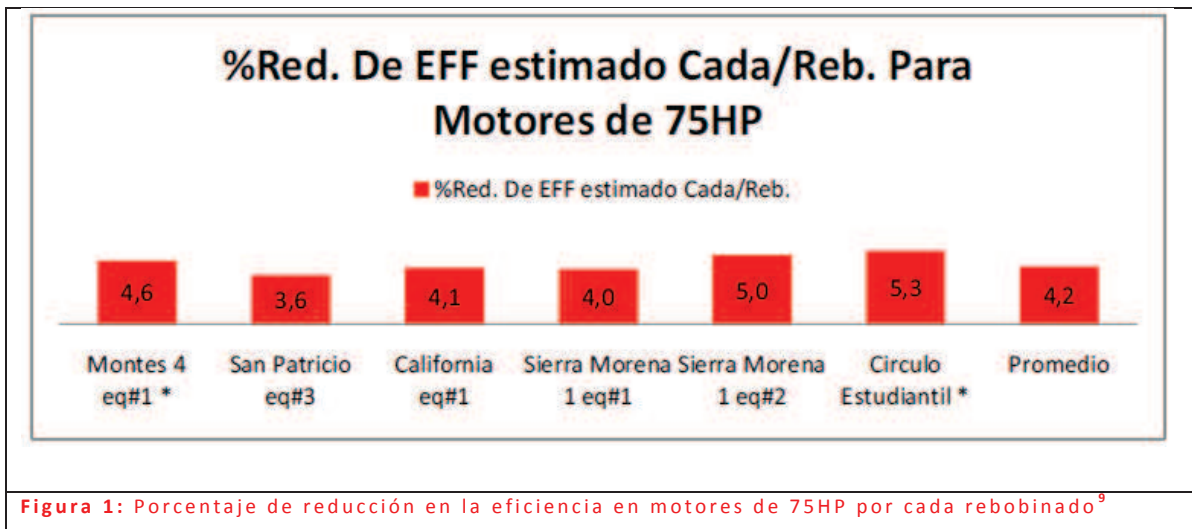
NOTA: en el estudio de estos 28 motores tomaron como válidos los datos de eficiencia que se encuentran por encima del 55% de la carga.

Para poder realizar una medición más precisa de la eficiencia en los motores a estudiar en la investigación, se realizaron correcciones al deslizamiento a

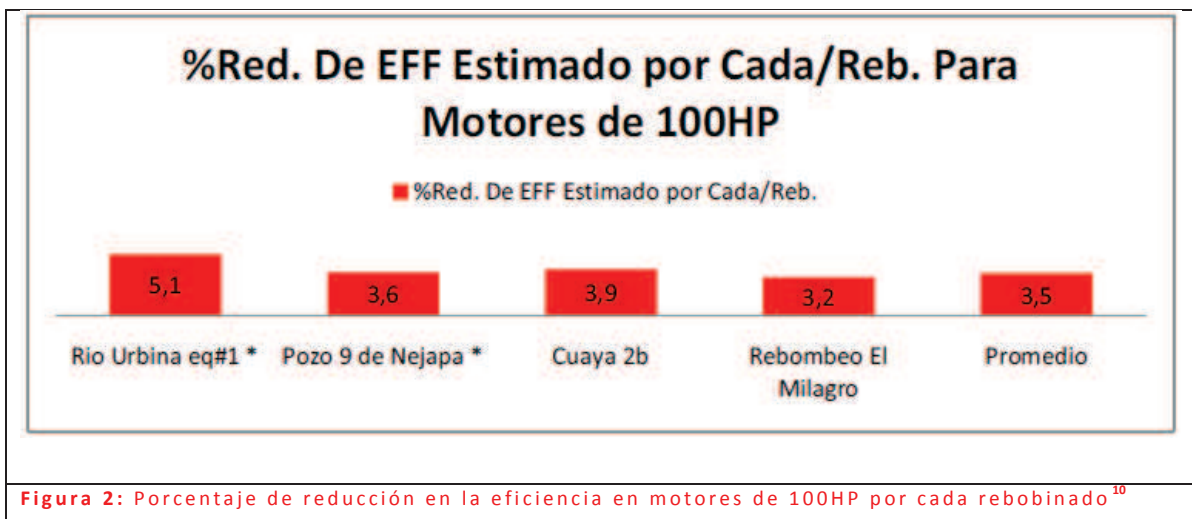
plena carga debido a cambios en la tensión y la temperatura ambiente según IEEE Std. 112B.

Los resultados obtenidos del estudio se detallan a continuación:

- El porcentaje de reducción en la eficiencia para cada uno de los 6 motores con potencia nominal de 75HP.



- El porcentaje de reducción en la eficiencia para cada uno de los 4 motores con potencia nominal de 100HP.



<sup>9</sup> Datos obtenidos de "Evaluación del impacto sobre el parámetro eléctrico en motores eléctricos rebobinados de bajo voltaje" Figura 16.

<sup>10</sup> Datos obtenidos de "Evaluación del impacto sobre el parámetro eléctrico en motores eléctricos rebobinados de bajo voltaje" Figura 17.



- El porcentaje de reducción en la eficiencia para cada uno de los 2 motores con potencia nominal de 125HP.



Figura 3: Porcentaje de reducción en la eficiencia en motores de 125HP por cada rebobinado<sup>11</sup>

- El porcentaje de reducción en la eficiencia para cada uno de los 6 motores con potencia nominal de 150HP.

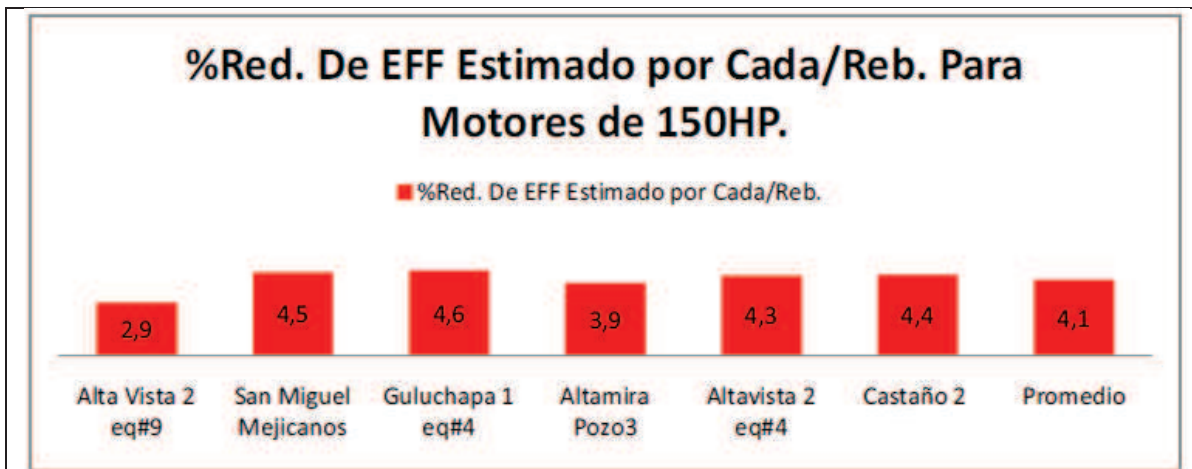
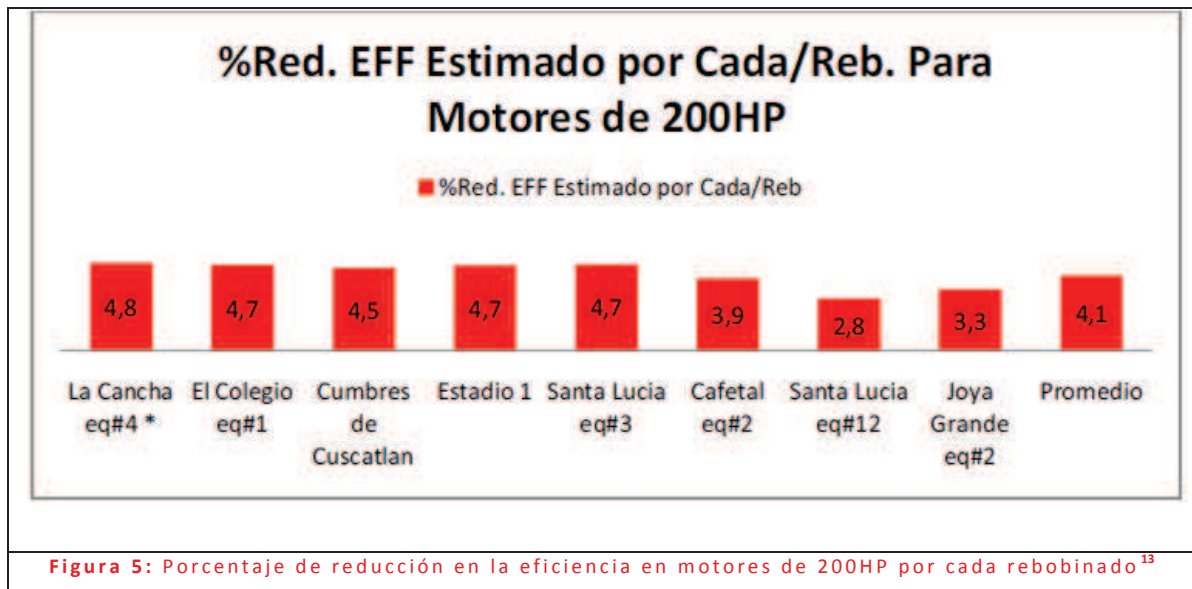


Figura 4: Porcentaje de reducción en la eficiencia en motores de 150HP por cada rebobinado<sup>12</sup>

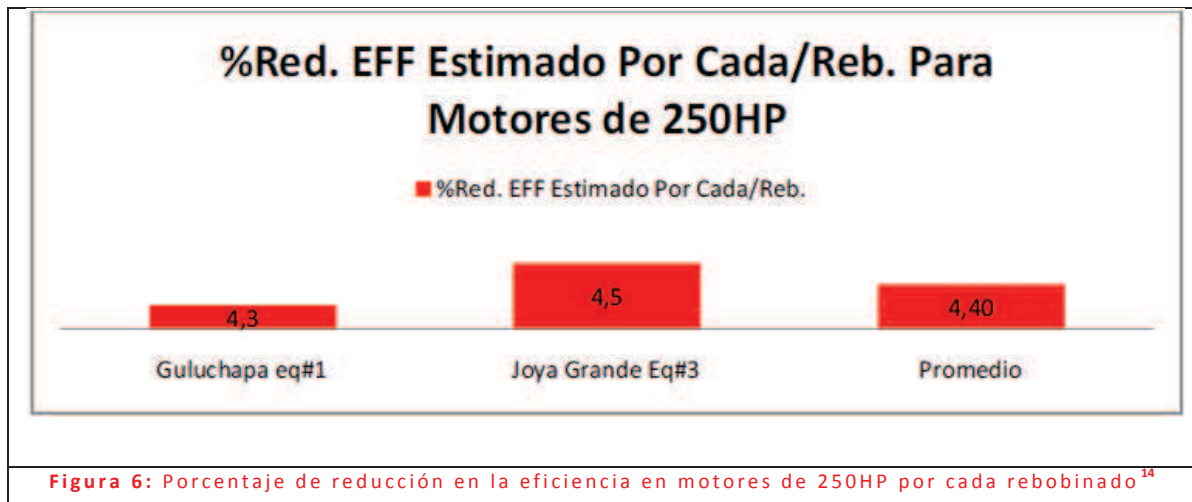
<sup>11</sup> Datos obtenidos de "Evaluación del impacto sobre el parámetro eléctrico en motores eléctricos rebobinados de bajo voltaje" Figura 18.

<sup>12</sup> Datos obtenidos de "Evaluación del impacto sobre el parámetro eléctrico en motores eléctricos rebobinados de bajo voltaje" Figura 19.

- El porcentaje de reducción en la eficiencia para cada uno de los 8 motores con potencia nominal de 200HP.



- El porcentaje de reducción en la eficiencia para cada uno de los 2 motores con potencia nominal de 250HP.



<sup>13</sup> Datos obtenidos de "Evaluación del impacto sobre el parámetro eléctrico en motores eléctricos rebobinados de bajo voltaje" Figura 20.

<sup>14</sup> Datos obtenidos de "Evaluación del impacto sobre el parámetro eléctrico en motores eléctricos rebobinados de bajo voltaje" Figura 21.

Los promedios obtenidos del porcentaje de reducción de la eficiencia en un motor según su potencia nominal, dan como resultado que aproximadamente por cada vez que un motor es rebobinado este pierde un 4% de su eficiencia según el método de Deslizamiento.

## **5.2. EVALUACION DEL IMPACTO EN LA EFICIENCIA DE UN MOTOR POR MEDIO DEL METODO IEEE STD. 112-B, LUEGO DE SOMETERSE A UN PROCESO DE REPARACION Y REBOBINADO SEGÚN ESTUDIOS REALIZADOS POR EASA/AEMT<sup>15</sup>**

A continuación se presenta un estudio realizado por EASA/AEMT, dicha investigación consta en someter a 24 motores que fueron reparados y rebobinados utilizando buenos procedimientos de prácticas recomendadas por EASA e IEEE, el método de ensayo para medir el rendimiento de los motores fue según IEEE Std-122B, se dividieron los 24 motores en cuatro grupos según se explica a continuación:

### **Grupo A:**

Seis motores de baja tensión de [100-150 HP (75-112 kW)] rebobinados una vez. Para la reparación y rebobinado de estos motores no existió un control específico en el proceso de “Quemado por Horno” para la extracción y rebobinado de los devanados. El método de Quemado por Horno consta en someter los devanados a una cámara de horno por debajo de una temperatura de 660°F (350°C), para poder remover el aislamiento y sacar los devanados viejos.

Resultados: En un principio los motores mostraron un cambio en la eficiencia promedio de -0.6% (con límites de -0.3 a -1.0%).

---

<sup>15</sup> Datos obtenidos de “The Effect of Repair/Rewinding on Motor Efficiency”, TEST DATA FOR EASA/AEMT STUDY.

Sin embargo, los dos motores que mostraron la mayor reducción en la eficiencia fueron lubricados durante el montaje, lo que aumentó las pérdidas por fricción.

Después de esto se corrigió la variación media en la eficiencia dando como resultado un -0.4% (con límites de -0.3 a -0.5%).

**Grupo B:**

Diez motores de baja tensión [60 - 200 HP (45-150 kW)] rebobinados una vez. Para este grupo de motores se controló el procesos de Quemado por Horno para la extracción y rebobinado de los devanados, la temperatura a la que fue sometido este proceso fue aproximadamente de 680°F - 700°F (360°C - 370°C).

Resultados: el cambio en la eficiencia promedio fue de -0.1% (con límites de +0.2 a -0.7%).

Sin embargo, se encontró posteriormente un motor que presento un aislamiento interlaminar defectuoso. Tomando en cuenta el problema ocasionado en este motor el resultado de la media en la eficiencia promedio fue de -0.03% (con límites de +0.2 a -0.2%).

**Grupo C:**

Motores de baja tensión rebobinados más de una vez, controlado el proceso Quemado por Horno para la extracción y rebobinado de los devanados.

**Grupo C1:**

Cinco motores de baja tensión [100 - 200 HP (75-150 kW)], rebobinados dos o tres veces, controlando el procesos de extracción y rebobinado a una temperatura en el horno de 680°F - 700°F (360°C - 370°C).

Resultados: el cambio en la eficiencia promedio fue de -0.1%(con límites de 0.6 a -0.4%), los cinco motores están compuestos por 3 que fueron rebobinados 3 veces y 2 que fueron rebobinados dos veces.

Grupo C2:

Dos motores de baja tensión [7.5 HP (5.5 kW)], rebobinados una vez y procesados 3 veces en el Horno de Quemado, controlando la cámara del horno a una temperatura de 680°F - 700°F (360°C - 370°C).

Resultados: el cambio en la eficiencia promedio fue de 0.5% (con límites de 0.2 a 0.8%).

Grupo D:

Un motor de media tensión con devanados preformados [300 HP (225 kW/ 3.3 kV)], rebobinado una vez, controlando el procesos de extracción y rebobinado a una temperatura en la cámara del horno de 680°F - 700°F (360°C - 370°C).

Resultados: El cambio en la eficiencia fue de -0.2%. El comportamiento de este motor fue similar a las máquinas de baja tensión rebobinadas, controlando la temperatura en la cámara del horno.

Los resultados completos de las pruebas se resumen a continuación en las Figuras 7 hasta la 11, donde se muestra que no existió un cambio significativo en la eficiencia de los motores reparados y rebobinados utilizando buenos procedimientos de prácticas recomendadas, también se puede observar que en varios casos, en realidad aumentaron la eficiencia. Como antes fue mencionado el parámetro de eficiencia fue obtenido por medio del método descrito en el IEEE Std-122B.

Losses	2 pole average	4 pole average	Design factors affecting losses
Core losses ( $W_c$ )	19%	21%	Electrical steel, air gap, saturation, supply frequency, condition of interlaminar insulation
Friction and windage losses ( $W_{fw}$ )	25%	10%	Fan efficiency, lubrication, bearings, seals
Stator $I^2R$ losses ( $W_s$ )	26%	34%	Conductor area, mean length of turn, heat dissipation
Rotor $I^2R$ losses ( $W_r$ )	19%	21%	Bar and end ring area and material
Stray load losses ( $W_l$ )	11%	14%	Manufacturing processes, slot design, air gap, condition of air gap surfaces and end laminations

**Figura 7:** Comparación en la distribución de pérdidas en porcentaje para los motores en estudio de EASA / AEMT<sup>16</sup>

Motor	Test	Winding resistance (ohms)	Temp (° C)	Corr. resistance (ohms)	% load	Stator loss (watts)	Rotor loss (watts)	Core loss (watts)	Windage & friction (watts)	Stray loss (watts)	Efficiency (%)	Change (%)	Notes
1A 100 hp, 2 pole	before	0.0580	45.00	0.0538	102.5	1458.1	834.0	1163.8	526.0	805.0	94.1		
	after	0.0591	45.45	0.0548	99.9	1313.1	773.9	1298.7	1152.0	977.3	93.1	-1.0	
	after	0.0601	47.85	0.0552	100.1	1323.1	774.2	1251.5	993.5	976.9	93.3	-0.8	DE bearing cleaned
	after	0.0601	47.85	0.0552	99.9	1323.1	770.9	1257.3	857	969.6	93.5	-0.6	Both bearings cleaned
	after	0.0601	47.85	0.0552	100.0	1323.1	770.5	1298.7	755.5	959.3	93.6	-0.5	Bearings replaced
2B 100 hp, 4 pole	before	0.0933	37.10	0.0892	102.3	2640.8	1608.5	499.7	386.0	655.5	92.9		
	after	0.0927	34.08	0.0896	99.9	2536.6	1661.2	526.3	360.6	1043.4	92.4	-0.5	
3C 100 hp, 2 pole	before	0.0448	36.70	0.0429	100.4	1423.2	714.0	632.8	609.8	944.1	94.5		
	after	0.0496	54.00	0.0446	99.5	1560.5	726.0	659.6	1151.1	1076.1	93.5	-1.0	
	after	0.0484	41.47	0.0455	99.5	1591.7	722.2	656.3	730.8	1047.3	94.0	-0.5	DE bearing cleaned
	after	0.0484	41.47	0.0455	99.0	1590.3	718.1	656.8	679.6	1050.1	94.1	-0.5	Both bearings cleaned
4D 100 hp, 2 pole	before	0.0385	38.90	0.0366	99.2	852.0	752.4	705.4	1161.4	440.6	95.0		
	after	0.0415	36.93	0.0397	100.2	930.7	774.7	752.0	1137.4	719.0	94.5	-0.5	
5E 150 hp, 2 pole	before	0.0611	32.90	0.0593	100.5	3436.2	1593.2	1906.9	1689.7	715.7	92.3		
	after	0.0652	34.65	0.0628	99.7	3486.2	1621.5	2300.1	1639.8	717.5	92.0	-0.3	
7B 150 hp, 2 pole	before	0.0268	49.70	0.0245	99.8	1247.6	1381.6	1179.2	2781.6	942.1	93.7		
	after	0.0268	43.90	0.0250	99.9	1255.2	1439.9	1256.0	3077.0	1051.1	93.3	-0.4	

**Figura 8:** GRUPO A: Motores de baja tensión, rebobinados una vez, sin especificación en el control de temperatura para la extracción y rebobinado<sup>17</sup>

<sup>16</sup> Datos obtenidos de "The Effect of Repair/Rewinding on Motor Efficiency , Test data for EASA/AEMT study " Table 8.

<sup>17</sup> Datos obtenidos de "The Effect of Repair/Rewinding on Motor Efficiency , Test data for EASA/AEMT study " Table 9.

Motor	Test	Winding resistance (ohms)	Temp (° C)	Corr. resistance (ohms)	% load	Stator loss (watts)	Rotor loss (watts)	Core loss (watts)	Windage & friction	Stray loss (watts)	Efficiency (%)	Change (%)	Notes
6F 150 hp, 2 pole	before	0.0359	31.60	0.0350	100.4	1661.9	1637.1	988.5	1586.4	743.0	94.4		
	after	0.0390	30.63	0.0382	99.8	1729.8	1624.2	1058.2	1624.8	662.5	94.3	-0.1	
9E 60 hp, 2 pole	before	0.1308	45.57	0.1212	99.8	1055.4	1124.2	647.7	1674.7	392.5	90.1		
	after	0.1266	43.17	0.1183	100.1	1026.0	1206.0	679.8	1645.0	497.8	89.9	-0.2	
10D 125 hp, 4 pole	before	0.0347	28.95	0.0341	100.0	1317.9	931.1	785.3	986.8	602.1	95.4		
	after	0.0360	36.67	0.0344	100.1	1286.9	964.3	847.5	936.4	750.6	95.2	-0.2	
11F 200 hp, 2 pole	before	0.0203	50.48	0.0185	99.8	1721.1	1020.7	1333.3	1439.7	113.8	96.4		
	after	0.0208	47.47	0.0192	100.1	1799.3	1250.9	1291.6	1291.1	114.3	96.3	-0.1	
14H 50 Hz 55 kW, 4 pole	before	0.0675	47.42	0.0621	100.0	1577.0	1215.7	1650.2	664.9	1069.7	89.9		
	after	0.0600	47.30	0.0553	99.9	1405.2	1165.3	2447.6	750.7	882.7	89.2	-0.7	Faulty core iron
16H 50 Hz 150 kW, 4 pole	before	0.0196	45.75	0.0182	99.0	2304.3	1053.0	2122.9	740.1	904.8	95.4		
	after	0.0171	36.85	0.0163	100.1	1981.1	1017.6	2075.1	772.9	1112.0	95.6	+0.2	
18G 50 Hz 55 kW, 4 pole	before	0.0775	48.70	0.0711	99.2	1334.6	803.1	733.2	219.6	277.6	94.2		
	after	0.0710	34.75	0.0685	100.0	1310.9	824.6	737.5	229.3	303.3	94.2	0	
19H 50 Hz 132 kW, 2 pole	before	0.0296	43.97	0.0276	99.6	2537.6	1704.8	1925.3	3434.0	475.1	93.0		
	after	0.0259	36.15	0.0248	99.7	2167.1	1684.8	1863.0	3722.7	403.9	93.0	0	
20H 50 Hz 45 kW, 2 pole	before	0.0773	41.53	0.0727	101.0	801.8	697.0	722.1	386.4	363.1	93.9		
	after	0.0712	39.03	0.0676	100.3	707.9	669.6	664.1	451.2	427.3	93.9	0	
21J 50 Hz 75 kW, 2 pole	before	0.0468	44.55	0.0435	99.6	1319.6	870.0	1146.0	566.2	1087.9	93.7		
	after	0.0435	40.38	0.0411	99.9	1239.9	856.7	1126.8	510.4	1093.2	93.9	+0.2	
24E 100 hp, 4 pole	before	0.0951	39.58	0.0900	100.4	1389.4	759.4	876.9	389.2	415.7	95.1		
	after	0.0936	34.99	0.0902	100.0	1465.7	775.3	1032.6	420.0	274.5	95.0	-0.1	

Figura 9. GRUPO B: Motores de baja tensión, rebobinado una vez, controlando la temperatura para la extracción y rebobinado<sup>18</sup>

Motor	Test	Winding resistance (ohms)	Temp (° C)	Corr. resistance (ohms)	% load	Stator loss (watts)	Rotor loss (watts)	Core loss (watts)	Windage & friction	Stray loss (watts)	Efficiency (%)	Change (%)	Notes
4D 100 hp, 2 pole	before	0.0385	38.9	0.0366	99.2	852.0	752.4	705.4	1161.4	440.6	95.0		
	after	0.0415	36.93	0.0397	100.2	930.7	774.7	752.0	1137.4	719.0	94.5	-0.5	1st rewind
	after	0.4083	36.13	0.0391	100.2	895.1	745	686.2	1159.9	562.2	94.9	-0.1	2nd rewind
	after	0.4087	37.78	0.0389	100.5	896.4	744.9	693.0	1140.7	596.2	94.8	-0.2	3rd rewind
12F 150 hp, 2 pole	before	0.0276	51.32	0.0250	99.9	1326.8	795.7	1123.0	1394.8	163.2	95.9		
	after	0.0272	50.33	0.0248	100.0	1280.2	852.8	1108.8	1296.7	282.1	95.9	0.0	1st rewind
	after	0.0259	43.43	0.0241	100.0	1243.1	830.9	1050.0	1307.2	380.1	95.9	0.0	2nd rewind
15J 50 Hz 75 kW, 2 pole	before	0.0266	43.52	0.0248	100.1	1295.6	817.2	1093.6	1427.8	216.4	95.8	-0.1	3rd rewind
	before	0.0465	43.37	0.0435	100.3	1805.3	1204.2	1093.7	319.7	1280.7	93.0		
	after	0.0404	34.92	0.0389	100.2	1546.0	1102.9	1078.3	272.4	1117.3	93.6	+0.6	1st rewind
8C 200 hp, 4 pole	after	0.0402	34.6	0.0387	100.2	1523.1	1098.0	1078.7	309.3	1138.6	93.6	0.0	2nd rewind
	after	0.0397	33.35	0.0385	100.3	1489.3	1059.7	1131.9	297.6	1094.6	93.7	0.1	3rd rewind
	before	0.0217	43.73	0.0202	99.2	1922.6	1129.1	1459.6	448.1	851.0	96.2		Fan blade broken <sup>1</sup>
13G 50 Hz 110 kW, 4 pole	after	0.0217	43.73	0.0202	99.0	1922.6	1129.1	1459.6	761.3	851.0	96.0	-0.2	Effect of new fan fitted
	after	0.0199	30.68	0.0195	99.8	1772.1	1121.0	1618.8	671.4	1621.3	95.6	-0.4	2nd rewind, new fan
	before	0.0228	29.0	0.0224	99.4	1647.6	915.9	1453.9	856.9	1087.3	94.8		
17H 50 Hz 5.5 kW, 4 pole	after	0.0236	39.37	0.0224	99.9	1662.7	932.0	1576.3	912.6	1250	94.6	-0.2	1st rewind
	after	0.0248	41.82	0.0233	99.9	1702.2	897.6	1388.9	1008.3	1217.4	94.6	0	2nd rewind
22H 50 Hz 5.5 kW, 4 pole	before	1.8100	39.28	1.7156	100.5	411.2	212.9	131.5	22.5	72.8	86.7		
	after	1.6324	36.13	1.5653	99.1	365.6	177.9	153.5	69.2	53.7	86.9	+0.2	
22H 50 Hz 5.5 kW, 4 pole	before	2.1991	42.83	2.0577	99.1	578.1	229.1	196.6	40.6	56.3	83.2		
	after	1.9681	51.15	1.7879	98.9	557.6	194.5	214.0	42.7	25.7	83.6	+0.4	

<sup>1</sup> This value was not used in the final calculations because the motor had a broken fan blade when it was tested. The data was normalized using the friction and windage losses obtained after a new fan was installed.

Figura 10 GRUPO C: Motores de baja tensión, rebobinados más de una vez, controlando la temperatura para la extracción y rebobinado<sup>19</sup>

<sup>18</sup> Datos obtenidos de "The Effect of Repair/Rewinding on Motor Efficiency, Test data for EASA/AEMT study" Table 10.

<sup>19</sup> Datos obtenidos de "The Effect of Repair/Rewinding on Motor Efficiency, Test data for EASA/AEMT study" Table 11.

Motor	Test	Winding resistance (ohms)	Temp (° C)	Corr. resistance (ohms)	% load	Stator loss (watts)	Rotor loss (watts)	Core loss (watts)	Windage & friction (watts)	Stray loss (watts)	Efficiency (%)	Change (%)	Notes
23K 50 Hz 225 kW, 4 pole 3300V	before	0.6899	34.40	0.6657	99.5	2687.3	2379.8	1928.9	1702.5	1269.4	95.7		See notes below.
	after	0.6766	37.88	0.6446	100.0	2750.3	2561.0	2484.7	855.3	1011.7	95.9	+0.2	See notes below.

**Notes for 23K**  
 The friction and windage (F&W) losses were 50% lower on the test after rewinding. This could just have been an error on the separation of core and F&W losses. When the two are added together, the difference is not as significant as 3631.4 before and 3340 after (i.e., a 10% reduction).  
  
 This machine was used and had been in storage for some time before testing. It was run at no load before it was sent to Nottingham. The bearing lubrication was not changed during rewinding.

**Figura 11 GRUPO D: Motor de media tensión, rebobinado una vez, controlando la temperatura para la extracción y rebobinado**<sup>20</sup>

Las Figuras 8 hasta la 11, muestran los valores del rendimiento a plena carga para cada grupo de motores calculado conformidad con IEEE Std. 112B. Cada motor se identifica por un número de código (columna de la izquierda). En algunos casos, más de un motor se hizo por el mismo fabricante.

A cada motor se le realizó un ensayo inicialmente y luego se desmantelo, extrayendo sus bobinados viejos, para luego ser rebobinado y montado de nuevo para repetir el ensayo. Para reducir al mínimo los cambios en el rendimiento debidas a factores distintos a los procedimientos normales de rebobinado, no se modificaron las buenas prácticas recomendadas que se aplican al rotor. En el caso de 1A y 3C, se re-lubricaron los cojinetes, esta práctica viola el procedimiento de reparación, pero mostró que la sobre lubricación aumentó significativamente la fricción y el efecto del viento provocando pérdidas en la eficiencia.

<sup>20</sup> Datos obtenidos de "The Effect of Repair/Rewinding on Motor Efficiency , Test data for EASA/AEMT study " Table 11.



## **Capítulo II**

# **DESARROLLO DE LA PROPUESTA NACIONAL DE ESTÁNDAR PARA LA REPARACIÓN Y REBOBINADO DE MOTORES ELÉCTRICOS**

## **Capítulo II**

# **DESARROLLO DE LA PROPUESTA NACIONAL DE ESTÁNDAR PARA LA REPARACIÓN Y REBOBINADO DE MOTORES ELÉCTRICOS**

### **1. Responsabilidades y actividades de pre-reparación**

Antes de la reparación se deben documentar varias etapas, realizando actividades de pre-calificación antes de determinar la falla o antes del proceso de traslado al taller de reparación. Algunas de estas actividades son responsabilidades del usuario, mientras que otras son del taller de reparación.

#### **1.1. Responsabilidades del usuario**

Es recomendable que el usuario o propietario guarde un historial de todas las pruebas eléctricas realizadas en el ítem 1.3.1.

Para que la reparación sea de alta calidad y rentable, el usuario debe realizar lo siguiente.

##### **1.1.1. Información del motor**

Sera útil que el propietario posea información que pueda proporcionar al taller de reparación. Por ejemplo, cuando los datos de placa de un motor después de varios años en servicio no sean legibles, estos deben ser obtenidos por mediciones, sería ideal si el dueño llevará un registro de los datos de placa y cualquier otra información del motor, como el historial de fallas, remplazo de cojinetes, y cualquier tipo de antecedentes de reparaciones, estos registros serían entregados al taller de reparación.

##### **1.1.2. Elección del taller de reparación**

El dueño del motor debe evaluar y elegir entre varios talleres de reparación, considerando las siguientes características:

- a) **Capacidad en equipos de grúas.** Es la capacidad de manejar grandes motores de forma segura y suave con equipos de grúa adecuados.
- b) **Limpieza y orden en el taller de reparación.** Las instalaciones debe ser limpias y ordenadas, las herramientas y los equipos deben estar en buenas condiciones. También se debe evaluar el equipo utilizado para la aplicación del sistema de aislamiento, el área para la instalación de los devanados y cojinetes.
- c) **Requerimientos de comprobación del aislamiento.** El taller de reparación debe tener el equipo necesario para instalar y comprobar el sistema de aislamiento.
- d) **Instrumentación necesaria.** El taller de reparación debe tener una adecuada instrumentación y equipos de medición calibrados anualmente para realizar las pruebas con un rendimiento apropiado, se debe registrar todos los ensayos, se recomiendan utilizar instrumentos de respaldo para verificación de datos.
- e) **Estimación del precio.** Debe de establecerse un acuerdo sobre los costos antes de la inspección, rebobinado o reacondicionamiento del motor.
- f) **Garantía.** Todos los términos de garantía y condiciones deben establecerse por escrito y claramente entendidos por ambas partes antes de comenzar su reparación.
- g) **Remoción de los devanados.** Las Instalaciones del taller deben garantizar la remoción de la bobina de forma segura y sin dañar las laminaciones del núcleo.
- h) **Balanceo del rotor.** El taller debe disponer de equipos para el análisis de vibración y balanceo dinámico del rotor.
- i) **Póliza de trabajo.** El taller de reparación debe tener una política sobre la garantía de trabajo a través de una aseguradora y deberá cumplir con los estándares de calidad del propietario del motor.

## **1.2. Responsabilidad del taller de reparación**

### **1.2.1. Inspección inicial**

- a) Antes de desmontar la máquina y previo al envío, se debe inspeccionar el motor por un representante del transportista por posibles daños que pudieran ocurrir durante el traslado.
- b) Se debe completar un informe de recepción incluyendo partes dañadas o ausentes y/o cualquier problema inusual.
- c) Para condiciones que no pueden ser descritas, se deben tomar fotografías como respaldo.
- d) Registrar toda la información disponible de la placa del motor, tomando en consideración lo siguiente:
  - 1) Tipo de máquina.
  - 2) Fabricante.
  - 3) Modelo.
  - 4) Número de serie.
  - 5) HP / kVA / kW / factor de potencia.
  - 6) r/min.
  - 7) Fases.
  - 8) Frecuencia.
  - 9) Tensión.
  - 10) Corriente a plena carga.
  - 11) Temperatura máxima/clase de aislamiento/entorno de operación.
  - 12) Tipo de cojinetes y el fabricante.
  - 13) Amperios del rotor bloqueado.
  - 14) Factor de servicio.
  - 15) Armazón.
  - 16) Si el motor es estándar EPAct (EE.UU.) o EFF1 (Europa).

\*Anote los datos anteriores en el formulario que se detalla en el Anexo 2.

### **1.2.2. Verificaciones y pruebas de recepción**

Antes de realizar una prueba de recepción, elabore un registro considerando los siguientes ítems:

- a) Verificar que el eje o los cojinetes no estén dañados.
- b) Verificar que los cojinetes están lubricados.
- c) Verificar la condición y la instalación de las escobillas.
- d) Se deben realizar pruebas de resistencia de aislamiento IR, según el inciso 1.3.1 ítem “i” al “k”, tomando en cuenta valor de tensión a aplicar y para su mínima IR con compensación de temperatura, ver Anexo 3.
- e) Realizar una prueba para obtener el índice de polarización PI y la relación de absorción dieléctrica DAR al sistema de aislamiento de los devanados del motor según el Standar IEEE Std 43-2000, ver Anexo 3.
- f) Realizar una prueba de alto potencial (HIPOT) a tierra, según el inciso 1.3.1 ítem “l” de acuerdo con el Standar IEEE Std 432-1992, conforme al devanado bajo prueba, ver Anexo 4.
- g) Realizar una medición de resistencia óhmica, para bobinas de motores eléctricos, ver Anexo 5.
- h) Realizar una prueba de impulso (Surge Test), ver Anexo 6.
- i) Para encontrar defectos en las barras del rotor realizar una prueba monofásica de baja tensión (aproximadamente el 10-20% de la tensión nominal) sobre el rotor tipo jaula de ardilla. La máxima variación de corriente de línea aceptada será  $< 3\%$ , cuando el eje está rotando a plena carga.
- j) Realizar una prueba de pérdidas en el núcleo, según Anexo 7.

Si las condiciones lo permiten, se debe hacer funcionar el motor inicialmente a una tensión reducida (25-50% de la tensión nominal), si la prueba es exitosa, y de ser posible hacer trabajar el motor a plena tensión para ver su funcionamiento.

### **1.2.3. Instrucciones y procedimientos de desmontaje**

- a) Se deben marcar las partes (Soportes, Estructura, Cubiertas y Porta-carbones) antes de iniciar cualquier desmontaje.
- b) Los soportes y los cojinetes deben ser identificados por pares.
- c) Se debe identificar y marcar las estructuras de montaje.
- d) El cableado debe de ser marcado antes de desconectarse.
- e) Antes de remover el acoplamiento u otros componentes montados en el eje, medir y señalar su posición con respecto al extremo del eje. Se pueden marcar los componentes críticos para el montaje.
- f) Usar un sistema de tinte penetrante para comprobar las aspas del ventilador por daños y grietas.
- g) Anotar todas las señales de daños o marcas cuando las partes sean removidas.

Medir el descentramiento del eje cumpliendo con las especificaciones originales del motor. Si la información no está disponible, utilice la siguiente:

- 1) Descentramiento del motor AC = 0.001 en la lectura total del indicador.
  - 2) Descentramiento del motor DC = 0.002 en la lectura total del indicador.
- h) Verificar la evidencia de roce en el diámetro exterior (ventilador, cubiertas, anillos extremos, láminas de la armadura, etc.).
  - i) Si es posible, comprobar la estabilidad del núcleo sobre su eje. Realice una inspección visual para detectar signos de movimiento axial y radial.
  - j) Inspeccionar visualmente los componentes rotativos que soportan calentamiento excesivo y otras anomalías.

#### **1.2.3.1. En máquinas DC**

Comprobar el estado del conmutador, láminas del núcleo, devanados, conexiones, bandas, ranuras, soportes de anillos, cuñas, amarres, adaptador de rosca, etc.

#### **1.2.3.2. En máquinas AC**

Inspeccione el estado de las uniones en las barras, anillos extremos, bobinados, anillos colectores, ranuras, adaptador de rosca, piezas del polo síncrono, etc.

- a) Medir y registrar las siguientes dimensiones:
  - 1) La extensión del eje.
  - 2) Ajustes de los cojinetes.
  - 3) Descentramiento de la extensión del eje.
  - 4) Sellado del eje.
  - 5) Conmutador / colector de diámetro del anillo.
  - 6) Conmutador vertical y la longitud superficial de la escobilla.
- b) Inspeccionar visualmente el estado de los componentes no giratorios (soportes, tabiques, pantalla térmica, porta escobillas, escobillas, empaques, separadores, cuñas separadora, adaptador de rosca, ajustes mecánicos, etc.)
- c) Medir y registrar los soportes ajustables en la carcasa y cojinetes.
- d) Inspeccionar visualmente el estado de las bolas, rodillos alojados en el cojinete (desgastes, ranuras, ajuste de sellos, rozamientos, engrase, aisladores, medidor de aceite, etc.)
- e) Inspeccione visualmente el estado de los cojinetes tipo casquete mientras estén en los soportes (desgaste, canaletas de aceite, lubricación de los anillos, sellos, perno, etc.)
- f) Inspeccione visualmente en la carcasa los polos de campo, el metal de la estructura, bloques de montaje, soldaduras, ajustes mecanizados, escobillas, calentadores, etc.

#### **1.2.4. Remoción de las bobinas de campo para rotores síncronos.**

- a) Antes de remover los polos realizar un diagrama que muestre la orientación y ubicación del polo de campo y las conexiones del cableado.

- b) Se debe marcar los polos de campo de acuerdo a la carcasa o a la ubicación del rotor.
- c) Medir y registrar la posición axial antes de ser removidos los polos de campo rotatorios y asegurar que se vuelvan a instalar en su centro eléctrico.

#### **1.2.5. Remoción de los polos de campo en máquinas DC**

- a) Realizar un diagrama de las conexiones de los polos de campo y mostrar los polos principales e interpoles con relación a algunos dispositivos permanentes montados en el chasis, tal como la caja de conductores, etc. Identificar claramente las conexiones desde el interpolo hasta los porta escobillas con el fin de garantizar la correcta polaridad cuando vuelva a conectarse.
- b) Siga los estándares establecidos para identificar los polos con F1-F2, una serie de polos con S1-S2, y interpoles / armadura con A1-A2.

#### **1.2.6. Inspección de los polos del rotor**

- a) Antes de desconectar el cableado, hacer un diagrama que muestre la ubicación de todos los polos, las conexiones del cableado, las aspas del ventilador y los periféricos asociados, puede utilizar la ranura del eje como referencia para indicar la relación de los anillos colectores, escobillas excitadoras, cables y abrazaderas.
- b) Se debe marcar cada pieza de los polos en pareja respecto al rotor y asegurar que serán reensamblada en el mismo lugar y con la misma orientación, es recomendable enumerar los polos en la secuencia de las agujas del reloj frente al anillo colector o al final del excitador.
- c) Medir y registrar la posición axial de las piezas polares con respecto al núcleo y el eje del rotor (Esto puede realizarse si se identifica el polo #1, se coloca una marca de punzón en su punto medio, y se



mide la distancia desde la marca del punzón hasta la referencia del eje, luego utilice esos datos y la referencia del eje para colocar una marca de punzón en cada uno de los polos restantes, permitiendo de esta forma localizar los polos del rotor para ser devueltos a su correspondiente centro magnético. Un método alternativo es medir la distancia entre cada espacio de la pieza polar y el borde exterior de la ranura del rotor.)

- d) Se deben registrar con un diagrama todas las ubicaciones de los anillos colectores si estos van a ser inspeccionados con el fin de desmontar los polos.
- e) Cuando se inspeccione las barras del rotor jaula de ardilla (síncronos y de inducción) y sus uniones con los anillos extremos se debe buscar grietas y ranuras provocadas por arco eléctrico, si es posible tomar fotografías para mostrar la ubicación de las barras dañadas. Identificar y anotar en un diagrama la ubicación de las barras defectuosas y todas las conexiones entre los polos y los anillos extremos

#### **1.2.7. Otras inspecciones mecánicas**

- a) Se debe inspeccionar las partes del motor para detectar la presencia de grietas, señales de desgaste o roces.
- b) Inspeccionar las ranuras por desgaste.
- c) La tolerancia de los cojinetes de bola, rodillo y tipo casquete incluyendo la tapa retirada, debe cumplir con las especificaciones del fabricante del motor o fabricante de los cojinetes.
- d) Medir y registrar las dimensiones para ajustar los soportes de la carcasa y los cojinetes.

### **1.3. Evaluación de daños**

Al recibir un motor es esencial realizar una evaluación completa de las condiciones para:

- Determinar qué reparaciones específicas son necesarias (el motor puede haber sido enviado al taller de reparaciones con poca evidencia conforme al origen y ubicación del problema).
- Encontrar problemas inesperados, que puedan ser relacionados con un daño evidente.
- Diagnosticar la causa y efecto y así ayudar a prevenir una recurrencia.

Esta evaluación debe incluir una revisión completa de cada parte del motor para las siguientes condiciones:

- Limpieza general
- Soldaduras agrietadas, quebradas o ambas.
- Partes faltantes.
- Marcas de desgaste debido a fricción.
- Decoloración, carbonización u otro tipo de evidencia de sobrecalentamiento.
- Ajuste de acoplamiento y holgadura.
- Corrosión, humedad o aceite en el interior de la máquina.
- El nivel de las bases de montaje (las bases de la estructura del motor deben estar dentro de un desnivel de 0.005 pulg (0.013cm) cuando se coloque sobre una superficie plana de referencia)

Se recomienda fotografiar cualquier condición anormal encontrada en el proceso para ser parte del informe de la inspección, en la ausencia de fotografías claras, un bosquejo, diagrama o descripción. Las condiciones descritas no deberían ser confusas en cuanto a su ubicación. Si se hace referencia conforme a "la posición de las agujas del reloj" o extremos de la máquina (por ejemplo, "hacia dentro" o "hacia fuera"), debe dejarse claro el lugar que se describe con una nota o croquis. Se recomienda los términos "fin

de la unidad" y el "inicio de la unidad" para máquinas de eje horizontal y para eje vertical se recomienda "superior" e "inferior".

La evaluación de daños en los componentes de un motor se divide en dos categorías, eléctricos y mecánicos como se muestra a continuación:

### **1.3.1. Evaluación eléctrica**

Al evaluar inicialmente el devanado del estator se debe buscar lo siguiente:

- a) Cuñas de ranura que están sueltas, dañadas, o han sido cambiadas de posición.
- b) Amarres o nudos que están sueltos o rotos.
- c) Suciedad, aceite o humedad depositada sobre la bobina.
- d) Verificar daños en la bobina, quemaduras, carbonización, movimientos dentro de la ranura, aislamientos picados o desgastados por partículas del aire, comprobar que la cinta que sujeta las bobinas no esté floja o agrietada, si en el lugar se han tenido arcos eléctricos o quemaduras severas, inspeccionar al interior de la bobina con cuidado por posibles fragmentos de cobre fundido que pueden haber sido proyectados desde el devanado fallado. Los devanados para motores con tensión nominal o superiores a 5 kV tienen descargas parciales en sus ranuras causando como evidencia polvo blanco o gris en la superficie.
- e) Verificar existencia de grietas en las puntas de los cables que contengan plomo, aislamientos recalentados o pelados, y terminales tipo lugs sueltas o quemadas.
- f) Cuando un embobinado muestre evidencia de daños provocados por arcos eléctricos o sobrecalentamiento, observar y registrar la ubicación y naturaleza de ellos. Si todas las bobinas se muestran igualmente sobrecalentadas las posibles causas serían, falta de ventilación, baja tensión o sobrecarga prolongada. Si gran parte de las bobinas de una fase

están en buena condición, el daño pudo ser provocado por una sola fase de operación o un desequilibrio de tensión. Si sólo ciertas bobinas adyacentes a los conductores de la línea han sido dañadas sobre todo con un sobrecalentamiento relativamente bajo, pudo haber sido provocado por un transitorio de tensión en el circuito de alimentación. Estos y muchos otros factores que contribuyen con posibles fallas o daños serán explicados en el Anexo 8.

- g) Buscar evidencia de daños o golpes en el aislamiento causados por desprendimiento de objetos, por ejemplo cuando se rompen las aspas del ventilador en el motor, el impacto genera un golpe que puede dejar el cobre desnudo, cuando el golpe provoca adyacencia entre vueltas esto se convierte en cortocircuito y ocasiona una falla.
- h) Si el daño en el devanado es evidente, observe con atención todos los conductos de ventilación del estator, incluso cuando un devanado parece limpio en la superficie estos pueden estar bloqueados por barniz o contaminantes.
- i) Si no hay posibles daños en el devanado del estator, medir la resistencia de aislamiento con un mega-óhmetro de acuerdo con el IEEE Std 43-2000. Registre el valor de la resistencia de aislamiento (IR) entre el devanado y el núcleo del estator. Aplicar una tensión durante 1 minuto, de la siguiente manera, ver Anexo 3:

Tensiones nominales en el devanado*	Tensiones de prueba en DC para la IR
<1000	500
1000 - 2500	500 - 1000
2501 - 5000	1000 - 2500
5001 - 1200	2500 - 5000
>12000	5000 - 10000

La tensión nominal de línea a línea para maquinas trifásicas AC,  
Tensión nominal de línea a tierra para maquinas monofásicas y  
Tensión nominal para maquinas DC o de devanado de campo.

**Tabla 1:** Aplicación de tensión para la prueba de IR en base a la tensión nominal de la máquina<sup>21</sup>.

- j) El aislamiento debe limpiarse y secarse. En ambientes húmedos, es de gran importancia la limpieza de la superficie del aislamiento, al efectuar las pruebas deben hacerse al mismo potencial, las lecturas deberán corregirse a 40 °C y en lo posible bajo las mismas condiciones.
- k) Para corregir las lecturas de IR a la temperatura de referencia, utilice la fórmula que se encuentra en el IEEE Std. 43-2000, ver Anexo 3.

$$R_c = K_t * R_t$$

Donde

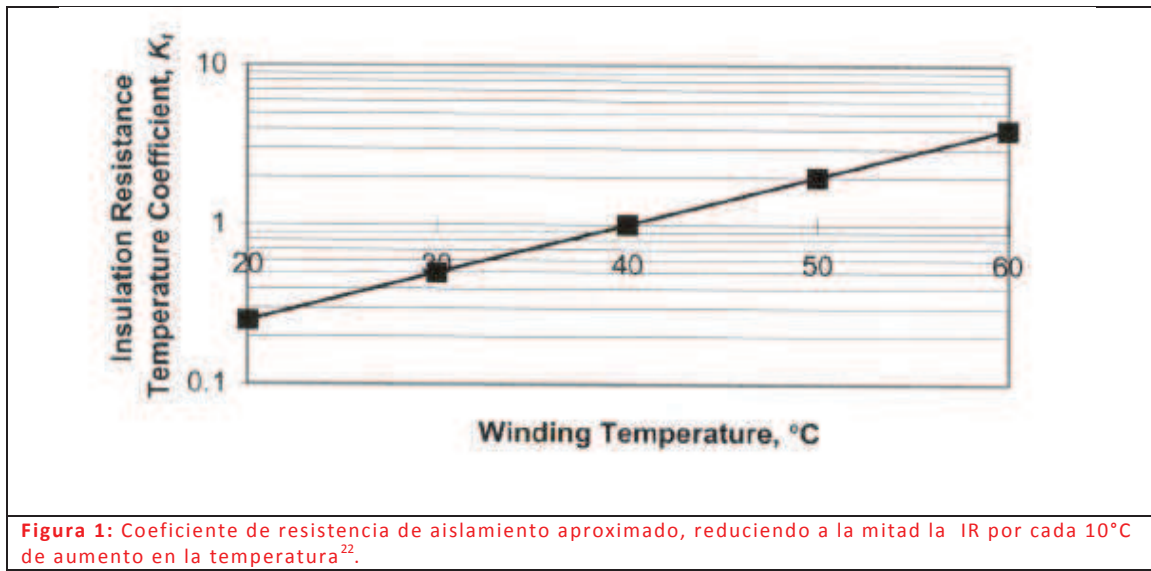
$R_c$  = La resistencia de aislamiento (en mega-ohms) corregida a 40 °C.

$R_t$  = La resistencia de aislamiento medida (en mega-ohms) a temperatura t.

$K_t$  = Coeficiente de la resistencia de aislamiento de temperatura a la temperatura t.

Obtener K en la figura 1 en el IEEE Std. 43-2000.

<sup>21</sup> Datos obtenidos de: IEEE Std. 43-2000



- l) La aplicación de alto potencial a devanados nuevos la prueba HIPOT se realizara como se especifica en el Anexo 4 Tabla A4.1 y A4.2, no se recomienda repetir la prueba para no someter a estrés el aislamiento, después de rebobinar o el equipo este instalado o montado es necesario realizar una prueba de alto potencial a todo el conjunto, se recomienda que la tensión aplicada para esta prueba no exceda el 80% de la tensión nominal de la máquina, y para maquinas cuando el devanados ha sido reacondicionado se debe realizar al 65% del valor especificado en el Anexo 4 Tabla A4.1 y A4.2 para devanados nuevos.
- m) Si esta prueba es reprobada, el taller de reparación deben discutir los resultados con el propietario para llegar a una decisión de rebobinar o reacondicionar el devanado para volver a realizar la prueba (por ejemplo, re-impregnar el devanado).
- n) Inspeccionar el núcleo del estator en búsqueda de corrosión, recalentamiento en las láminas, dientes dañados o quebrados, espacios de ventilación obstruidos, marcas de rozamiento por contacto del rotor o material atrapado en el entrehierro. Realizar una prueba de pérdidas en el núcleo para evaluar la condición de las láminas según Anexo 7.

<sup>22</sup> Datos obtenidos de: IEEE Std. 43-2000

- o) El rotor es el segundo componente eléctrico más importante: Inspeccionar la limpieza, laminaciones, espacios de ventilación, condición de las ranuras de los dientes y marcas de frotación en el estator. Las láminas del rotor deben ser revisadas por "conicidad" (separación de láminas, haciendo que la longitud del rotor sea mayor en el diámetro exterior de lo que está en el eje).
- p) El rotor tipo jaula de ardilla será encontrado con mayor frecuencia, en la estructura se puede usar una fabricación de aleación de aluminio para las barras y los anillos extremos, barra o anillo de aluminio ensamblado, aleación de cobre para la jaula. Cual sea el tipo registre la ubicación y naturaleza de los defectos encontrados, usar un espejo dental si es necesario para inspeccionar todas las superficies accesibles en las barras y anillos extremos, buscando zonas decoloradas (rastros de sobrecalentamiento), grietas, piezas faltantes, rozamiento de barras en las ranuras, soldaduras porosas o deterioradas, y barras que se han salido de su posición por la fuerza centrífuga dañando las ranuras.
- q) Cuando las barras presentan sobrecalentamiento o fundición, se debe localizar el origen del problema, usualmente el daño más grave será en los extremos del rotor fuera del núcleo. Si éste es provocado por una sobrecarga o ventilación bloqueada, es probable que el rotor este daño en su núcleo.
- r) Observar evidencias de formación de arcos o quemaduras a lo largo de los bordes de las barras adyacentes a las ranuras (esto generalmente indica aflojamientos de barras).
- s) Si en las barras se encuentran grietas o quebraduras estas indican el remplazo de la jaula entera. Si la jaula requiere reemplazo, esta misma debe ser de aluminio o aleación de aluminio de bajo contenido en cobre (0.2% o menos). Si se utilizan jaulas de cobre o de aleación de cobre la unión de materiales de metal deben de ser libres de fósforo. Si las barras están sueltas pero sin daños, el material de sellado puede ser expandido (con una herramienta adecuada) lo suficiente como para ajustar las

barras cerca de cada extremo o en una o más ubicaciones a lo largo de la longitud de la pila del núcleo, sin embargo, esto no funcionará si el diseño de las barras son de forma T (angosto en la parte superior, ancho en la parte inferior) para un ajuste flojo en la parte superior. A un rotor que se le aplica tratamiento de barniz para barras sueltas utilizando la impregnación de presión-vacío, este método no fijara permanentemente las barras y no debe ser utilizado para la reparación en barras sueltas, a menos que las barras pueden ser mecánicamente apretadas, y puedan ser reemplazadas.

- t) El rotor debe ser probado para localizar roturas no visibles en las barras, siempre y cuando el estator y los cojinetes están en condiciones de uso, se puede realizar una prueba para una sola fase [aplicando un 10% de la tensión nominal a sólo dos conductores del devanado del estator, gire con la mano el rotor lentamente y observe las variaciones de corriente indicando posibles defectos en las barras; ver inciso 1.2.2 ítems i) que dice lo siguientes:

*“Para encontrar defectos en las barras del rotor realizar una prueba monofásica de baja tensión (aproximadamente el 10-20% de la tensión nominal) sobre el rotor tipo jaula de ardilla. La máxima variación de corriente de línea aceptada será < 3%, cuando el eje está rotando a plena carga”.*

De lo contrario, el rotor puede ser probado de manera similar con la prueba "GROWLER" ver Anexo 9. Ninguna de estas pruebas es garantizada, o de un procedimiento normalizado. Una dificultad es que las barras agrietadas pueden detectarse sólo cuando el rotor está caliente, la grieta se cierran cuando el rotor se enfría. Puede ser útil un horno para calentar el rotor por un corto tiempo antes de una prueba Growler.



- u) Examinar las tapas de acero de retención o "anillos de contracción" (por lo general ubicadas junto a los extremos de alta velocidad de la jaula del rotor para contener la expansión centrífuga) en busca de signos de distorsión, aflojamiento o desgaste. Los anillos extremos de los rotores a veces pueden fallar al ser expulsados por un movimiento cónico por las altas fuerzas centrífugas, una condición que debe ser solventada por reemplazo en lugar de ser reparadas.

### **1.3.2. Evaluación mecánica**

Para la evaluación del estado mecánico se debe prestar atención a lo siguiente:

- a) **En los cojinetes antifricción:** La condición del lubricante, suciedad, óxido o humedad, corrosión, decoloración térmica, rodillos, picaduras o desprendimiento de bolas, retenedores rotos o faltantes.
- b) **En los cojinetes tipo casquete:** Residuos de metal blanco o escoria, fugas de aceite, desgaste de aceite en los anillos, el aislamiento debe estar integro para bloquear el paso de la corriente en los cojinetes (usar un mega-ohmímetro con menos de 50 V de salida, se recomienda una mínima IR de 50 M $\Omega$ , no es necesario la corrección de temperatura). Compruebe el bloqueo de aceite en el sistema de lubricación al interior de las tuberías y el funcionamiento correcto de la bomba.
- c) **En el eje:** El alineamiento (NEMA MG 1-1993, Sección 1, Parte 4), grietas, corrosión, escoria o fraccionamientos.
- d) **En los sellos:** Frotamiento o desgaste, fugas, cristalizaciones o endurecimiento del material de fieltro o elastómeros.
- e) **En los empaques:** Partes endurecidas, rotas o fuera de su posición, empaques faltantes, evidencia de fugas de lubricante o contaminante en los empaques.
- f) **En tornillos, tuerca o roscas:** Sueltas, faltantes o rotas.

- g) **En la estructura o carcasa:** Corrosión, el buen estado de la soldadura, bloqueo de drenajes, respiradores o canaletas de aire para la ventilación.
- h) **La condición de los accesorios:** Calentadores, termostatos, etc.
- i) **El Reemplazo o reutilización de cojinetes:** Muchos usuarios que envían su motor al taller de reparación consideran una buena práctica el reemplazo de los cojinetes en cualquier revisión, independientemente de la reparación que se lleve a cabo. Cuando los componentes grandes y costosos están involucrados, tales como cojinetes de rodamientos axiales, las limitaciones financieras establecen si es posible mantener los cojinetes existentes en servicio, eso requiere una cuidadosa evaluación de la condición de los cojinetes. Para ello, el taller de reparación a través de los proveedores o fabricantes debe obtener documentos de investigación de las características de los cojinetes. En las investigaciones están definidas los diagnósticos tales como; el flujo de corriente en el eje, la carga de empuje inadecuado, fatiga, falta de lubricación, u otros defectos.

## **2. Reacondicionamiento sin reparación de los daños**

Algunos motores sólo necesitan de limpieza en los conductos de ventilación o de pintura y limpieza en el exterior, se pueden reutilizar los mismos cojinetes aunque no se recomienda en cojinetes antifricción o si el aislamiento se encuentra en buenas condiciones y el proceso de rehornado en la bobina reacondicione la capacidad de servicio del motor, y si el motor está sólo para ser limpiado y rebarnizado o sea necesario cambiar los cojinetes.

El taller de reparación debe asegurar que cualquier método que utilice disolventes para la limpieza debe ser compatible con el aislamiento de las bobinas (incluyendo revestimientos de ranura y las tapas), el esmalte en el hierro y cualquier pintura de las superficies del motor. Del mismo modo, para

el proceso de secado de motores, se debe tener cuidado para evitar sobrecalentamiento en los devanados o el aislamiento. Se recomienda que la temperatura de secado este por debajo de 80 °C, para el procedimiento de secado de motores ver apéndice de estándar IEEE Std. 43-2000.

### **3. Proceso de reparación**

#### **3.1. Taller de reparación**

##### **3.1.1. Durante la recepción**

Los interesados o involucrados pueden tomar la decisión de rebobinar el motor cuando la unidad se encuentra en el taller de reparación. Si la evaluación de los daños fue elaborada en otro lugar diferente al taller de reparación se debe realizar una evaluación conforme al inciso 1.3 para revisar el daño antes de la reparación o antes de iniciar el reacondicionamiento.

##### **3.1.2. Desarmado y limpieza**

Uno de los procedimientos más perjudiciales en el rebobinado es remover los devanados eléctricos y los elementos viejos o arruinados, existen muchas formas de remover éstos, a continuación se describen tres métodos que recomienda este documento.

###### **3.1.2.1. Quemado por horno**

Durante el proceso de "quemado" algunos tipos de aislamiento interlaminar serán gravemente dañados por la exposición de las láminas a temperaturas superiores a 650 °F (343°C). Las pruebas muestran que esto puede dar lugar a un aumento de las pérdidas en

el núcleo (con una disminución en la eficiencia) o sobrecalentamiento del nuevo devanado después de que ha sido instalado. Al realizar una operación en la cámara del horno la temperatura debe de estar por debajo de 650 °F (343°C) no necesariamente se eliminara el daño, la temperatura en las láminas siempre será la misma, usualmente los controles de temperatura del horno a menudo son demasiado lentos en su respuesta para mantener el límite de seguridad. Por otra parte, el apagado del horno no limita la temperatura del núcleo a un valor seguro. Por ejemplo, algunos aislamientos del tipo epoxy, liberan grandes cantidades de calor (incluso en ausencia de oxígeno), debido a su descomposición, aun cuando el horno sea apagado.

Se ha demostrado que cuando se fijan hornos a 650 °F (343°C), la temperatura en la plancha puede exceder 800 °F (426°C), por lo tanto se recomienda el uso de un detector de temperatura incorporado ya sea termocupla o de resistencia (RTD) para controlar la temperatura en la plancha. Registre la calibración tanto de la temperatura del horno como la del motor. La temperatura del horno debe ser capaz de controlarse automáticamente.

Por lo tanto, el calentamiento por horno sólo se recomienda si es posible controlar la temperatura en el núcleo para no sobrepasar los 650 °F (343°C) mediante el uso de un sistema de inyección de agua o vapor en el horno para la supresión rápida de "flámeos".

NOTA: El uso de sopletes de mano o de llama directa, no se recomienda.

#### **3.1.2.2. Corte por presión de agua**

Cuando se utilice el método para la eliminación del aislamiento por medio de presión de agua, se debe prestar atención a lo siguiente:

Tener cuidado cuando la dirección del chorro cortante se ejerce alrededor de las láminas para no generar humedad entre ellas, también si se realizó el procedimiento de corte por presión de agua sin remover los embobinados e inmediatamente de alguna forma se realizó el secado artificial a una temperatura baja (menos de 500 °F) se debe remover el embobinado del motor durante la mismo día. Si se añade cualquier solución de limpieza en la presión del chorro de agua estos deben ser compatibles con los materiales utilizados en la construcción del motor. El taller de reparación y los usuarios deben ser conscientes que existen riesgos de seguridad en el uso de este método por lo cual se deben tomar las debidas precauciones.

#### **3.1.2.3. Por medios mecánicos**

Cuando se utilizan técnicas mecánicas para remover el aislamiento, se debe tener cuidado para que no se produzca la separación de las láminas mientras se retira los devanados. Cuando se use calor para suavizar el aislamiento (sin utilizar un horno), no se debe permitir que el flameo incida sobre las láminas de motor.

#### **3.1.3. Reemplazo de bobinas**

Para el remplazo de bobinas, las denominaciones enrollamiento aleatorio (random-wound) y mush-wound son intercambiables, y se refieren a enrollamientos que se embobinan sobre un torno y se insertan dentro de las ranuras que usualmente están semicerradas. Los embobinados que son de

enrollamiento formado (Form-wound) de alambre rectangular también son hechos en un torno, y se utilizan generalmente en ranuras que están "abiertas" ambos embobinados se apoyan en el papel de aislamiento entre las bobinas y tierra. Para el embobinado random-wound usualmente el esmalte del conductor es el aislamiento entre vueltas, para el embobinado Form-wound utiliza esmalte, vidrio, polímeros de aramida sintética o cinta de mica del conductor para el aislamiento de las vueltas. Para los motores herméticos con embobinados random-wound y form-wound, el material de aislamiento debe ser compatible con el refrigerante.

- a) Después de remover las bobinas viejas, pero antes de instalar las nuevas, las láminas deben ser limpiadas, inspeccionadas, reparadas y repintadas, si es necesario.
- b) Se recomienda forros para ranura en todos los motores.
- c) Las bobinas deben formarse de alambre esmaltado a partir de longitudes continuas y de tamaño adecuado (para que sean similares a las características de placa). Bajo circunstancias normales no se recomiendan empalmes en las bobinas individuales.
- d) Se deben hacer una inspección a las bobinas en búsqueda de daños en el aislamiento del cable esmaltado.
- e) Debe mantenerse a un mínimo los cruces de los alambres esmaltados dentro de las ranuras en las bobinas random-wound.
- f) Colocar RTDs o termocuplas dentro de las bobinas si forman parte del diseño original o a solicitud del cliente. Asegurarse que el tipo de RTD sea el indicado y que los valores de temperatura/resistencia estén calibrados.
- g) Se debe añadir material de aislamiento extra para el relleno entre las cuñas y las bobinas, esto dará un ajuste perfecto contra la ranura de los dientes, aislar el embobinado de enrollamiento preformado (Form-wound) con una capa de 1/2-lapped como mínimo o al menos 5 milésimas

de pulgada de papel de mica, trozos de mica, trozos de mica soportados por tejidos de vidrio, polímero de aramida sintética, manta de poliéster, o una combinación de éstos, ya sea en forma de cinta o envoltura. No se aceptan cintas que utilizan una o más capas de polietileno (Terephthalate PET). Utilizar el aislamiento del arrollamiento en todos los estatores que tengan un núcleo con una longitud mayor de 0.64m (25 pulgadas). Usar el aislamiento de vuelta-a-vuelta de acuerdo a los siguientes parámetros de tensión:

- > 50 V pico por una capa de 1/2-lapped
- > 80 V de pico por dos capas 1/2-lapped
- > 120 V pico por tres capas 1/2-lapped

NOTA: Se debe tener el dato de la capacidad de aislamiento del conductor por hilo y por vuelta.

- h) Se requiere una forma y diseño particular de la bobina para asegurar con un refuerzo el final de la vuelta.

#### **3.1.4. Reemplazo de cojinetes y restauración de ajustes y sellos.**

- a) **Remoción de cojinetes:** Se debe remover los cojinetes de rodamiento y bolas mediante el uso de prensas hidráulicas o un equipo especializado de extracción. No es aceptable la remoción de cojinetes por medio de martilleo. Si se remueven los cojinetes aplicando calor estos no deben ser reinstalados, y se deben tomar medidas para asegurar que el calentamiento sea concéntrico y que el eje se caliente de manera uniforme.
- b) **Reensamblado de cojinetes:** Los cojinetes tipo casquete ya sean nuevos o reconstruidos deben ser instalados siguiendo el método “azulado y raspado” (bluing and scraping) que se describe a continuación:

- 1) Usando una herramienta para el raspado de cojinetes (usualmente se utiliza una lima triangular con los dientes afilados), raspar los relieves laterales y los contornos recomendados por el fabricante del cojinete. Aplicar una pequeña cantidad de compuesto azulado a la parte inferior del muñón del eje para formar una capa uniforme de 1 pulg. de ancho y 2 pulg de largo. Levante ligeramente el eje, introduzca y acomode lentamente la parte inferior del cojinete tipo casquete, luego baje el eje sobre él, asegurando que el peso del rotor se aplique uniformemente. Gire el eje 1/2 ó 1 vuelta, luego levante el eje nuevamente y retire lentamente la parte inferior del cojinete, podrá visualizar patrones de áreas color azul claro y oscuro en la superficie de apoyo, estos corresponden a relieves (alto y bajo) de la superficie del cojinete, raspe los puntos altos para tener uniformidad respecto a los puntos bajos, se debe repetir el proceso de azulado y raspado hasta lograr un contacto del 80%. Cuando esté completo, deje la mitad inferior del cojinete en su lugar con el peso del rotor en el cojinete.
  
- 2) Poner dos o tres piezas de alambre de plomo u otro material deformable calibrado en el muñón, perpendicular a la línea central del eje, y sus extremos a 1/2 pulg. de la línea de corte horizontal. Asegúrese de que las partes superiores e inferiores del cojinete están limpias. Si se utilizan cuñas entre las mitades, asegúrese también de que estén limpias. Coloque la parte superior del cojinete tipo casquete sobre los alambres de plomo en el muñón. Instale la parte superior del cojinete en la carcasa y apreté los tornillos según especificaciones. luego con precaución desmonte y retire la carcasa la parte superior del cojinete, luego mida el grosor del alambre de plomo o del material deformable según especificaciones del fabricante. Si el grosor está dentro de los límites, remover los alambres de plomo o el material deformable y proceder con el



montaje. Si no está dentro de los límites, y si el grosor es mayor al límite, se debe rellenar con metal antifricción babbitted a ambas mitades del cojinete, y si el grosor es menor al límite raspar la parte superior del cojinete tipo casquete.

- 3) El reensamblado de cojinetes horizontales o verticales deben seguir cualquier procedimiento prescrito por el fabricante, a menos que se suministre por el propietario, los detalles de este procedimiento debe de darse al dueño como parte del informe final de reparación
- 4) Los cojinetes de bolas o de rodillos deben ser instalados en el eje aplicando calor en la parte interior, utilizando un calentador de baño de aceite o por inducción de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. Al utilizar un calentador por inducción se debe garantizar que el calor sea aplicado uniformemente a los cojinetes. No se debe permitir que los cojinetes se coloquen antes de ser completamente asentados en el anillo del hombro del eje o de retención, para aquellos motores que sus cojinetes se coloquen en la pista exterior del eje (por ejemplo, dispositivos de pantalla de vibración), la cámara del cojinete debe ser colocada por calor: la pista interna del cojinete tendrá un ajuste de deslizamiento en el eje. Cualquier presión utilizada para asentar un cojinete debe ser aplicado por igual en toda la pista del eje.
- 5) Los selladores no deben ser usados para asegurar el apoyo de un cojinete contra la pista de rodamiento. Si el ajuste entre pistas es de metal-metal y el eje o el cojinete no está dentro de los límites del diseño (tipo casquete, re-mecanizados, pulverizado y mecanizado a tamaño o restaurado) las piezas sufrirán un desgaste.

- 6) La carcasa o cámaras del cojinete que es lubricada a través de grasa no debe ser empacada con más de 1/3 de su totalidad, utilizando una grasa adecuada al entorno operativo del motor y de los cojinetes.
- 7) Los cojinetes tipo casquete o antifricción deben ser aislados eléctricamente para bloquear el paso de corrientes que se originan dentro del eje y dañan a las maquinas electromagnéticas. El aislamiento de los cojinetes debe ser probada durante el proceso de montaje. [Ver 1.3.2 ítem b).]
- 8) Todos los accesorios de ajuste para el ensamblado de los cojinetes deben ser sustituidos para que el aislamiento del cojinete no esté en cortocircuito y para que no se pierda la sensibilidad del sistema de protección. Dichos accesorios incluyen tuberías y conexiones del sistema de lubricación, así como dispositivos sensibles a temperatura o vibración.
- 9) De acuerdo con los límites de diseño de la maquina el ensamblado de los cojinetes debe ser ajustado para proporcionar un juego axial en eje. Para motores de eje horizontal con cojinetes antifricción, el juego axial del eje debe permitir una expansión térmica sin causar daños en los cojinetes. Para motores verticales, ajuste las tuercas de seguridad, arandelas, y la instalación del cojinete de empuje, los apoyo deben ser acorde con las instrucciones del fabricante (o de las especificaciones del propietario). Se debe ensamblar de primero los cojinetes de tipo casquete para ajustar los demás cojinetes o la posición del rotor, de forma que el conjunto giratorio debe "flotar" en la posición del centro magnético dentro de los límites normales del juego axial. Esta posición de reposo natural se muestra a través de un indicador de centro magnético proporcionado en el motor, estos deben ser cuidadosamente controlados en el reensamblaje.

Cualquier cambio en la posición del centro magnético (aunque sea aceptable) debe ser marcado en el eje de manera que no genere una confusión al instalador a la hora del acoplamiento

- 10) Verificar en el ensamblado de los cojinetes tipo casquete la existencia de fugas de aceite en los siguientes elementos: Tuberías, sellos, sondas, etc. luego, cubra las superficies exteriores de todas las uniones, fracturas, o conexiones de rosca con whiting y deje que se seque. Llene la cámara del cojinete a su nivel normal de aceite. Observe el whiting para detectar cualquier signo de oscurecimiento que indica una fuga de aceite, luego con material de sellado selle las fugas que pueden aparecer en los empaques originales. Repita este proceso después de la ejecución de las pruebas finales.

### **3.1.5. En el Rotor y estator**

#### **3.1.5.1. Reparaciones de láminas del rotor y estator**

- a) Eliminar laminaciones con daño mecánico o eléctrico. Los siguientes cuatro métodos para la reparación de láminas en un estator o rotor dependen del grado de daño. La selección de un método se basa en la experiencia y el juicio de inspectores en cuanto a qué método de reparación eliminará los puntos calientes del núcleo

- 1) **Método uno:** (Cuando el estator está ligeramente rozado por el rotor, se genera una unión en los bordes de las laminaciones) La eficacia de este método depende de la profundidad de la ranura y el grado en que el embobinado llena la ranura. Las láminas unidas pueden hacerse vibrar por medio de un martillo accionado por aire colocado contra el extremo de la sección del núcleo. Las vibraciones en las láminas quebrarán

las uniones de metal, mientras este vibrando la sección dañada, aplique un barniz de aislamiento de alta calidad. Las vibraciones en los extremos provocara que el barniz penetre en las separaciones causando un reaislamiento en las láminas, este método asume que el daño es en el extremo de la sección de núcleo del estator. Alternativamente, las Laminaciones pueden separarse y el aislamiento interlaminar se puede restaurar mediante la aplicación de un tratamiento general de barniz.

- 2) **Método dos:** (Cuando existe falla en la bobina dentro de la ranura, laminaciones derretidas, o el estator tiene un desgaste moderado por el rotor.) Con una máquina de raspado para metal en forma de lápiz (pencil metal grinder), raspar el metal fundido hasta que puedan ser vistas y estén definidas las laminaciones del núcleo. El raspador pequeño de mano debe ser de alta velocidad (25 000 r/min), equipado con punta de carburo en forma de cono para un mejor trabajo. Raspar con una ligera presión, de forma intermitente (En lugar de forma continua) con un movimiento en el mismo plano que las láminas hasta retirar el metal fundido. Vuelva a pintar el área y pruebe el punto caliente en la zona dañada del núcleo. No raspar el área donde exista un daño a la integridad mecánica de la ranura. Cuando el área dañada es más del 10% del total de la superficie del área del núcleo, pasar al método tres.
- 3) **Método tres:** (Cuando el daño es mayor al 10% del total de la superficie del área del núcleo o no puede ser eliminado el punto caliente por el Método dos). Si el área dañada no puede ser reparada por cualquiera de los dos métodos anteriores, se debe considerar un reapilamiento parcial o total del estator o

rotor del núcleo, las laminaciones tendrá que ser desmontadas y remplazadas o reparadas por martilleo y lijado del metal dañado. Entonces las laminaciones debe ser aisladas por inmersión en un material orgánico con al menos 300°C de temperatura nominal y secadas al aire antes de ser reemplazadas, es preferible el aislamiento inorgánico con altas temperaturas nominales. El área dañada se puede redistribuirse en el núcleo moviendo la posición de cada lámina dañada en una ranura, esto puede requerir reordenamiento de las láminas en el marco.

- 4) **Método cuatro:** La conicidad de los extremos de las laminaciones en rotores, deben fijarse a través de soldadura con láminas rígidas, placas con extremo rígido, bandas, o el reemplazo de las mismas. Cuando exista exceso de conicidad en los extremos de las laminaciones, será mejor el reemplazo del rotor para lograr un mayor rendimiento. Una solución temporal a este problema puede realizarse por medio de “Impregnación mediante Vacío y Presión” (VPI) o el tratamiento de barniz como se indica en el punto 1.3.1 literal S).
- b) El ensamblado del rotor debe ser manejado con cuidado para no generar golpes a la jaula o sus devanados, al levantar el equipo no se debe causar desgaste o daños físicos a las superficies del muñón o en los ajustes de los sellos. Cuando se inserta el rotor en el estator, no se debe permitir que este ejerza una fricción contra la parte interior del estator.
- c) Se debe medir el centrado del rotor dentro del estator (siempre que la construcción de la maquina lo permita) con un calibrador

los "espacios rotatorios" y "espacios estacionarios" en los extremos del motor, las lecturas deben ser tomadas al menos en tres puntos separados a 90° alrededor del contorno del rotor. Verificar y registrar los valores en el "espacio estacionario" de los puntos, insertando por separado las hojas del calibrador métrico. Verificación en el "espacio rotatorio", las hojas del calibrador métrico se dejan en un lugar y el rotor se hace girar en pasos de 90° tomando nota de la lectura en cada paso. Esta prueba puede indicar la descentralización de un rotor que puede no ser detectada por la prueba del "espacio estacionario". Las lecturas no deberán exceder una desviación del 10% del promedio en cada extremo. (Vea la API 541-1995, Sección 2.4.7.16.)

#### **3.1.5.2. Balanceo**

El ensamblado del rotor en el taller de reparación debe ser balanceado a la velocidad máxima de operación. El balanceo debe de hacerse con el rotor apoyado en el muñón, la cantidad de desbalanceo debe ser medido en onzas-pulgadas (lbs-pulgadas). Se debe registrar la cantidad y la ubicación de los pesos de balance incluyendo el ángulo de fase relativa, se deben seguir las recomendaciones de los fabricantes con respecto a los límites aceptables del desbalance residual, en todo caso, el grado de desbalance debe ser un requisito para cumplir con los límites finales de vibración como se indica en las tablas 2, 3 y 4. La siguiente información sobre la vibración del eje se extrae de la norma NEMA MG 1-2009.

"Con un medidor de vibración verificar los límites de vibración en el eje, tener en cuenta que estos medidores son sensibles a anomalías mecánicas y magnéticas o en la superficie del eje. Generalmente es

conocido como " descentramiento eléctrico y mecánico en el punto de medida" la combinación del descentramiento mecánico y eléctrico del eje no debe de exceder 0.0005 pulgadas pico a pico (6.4 micrómetros pico a pico) o un 25% del desplazamiento límite de vibración. El descentramiento del punto de media se mide a bajas revoluciones (100-400 rpm), donde las fuerzas mecánicas de desequilibrio en el rotor son despreciables. Cuando se analiza el descentramiento, es preferible que el eje gire sobre los cojinetes de la máquina, posicionándolo en el centro axial (centro magnético).

#### NOTAS

1-Se requiere una preparación en la superficie del eje (cepillado y desmagnetizado) para obtener la lectura del descentramiento pico a pico

2-Para medir vibraciones en el eje se requiere que el equipo (medidor de vibraciones) se ubique conforme a los acuerdos tomados entre fabricante y comprador al momento del diseño del motor.

Cuando se especifique, los límites de vibración relativa para ejes montados rígidamente, maquinas con cojinete tipo casquete, incluso el descentramiento eléctrico y mecánico, estos límites no deben sobrepasar los datos mostrados en la Tabla 2.

Para maquinas especiales que requieren bajos niveles de vibración relativa con respecto al eje, estos se muestra en la Tabla 2, no se debe exceder los límites de la Tabla 3.

**PRECAUCIÓN**—Se requieren técnicas de balanceo especial para máquinas de inducción de dos polos o maquinas síncronas de dos polos, estas pueden realizarse a velocidad nominal. No se debe modificar las técnicas de balanceo en el rotor sin autorización escrita o aprobada por el propietario.

Después de completar el montaje del motor, para el balanceo final se debe operar a velocidad máxima para alcanzar los límites de vibración del estándar NEMA. Como se muestra en la Tabla 2, 3, ó 4, para mayor información revisar ANEXO 10.

Velocidad (r/min)	Frecuencia de rotación (Hz)	Límites estándar de la máquina, velocidad pulg/seg pico (mm/s pico)	Límites especiales de la máquina, velocidad pulg/seg pico (mm/s pico)
3600	60	0.15 (3.8)	0.08 (2.0)
1800	30	0.15 (3.8)	0.08 (2.0)
1200	20	0.15 (3.8)	0.08 (2.0)
900	15	0.12 (3.0)	0.06 (1.5)
720	12	0.09 (2.3)	0.05 (1.2)
600	10	0.08 (2.0)	0.04 (1.0)

**Tabla 2:** Límites de vibración

Velocidad síncrona, RPM	Máximo desplazamiento relativo en el eje
1801-3600	0.0028 pulg, (70µm)
≤1800	0.0035 pulg, (90µm)

**Tabla 3:** Límites para el máximo desplazamiento relativo del eje

Velocidad síncrona, RPM	Máximo desplazamiento relativo en el eje
1801-3600	0.0020 pulg, (50µm)
1201-1800	0.0028 pulg, (70µm)
≤1200	0.0030 pulg, (75µm)

**Tabla 4:** Límites para el máximo desplazamiento relativo del eje, para maquinas especiales



### **3.1.6. Conexiones eléctricas**

- a) Si algunos cables pasan a través o en contra de los bordes metálicos de la estructura del motor, el cable deberá ser cubierto o forrado para la protección mecánica del aislamiento contra el desgaste.
  
- b) Se debe marcar las principales terminales de conexión tipo lugs de acuerdo al NEMA MG 1-2009, identificándolas con bandas de metal (o al menos un grabado permanente en el aislamiento de los cables).
  
- c) Las terminales principales no deben ser soldadas con plomo, el método recomendado para la unión es por medio de trenzado o con conectores tipo lugs barrel (terminales a presión) para el tamaño específico de las terminales de acuerdo con el fabricante. No se debe usar conectores lug barrel cortados. Usar un ratchet que controle la presión, de manera que al conector tipo lug se le aplique la fuerza mínima recomendada. Colocar un cable por cada conector tipo lugs barrel, por ningún motivo los hilos de los cables deben ser cortados o doblados hacia atrás con el propósito de adaptarse con más facilidad en el conector tipo lugs barrel, todos los hilos deben estar totalmente unidos y colocados dentro del conector.
  
- d) Cuando exista una unión de dos o más conectores tipo lugs o donde las barras estén interconectadas en máquinas grandes, estas conexiones deben ser apretadas con valores de torque mínimos por medio de pernos, como se muestra a continuación.

	Tamaño del Perno (Pul)	Torque mínimo (lb-pie)	
	1/4	11	
	5/16	21	
	3/8	38	
	1/2	85	
	5/8	175	

**Tabla 5: Torque mínimo para determinado tamaño de perno**

### **3.1.7. Ajustes**

- a) Todas las partes que contienen ajustes mecánicos como soportes o sostenedores de cojinete, estructura del marco, etc., deberán manipularse de tal forma que eviten falseos o fisuras en cualquiera de las superficies mecánicas, Cualquiera de estos ajustes deben ser limpiados antes de ser re-ensamblado y acoplados. Evite realizar estos ajustes a través de “martilleo”, y asegúrese que las partes estén debidamente asentadas.
- b) Los empaques debe ser remplazados con un material apropiado para el entorno de operación del motor. Para sustituir los empaques se debe utilizar material de sellado, aplicando un espesor adecuado para sellar completamente la abertura, el material de sellado debe ser de una consistencia tal que permanezca en su lugar después de su montaje. Se debe sustituir correctamente todos los pasadores (clavijas) que se encuentran entre las partes de acoplamiento. No se debe confiar que las partes están fijamente alineadas, aun cuando la firmeza de los pernos de montaje o cualquier tipo de material de sellado sea correctamente aplicado.
- c) Algunos motores grandes requieren cuñas para ajustar la posición del estator y obtener un espacio correcto del entrehierro o para controlar la posición de pedestal del cojinete. Las cuñas son utilizadas con el fin de mantener la superficie plana, limpia, libre de rebabas y bien escalonada

o cónica según sea necesario para adaptarse a las superficies que no puedan ser paralelas.

### **3.1.8. Pintura**

- a) Todas las superficies metálicas (incluye puntos de soldadura hechos en la reparación) deben ser limpiadas y pintadas. La pintura puede ser elegida por el taller de reparación a menos que el propietario especifique lo contrario
- b) Si la máquina no va a poner en servicio inmediatamente se debe recubrir las superficies mecanizadas expuestas (como las extensiones de eje) con un revestimiento anticorrosivo

### **3.1.9. Precauciones en el envío**

- a) Para el envío del motor ya sea en un vagón o cualquier medio de transporte, siempre se debe montar el eje/rotor bloqueando los cojinetes tipo casquete, también se debe proteger el eje contra movimientos laterales o verticales que le pueda causar un daño. Se debe identificar los tornillos, abrazaderas, placas u otros medios de bloqueo para poder ser retirados antes de poner en marcha el motor.
  
- b) Motores de eje vertical o motores que tienen cojinetes antifricción no necesitan ser bloqueados para su envío, proporcionando un cojinete “bloqueado” como parte del ensamblado normal. Los motores verticales deben ser enviados en posición vertical

## **3.2. Campo de reparaciones**

Este documento es aplicado a reparaciones que se realizan en el taller de reparación, para casos en que las reparaciones se lleven a cabo en el lugar de la instalación del motor, no todas las cláusulas de este documento serán

aplicadas, estos casos pueden ser manejados en una base de trabajo-por-trabajo a través de un acuerdo entre el propietario y taller de reparación.

## **4. Posterior a la reparación**

### **4.1. Taller de reparación**

Al finalizar las reparaciones de motor, el taller de reparación debe presentar un informe escrito que incluya lo siguiente:

- a) Condición de recepción del motor.
- b) Una descripción detallada del trabajo realizado.
- c) Estado del motor (eléctrico y mecánico), cuando es devuelto.
- d) Datos que comprueben la excelente calidad de reparación del motor.
- e) Fotografía necesarias para una mayor claridad.

El informe de reparación debe contener todos los datos necesarios, y este debe estar protegido con una cubierta resistente al agua, y debe ser adjuntado al motor en su devolución.

#### **4.1.1. Usuario**

Después de finalizar las reparaciones y el motor sea devuelto al propietario, se deben tomar precauciones, para asegurar que la restauración del motor tenga características y condiciones similares o mejores a las originales.

Si el motor será guardado, el almacenamiento debe conservar la integridad de la reparación, si es dejado al aire libre, se debe utilizar un método de calentamiento a baja temperatura para evitar la humedad y el deterioro de las superficies no pintadas.

Cuando el motor sea reinstalado, se debe revisar cuidadosamente la instalación mecánica y la alineación, para asegurar su firmeza a la base y que el eje del motor este correctamente alineado con la carga. Es fundamental una alineación adecuada del eje si este es paralelo o en línea con la carga.

Realizar las conexiones eléctricas asegurándose que los conectores estén aislados y apretados. Cuando el motor sea energizado por primera vez, se debe medir las corrientes de operación y compararlas con las de la placa del motor y datos históricos. Para una instalación adecuada operar el motor sin carga y dejar que los cojinetes tengan una temperatura estable para descartar problemas, también localizar el acoplamiento del centro magnético. Luego acoplar el motor a la carga, si es posible rotar el eje con la mano antes de energizarlo, en búsqueda de problemas en la instalación de acoplamiento.

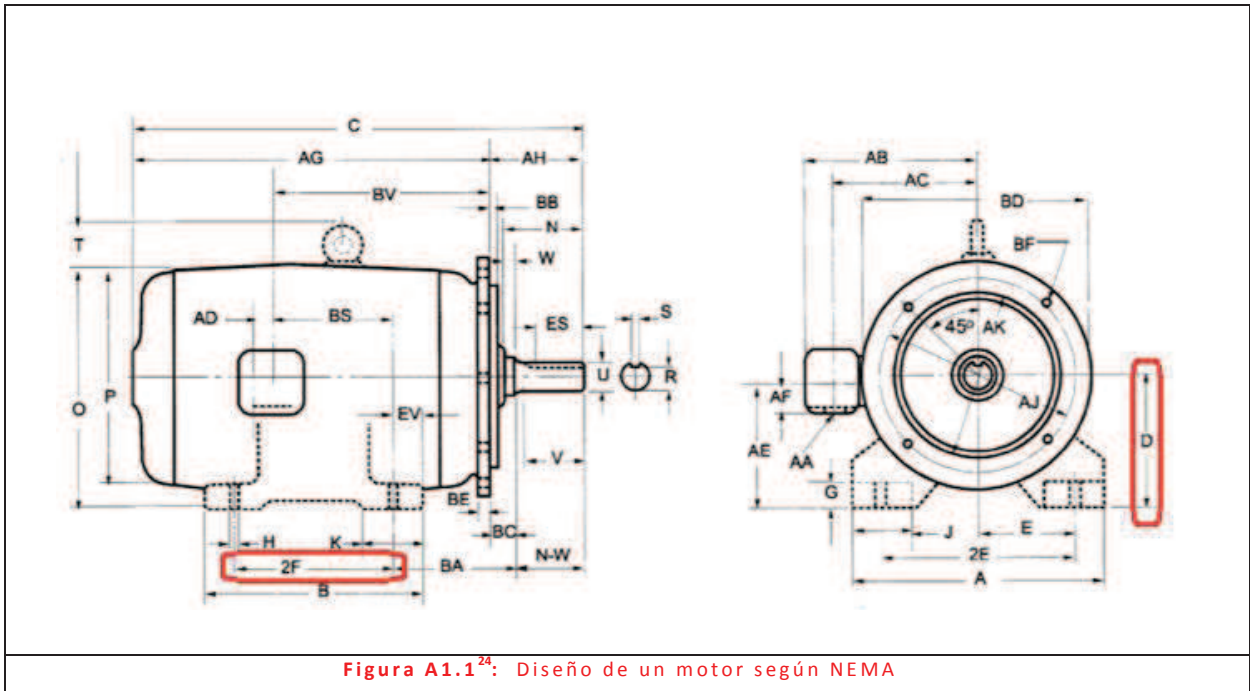
## **CAPITULO III ANEXOS**

## ANEXO 1

### A1.1 Sistema para el diseño de la armazón de un motor<sup>23</sup>

El diseño de armazón para motores y generadores eléctricos debe constar de una serie de números en combinación con letras, como a continuación se explica

**A1.2 Numeración de la armazón:** El número de la armazón para maquinas pequeñas debe estar en pulgadas a una dimensión D (como se muestra en la Figura A1.1.), múltiplo de 16.



<sup>23</sup> Datos obtenidos de NEMA MG-1-2009 Parte 4

<sup>24</sup> Figura obtenida de NEMA MG-1-2009 Parte 4

**Dónde:**

**D:** Línea central del eje hasta la parte inferior de los pies.

**2F:** Distancia entre líneas centrales de los agujeros de montaje en los pies de la base de la máquina (vista lateral).

Para enumerar otro tipo de armazón debe ser acorde con la Tabla A1.1 como se explica a continuación.

- a. Los dos primeros dígitos del número de armazón son igual a cuatro veces la dimensión D en pulgadas, y si no es un número entero, los dos primeros dígitos del número de armazón será el número entero más alto
- b. El tercero y cuando sea necesario un cuarto dígito del número de armazón se obtendrá a partir del valor de 2F en pulgadas en referencia a las columnas tituladas 1 a 15.

Como ejemplo, un motor con una dimensión  $D=6.25$  pulg. y  $2F=10$  pulg. debe ser diseñado con una armazón 256.



NUMERO DE ARMAZON DE LA MAQUINA (MACHINE FRAME NUMBERING)									
FRAME NUMBER SERIES	Third/Fourth Digit in Frame Number								
	D	1	2	3	4	5	6	7	
2 F Dimensiones									
140	3.5	3,00	3.5	4,00	4.5	5,00	5.5	6.25	
160	4,00	3.5	4,00	4.5	5,00	5.5	6.25	7,00	
180	4.5	4,00	4.5	5,00	5.5	6.25	7,00	8,00	
200	5,00	4.5	5,00	5.5	6.5	7,00	8,00	9,00	
210	5.25	4.5	5,00	5.5	6.25	7,00	8,00	9,00	
220	5.5	5,00	5.5	6.25	6.75	7.5	9,00	10,00	
250	6.25	5.5	6.25	7,00	8.25	9,00	10,00	11,00	
280	7,00	6.25	7,00	8,00	9.5	10,00	11,00	12.5	
320	8,00	7,00	8,00	9,00	10.5	11,00	12,00	14,00	
360	9,00	8,00	9,00	10,00	11.25	12.25	14,00	16,00	
400	10,00	9,00	10,00	11,00	12.25	13.75	16,00	18,00	
440	11,00	10,00	11,00	12.5	14.5	16.5	18,00	20,00	
500	12.5	11,00	12.5	14,00	16,00	18,00	20,00	22,00	
580	14.5	12.5	14,00	16,00	18,00	20,00	22,00	25,00	
680	17,00	16,00	18,00	20,00	22,00	25,00	28,00	32,00	
FRAME NUMBER SERIES	Third/Fourth Digit in Frame Number								
	D	8	9	10	11	12	13	14	15
2 F Dimensiones									
140	3.5	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12.5	14,00	16,00
160	4,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12.5	14,00	16,00	18,00
180	4.5	9,00	10,00	11,00	12.5	14,00	16,00	18,00	20,00
200	5,00	10,00	11,00	....	....	....	....	....	....
210	5.25	10,00	11,00	12.5	14,00	16,00	18,00	20,00	22,00
220	5.5	11,00	12.5	....	....	....	....	....	....
250	6.25	12.5	14,00	16,00	18,00	20,00	22,00	25,00	28,00
280	7,00	14,00	16,00	18,00	20,00	22,00	25,00	28,00	32,00
320	8,00	16,00	18,00	20,00	22,00	25,00	28,00	32,00	36,00
360	9,00	18,00	20,00	22,00	25,00	28,00	32,00	36,00	40,00
400	10,00	20,00	22,00	25,00	28,00	32,00	36,00	40,00	45,00
440	11,00	22,00	25,00	28,00	32,00	36,00	40,00	45,00	50,00
500	12.5	25,00	28,00	32,00	36,00	40,00	45,00	50,00	56,00
580	14.5	28,00	32,00	36,00	40,00	45,00	50,00	56,00	63,00
680	17,00	36,00	40,00	45,00	50,00	56,00	63,00	71,00	80,00
Todas las dimensiones en pulgadas									

Tabla A1.1: Numeración para la Armazón de la maquina <sup>25</sup>

<sup>25</sup> Tabla obtenidas de NEMA MG-1-2009 Parte 4

## ANEXO 2

### A2.1 Formulario de recepción para el motor eléctrico

La inspección preliminar constituye una parte importante en la reparación de un motor eléctrico y puede dar pistas vitales sobre la causa de la falla, en el Formulario A2.1.<sup>26</sup> se muestra los datos de importancia de un motor.

FORMULARIO PARA DATOS DE UN MOTOR AC O DC					
CLIENTE		ORDEN DE TRABAJO		FABRICANTE	
HP/KW		RPM		# POLOS	
# RANURAS		TIPO DE MAQUINA		TENSION	
# BOBINAS		MODELO		AMP. A PLENA CARGA	
AGRUPACION DE BOBINA		DISPOSITIVO AUXILIAR		AMP. DEL ROTOR BLOQUEADO	
# BOBINA/VUELTAS		LONGITUD DE ALAMBRES		FASES	
CALIBRE DEL ALAMBRE		# SERIE		FRECUENCIA	
CONEXIÓN		ESTILO		TIPO DE ARMAZON	
JUMPER		TEMPERATURA MAXIMA		POTENCIA APARENTE	
LONGITUD DEL NUCLEO		TEMPERATURA DE OPERACIÓN		FACTOR DE POTENCIA	
ID DEL NUCLEO		ENTORNO DE OPERACIÓN		FACTOR DE SERVICIO	
CONTRAHIERRO		CLASE DE AISLAMIENTO			
PROFUNDIDAD DE RANURA		OBSERVACION			
ANCHO DE LA HORQUILLA					
TIPO DE COJINETES					
FABRICANTE DE LOS COJINETES					
NORMA DE FABRICACION					

Formulario A2.1. Formulario para la recepción de datos de un motor eléctrico.

<sup>26</sup> Datos obtenidos de "The Effect of Repair/Rewinding on Motor Efficiency. EASA-2003 Parte 2".

Se debe registrar todos los datos posibles de un motor, algunos códigos, números o letras que parecen sin sentido pueden ser de gran importancia, cuando sea necesario ponerse en contacto con el fabricante del motor para obtener información.

Las placas de los motores pueden variar según la norma de construcción en la Figura A2.1. se muestran el diseño típico de una placa de motor bajo la construcción NEMA e IEC.



<sup>27</sup> Figura obtenida de "The Effect of Repair/Rewinding on Motor Efficiency. EASA-2003 Parte 2-10".

## **ANEXO 3**

### **PRUEBAS DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO EN DC**

#### **A3.1. TEORIA GENERAL<sup>28</sup>:**

Los materiales aislantes juegan un papel crítico en la vida de los motores, el deterioro del aislamiento en ellos es una de las principales causas de fallas. Alrededor del 60% de las fallas son causadas por problemas de aislamientos<sup>29</sup>, mientras un equipo está en servicio una falla de aislamiento puede causar daños en el motor y los sistemas que estén conectados a él. Estos pueden causar daños de sobretensión, fuego o flameos, altas corrientes de falla y explosiones, daños a equipos, lesiones al personal y accidentes fatales.

Mediante la aplicación de pruebas de aislamiento, se puede identificar el aislamiento deteriorado antes de que se produzca la falla. Las principales causas en aislamientos dañados son: daños mecánicos, agujeros, grietas, contaminación dieléctrica, humedad, corrosión, grasa y aceite, vibración, ciclos y picos de temperatura, sobrecarga excesiva, sobretensión, contaminación en la superficie, descargas parciales, ferro-resonancia, defectos del fabricante, pruebas de personal no calificado.

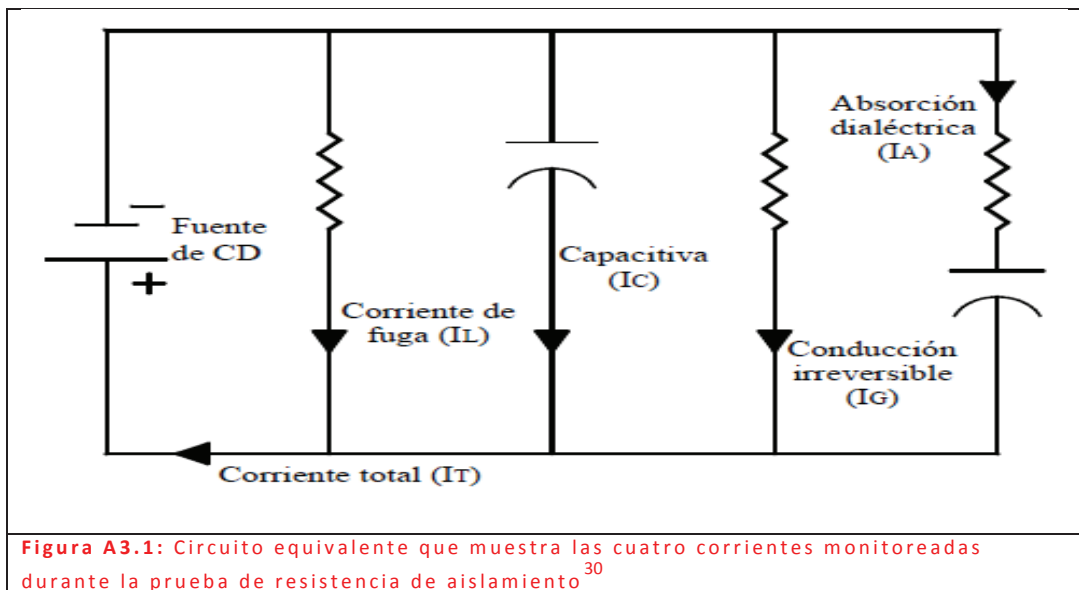
---

<sup>28</sup> Información obtenida de IEEE 43-2000 "IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery"

<sup>29</sup> Información obtenida de: Principles & Applications of Insulation Testing With DC. ABB Electrical Industries Co. Ltd

La resistencia de aislamiento de un devanado rotatorio está en función del tipo y la condición de los materiales aislantes utilizados, así como su aplicación técnica. En general, la resistencia de aislamiento varía proporcionalmente con el espesor de aislamiento e inversamente con el área de superficie del conductor.

Existe un cierto número de factores que afectan el valor de la resistencia del aislamiento, así pues el valor de la corriente que circula cuando se aplica una tensión constante al circuito durante la prueba puede variar. Estos factores, por ejemplo la temperatura o la humedad, pueden modificar considerablemente la medición. Analicemos primero partiendo de la hipótesis de que estos factores no influyan la medición, la naturaleza de las corrientes que circulan durante una medición cuando aplicamos una tensión DC al aislamiento de un motor se pueden modelar eléctricamente de la siguiente manera:



<sup>30</sup> Figura obtenida, CFE ST-CT-001, Procedimiento para la medición de resistencia de aislamiento.

Dónde<sup>31</sup>:

**Corriente superficial de fuga ( $I_L$ ):** Es una corriente constante en el tiempo, existe sobre la superficie del devanado en el estator o entre conductores expuestos y el aislamiento en el devanado del rotor. La magnitud de la corriente de fuga de la superficie depende de la temperatura y la cantidad de material conductor, es decir, la humedad o la contaminación en la superficie del aislamiento.

**Corriente de conductancia ( $I_G$ ):** Es una corriente que es constante en el tiempo, fluye a través del aislamiento entre la superficie puesta a tierra y el conductor de alta tensión y depende del tipo de material de unión utilizado en el sistema de aislamiento.

*\*En un buen aislamiento, el flujo de corriente resistiva (fugas) será relativamente pequeño y constante. En un mal aislamiento la corriente de fuga puede ser bastante grande y puede aumentar con el tiempo.*

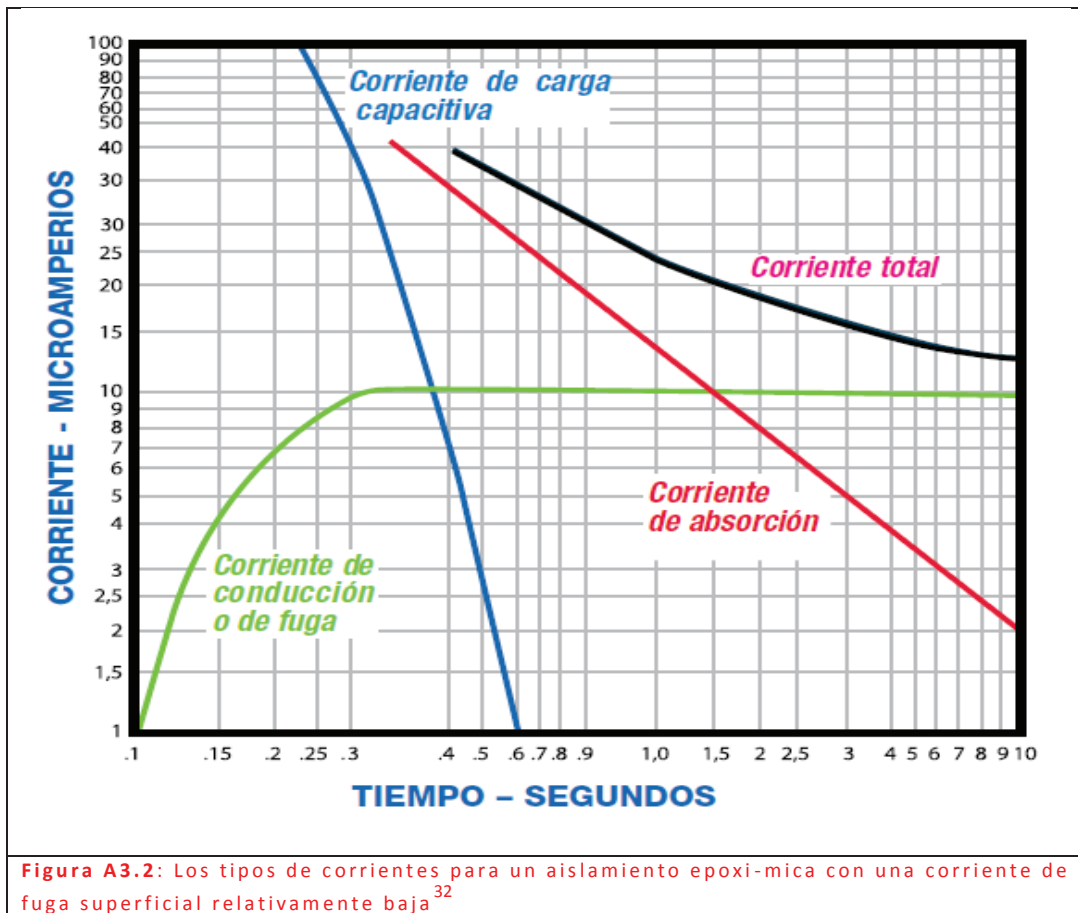
**Corriente de adsorción o polarización ( $I_A$ ):** La corriente de absorción es causada por la polarización de las moléculas dentro de material dieléctrico. En equipos de baja capacitancia, la corriente es alta al principio y luego a los pocos segundos disminuye lentamente a casi cero. Cuando se trata de equipos de alta capacitancia o aislamiento húmedo y contaminado, no se produce ninguna disminución en la corriente de absorción durante un largo tiempo.

---

<sup>31</sup> Información Obtenida de : IEEE Std. 43-2000

**Corriente capacitiva ( $I_c$ ):** La corriente capacitiva normalmente deja de fluir unos pocos segundos después de que se aplica una tensión de DC. En equipos de baja capacitancia, esta corriente es mayor que la corriente de fuga o de conductancia, pero generalmente desaparece al momento de obtener o medir el valor de la IR.

En la Figura A3.2 se ilustra la naturaleza de estas corrientes en función del tiempo (cabe señalar que la escala de tiempo es orientativa y puede variar según el aislamiento que se está probando).



<sup>32</sup> Figura obtenida de "Chaovin Arnoux" Megahometro de 50 a 5000 VDC, Guía de la medición de aislamiento

### **A3.2. CAUSAS DE FALLO DEL AISLAMIENTO<sup>33</sup>**

La medición del aislamiento mediante un mega óhmetro es parte de una política de mantenimiento preventivo, y es necesario comprender las diferentes causas posibles de degradación del rendimiento del aislamiento, para poder llevar a cabo la implantación de medidas para corregir la degradación. Estas causas de fallo del aislamiento se pueden clasificar en cinco grupos, siempre teniendo en cuenta que estas distintas causas se suman entre ellas en ausencia de medidas correctivas.

- **La fatiga de origen eléctrico:** Relacionada principalmente con fenómenos de sobretensión y caídas de tensión.
- **La fatiga de origen mecánico:** Los ciclos de puesta en marcha y paro, sobre todo si son frecuentes, los defectos de equilibrado de máquinas rotativas y todos los golpes directos contra los cables y, de forma más general, contra las instalaciones.
- **La fatiga de origen químico:** La proximidad de productos químicos, de aceites, de vapores corrosivos y de modo general, el polvo, afectan el rendimiento del aislamiento de los materiales.
- **La fatiga relacionada con los cambios de temperatura:** En combinación con la fatiga mecánica provocada por los ciclos de puesta en marcha y parada de los equipos, las exigencias de la dilatación o contracción afectan las características de los materiales aislantes. El funcionamiento a temperaturas extremas es también un factor de envejecimiento de los materiales

---

<sup>33</sup> Información obtenida de "Chaovin Arnoux" Megahmetro de 50 a 5000 VDC, Guía de la medición de aislamiento



- **La contaminación ambiente:** La aparición de moho y la acumulación de partículas en entornos húmedos y calurosos provocan también la degradación de las características de aislamiento de las instalaciones.

El conjunto de estos factores de degradación de las características del aislamiento se combinará desde la puesta en funcionamiento de la instalación, y debido a la falta de control creará a largo plazo situaciones que pueden resultar críticas tanto desde el punto de vista de la seguridad de las personas como desde el punto de vista del funcionamiento. El control periódico del aislamiento de una instalación o de un equipo permite así vigilar esta degradación e intervenir antes del fallo total.

### **A3.3. RESISTENCIA DE AISLAMIENTO (IR)<sup>34</sup>:**

La resistencia de aislamiento o IR es la capacidad que tiene el aislamiento eléctrico de un devanado para resistir la corriente continua. Es la relación de una tensión DC negativa continua entre la corriente que circula en el aislamiento de la maquina corregida a 40 °C, y para un tiempo específico (t) desde el inicio de la aplicación de la tensión, el tiempo de aplicación de tensión es generalmente 1 min (IR<sub>1</sub>) o 10 min (IR<sub>10</sub>), sin embargo, se pueden utilizar otros valores.

Como antes se mencionó la medición de resistencia de aislamiento constituye en una prueba de tensión DC y debe limitarse a un valor apropiado de tensión nominal del devanado y la condición básica de aislamiento. Esto es importante en el caso de máquinas de baja tensión o devanados húmedos. Si la tensión de prueba es demasiado alta, la tensión de ensayo aplicada puede estresar el aislamiento, lo que llevara a un fallo en el aislamiento.

---

<sup>34</sup> Información obtenida de IEEE 43-2000 "IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery"

Las pruebas de resistencia de aislamiento se realizan normalmente a tensiones continuas constantes de 500-10,000 VDC y tienen polaridad negativa. La polaridad negativa se utiliza para acomodar el fenómeno de la electro endósmosis. Las lecturas para la resistencia de aislamiento se aplica durante 1 min según la Tabla A3.1.

Tensiones nominales en el devanado*	Tensiones de prueba en DC para la IR
<1000	500
1000 - 2500	500 - 1000
2501 - 5000	1000 - 2500
5001 - 1200	2500 - 5000
>12000	5000 - 10000

\*La tensión nominal de línea a línea para maquinas trifásicas AC, Tensión nominal de línea a tierra para maquinas monofásicas y Tensión nominal para maquinas DC o de devanado de campo.

**Tabla A3.1:** Aplicación de tensión para la prueba de IR en base a la tensión nominal de la máquina<sup>35</sup>.

### **A3.3.1 Compensación de temperatura para la IR<sup>36</sup>:**

El valor de la resistencia de aislamiento en un sistema, sin importar el tiempo, varía inversamente en forma exponencial, con la temperatura del devanado. Por lo tanto se recomienda que los valores de prueba de IR deban ser corregidos a una temperatura base de 40 ° C utilizando la siguiente ecuación.

$$R_c = K_t * R_t$$

Dónde:

$R_c$  = La resistencia de aislamiento (en mega-ohms) corregida a 40 °C.

<sup>35</sup> Tabla obtenida de: IEEE Std. 43-2000

<sup>36</sup> Información obtenida de IEEE 43-2000 "IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery"

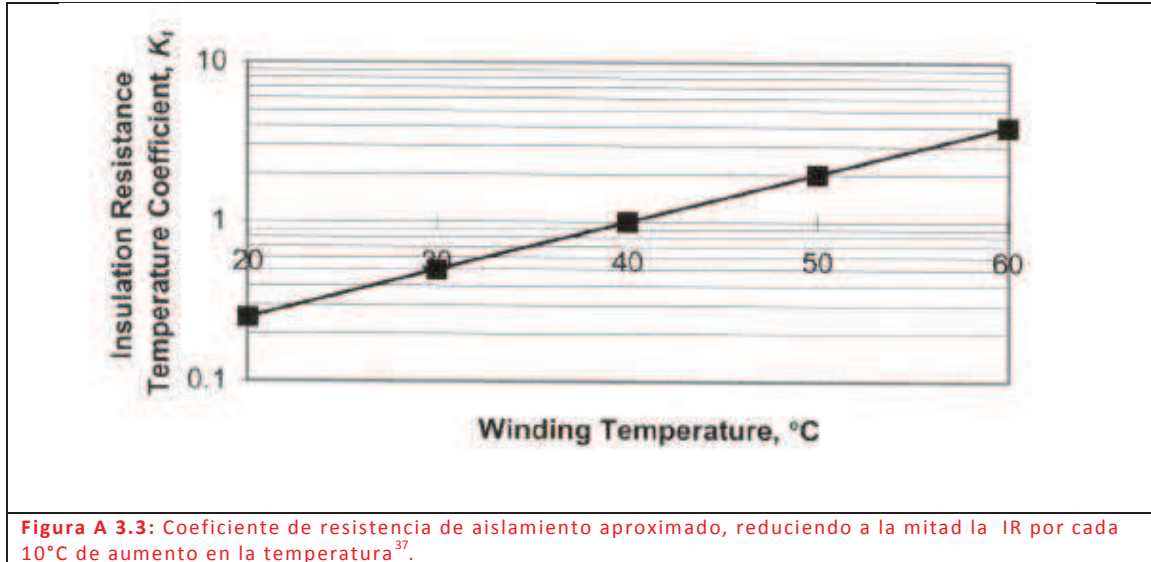
$R_t$ =La resistencia de aislamiento medida (en mega-ohms) a temperatura  $t$ .

$K_t$ =Coeficiente de la resistencia de aislamiento de temperatura a la temperatura  $t$ .

Aunque el valor corregido de IR es una aproximación, esto permite una comparación más significativa de los valores de resistencia de aislamiento obtenidos a diferentes temperaturas.

Si los efectos de la temperatura sobre el sistema de aislamiento bajo prueba son desconocidos, un valor aproximado para el coeficiente de temperatura " $K_T$ " puede ser obtenido mediante el uso de la Figura A3.3 para un aumento al doble de la IR por cada incremento de 10°C.

NOTA: Esto es una aproximación y no se debe utilizar para calcular la IR cuando existe grandes diferenciales de temperatura con respecto a 40°C podrían resultar errores significativos.



NOTA: La IR reducirá a la mitad por cada disminución de 10 °C en la temperatura, se basa en las pruebas de algunos de los sistemas de aislamiento de la década de 1950 y puede que no sea del todo cierto para todos los sistemas

<sup>37</sup> Figura obtenida de: IEEE Std. 43-2000

de aislamiento. Mediciones más recientes han indicado un factor de corrección para reducir a la mitad la resistencia de aislamiento en el rango de 5 a 20 ° C. Una variación en el factor de  $K_t$  puede dar lugar a errores en  $R_c$  magnificadas por la diferencia entre la temperatura del devanado a 40 ° C.

$K_t$  también se puede aproximar para reducir a la mitad la IR por disminución de 10 °C en la temperatura del devanado por la aplicación de la Ecuación.

$$K_t = (0.5)^{(40-T)/10}$$

Por ejemplo, si la temperatura del devanado en el tiempo de prueba fue de 35 °C, y el aislamiento era tal que la IR reducida a la mitad por cada 10 °C, entonces  $K_t$  para una corrección a 40 °C se calcula de la siguiente manera:

$$K_t = (0.5)^{(40-35)/10} = (0.5)^{1/2} = 0.707$$

El valor de la resistencia de aislamiento puede disminuir con un aumento en la tensión aplicada, sin embargo, para un aislamiento en buenas condiciones y en un estado completamente seco, se obtiene la misma IR sin importar el nivel de tensión de prueba hasta llegar al valor de la tensión nominal.

Una disminución en la resistencia de aislamiento debido a un aumento en la tensión aplicada, puede indicar un problema en el aislamiento, estos problemas se deben a imperfecciones o fracturas del aislamiento, agravado por la presencia de suciedad o humedad, en la prueba de Hi-Pot se explicara estos fenómenos.

### **A3.3.2 Valores de la Resistencia de Aislamiento IR:**

Se puede determinar la mínima IR después de un minuto " $IR_{1min}$ " en una prueba de sobretensión para el devanado del rotor y del estator de máquinas que operan en AC o DC, a partir de la Tabla A3.2. La resistencia de aislamiento real

del devanado se obtiene por medio de la  $IR_{1min}$ , corregida a 40 °C, aplicando una tensión DC en todo el bobinado durante un 1 min.

Resistencia Mínima de Aislamiento (MΩ)	Aplicación de la prueba
$IR_{1min} = kV + 1$	Para la mayoría de devanados hechos antes de 1970, para todos los devanados de campo, y todos los devanados que no son parte de las dos siguientes descripciones.
$IR_{1min} = 100$	Para la mayoría de armaduras DC y devanados AC hechos después de 1970 (form-wound coils)
$IR_{1min} = 5$	Para la mayoría de máquinas de devanado tipo random-wound en el estator y devanados form-wound con una tensión nominal menor a 1 kV

NOTA:

1- $IR_{1min}$  es la resistencia de aislamiento mínima recomendada a 40 °C en una máquina bobinada, en megaohmios.

2- kV es el valor nominal de tensión en los terminales de máquina, en rms

**Tabla A3.2: Recomendación mínima para la resistencia de aislamiento a una temperatura de 40 °C (MΩ) <sup>38</sup>.**

El valor mínimo de IR en una fase de una armadura trifásica conectando las dos fases restantes a tierra debe ser aproximadamente al doble de la resistencia de todo el devanado. En el caso de que cada fase se pruebe por separado y se estén utilizando guarda en las dos fases que no están bajo prueba, la resistencia mínima observada deberá ser tres veces la resistencia de todo el devanado

Se recomienda, cuando sea posible, que cada fase se aisle y se pruebe por separado. Pruebas independientes permiten realizar comparaciones entre fases. Cuando se prueba una fase, las otras dos fases deben estar conectadas a tierra

<sup>38</sup> Tabla obtenida de: IEEE Std. 43-2000

en la misma tierra que el núcleo del estator o cuerpo del rotor. Al probar todas las fases al mismo tiempo, se estará probando el aislamiento a tierra el aislamiento de fase a fase se prueba sólo cuando se activa una fase y las otras fases están conectados a tierra.

Las líneas de alimentación, escobillas, cables, interruptores, capacitores, pararrayos, transformadores de tensión, y otros equipos externos pueden influir mucho en la lectura de IR, por lo tanto se recomienda que las mediciones de resistencia de aislamiento se realicen con todos los equipos externos desconectados y puestos a tierra. Se debe utilizar una tierra común para evitar efectos no deseados en el resultado de la prueba.

De la prueba de IR se podrá determinar:

- Si el motor fallo a tierra.
- Contaminación en la superficie.
- Presencia de humedad aceite, polvo, corrosión, daño o deterioro del aislamiento del motor.

Esta prueba no puede asegurar:

- Si el estado del motor esta 100% en buenas condiciones.
- Encontrar fallos espira a espira.
- Encontrar fases abiertas.
- Fallas entre fases.

### **A3.3.3 Factores que afectan la medición de resistencia de aislamiento<sup>39</sup>**

Los factores que afectan la medición de resistencia de aislamiento y que no son atribuibles al equipo de medición, son los siguientes:

- **Conexiones inadecuadas o erróneas:**

Con la finalidad de eliminar errores en la medición se debe verificar lo siguiente:

---

<sup>39</sup> Información obtenida de CFE ST-CT-001, Procedimiento para la medición de resistencia de aislamiento.

- a. Las conexiones realizadas deben corresponder al circuito de medición adecuado para cada tipo de motor.
- b. Evitar falsos contactos en las conexiones de prueba.
- c. La condición del cable de medición ya que puede alterarse si es de baja calidad o está defectuoso o dañado.
- d. Evitar el contacto del cable de alta tensión del equipo de medición con partes no energizadas del equipo bajo prueba u otras superficies.

- **Efectos de la condición de la superficie del aislamiento:**

Los elementos contaminantes tales como el carbón, el polvo o el aceite, depositados en la superficie de aislamiento, disminuyen los valores de resistencia de aislamiento. Cuando se tienen superficies aislantes relativamente grandes expuestas al ambiente, ésta condición es representativa.

El polvo seco depositado sobre las superficies aislantes no es conductor, pero cuando se expone a la humedad se vuelve parcialmente un conductor y disminuye los valores de resistencia de aislamiento. Por lo tanto, se debe eliminar toda materia extraña que esté depositada sobre el aislamiento antes de efectuar la medición.

- **Efecto de la humedad:**

Actualmente algunos motores se construyen con aislamientos que no absorben humedad. Sin embargo, si la temperatura del devanado alcanza un valor igual o inferior a la de punto de rocío, se puede formar una película de humedad sobre la superficie del aislamiento, reduciendo su resistencia.

- **Efecto de la temperatura:**

En la mayor parte de los materiales aislantes, la resistencia de aislamiento varía inversamente con la temperatura. Para comparar apropiadamente las mediciones periódicas de resistencia de aislamiento, es necesario efectuar las mediciones a la misma temperatura, o convertir cada medición a una misma

base de temperatura como se recomienda en los Comités de Normas: de 40 °C para máquinas rotatorias.

- **Potencial de prueba aplicado**

La medición de resistencia de aislamiento es, en sí, una prueba de potencial. Por lo tanto, la tensión aplicada debe restringirse a valores apropiados, los cuales dependerán de la tensión nominal de operación del equipo bajo medición y de las condiciones de su aislamiento.

Las lecturas de resistencia de aislamiento disminuyen normalmente al utilizar tensiones altas. Sin embargo, en aislamientos en buenas condiciones y perfectamente secos, se obtienen valores similares para diferentes rangos de tensiones de prueba (ver Tabla A3.1). Esto siempre y cuando la tensión de prueba aplicada no rebase la tensión nominal de operación del equipo bajo medición.

Si al aumentar la tensión de prueba se reducen significativamente los valores de resistencia de aislamiento, esto puede indicar que existen imperfecciones o fracturas en el aislamiento, posiblemente agravados por suciedad o humedad. La presencia de humedad con suciedad puede ocasionar una reducción en los valores de resistencia de aislamiento.

- **Efecto de la duración de aplicación de tensión de prueba.**

Este efecto tiene una importancia notable en el caso de las máquinas rotatorias y con aislamiento en buenas condiciones. La resistencia de aislamiento del devanado real que se utiliza para la comparación es obtenida mediante la aplicación de una tensión continua constante para todo el bobinado de 1 min.

- **Efecto de la carga residual**

La presencia de una carga capacitiva en el aislamiento, es un factor que afecta las mediciones de resistencia de aislamiento y absorción dieléctrica. Esta carga puede originarse porque el equipo trabaja aislado de tierra o por la aplicación de una tensión de corriente directa. Por lo tanto, si el motor ha estado en funcionamiento es necesario que antes de efectuar las mediciones se



descarguen los aislamientos mediante su conexión a tierra durante un periodo de tiempo similar al tiempo de duración de la prueba de corriente directa.

### **A3.4 RELACIÓN DE ABSORCIÓN DIELECTRICA (DAR)<sup>40</sup>**

La relación de dos lecturas tiempo - resistencia (tal como una lectura de 60 segundos dividida entre una lectura de 30 segundos) se llama una relación de absorción dieléctrica. Es útil en el registro de información sobre aislamiento. Si la relación es una lectura de 10 minutos dividida entre una lectura de un minuto, el valor se llama el índice de polarización.

Para instalaciones o equipos que contengan aislamientos en los cuales la corriente de absorción disminuye rápidamente, la lectura de las resistencias de aislamiento a los 30 y a los 60 segundos puede ser suficiente para calificar el aislamiento. La DAR se define de la siguiente forma:

$$\text{DAR} = \text{Raislamiento a los 60 segundos} / \text{Raislamiento a los 30 segundos}$$

La interpretación de los resultados es la siguiente:

<i>Valor del DAR</i>	<i>Condición de aislamiento</i>
< 1.25	Insuficiente
1.25 < 1.6	OK
> 1.6	Excelente

**Tabla A3.3: Interpretación del resultado DAR<sup>41</sup>**

Nota:

\* Estos valores se deben considerar tentativos y relativos - sujetos a la experiencia con el método tiempo - resistencia en un periodo de tiempo.

\*\* En algunos casos, con motores, los valores aproximadamente 20% más altos que los mostrados aquí indican un embobinado quebradizo seco que fallará en condiciones de choque o durante los arranques. Para prevenir el

<sup>40</sup> Información obtenida de "Chaovin Arnoux" Megahometro de 50 a 5000 VDC, Guía de la medición de aislamiento

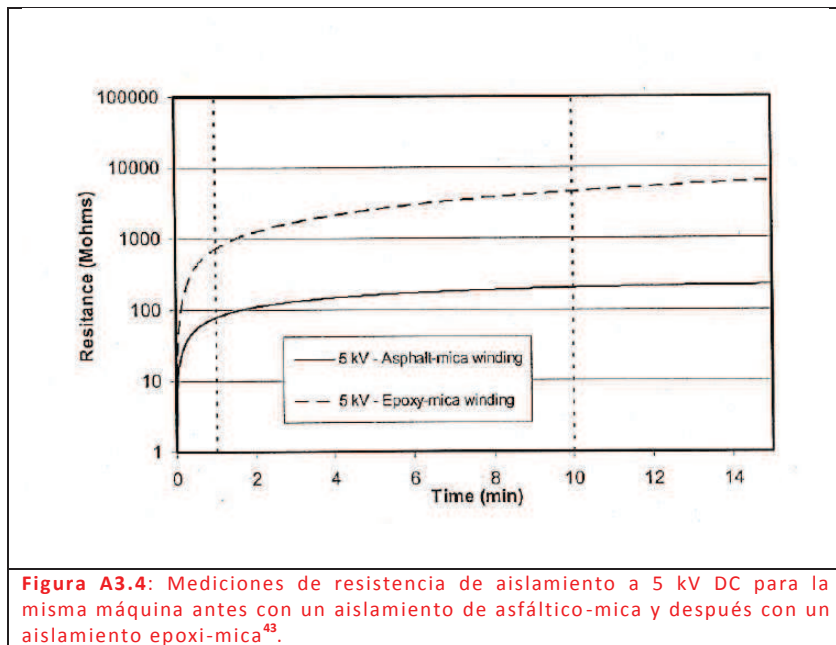
<sup>41</sup> Tabla obtenida de "Chaovin Arnoux" Megahometro de 50 a 5000 VDC, Guía de la medición de aislamiento

mantenimiento, el embobinado del motor debe limpiarse, tratarse y secarse para restaurar las condiciones de flexibilidad.

\*\*\* Estos resultados serían satisfactorios para equipo con muy baja capacitancia tal como tramos cortos de alambrado doméstico.

### A3.5. INDICE DE POLARIDAD (PI)<sup>42</sup>:

Al medir la resistencia de aislamiento por lo general esta aumentara con respecto al tiempo al aplicar una tensión DC, y luego se estabiliza gradualmente a un valor constante a medida que transcurre el tiempo (véase Figura A3.4).



**Figura A3.4:** Mediciones de resistencia de aislamiento a 5 kV DC para la misma máquina antes con un aislamiento de asfáltico-mica y después con un aislamiento epoxi-mica<sup>43</sup>.

Las lecturas de un devanado seco en buen estado pueden seguir aumentando durante horas con una tensión de prueba constante aplicada continuamente. Para aislamientos antiguos, un valor estable se alcanza en los primeros 10 a 15 minutos, para tipos de aislamientos modernos como alambre film-coated, epoxy-

<sup>42</sup> Información obtenida de IEEE 43-2000 "IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery".

<sup>43</sup> Figura obtenida de IEEE 43-2000.

mica y poliéster-mica, estos pueden alcanzar un valor constante de IR aproximadamente en 4 minutos.

Por lo tanto el índice de polarización (PI) se define como la relación entre el valor de la resistencia en 10 min ( $IR_{10}$ ) y el valor de la resistencia en 1 min ( $IR_1$ ). El PI es la pendiente de la curva de la IR y se puede utilizar para evaluar la condición del aislamiento determinando la elasticidad del aislamiento a tierra. Al aplicar una tensión DC a los devanados con respecto a tierra las moléculas de un buen aislamiento deben alinearse con ese campo, si el aislamiento es viejo, duro y quebradizo, puede ocurrir una mala polarización. La relación PI es bastante independiente de la temperatura.

Para una maquina rotativa de devanados AC o DC, las pruebas de PI y la  $IR_{1min}$  son recomendados para someter a un devanado a una prueba de sobretensión (Hip-Pot) o para poner en operación el motor.

Los valores mínimos recomendados de PI en máquinas rotativas AC y DC se enumeran en la Tabla A3.4, es basada en la clase térmica de los materiales aislantes y se puede aplicar a los materiales aislantes independientemente de la aplicación con excepción de los devanados de campo no aislados.

Tipo de clase térmica	PI mínimo
NEMA Clase A	1.5
NEMA Clase B	2.0
NEMA Clase F	2.0
NEMA Clase H	2.0

NOTA:  
\*La P.I. prueba no es aplicable a los devanados de campo no aislados  
\*Si la resistencia de aislamiento de 1 min es superior a 5,000 MΩ, el cálculo de PI puede ser insignificativo en cuento a la condición del devanado.

**Tabla A3.4:** Valores mínimos recomendados del Índice de Polarización para todos los componentes de una maquinas con clases de aislamiento según IEC 60085-01: 1984<sup>44</sup>

<sup>44</sup> Tabla obtenida de IEEE 43-2000 "IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery"

### **A3.6 CIRCUITO DE CONEXIONES<sup>45</sup>**

**Las limitaciones de la medición de resistencia de aislamiento son las siguientes:**

- a) La resistencia de aislamiento de un devanado no tiene una relación directa con su rigidez dieléctrica y, por lo tanto, es imposible predecir el valor de resistencia al que fallará.
- b) Aun cuando se han definido valores mínimos recomendables con base en la experiencia, existen máquinas que tienen una superficie de aislamiento extremadamente grande. Esto puede originar que tengan valores de resistencia inferiores a los mínimos recomendados, aun cuando sus devanados se encuentren en buenas condiciones.
- c) Una medición aislada de resistencia de aislamiento a una tensión deseado no indica, si la materia extraña responsable de la baja resistencia está concentrada o distribuida.

#### **Preparación de la máquina para medición**

- a) Cuando se requiera información de la condición interna del aislamiento, sin que el valor sea afectado por la condición superficial, el aislamiento debe limpiarse y secarse. En ambientes húmedos, es de gran importancia la limpieza de la superficie del aislamiento antes de efectuar la medición.
- b) La temperatura del devanado debe estar por encima del punto de rocío para evitar condensación de la humedad en la superficie del aislamiento.
- c) Descargar completamente toda carga residual antes de efectuar la prueba. Esto se realiza conectando los devanados a tierra cuando menos 10 minutos antes de iniciar la prueba.

---

<sup>45</sup> Información obtenida de CFE ST-CT-001, Procedimiento para la medición de resistencia de aislamiento.

- d) Es conveniente que la medición de la resistencia de aislamiento abarque exclusivamente los devanados de la máquina. Por lo tanto, es necesario desconectar todo equipo externo a la misma.

Básicamente existen dos tipos de circuitos de prueba para la medición de la resistencia de aislamiento en las máquinas rotatorias: circuito de prueba utilizando la guarda y sin utilizar guarda.

Dentro de estos tipos de circuitos existen varias conexiones según sea el tipo de información que se requiera. De la Figura A3.5 a la A3.9 se describen estas conexiones para máquinas rotatorias trifásicas con neutro accesible. Como se considera que las máquinas monofásicas que no tienen el neutro accesible, solo son algunos casos, particulares, los diagramas de conexión pueden derivarse fácilmente a partir de las anteriores.

En la Figura A3.9 se muestran las conexiones de prueba para una máquina de corriente directa. Se recomienda que siempre que sea posible y práctico se separen las fases y se prueben individualmente, ya que con ello se puede establecer una comparación entre las mismas. Esta comparación es muy útil para la evaluación de la condición presente y futura del devanado. Por otro lado, la prueba de todas las fases a la vez (Figura A3.8) tiene el inconveniente de que únicamente se prueba el aislamiento a tierra y se omite la prueba del aislamiento entre fases.

#### **Uso del guarda**

Generalmente todos los medidores de resistencia de aislamiento con un intervalo de medición mayor a los 1000 M $\Omega$ , están equipados con una terminal de guarda, el propósito de esta terminal es contar con un medio para efectuar mediciones en malla de tres terminales, de tal forma que puede determinarse directamente el valor de una de las dos trayectorias posibles. Además de esta

finalidad principal, dicha terminal hace posible que el medidor de resistencia de aislamiento pueda utilizarse como una fuente de tensión de corriente directa con buena regulación, aunque con capacidad de corriente limitada.

Concretamente, puede decirse que la corriente de fuga de toda componente de un sistema de aislamiento conectada a la terminal de guarda no interviene en la medición por lo tanto es recomendable que en la mayoría de mediciones se realicen utilizando el guarda.

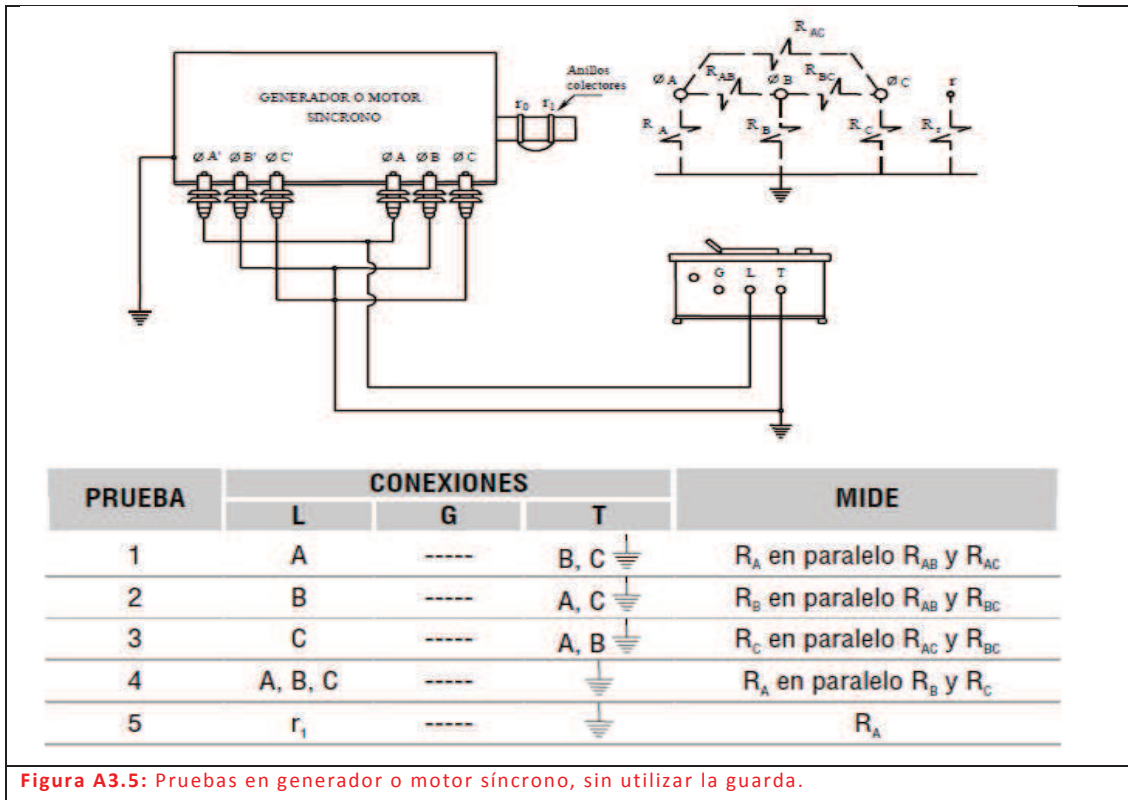


Figura A3.5: Pruebas en generador o motor síncrono, sin utilizar la guarda.

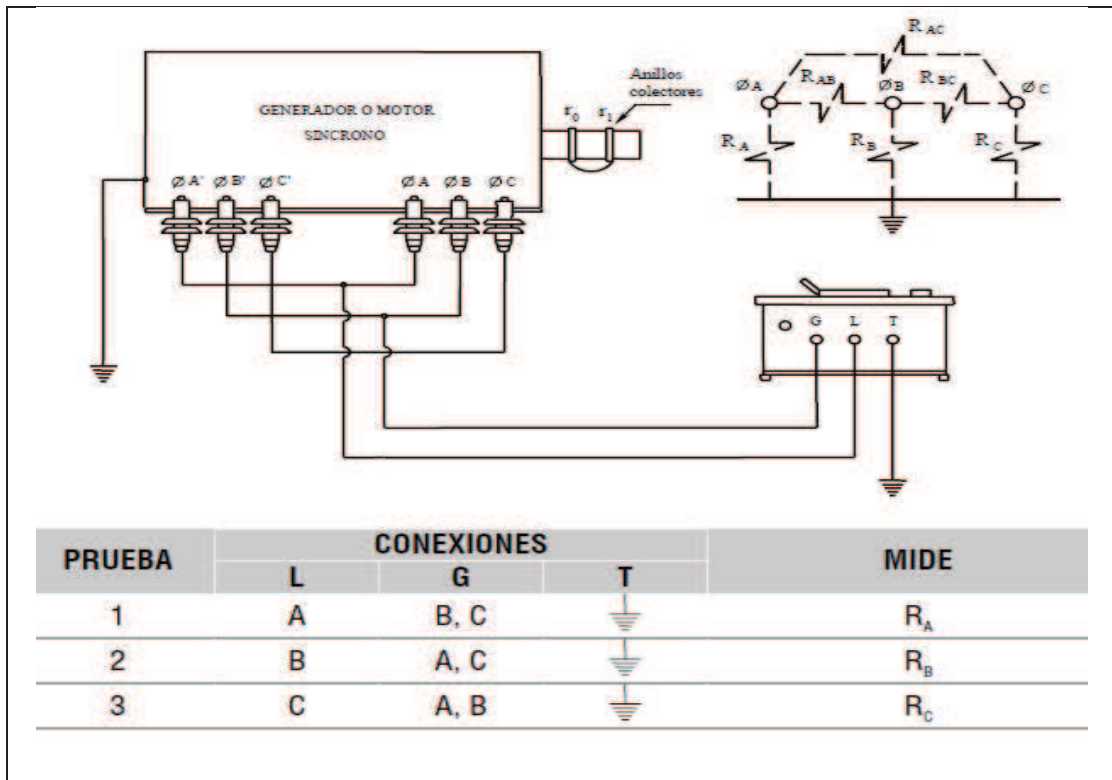


Figura A3.6: Pruebas en generador o motor síncrono, utilizando guarda.

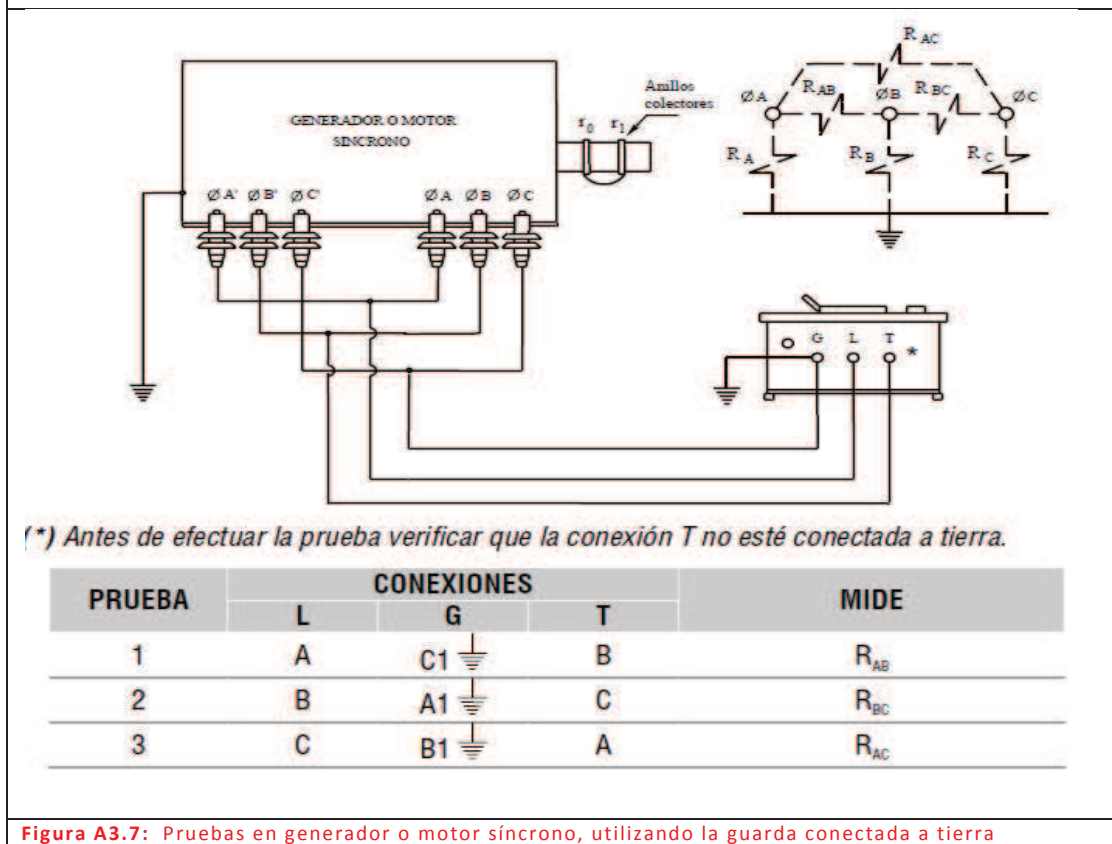


Figura A3.7: Pruebas en generador o motor síncrono, utilizando la guarda conectada a tierra

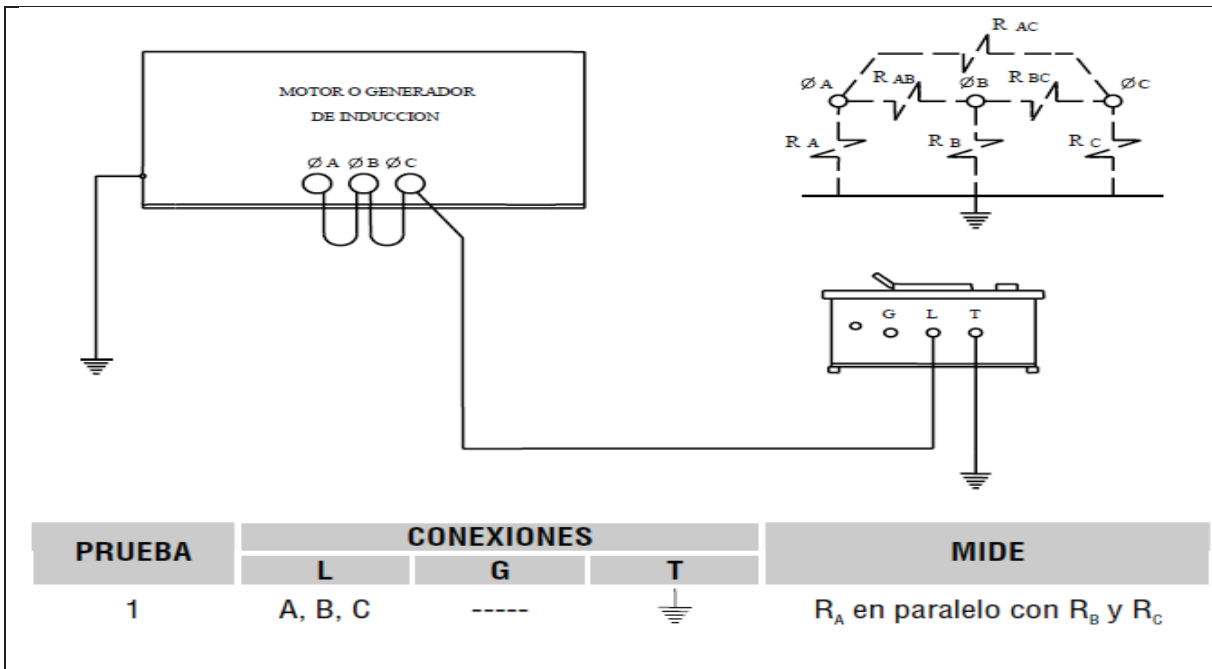


Figura A3.8: Prueba en generador o motor de inducción.

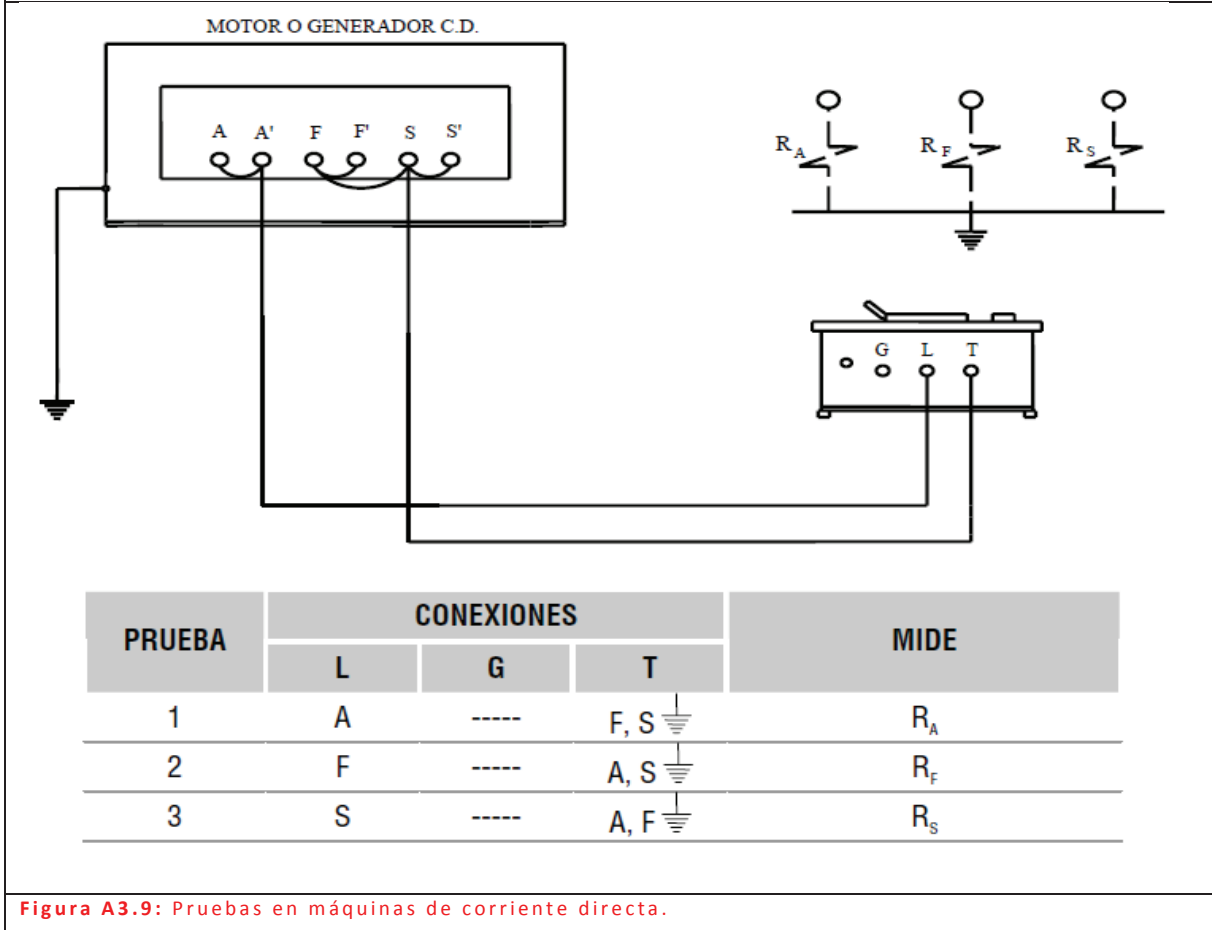


Figura A3.9: Pruebas en máquinas de corriente directa.



### **Interpretación de resultados**

En general las lecturas de resistencia de aislamiento deben considerarse como relativas a menos que el único interés sea el detectar que los valores se mantengan por arriba de los mínimos recomendados.

La única forma de evaluar con cierta seguridad las condiciones del aislamiento de un devanado, es mediante el análisis de la tendencia de los valores obtenidos en las pruebas periódicas a que se somete el aislamiento. Por lo tanto, para facilitar este análisis se recomienda graficar las lecturas obtenidas en las pruebas anuales o semestrales.

Para que el análisis comparativo sea efectivo todas las pruebas deben hacerse al mismo potencial, las lecturas deberán corregirse a 40 °C y en lo posible bajo las mismas condiciones.

A continuación se indican algunas recomendaciones que deben en la interpretación de los valores obtenidos durante las pruebas efectuadas en un equipo dado:

- a) Si los valores son regulares o altos pero tienen tendencia a bajar, debe localizarse y eliminarse la causa.
- b) Si los valores son bajos pero constantes es probable que todo este correcto, pero debe investigarse la causa.
- c) Si los valores son tan bajos que caen en lo inseguro, debe reacondicionarse el equipo antes de ponerlo en servicio.
- d) Si los valores son regulares, altos o constantes en un principio pero muestran una caída repentina, se deben efectuar pruebas a intervalos más frecuentes hasta localizar la causa. Si los valores llegan a ser tan bajos que se consideren inseguros se debe retirar el equipo de operación.

Conviene aclarar que estas indicaciones no deben tomarse como suplemento al criterio personal.

FORMATO PARA LA MEDICION DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO									
Gerencia Regional de Transmision			SubArea			Subestacion			
Datos del equipo					Condiciones: Prueba y Climatologica			Orden de trabajo	
Nomenclatura: _____		Marca: _____		Temp. Amb.: _____		Soleado	O.T.: _____		
MVA: _____		Num. Serie _____		% Hum. Relativa _____		Nublado	Fecha: _____		
Clase de enfria. _____		Año Fabricacion: _____		Temp. Devanado _____		Brisa	Programado: Si _____ No _____		
# Taps _____ ± _____ %		Año puesta en serv: _____				1/2 Nublado	Puesto en Serv: Si _____ No _____		
KV nominales _____		%Z a MVA KV				Lluvia	Falla Si _____ No _____		
Equipo de medicion utilizado				Dibuje diagrama vectorial					
Modelo: _____		Fecha calibracion: _____		Tipo: _____					
Marca: _____		Fecha Vencimiento: _____							
N° Serie: _____									
Fecha de la ultima medicion aplicada a la maquina: _____									
Conexiones de prueba									
RA en paralelo con RAB y RAC			RB en paralelo con RAB y RB			RC en paralelo con RAC y RBC			
A			B			C			
Guarda B + C + Tanque			A + C + Tanque			A + B + Tanque			
Factor de corr. a 40°C									
Lectura			Lectura			Lectura			
Tiempo de la Medicion en minutos	Medida	Factor de correccion	Corregida a 40°C	Medida	Factor de correccion	Corregida a 40°C	Medida	Factor de correccion	Corregida a 40°C
1/2									
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
RA en paralelo con RB y RC			RA			Valores de aceptacion			
Linea A + B + C			r1			Indice de polarizacion			
Guarda						Indice de absorcion			
Tierra Tanque			Tanque			$I_p = \frac{R_{AISL} A 10 min}{R_{AISL} a 1 min}$ $I_p \geq 1.5$			
Factor de corr.									
Lectura			Lectura			$I_A = \frac{R_{AISL} A 60 seg}{R_{AISL} a 30 seg}$ $I_A = 1.45 \pm 25%$			
Tiempo de la Medicion en minutos	Medida	Multiplicada	Corregida a 20°C	Medida	Multiplicada				
1/2									
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
Maquina paso prueba de alto potencial: SI			NO						
Observaciones: _____									
Realizado: _____ Reviso: _____ Aprobo: _____									
Nombre y firma			Nombre y firma			Nombre y firma			

**Formulario A3.1: Registro para prueba de resistencia de aislamiento<sup>46</sup>.**

<sup>46</sup> Información obtenida de CFE ST-CT-001, Procedimiento para la medición de resistencia de aislamiento.

## **ANEXO 4**

### **PRUEBA DE ALTO POTENCIAL (HIT-POT)**

#### **A4.1 TEORIA GENERAL.**

La prueba de alto potencial (HIPOT) se puede realizar utilizando AC o DC, para reducir los daños en el devanado se recomienda utilizar tensión D.C. en esta prueba se le aplica a la bobina un potencial de D.C. substancialmente mayor al de operación nominal, si la bobina no falla como resultado del alto potencial, es muy probable que esta no falle en corto tiempo debido al envejecimiento del aislamiento cuando vuelve a servicio. Si una bobina falla durante la prueba es obligatorio realizar un rebobinado a la máquina, puesto que se ha dañado por completo el aislamiento del embobinado a tierra. Cabe señalar que el propósito de esta prueba es determinar si hay algunos defectos importantes en el aislamiento del embobinado a tierra antes de que la maquina se ponga en servicio o durante el mismo.

La prueba de hipot de D.C. no es una prueba de diagnóstico, da una indicación relativa de la condición del aislamiento. Sin embargo la corriente D.C. medida a la hora de la prueba puede dar una cierta indicación cualitativa de la condición, como la prueba del IR lo hace. Específicamente, si la corriente en cualquier tensión particular aumenta durante los años, es una indicación de que la resistencia de aislamiento está disminuyendo, y la bobina está absorbiendo más humedad o gradualmente se está contaminando.

#### **A4.2 CONDICIONES A CONSIDERAR PARA REALIZAR LA PRUEBA HIPOT**

- Durante la prueba de alto potencial en máquinas con excitadores sin escobilla y devanados de campo de máquinas síncronas, los componentes

(diodos, tiristores, etc.) deben ser cortocircuitados (no conectados a tierra).

- La prueba de alto potencial debe ser aplicado sucesivamente entre cada devanado o circuito eléctrico bajo prueba y la estructura (o núcleo) de la máquina. Todos los otros devanados o circuitos eléctricos que no están bajo prueba deben estar conectados a la estructura (o núcleo).
- La prueba de resistencia de aislamiento debe tener resultados aceptables antes de realizar la prueba de alto potencial. Luego de completar la prueba de alto potencial (HIPOT) se debe realizar nuevamente la prueba de resistencia de aislamiento.
- La tensión DC aplicada no debe ser 1.7 veces la tensión nominal A.C. y tendrá una duración de un minuto después de que se alcance la tensión de prueba. El potencial de D.C debe aumentarse gradualmente a la tensión de prueba deseada a fin de limitar la corriente de carga.
- Al realizar la prueba la maquina debe ser limpiada y secada.

Los accesorios tales como condensadores de sobretensión, pararrayos, transformadores de corriente, etc. que tienen cables conectados a los terminales de la máquina deben estar desconectados durante la prueba, con los cables conectados entre sí y con el núcleo.

#### **A4.3 APLICACIÓN DE ALTO POTENCIAL A DEVANADOS NUEVOS.**

Para esta prueba HIPOT se puede aplicar ya sea una tensión D.C. como se especifica en la tabla A4.1 y A4.2 o A.C., no se recomienda repetir la prueba para no someter a estrés el aislamiento, después de rebobinar o que el equipo este instalado o montado es necesario realizar una prueba de alto potencial a todo el conjunto, se recomienda que la tensión aplicada para esta prueba no exceda el 80% de la tensión nominal de la máquina.

#### **A4.4 APLICACIÓN DE ALTO POTENCIAL A DEVANADOS REACONDICIONADOS.**

La prueba de alto potencial para devanados reacondicionados se debe realizar al 65% del valor especificado en la tabla A4.1 y A4.2 para devanados nuevos.

#### **A4.5 APLICACIÓN DE ALTO POTENCIAL A EMBOBINADOS NO REACONDICIONADOS.**

Para maquinas con devanados no reacondicionados solamente se debe realizar una prueba de resistencia de aislamiento en lugar de una prueba de alto potencial.

DESCRIPCIÓN DE LA MAQUINA	PRUEBA DE ALTO POTENCIAL APLICANDO TENSIÓN DC	
<b>Máquinas de inducción A.C. y maquinas sin excitación síncrona</b>	<b>Devanado del estator</b>	<b>Devanado del rotor</b>
Motores con un rango de 0.5 hp Y menores, generadores con rango igual o menor de 373 watts, y para los circuitos en operación a) 250V o menos b) Mayores a 250 V	1700 Volt	1700 + 3.4 veces la tensión secundaria
Motores con un rango mayor que 0.5 hp, generadores mayor a 373 watts (o equivalentes), y para motores a) Sin doble giro	1700 volt + 3.4 veces la tensión nominal de la maquina	
b) Con doble giro	1700 + 6.8 veces la tensión secundaria	
<b>Maquinas síncronas A.C con anillos colectores</b>	<b>Devanados del estator</b>	<b>Devanado de Campo</b>
Motores	1700 volt + 3.4 veces la tensión nominal de la maquina	<b>Método 1*</b> 17 veces la tensión de excitación nominal, pero menor a 4250 volt y no mayor a 8500 volt.
		<b>Método 2*</b> 3.4 veces la caída de tensión I*R que pasa a través de la resistencia, pero no debe ser mayor que 4250 volt.
<b>Generadores</b> a) Con estator (armadura) o devanado de campo con tensión nominal de 35 volt o menos	850 volt	
b) Con salidas menores a 250 watts y tensiones nominales de 250 volt o menos	1700 volt	
c) Con tensión de excitación nominal de 500 volt DC o menos	1700 volt + 3.4 veces la tensión nominal del generador	17 veces la tensión nominal, pero mayor a 2550 volts
d) Con tensión de excitación nominal arriba de 500 volt DC		6800 volt + 3.4 veces la tensión de excitación
<b>Método 1*:</b> Para arranque de motores con su campo cortocircuitado o con un punto excitación en la armadura		
<b>Método 2*:</b> Para arranque de motores con una resistencia en serie con el devanado de campo, la caída I*R es tomada como el producto de la resistencia y la corriente que debe circular en el devanado de campo. (Reference: NEMA Stds. MG 1, 21.22.3).		
<b>Tabla A4.1:</b> Prueba de alto potencial utilizando DC <sup>47</sup> .		

<sup>47</sup> Tabla obtenida de: EASA Standard AR100-2010 "Recommended Practice"

DESCRIPCIÓN DE LA MAQUINA	PRUEBA DE ALTO POTENCIAL DC	
<b>Maquinas síncronas AC sin escobillas y excitadores</b>	<b>Devanado principal del estator</b>	<b>Devanado principal de campo y de la armadura excitadora</b>
La armadura del estator o devanado de campo con tensión nominal de 35 volts o menos	850 volt	
Con una potencia nominal de salida de 250 watts y una tensión nominal de 250 volt o menos	1700 volt	
Con una tensión de excitación nominal de 350 volt DC o menos	1700 volt + 3.4 veces la tensión nominal de la maquina	17 veces la tensión de excitación nominal pero no debe exceder los 2550 volt*
Con una tensión de excitación nominal mayores a 350 volts DC.		4750 volt + 3.4 veces la tensión de excitación nominal*
<b>Excitadores sin escobillas</b>	<b>Excitador en el estator (campos).</b>	
a) Con tensión de excitación para el excitador de campo no mayor 350 volt DC	17 veces la tensión de excitación nominal pero no debe exceder los 2550 volt	Alternativamente, los excitadores sin escobillas para el rotor, deben ser permitidos para ser probados a 1700 volts más 3.4 veces la tensión de corriente alterna no rectificada pero no debe exceder los 2550 volt
b) Con tensión de excitación para el excitador de campo mayores 350 volt DC	4750 volt + 3.4 veces la tensión de excitación nominal	
c) Con excitador AC para el estator	1700 volt + 3.4 veces la tensión nominal AC del estator	
<b>Motores DC y generadores</b>	<b>Devanado de campo</b>	<b>Devanado de la armadura</b>
Con armaduras o devanados de campo con tensión nominal de 35 volt o menos	850 volt	
Motores con potencia nominal de 0.5 hp y menores, generadores con potencia nominal menores a los 250 watts, y para tensión de operación de:	1700 volt	
a) 240 volt		
b) Mayores a 240 volt		
Motores y con potencia nominal mayor a 0.5 hp y generadores con potencia iguales y mayores a 250 watts	1700 volt + 3.4 veces la tensión nominal de la maquina	
<b>Motores universales con tensión nominal de 250 volt o menores</b>	<b>Devanado de campo</b>	<b>Devanado de armadura</b>
Potencia nominal de 0.5 hp y menos, a excepción de motores marcados para herramientas portátiles	1700 volt	
Potencia mayores a 0.5 hp, y todos los motores marcados para herramientas portátiles	1700 volt + 3.4 veces la tensión nominal del motor	
Los componentes del circuito sin escobillas (diodos, tiristores, etc.) deben ser cortocircuitados (no puesto a tierra) durante la prueba. Referencias: NEMA Stds. MG 1, 12.3, 15.48, 20.17, 21.22.4, 21.22.5, 23.20 and 24.49.		
<b>Tabla A4.2: Prueba de alto potencial utilizando DC<sup>48</sup>.</b>		

<sup>48</sup> Tabla obtenida de: EASA Standard AR100-2010 "Recommended Practice"

#### **A4.6. CONEXIONES<sup>49</sup>.**

Las conexiones a tierra deben estar fijamente conectadas para asegurar al personal. Además, si la conexión de tierra es inadecuada podría comprometer la calidad y la interpretación de los datos de prueba. Todos los cables a tierra y los conectores deben ser fuertes mecánicamente de modo que no puedan romperse o cortarse por accidente o error. Por lo general el calibre del conductor de tierra es No. 12 AWG Conductor multifilar flexible o de un conductor de calibre mayor. Las conexiones a tierra deben ser visibles y no se recomienda el uso de la cinta de caucho y aisladores de clip en las conexiones a tierra. Los hilos conductores deben ser visibles en orejetas y clips y no cubiertos en modo alguno.

El chasis del equipo de prueba debe estar conectado a la tierra del punto más cercano, si la salida de alta tensión del equipo de prueba está conectada directamente a los terminales de la máquina, el chasis de prueba también se debe conectarse directamente a la estructura de la máquina bajo prueba.

Durante una prueba de alto tensión DC, mantener lo más alejado posible las bobinas de cualquier conexión a tierra, objetos metálicos, semiconductores o superficies barnizadas, estas podrían desarrollar tensiones de choques peligrosos. Por ello se recomienda que aquellas partes o piezas de la máquina que no puedan ser removidas y alejadas del área de trabajo aproximadamente 3 metros de la maquina como repuesto, piezas de maquinaria, herramientas, etc., conectar fijamente a tierra mientras la prueba está en progreso. El siguiente equipo auxiliar deberá estar conectado a tierra:

- a. Detectores de temperatura en el estator o termopares
- b. Otros dispositivos asociados con el devanado del estator
- c. Devanado del estator y eje
- d. Chasis de equipo de prueba
- e. Objetos lo suficientemente cerca de la máquina de prueba

---

<sup>49</sup> IEEE Std. 95-1992 " IEEE Recommended Practice for Insulation Testing of AC Electric Machinery (2300 V and Above) With High Direct Voltage" Cap 5.



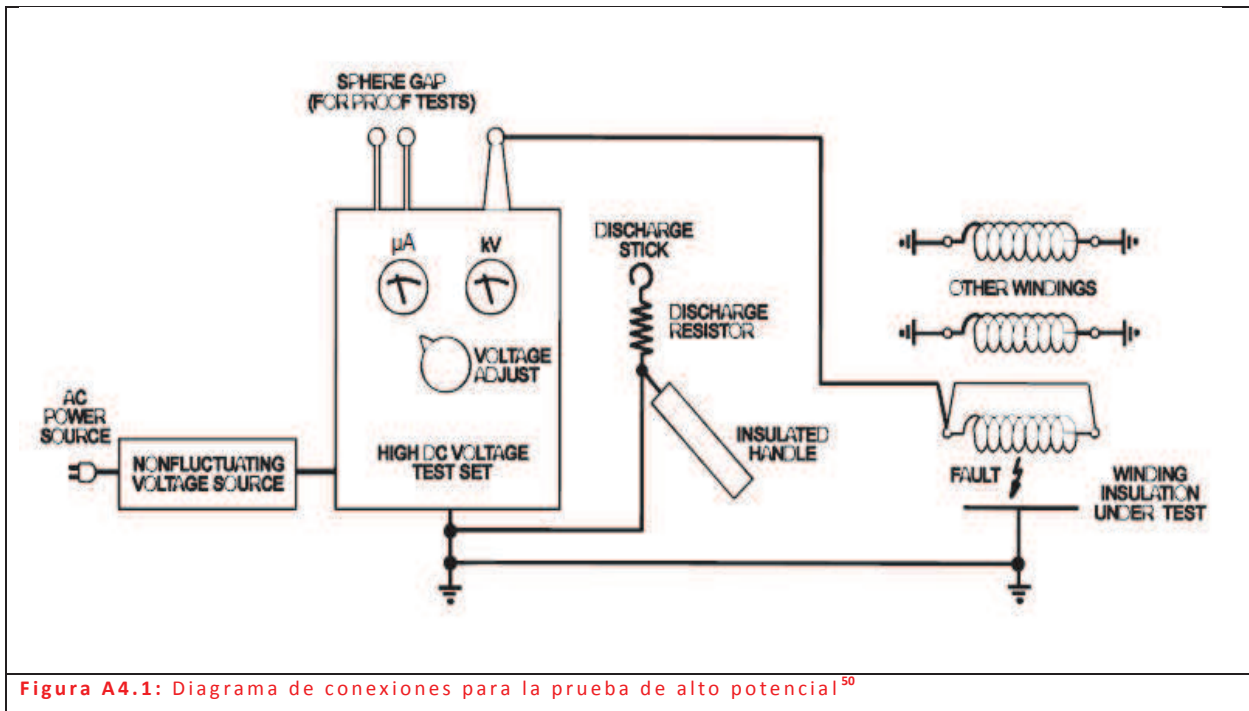


Figura A4.1: Diagrama de conexiones para la prueba de alto potencial<sup>50</sup>

<sup>50</sup> IEEE Std. 95-1992 "IEEE Recommended Practice for Insulation Testing of AC Electric Machinery (2300 V and Above) With High Direct Voltage" Cap 5.

## ANEXO 5

### **A5.1 MEDICIÓN DE RESISTENCIA ÓHMICA A LA BOBINA DE CAMPO Y A ÉL DEVANADO DE UN MOTOR ELÉCTRICO<sup>51</sup>**

La resistencia de los devanados en los motores eléctricos es una resistencia de baja magnitud, una medición de baja resistencia es típicamente una medición por debajo de 1.0 ohmio. A este nivel es importante usar equipos de prueba que minimizarán los errores introducidos por la resistencia de los cables de prueba y/o resistencia de contacto entre el probador y el material que se está probando. Además, a este nivel, las tensiones permanentes a través del aparato bajo medición pueden causar errores que necesitan ser identificados. Para permitir que una medición compense los errores, se emplea el método de medición de cuatro terminales con una corriente de prueba reversible y un medidor adecuado de Puente Kelvin. Los ohmímetros de baja resistencia están diseñados específicamente para estas aplicaciones.

El Puente Kelvin (conocido también como Puente Thomson) se usa para mediciones de precisión por debajo del rango típico del Puente Wheatstone. El arreglo clásico tienen seis resistencias en un rectángulo, por un galvanómetro ver Figura A5.1.

---

<sup>51</sup> MEGGER: "Guía para pruebas de baja resistencia"  
DV POWER NOTA DE APLICACIÓN "Medida de la resistencia de los devanados a motores/generados eléctricos"

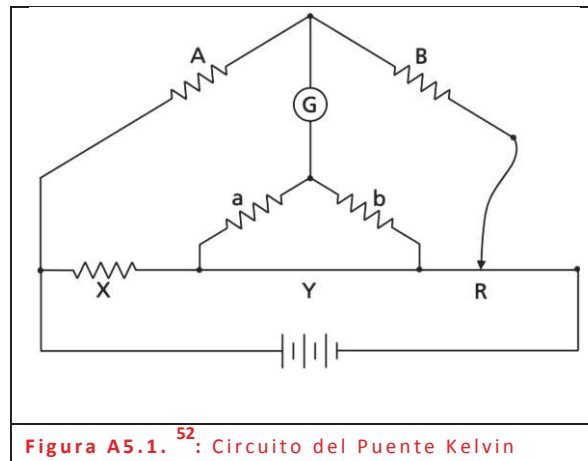
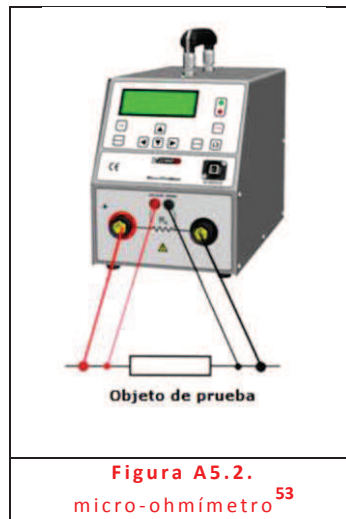


Figura A5.1.<sup>52</sup>: Circuito del Puente Kelvin

Una corriente comparativa grande se pasa a través de la resistencia desconocida y una resistencia conocida de bajo valor. El galvanómetro compara la caída de tensión a través de estas dos resistencias con el circuito de relación doble compuesto por las otras cuatro resistencias.

La corriente de prueba pasa a través de los devanados conducida con cables de alta corriente. La caída de tensión a través de los devanados se mide utilizando cables sensores. La colocación de los cables es muy importante, los cables de corriente se tienen que colocar siempre por fuera de los cables de medida. De esta manera, la resistencia de los dos cables y la resistencia de contacto de las pinzas se excluyen casi por completo de la medida de la resistencia del devanado ver Figura A5.2. La resistencia se calcula por la ley de Ohm.

<sup>52</sup> Figura Obtenida de: MEGGER: "Guía para pruebas de baja resistencia" Figura 27: Circuito del Puente Kelvin



Hay básicamente 4 problemas que los devanados del motor pueden sufrir:

1. Bobina rota (resistencia de la bobina infinito).
2. Bobina de corto-circuito (resistencia de la bobina normal menor o cero).
3. Fugas en la bobina a tierra (corriente que se escapa de una bobina a tierra / neutro).
4. Dos o más bobinas cortocircuitadas entre sí (fugas de una bobina a otra bobina).

**Para realizar el ensayo de la resistencia del devanado del motor:**

El valor de la corriente de ensayo se tiene que seleccionar de acuerdo con la corriente nominal del devanado, la corriente de ensayo no debe exceder el 10% de la corriente nominal del bobinado, valores más altos de la corriente de prueba provocarán un aumento significativo de la resistencia del devanado debido al calentamiento.

- La resistencia del devanado de motores trifásicos de corriente alterna se mide entre los bornes terminales, para las tres fases como se muestra en la Figura A5.3.

<sup>53</sup> Figura Obtenida de: DV POWER NOTA DE APLICACIÓN "Medida de la resistencia de los devanados a motores/generados eléctricos" Figura 2.1.

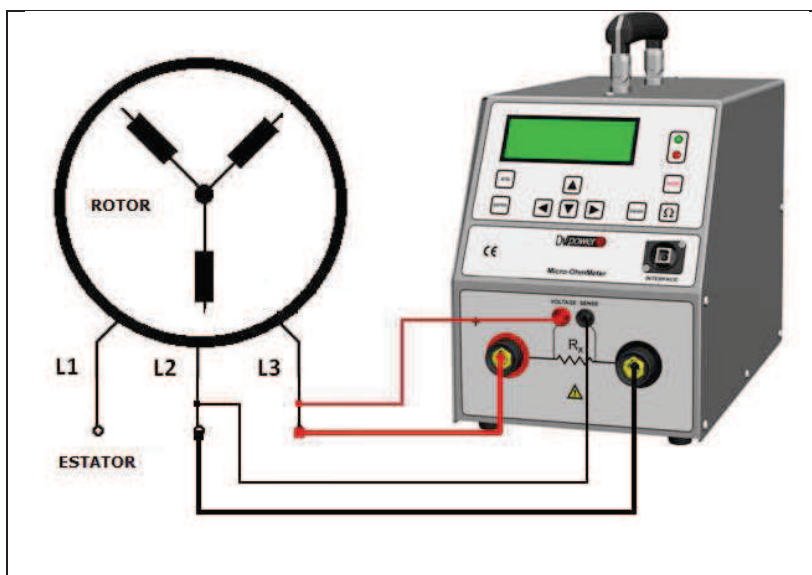


Figura A5.3.<sup>54</sup>: Midiendo la resistencia del devanado del estator de un motor AC

- La resistencia del devanado de un rotor de anillos colector se mide directamente en los anillos colectores (la resistencia de transición no lineal de las escobillas no está incluida en la resistencia medida del devanado).

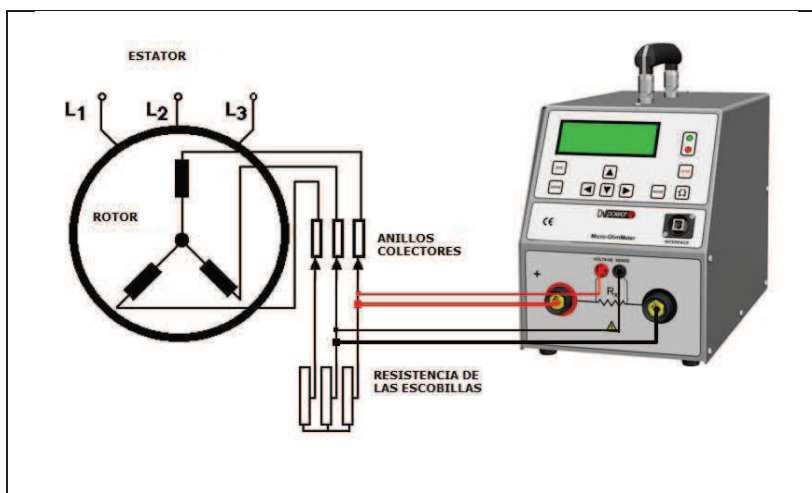


Figura A5.4.<sup>55</sup>: Midiendo la resistencia del devanado del rotor de un motor de anillos rozantes.

<sup>54</sup> Figura obtenida de: DV POWER NOTA DE APLICACIÓN "Medida de la resistencia de los devanados a motores/generados eléctricos" Figura 3.1.

<sup>55</sup> Figura obtenida de: DV POWER NOTA DE APLICACIÓN "Medida de la resistencia de los devanados a motores/generados eléctricos" Figura 3.3.

Se recomienda si es posible medir la resistencia del devanado antes de ser removido para luego ser comparado con el nuevo valor de resistencia que tendrá el devanado nuevo, la comparación se lleva a cabo de la siguiente forma:

Cada una de las mediciones de resistencia al devanado se deberá medir la temperatura ambiente para luego realizar una compensación de lectura a una resistencia corregida de 25 °C la fórmula es la siguiente.

$$R_x = \left( \frac{234.5 + 25}{234.5 + T_A} \right) \times \text{Resistencia medida.} \quad \text{Equ. (A5.1.)}$$

Dónde:

$R_x$  = Resistencia del devanado corregida<sup>56</sup>.

$T_a$  = Temperatura ambiente del aire.

El valor corregido de la resistencia del devanado nuevo debe ser igual o menor al devanado original del motor. Cuando el estator está completamente enrollado, medir y registrar la resistencia de cada fase, así como la temperatura ambiente. Las resistencias de cada una de las fases debe encontrarse en un 5% del valor medido.

---

<sup>56</sup> Ecuación obtenida de "The Effect of Repair/Rewinding on Motor Efficiency. EASA-2003 Parte 2" 4.5.1. Winding resistance tests.

## ANEXO 6

### A6 PRUEBA DE IMPULSO (TEST SURGE) PARA MOTORES FORM WOUND<sup>57</sup>

Cuando los motores de media y baja tensión son alimentados por controladores de velocidad variable del tipo PWM, los pulsos rápidos generan una distribución no lineal de tensión entre espiras o vueltas, por lo que pueden llegar a presentarse tensiones mayores a las esperadas entre espiras. En el caso de media tensión estas sobretensiones pueden llegar a ocasionar la aparición de descargas parciales o pérdidas dieléctricas en el material aislante que generen un calor excesivo. En ambos casos estos dos fenómenos aceleran el envejecimiento del material aislante que puede llevar a la falla total del devanado. Pruebas como la de resistencia de aislamiento no ayuda a detectar este tipo de fallas entre espiras, pues solo son capaces de detectar fallas del aislamiento a tierra. Una prueba que puede dar indicio de falla entre espiras es la prueba de comparación de impulsos (Surge Test).

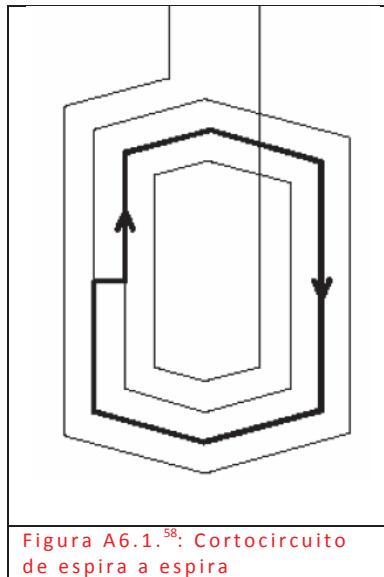
Cuando existe una falla de espira a espira, la espira cortocircuitada actúa como un autotransformador secundario. Si, por ejemplo, una bobina tiene 60 vueltas por fase y solo es una espira cortocircuitada, la corriente en el cortocircuito será 60 veces más grande que la corriente normal, el efecto del calentamiento es el cuadrado de la corriente por la resistencia ( $I^2R$ ). Este ejemplo podría resultar en  $(60)^2$  o 3,600 veces el efecto de calentamiento normal, no se necesita mucho tiempo para que este calor comience a fundir el cobre y el aislamiento, la consiguiente pérdida de aislamiento se manifiesta en un fallo de

---

<sup>57</sup> Información obtenida de: IEEE Std-522-1992 "Guide for Testing Turn-to-Turn Insulation on Form-Wound Stator Coils for Alternating-Current Rotating Electric Machines"  
TOSHIBA INTERNATIONAL CORPORATION "APPLICATION GUIDELINE #42 (Motor Insulation Turn-Turn Failures & Testing)"  
CURRENT STATE OF SURGE TESTING INDUCTION MACHINES "John Wilson Baker Instrument Company"

fase a tierra por lo general en cuestión de segundos, normalmente este tipo de fallo es reconocido por una gran cantidad de cobre fundido.

La Figura A6.1, muestra un ejemplo de un cortocircuito de espira a espira en la espira 4 de un devanado. (Esta es una ilustración simplificada de una bobina cortocircuitada)



### **A6.1 TEORIA DE LA PRUEBA IMPULSO (SURGE TEST)**

Si una corriente cada vez mayor se aplica a una bobina, se genera una tensión a través de la bobina por el principio de inducción. La tensión a través de la bobina viene dado por

$$T = L \left( \frac{di}{dt} \right) \quad \text{Equ. (A6.1)}$$

---

<sup>58</sup> Figura obtenida de: TOSHIBA INTERNATIONAL CORPORATION "APPLICATION GUIDELINE #42 (Motor Insulation Turn-Turn Failures & Testing)" Fig 1: Turn to Turn Short



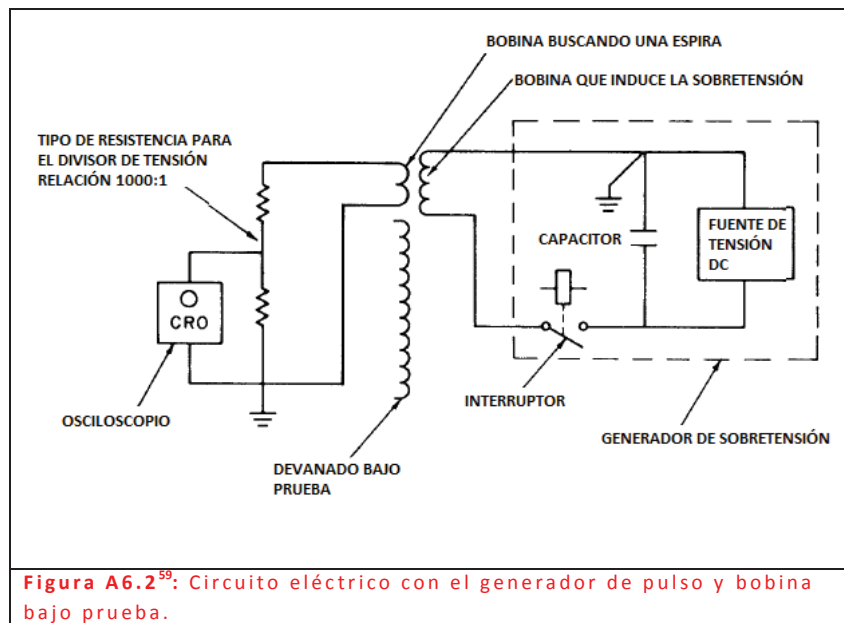
Dónde:

T: es la tensión en la terminal de la bobina.

L: es la inductancia de la bobina.

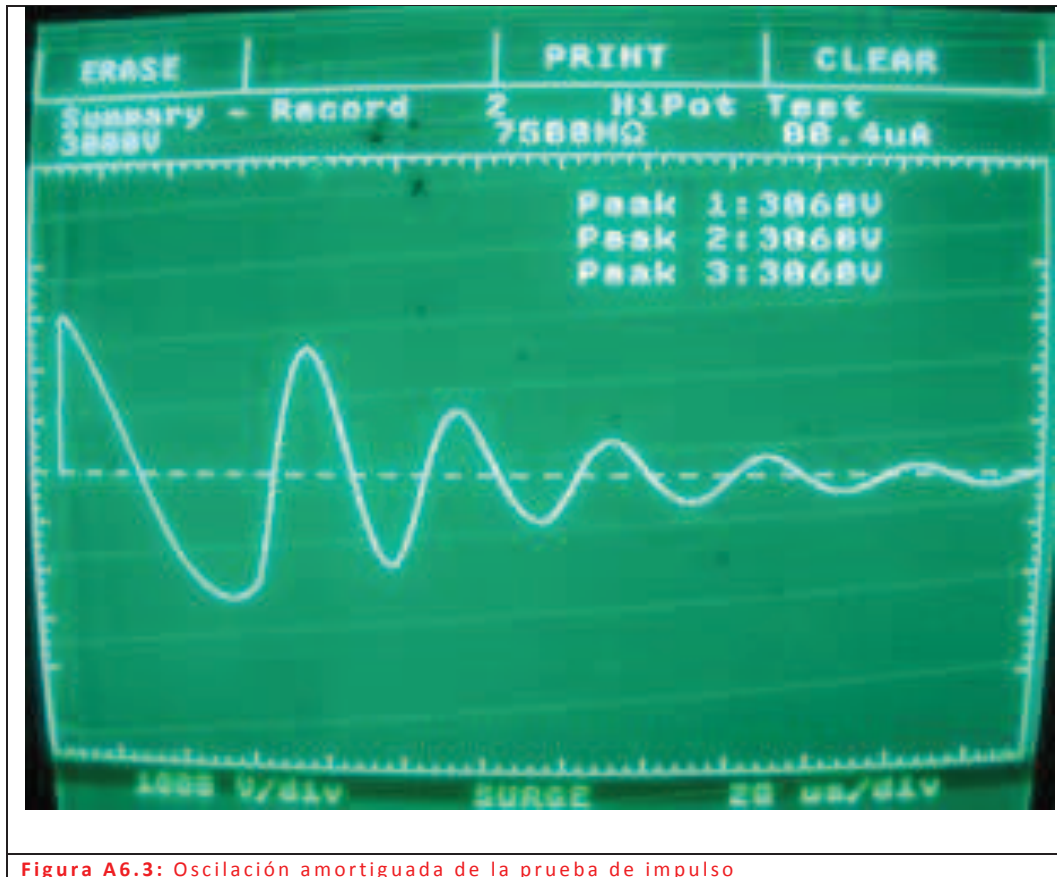
$(di/dt)$ : es la tasa de variación de la corriente respecto al tiempo.

La tensión T en las terminales de la bobina, son en realidad una suma de las tensiones inducidas creadas entre las espiras individuales de la bobina. Si el material aislante que separa las bobinas adyacentes es débil y si la tensión inducida es mayor a la que soporta la resistencia dieléctrica del aislamiento, se formara un arco entre las espiras. Equipos de prueba de sobretensión están diseñados para generar una tensión inducida entre las espiras adyacentes y detectar la formación de arcos, indicando un aislamiento débil o fallado. La Figura A6.2 se muestra el circuito eléctrico que se utiliza en la prueba de impulso con su bobina bajo prueba.



<sup>59</sup> Figura obtenida de: IEEE Std-522-1992 "Guide for Testing Turn-to-Turn Insulation on Form-Wound Stator Coils for Alternating-Current Rotating Electric Machines" Fig A2 Suggested Arrangement of Test Equipment

El comportamiento del circuito se explica de la siguiente manera, cuando el capacitor interno se carga a una tensión determinada por la fuente de alimentación, a un momento determinado el interruptor de alta tensión se cierra el cual transfiere la carga desde el capacitor a través de los devanados de la bobina. Si las resistencias y las pérdidas de todo el circuito son tales que el sistema está sobre-amortiguado, la carga será capaz de fluir a través del inductor y en el otro lado del capacitor resultando en una oscilación. Este proceso se repetirá hasta que las resistencias y las pérdidas en el circuito absorban completamente toda la energía que estaba almacenada en el capacitor. La medición de la tensión en las terminales de la bobina frente al tiempo da la forma de onda de sobretensión, que muestra la oscilación amortiguada, como en la Figura A6.3.



**Figura A6.3:** Oscilación amortiguada de la prueba de impulso

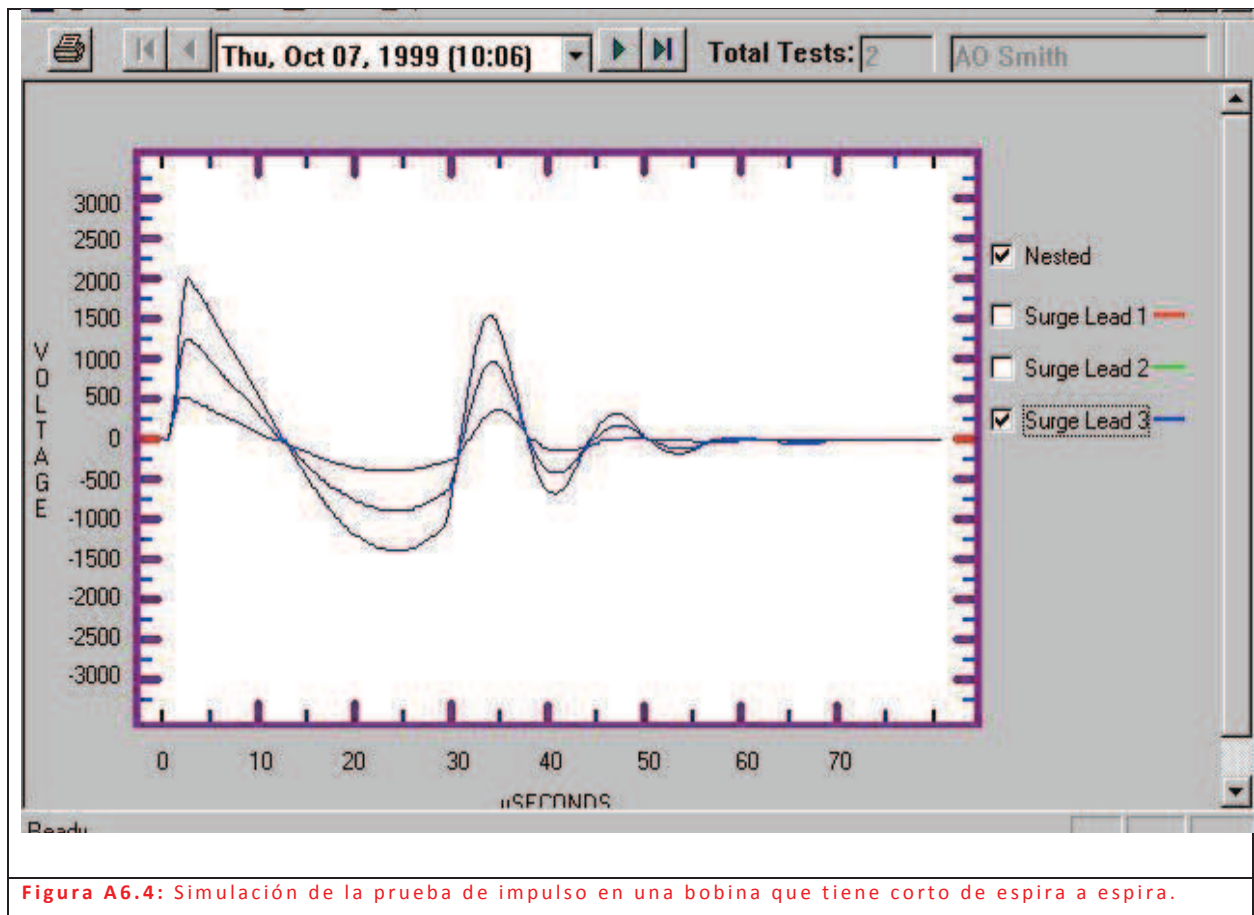
La frecuencia de oscilación de la forma de onda sinusoidal será de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}} \quad \text{Equ. (A6.2)}$$

Cuando el segundo término en la raíz es pequeño en comparación con el primero, se reduce a:

$$f_o = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad \text{Equ. (A6.3)}$$

Si la falla del aislamiento de espira a espira produce un arco corto entre dos espiras en la bobina, una fracción de la inductancia será puesta en cortocircuito y estará fuera de la respuesta del circuito. Al disminuir la L podemos observar de la ecuación anterior, que la frecuencia f aumentará, debido al cortocircuito. Un aumento en la frecuencia se mostrara como un salto a la izquierda del patrón de oscilación, este repentino aumento en la frecuencia indicara una falla en el aislamiento de espira a espira producido por un arco, dependiendo de la bobina y la ubicación del arco corto, la magnitud de la forma de onda de la sobretensión también puede disminuir ligeramente, en la Figura A6.4 se muestra una simulación de este fenómeno.



## A6.2 PROCEDIMIENTO DE PRUEBA.

### A6.2.1 Secuencia de la prueba<sup>60</sup>:

Las bobinas pueden ser probadas en varios pasos siguientes a su fabricación:

- A. Probar las bobinas antes de colocarlas en el núcleo del estator, esto es apropiado cuando las bobinas son instaladas en una posición remota dentro de la máquina en donde opera el motor, si la impedancia de las bobinas en el aire es baja, se puede montar la bobina en un núcleo para simular una prueba en condición real.

<sup>60</sup> Datos obtenidos de: IEEE Std-522-1992 "Guide for Testing Turn-to-Turn Insulation on Form-Wound Stator Coils for Alternating-Current Rotating Electric Machines" 5. Test Sequence

- B. Antes de cualquier conexión entre bobinas, cada espira de la bobina debe ser probada por separado una vez se instale en el núcleo realizándole su respectivo acuñando y reforzando.
- C. Después de la conexión en serie de las bobinas, pero antes del aislamiento de ellas y de las conexiones entre grupos de fase, cada espira de la bobina debe ser probada.
- D. Después de la conexión en grupos de fase, pero antes de grupos de fase que se unen el uno al otro (antes de que o después de aislamiento de las conexiones de serie). Esta prueba compara grupos de fase, no bobinas individuales.
- E. Después de que todas las conexiones son hechas y aisladas. Todas las pruebas de mantenimiento son hechas en condiciones normales.

Si el potencial de prueba es aplicado en las terminales de la máquina, el nivel de tensión de impulso eléctrico debería ser seleccionado con cuidado, para evitar el desgaste en el aislamiento a tierra. En este caso, la prueba puede revelar cortocircuitos existentes y no las debilidades del aislamiento entre vueltas.

Se recomienda el cuidado en pruebas de una espira de fase completa en las terminales de la máquina. Una espira de fase completa consiste en varios arrollamientos en serie. De ahí, el cambio de la forma de impulso de tensión causada por la falla del aislamiento entre un par de vueltas en una bobina, solo en la espira de fase completa es a menudo muy pequeño. Por consiguiente, la falla del aislamiento entre vueltas durante la prueba de impulso de una espira completa, puede ser no detectada. De otra manera, pueden inducir la tensión de prueba en los arrollamientos del estator mediante una bobina inducida.

### **A6.2.2 Condiciones de prueba.**

Las condiciones ambientales deberán ser aceptables para pruebas de aislamiento. Antes de las pruebas de espira a espira de bobinas totalmente curadas, la resistencia de aislamiento deberá ser medida conforme a IEEE std 43-2000 ver Anexo 3. La superficie de aislamiento debe estar limpia y seca. La temperatura de la bobina tendrá que ser al menos unos grados superiores del punto de rocío, como un mínimo; para evitar condensación sobre el aislamiento. Las pruebas de vuelta-a-vuelta no continuaran hasta que las pruebas de resistencia de aislamiento hayan sido realizadas satisfactoriamente.

Utilice un medidor de baja resistencia y mida la resistencia del devanado según Anexo 5, un medidor Fluke regular o medidor similar no funcionarán. Compruebe las fases 1 a 2, luego 2 a 3 y de 3 a 1, anote las lecturas.

### **A6.2.3 Niveles de tensión del impulso para bobinas nuevas.**

La tensión de prueba de vuelta a vuelta mínima es de 350V pico, que es la mínima tensión que provoca un campo magnético uniforme en el aire, aunque en ensayos de prácticas reales por lo general son realizados en niveles mayores que exceden este valor.

Independientemente de la técnica de prueba usada, se sugiere que para probar el aislamiento entre vueltas, se use un impulso de tensión con un tiempo de subida de 0.1 a 0.2  $\mu$ s. Las pruebas realizadas a mayor tiempo ( $>1.2\mu$ s) tienden a dañar el aislamiento a tierra. En general, el aislamiento del embobinado a tierra y el aislamiento entre vueltas deberán soportar una sobretensión eléctrica en el rango de tiempo que se muestra en la Figura A6.5.

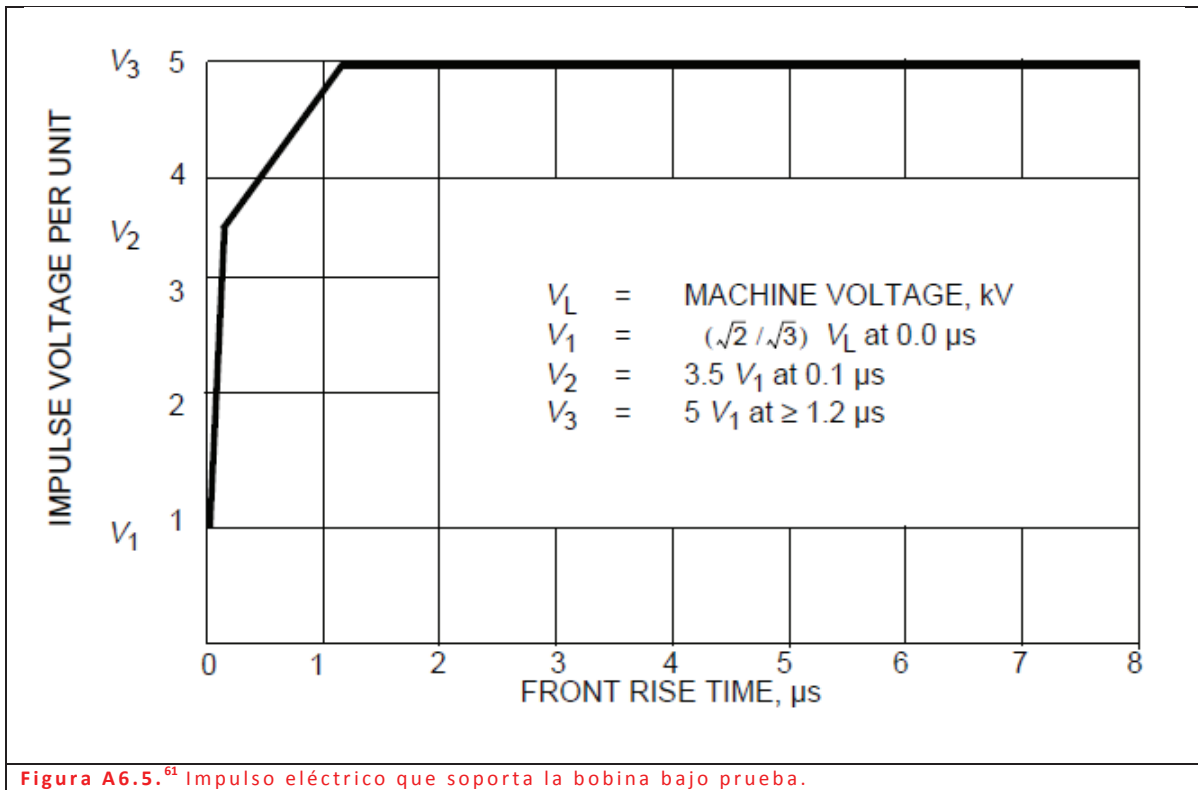


Figura A6.5.<sup>61</sup> Impulso eléctrico que soporta la bobina bajo prueba.

$$V_1 = \left(\frac{2}{3}\right) V_L = 1 \text{ por unidad (pu) desde un tiempo de subida de } 0.0 \mu s \quad \text{Equ. (A6.4)}$$

$$V_2 = 3.5 \text{ pu desde un tiempo de subida de } 0.1 \mu s \quad \text{Equ. (A6.5)}$$

$$V_3 = 5 \text{ pu desde un tiempo de subida de } 1.2 \mu s \quad \text{Equ. (A6.6)}$$

Donde

$V_n(n=1,2,3)$ = Magnitud del impulso eléctrico a través de la bobina.

$V_L$  = Tensión nominal rms de línea a línea en kV.

La aplicación de esta prueba en bobinas que se encuentran en servicio, se recomienda aplicarle el 75% del 3.5pu aplicado a bobinas nuevas.

<sup>61</sup>Datos obtenidos de: IEEE Std-522-1992 "Guide for Testing Turn-to-Turn Insulation on Form-Wound Stator Coils for Alternating-Current Rotating Electric Machines" Fig 1, Coil Electrical Impulse Withstand Envelope  
 "The Effect of Repair/Rewinding on Motor Efficiency. EASA-2003 Parte 1" and "TECH NOTE NO.17".

Varias organizaciones industriales han escrito normas relativas a la aplicación de la prueba de impulso a la Tabla A6.1 se muestran las tensiones de prueba recomendadas por diferentes organizaciones (IEEE, IEC y EASA).

		IEEE 522		EASA	IEC34-15	
		New Coils	In Service	In Service	1.2 x 50µs	0.2µs
$V_{line}$	Per Unit	3.5pu	75% New	$2 \cdot V_{line} + 1000$	$4 \cdot V_{line} + 5000$	65%
480	392	1372	1029	1960	6920	4498
575	469	1643	1232	2150	7300	4745
600	490	1715	1286	2200	7400	4810
2300	1878	6573	4930	5600	14200	9230
4160	3397	11888	8916	9320	21640	14066
6900	5634	19718	14789	14800	32600	21190
13800	11268	39437	29578	28600	60200	39130

Tabla A6.1<sup>62</sup>. Diferentes tensiones según organismos

Tenga en cuenta que hay mucha variación entre los estándares americanos y normas europeas.

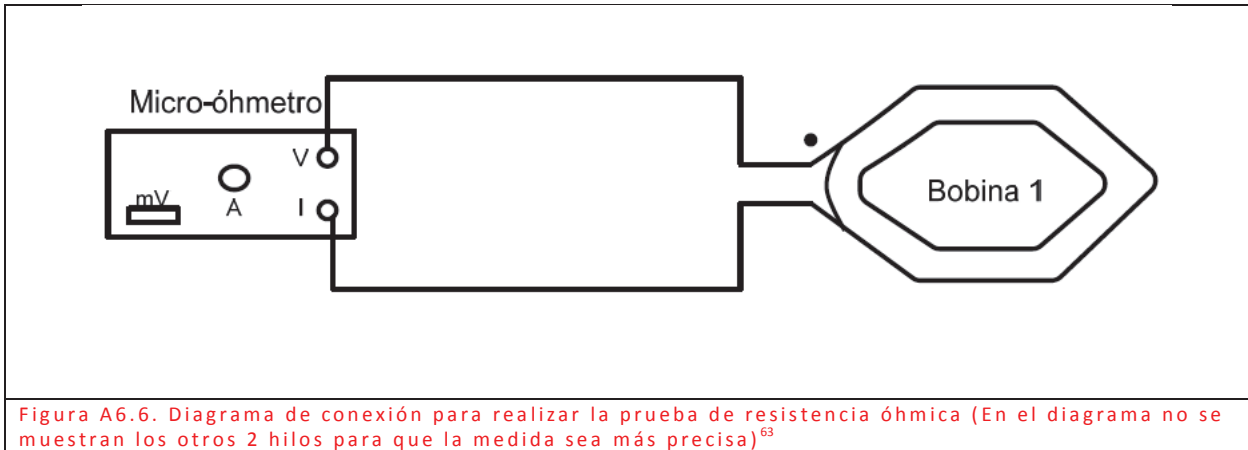
### A6.3 CONEXIONES PARA LA PRUEBA DE IMPULSO

- **Circuito para la medición de resistencia óhmica.**

Esta prueba se realiza como se muestra en la Figura A6.6.

<sup>62</sup>Tabla obtenida de: CURRENT STATE OF SURGE TESTING INDUCTION MACHINES, John Wilson, Baker Instrument Company .

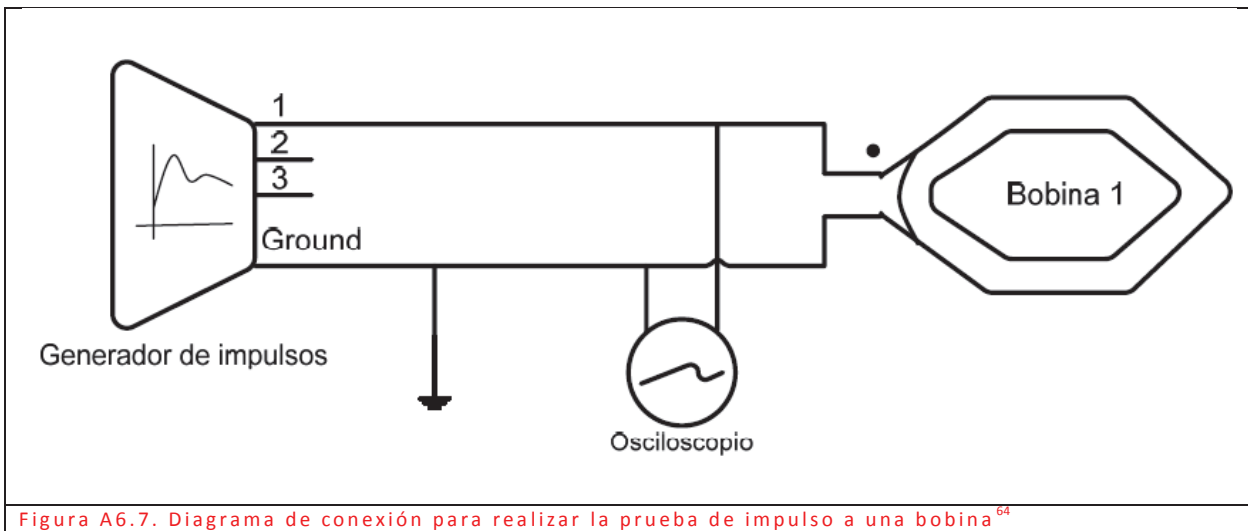




Para obtener la medición de la resistencia óhmica de las bobinas a emplear se conectan las salidas de corriente y tensión del micro-ohmetro a las terminales de la bobina donde la polaridad en esta prueba no es problema.

- **Circuito de conexión para realizar la prueba de impulso en una bobina**

Esta prueba se lleva a cabo como se muestra en la Figura A6.7.



<sup>63</sup>Datos obtenidos de: Pruebas Eléctricas Para El Diagnóstico Del Sistema De Aislamiento Entre Vueltas De Bobinas De Motores Eléctricos De Media Tensión México D.F. Noviembre 2009.

<sup>64</sup>Datos obtenidos de: Pruebas Eléctricas Para El Diagnóstico Del Sistema De Aislamiento Entre Vueltas De Bobinas De Motores Eléctricos De Media Tensión México D.F. Noviembre 2009.

Del generador de impulsos se toma la salida 1 y se conecta a la entrada de la bobina 1, la salida 2 y 3 del generador no se emplean, la salida de la bobina se conecta a tierra junto con la terminal "Ground" del generador. El osciloscopio realiza la medición de tensión y la forma de onda que existe entre cada vuelta o espira, la manera en que se efectúa la medición es tomar la punta de alta tensión que está conectada al osciloscopio y referirla a cada espira. La punta de alta tensión tiene un cable de tierra, ésta también es mandada a tierra (no se moverá en las mediciones realizadas de todas las espiras).

- **Circuito para la comparación de impulsos**

Esta prueba se realiza como se muestra en Figura A6.8.

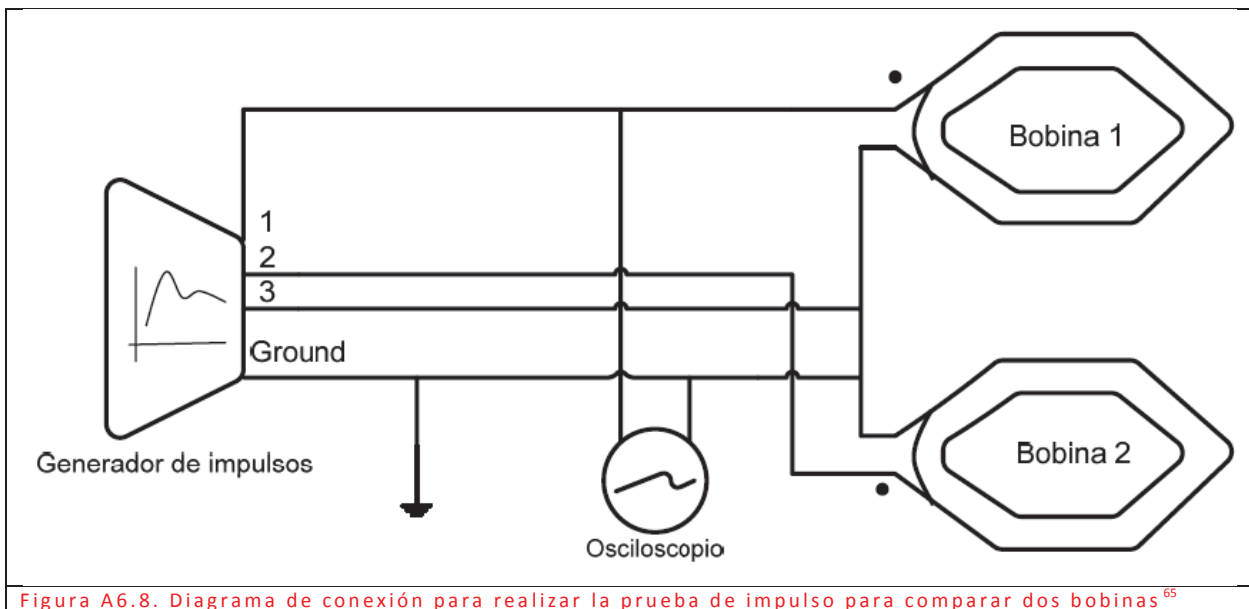


Figura A6.8. Diagrama de conexión para realizar la prueba de impulso para comparar dos bobinas<sup>65</sup>

Se realiza una comparación entre dos bobinas mediante la inyección de impulsos. La conexión empleada es conectar la salida del generador 1 se manda a la entrada de la bobina 1, la salida de ésta bobina se une a la salida de la bobina 2, la entrada de la bobina 2 se conecta a la salida 2 del generador, la

<sup>65</sup>Datos obtenidos de: Pruebas Eléctricas Para El Diagnóstico Del Sistema De Aislamiento Entre Vueltas De Bobinas De Motores Eléctricos De Media Tensión México D.F. Noviembre 2009.

salida 3 de éste se manda a la unión de las bobinas y además a la tierra física junto con la terminal “*Ground*” del generador de impulsos. La medición se realiza refiriendo la punta positiva del osciloscopio a la entrada de la bobina 1 y la punta negativa a tierra esto para observar la forma de onda de la bobina 1, para obtener la forma de onda de la bobina 2 se cambia la punta positiva, se conecta a la entrada de la bobina 2, la punta negativa no se mueve.

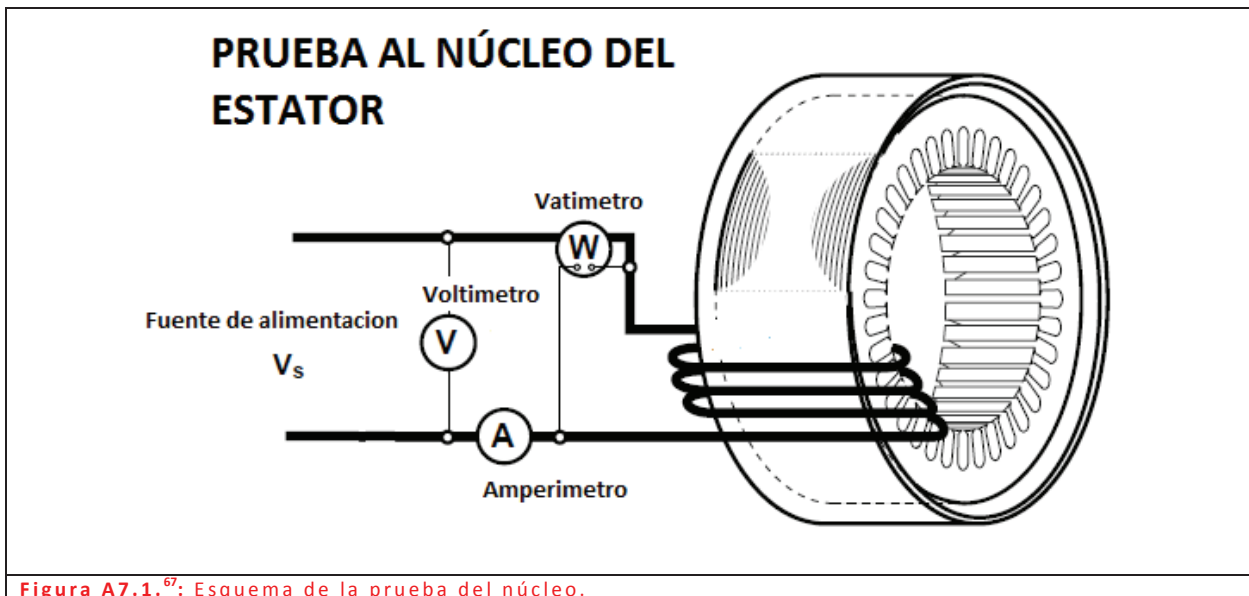
## ANEXO 7

### A7 MEDICIÓN DE LAS PÉRDIDAS EN EL NÚCLEO

#### A7.1. PRUEBA AL NÚCLEO POR MEDIO DEL MÉTODO DE LOOP-TEST<sup>66</sup> (PRUEBA DE LAZO)

El estator de cada motor eléctrico que se inspecciona debe ser probado, tanto antes como después de extraerle o colocarle el devanado, y reparar el núcleo si es necesario, asegurarse de que las pérdidas del núcleo no se hayan incrementado durante el proceso de reparación.

La prueba del núcleo por medio del método loop-test, también llamada la prueba del anillo ha probado ser efectiva para detectar laminaciones en cortocircuito que hayan perdido el aislamiento interlaminar en la estructura ferromagnética del estator. Ésta se basa en establecer un nivel de inducción específico en el núcleo, energizando el toroide con una fuente monofásica como se muestra en la Figura A7.1.

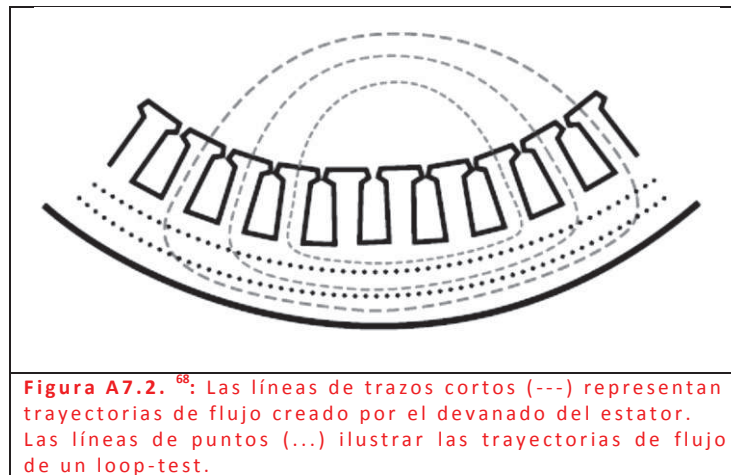


<sup>66</sup> Información obtenida de: IEEE Std. 432-1992. "Guide for Insulation Maintenance for Rotating Electric Machinery (5 hp to less than 10 000 hp), Sec. 9.1 and App. A.4.

"The Effect of Repair/Rewinding on Motor Efficiency. EASA-2003 Parte 1" and "TECH NOTE NO.17".

<sup>67</sup> Información obtenida de: TECH NOTE NO. 16. "Guidelines for Maintaining Motor Efficiency During Rebuilding"

El cálculos para obtener el número de vueltas necesarias para que el núcleo sea magnetizado y tener el nivel de flujo deseado se hace generando un flujo de 85,000 líneas por pulgada cuadrada (85 kl/pulg<sup>2</sup> o 1.32 Tesla), que es el flujo necesario básico para excitar la estructura ferromagnética, algunos talleres de reparación calculan las vueltas requeridas para el nivel del flujo del núcleo según el diseño del devanado, conocido como prueba de "flujo completo". La distorsión del flujo inducido en el núcleo por la prueba loop-test no es la misma que la inducida por el devanado de la máquina, en particular cuando se retira el rotor, (véase la Figura A7.2.).



La configuración del loop-test es por medio de envolver con alambre de plomo el núcleo, es decir, pasar los cables a través de las ranuras del estator y al exterior del núcleo o la estructura del estator. Para calcular la magnetización del núcleo se utiliza un valor de amperio-vueltas que pueda excitar el núcleo para el nivel de flujo magnético deseado, por ejemplo, si se requiere 3600 amperios-vueltas para generar un nivel de magnetización de 85 kl/pulg<sup>2</sup> (1.32T), y se desea limitar la corriente del cable de la bobina a 80 amperios, el número de vueltas necesarias serían 45 (80 x 45 = 3600), los amperios-vueltas requeridos pueden ser aproximados según la Tabla A7.1.

<sup>68</sup> Información obtenida de: "The Effect of Repair/Rewinding on Motor Efficiency. EASA-2003 Parte 1".

REQUISITOS DE INDUCCIÓN			
INDUCCIÓN		FUERZA DE MAGNETIZACIÓN	
KILOLINEAS POR PULGADA CUADRADA	TESLA	AMP-VUELTA POR PULG. DEL PERIMETRO MEDIO DEL NÚCLEO	OERSTEDS POR CM. DEL PERIMETRO MEDIO DEL NÚCLEO
85	13.2	9	1.7
90	13.9	18	3.5
95	14.7	37	7.2
106	16.4	145	28.2

**Tabla A7.1.<sup>69</sup>: Requerimientos de inducción**

Las vueltas de la bobina excitada deben ser colocadas estrechamente entre sí, con el fin de maximizar el área del núcleo a ser probado. Una prueba completa al núcleo puede llevar varias repeticiones del loop-test, ubicando la bobina excitadora en diferentes partes del núcleo en búsqueda de áreas que presenten puntos calientes.

Las corrientes circulantes inducidas en las laminaciones simularán las pérdidas del núcleo que ocurren durante la operación normal, y calentarán el material ferromagnético. Las condiciones en que se encuentra el núcleo se determinan a partir de su temperatura y de la potencia consumida.

Para el loop-test se debe seleccionar una fuente, preferentemente de tensión variable y de la misma frecuencia que la nominal del motor. Debe garantizarse

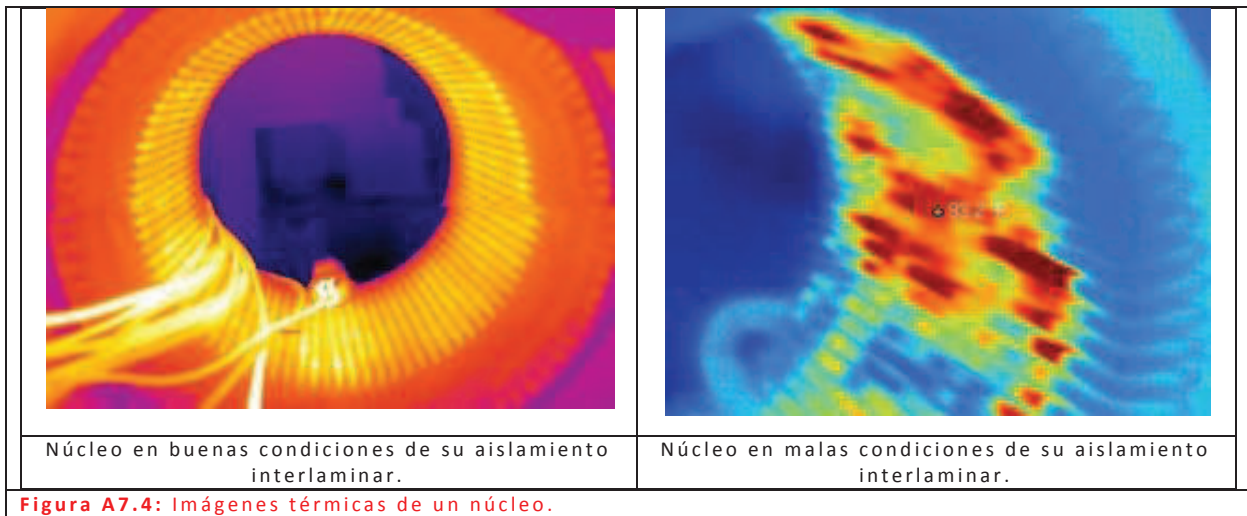
<sup>69</sup> Tabla obtenida de: IEEE Std. 432-1992. "Guide for Insulation Maintenance for Rotating Electric Machinery (5 hp to less than 10 000 hp)", App. A.4. Stator Core Interlaminar Insulation Test (Loop Test)

que la alimentación sea sinusoidal. Se requiere un termócupla, pirómetro, scanner infrarrojo, cámara termográfica u otro aparato para leer temperatura como se muestra en las Figura A7.3.



La fuente de alimentación deben conectarse tan próximo al toroide como sea posible, con el objetivo de reducir la influencia de las pérdidas en los cables de alimentación. La tensión debe mantenerse constante durante toda la prueba. El núcleo del estator comienza a calentarse una vez que el toroide ha sido energizado. Si las laminaciones no están dañadas, las temperaturas superficiales se mantendrán uniformes y usualmente se incrementarán de 5 a 10 °C en unos 30 minutos. Sin embargo, la razón de incremento variará con el tamaño del motor.

Los defectos localizados en el núcleo se harán evidentes a partir de las mediciones de temperatura durante la prueba, las áreas detectadas con daño serán denominadas como una anomalía térmica o punto caliente, estas áreas se calentarán más rápido que las áreas en buen estado. Los puntos calientes cerca de la superficie pueden ser detectados en pocos minutos. Esos puntos calientes en la parte interior del hierro pueden necesitar un tiempo aproximado de 20 minutos para hacerse evidentes en la superficie del núcleo, en la Figura A7.4. se muestra dos ejemplos de núcleos realizándole la prueba loop-test.



Se deberá registrar la temperatura en el núcleo, tanto al comienzo como al final de la prueba, además de la temperatura ambiente y los tiempos transcurridos. Debe hacerse una medición frecuente de la temperatura del núcleo con el objetivo de determinar rápidamente los puntos calientes. Tan pronto como esos puntos sean detectados, es necesario detener la prueba para evitar averías adicionales en el material ferromagnético. Deberán ser realizadas las reparaciones necesarias y probar de nuevo el núcleo, se evaluarán los datos de la prueba para determinar si el núcleo está en buen estado, o si resulta necesario repararlo.

El núcleo puede ser utilizado si las pruebas indican:

1. Mínimo incremento de temperatura en el núcleo.
2. No resultan prevaecientes los calentamientos localizados.
3. Las pérdidas por kilogramo se comparan favorablemente con los datos que aporta la literatura, de la información ofrecida por el fabricante, o con valores tomados en núcleos semejantes.

Los valores de pérdidas específicas variarán de 2 a 13 W/kg dependiendo del tipo de material, del calibre de las láminas y del método de procesar el material ferromagnético. En las máquinas modernas son usuales valores más bajos, es



decir, de 2 a 3 W/kg. Valores de hasta 6 W/kg pueden considerarse satisfactorios.

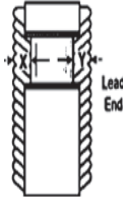
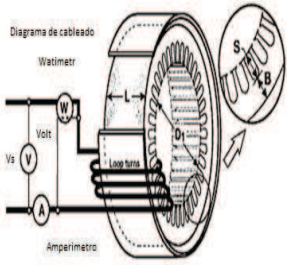
El núcleo deberá ser reparado si la prueba indica lo siguientes:

1. La temperatura del núcleo es alta o se incrementa rápidamente.
2. Se detectan calentamientos locales elevados.
3. Los valores de las pérdidas por kilogramo son altos o se comparan desfavorablemente con otros valores de referencia.

La prueba que se realiza después de la reparación del núcleo se efectúa con la misma tensión y frecuencia que la primera y, tan aproximadamente como sea posible a la misma temperatura ambiente. Se deben registrar las lecturas de los medidores de potencia, tensión, corriente y de la temperatura, y se calculan las pérdidas por kilogramo.

Se determina el estado del estator, comparando las lecturas de los vatímetros anterior (W1) y posterior (W2) a la reparación. Si la relación  $W2/W1$  no resulta mayor que 1,1, se puede considerar que el núcleo es adecuado para rebobinar, suponiendo que también cumple con los otros requerimientos que se explicaron anteriormente. Si la relación  $W2/W1$  es mayor que 1,1, el núcleo debe ser reemplazado.

*Propuesta Nacional de Estándar para la Reparación y Rebobinado de Motores Eléctricos*

FORMATO PARA LA PRUEBA AL NUCLEO DEL ESTATOR																				
HP/KVA/KW		RPM		MFR.		FRAME		TIPE												
Fases:		HZ		Volt.		Amp.		Modelo		Serie #										
Dimensiones del nucleo		Ancho parte extena de nucleo		Diámetro interno		profundidad de la ranura		Fuente de alimentacion para la prueba		Dist. fin de ranura hasta fin nucleo		Datos de la extension del devanado								
Pulg. ___ mm. ___		L. _____		D1: _____		S: _____		Vs: ___ V, f= ___ Hz		B: _____										
Seccion del nucleo para dimensiones en pulgadas										X= _____										
Diámetro externo		$D1 + (2 \times S) + B$				Diámetro externo D (pulg)				Y= _____										
Bobina excitadora		$(279 \times Vs) / (f \times L \times B)$				Bobina excitadora														
Amperios estimados		$(28 \times D) / (\text{bobina excitadora})$				Amperios estimados														
Peso del nucleo		$0.82 \times D \times L \times B$				Peso del nucleo (Lbs)														
Nota: El calculo del peso del nucleo es en base a hierro sin incluir los dientes de ranura																				
Seccion del nucleo para dimensiones en milímetros										Diagrama de cableado										
Diámetro externo		$D1 + (2 \times S) + B$				Diámetro externo D (mm)														
Bobina excitadora		$(180000 \times Vs) / (f \times L \times B)$				Bobina excitadora														
Amperios estimados		$(1.1 \times D) / (\text{bobina excitadora})$				Amperios estimados														
Peso del nucleo		$D \times L \times B / 43821$				Peso del nucleo (Kg)														
Nota: El calculo del peso del nucleo es en base a hierro sin incluir los dientes de ranura																				
Selección del tamaño conductor		Tamaño AWG		18	16	14	12	10	8	6	4	3	2	1 1/0	2/0	3/0	4/0	Tamaño del conductor		
		Amperios		18	22	25	30	40	50	70	90	105	120	140	155	185	210			235
		mm <sup>2</sup>		1	1.5	2.5	4	6	10	16	25	25	35	50	50	70	95			120
Temperatura en el nucleo		°F		°C		Datos de prueba		Lecturas en valores reales RMS			Evaluacion del nucleo (W2/W1)									
Ambiente	At Arranque	At final	Cambio	Punto caliente	tiempo	Antes	Despues	Final	Voltios	Amperios	Watts	Disposicion del nucleo		Pasa	Falla					
													watts / lb		watts/Kg					
													watts / lb		watts/Kg					
													watts / lb		watts/Kg					
Cliente: _____		Fecha: _____		Prueba realizada por: _____		Verificada por: _____														

Formulario A7.1: Registro para la prueba del núcleo<sup>70</sup>

<sup>70</sup> Formulario obtenido de EASA "Formulario para la prueba de núcleo de maquinas rotativas"

## ANEXO 8

### Causas típicas de fallas en devanados de estatores trifásicos<sup>71</sup>

La vida útil de un devanado trifásico en un estator puede ser acortada drásticamente cuando el motor está expuesto a condiciones de funcionamiento desfavorables, ya sean condiciones eléctricas, mecánicas o ambientales.

Las posibles 12 fallas o daños que a continuación se ilustran son típicas en un motor eléctrico y puede suceder por las condiciones o circunstancias que se describen, ayudando así en la identificación de las causas del daño, por lo que, cuando se pueden tomar medidas preventivas, realizar las correcciones posibles en el nuevo devanado del estator.



Compare un devanado en buenas condiciones de operación con las 12 fallas o daños en el devanado de un estator.

<sup>71</sup> Datos e imágenes obtenidas de "Failures in Three-Phase Stator Windings. EASA-1985/2002".

1° Falla monofásica en el devanado (Conectada en estrella)

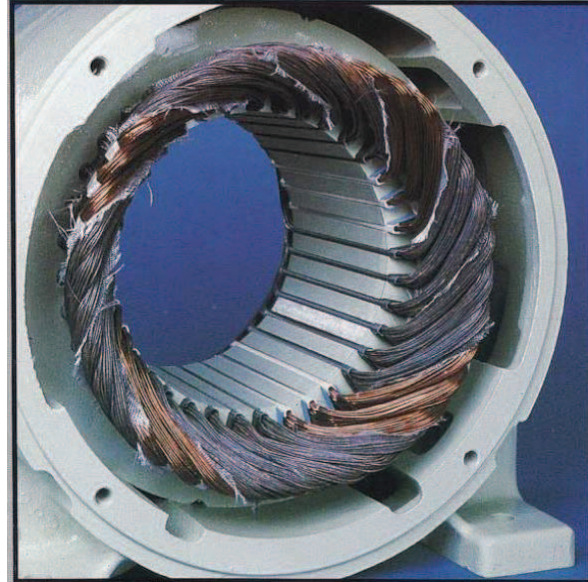


Figura A8.2: Una falla monofásica en el devanado es el resultado de una fase abierto en la fuente de alimentación del motor. La abertura por lo general es causada por un fusible fundido, un contacto abierto, una línea eléctrica rota o una mala conexión.

2° Falla monofásica en el devanado (Conectada en delta)

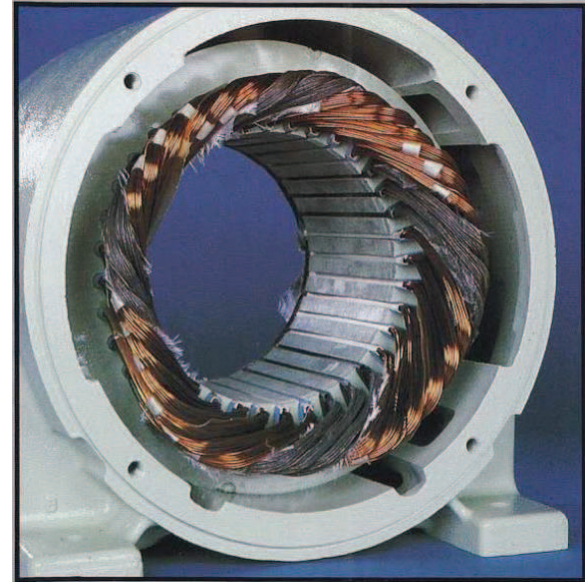


Figura A8.3: Una falla monofásica en el devanado es el resultado de una fase abierto en la fuente de alimentación del motor. La abertura por lo general es causada por un fusible fundido, un contacto abierto, una línea eléctrica rota o una mala conexión.

3° Falla de cortocircuito de fase a fase

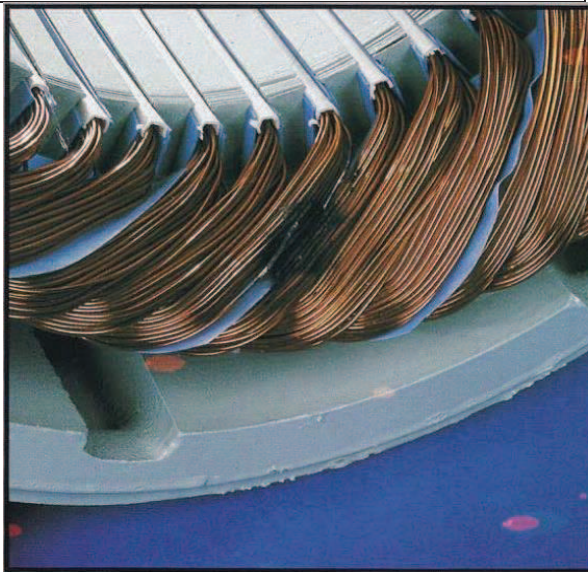


Figura A8.4: Esta es una típica falla en el aislamiento es causado por contaminantes, abrasión y vibración o picos de tensión.

4° Falla de cortocircuito de vuelta a vuelta

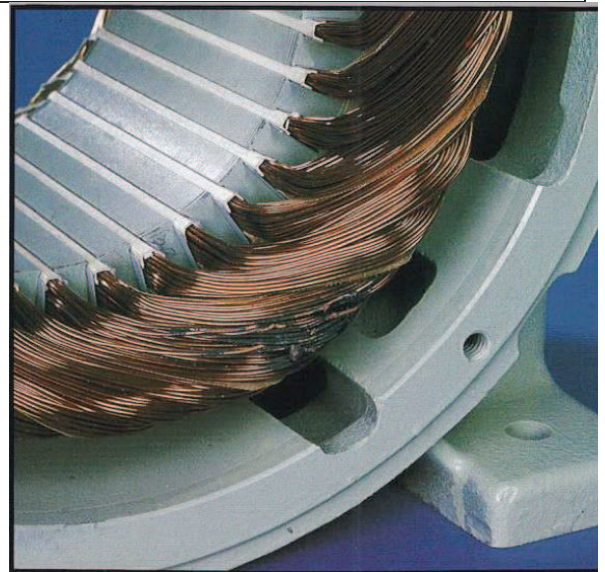


Figura A8.5: Esta es una típica falla en el aislamiento es causado por contaminantes, abrasión y vibración o picos de tensión.

5° Falla de cortocircuito en la bobina



Figura A8.6: Esta es una típica falla en el aislamiento es causado por contaminantes, abrasión y vibración o picos de tensión.

6° Falla de devanado a tierra en el borde de la ranura

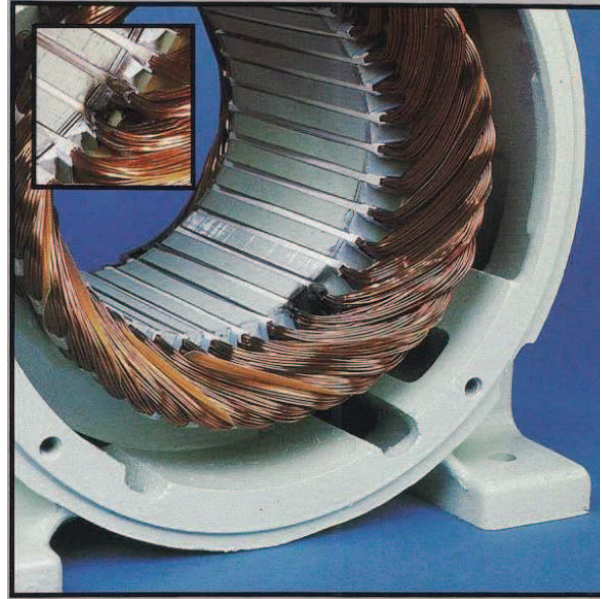


Figura A8.7: Esta es una típica falla en el aislamiento es causado por contaminantes, abrasión y vibración o picos de tensión.

7° Falla de cortocircuito en la bobina

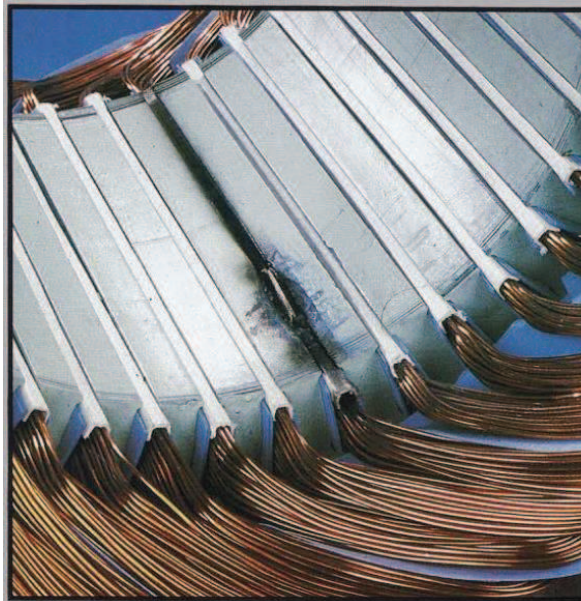


Figura A8.8: Esta es una típica falla en el aislamiento es causado por contaminantes, abrasión y vibración o picos de tensión.

8° Falla de devanado a tierra en el borde de la ranura

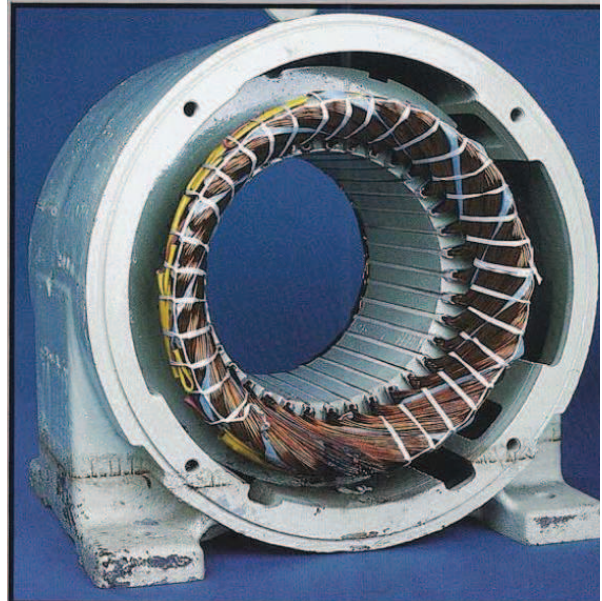
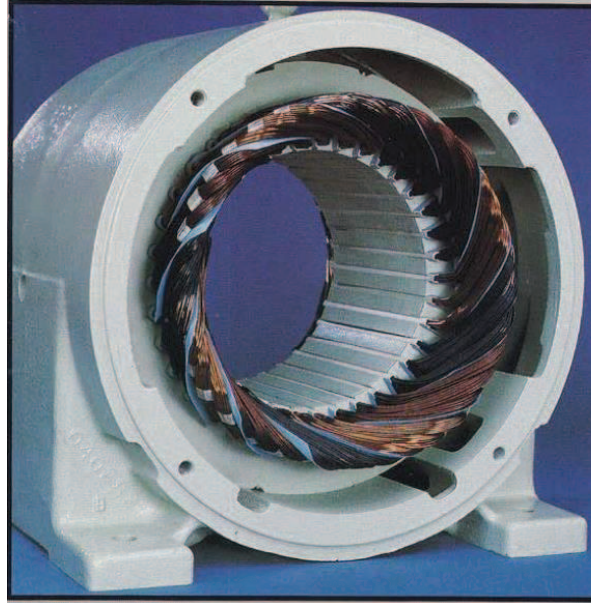


Figura A8.9: Esta es una típica falla en el aislamiento es causado por contaminantes, abrasión y vibración o picos de tensión.

9° Daño de fase debido a desbalance de tensión



**Figura A8.10:** El deterioro térmico del aislamiento en una fase del devanado del estator puede resultar en una desigualdad de tensión entre las fases. Tensiones desiguales generalmente son causadas por las cargas desequilibradas en la fuente de alimentación, una mala conexión en el terminal del motor, o un contacto de alta resistencia.  
Nota: Un 1% de tensión de desbalance puede dar lugar a un 6 a 10% de corriente de desbalance.

10° Daño en el devanado debido a sobrecarga



**Figura A8.11:** El deterioro térmico del aislamiento en todas las fases del devanado del estator típicamente es causado por demandas de carga superiores a la capacidad nominal del motor.  
Nota: Baja tensión y sobre tensión (excediendo los estándares NEMA) darían como resultado el mismo tipo de deterioro en el aislamiento.

11° Daño causado por rotor bloqueado



**Figura: A8.12:** Un severo deterioro térmico del aislamiento en todas las fases del motor, es normalmente causado por corrientes muy altas en el devanado del estator debido a una condición de rotor bloqueado, también puede ocurrir como resultado de arranques o inversiones excesivas.

12° Daños causados por picos de tensión



**Figura A8.13:** Este tipo de fallos en el aislamiento por lo general son causados por sobretensiones. Los transitorios de tensión suelen ser el resultado de los circuitos de conmutación de energía, rayos, descargas de condensadores y dispositivos eléctricos de estado sólido.

## ANEXO 9

### **A9. PRUEBA GROWLER<sup>72</sup>**

#### **A9.1. GENERALIDADES**

Un growler es un dispositivo eléctrico utilizado para la prueba de aislamiento de un motor para bobinas cortocircuitadas o para detectar barras de rotores jaula de ardía abiertas. Un growler consta de una bobina de alambre envuelto alrededor de un núcleo de hierro y conectado a una fuente de corriente alterna. Cuando se coloca en el núcleo del estator o rotor de un motor, el equipo Growler actúa como el primario de un transformador y las bobinas del estator o rotor actuar como el secundario, se utiliza una tira de delgada de acero para detectar corto en las bobinas. Para efectos de este documento se explicara solamente la aplicación de esta prueba a rotores tipo jaula de ardía.

#### **A9.2. APLICACIÓN DE LA PRUEBA GROWLER**

Coloque un growler portátil como se muestra en la Figura A9.1, o coloque el rotor en el equipo growler de mesa como se muestra en la Figura A9.2, con una lámina de acero o un trozo de papel magnético, colóquelo en la parte superior del rotor y active el growler, gire la lámina de acero o papel magnetizante sobre el rotor, estos serán atraídos magnéticamente por el campo magnético producido en las barras del rotor por medio del growler. Cuando exista una barra abierta del rotor se dará un cambio gradual en la fuerza magnética, que puede deberse a problemas mecánicos en la superficie del rotor, o un fallo en las barras del rotor, por tal motivo debe repetirse este procedimiento hasta completar toda la superficie del rotor y estar seguro que existe un defecto en las barras del rotor.

---

<sup>72</sup> Datos e imágenes obtenidas de "Failures in Three-Phase Stator Windings. EASA-1985/2002".



Otro método para identificar el patrón de campo magnético es forrando el rotor con papel magnetizaste como se pude observar en la (Figura A.9.3), lo que produce al colocar el rotor en el growler de mesa es magnetizar el papel contra el campo que genera el rotor en su núcleo y donde existan barras del rotor abiertas mostrar la sección del papel con una disminución en el contacto contra el rotor provocado por la disminución del campo.

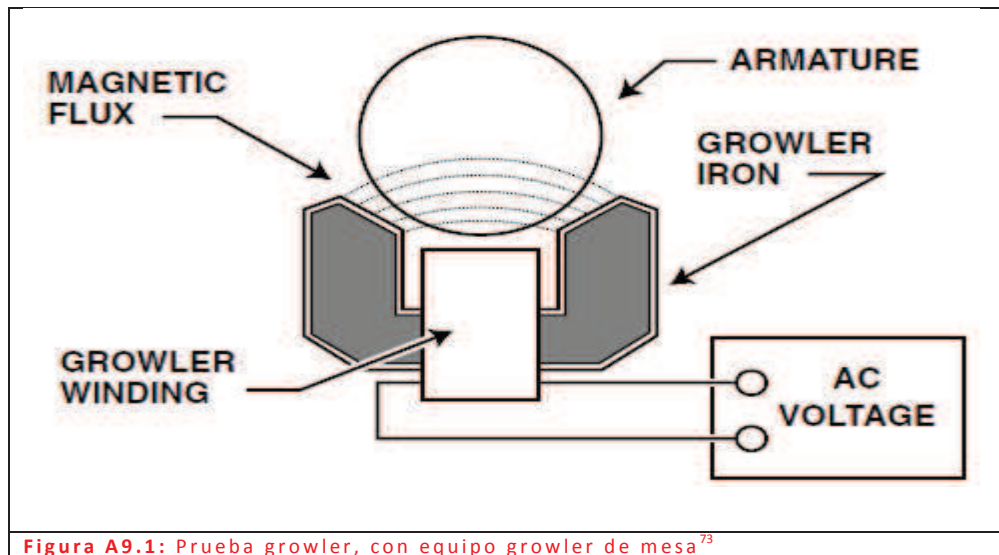


Figura A9.1: Prueba growler, con equipo growler de mesa<sup>73</sup>

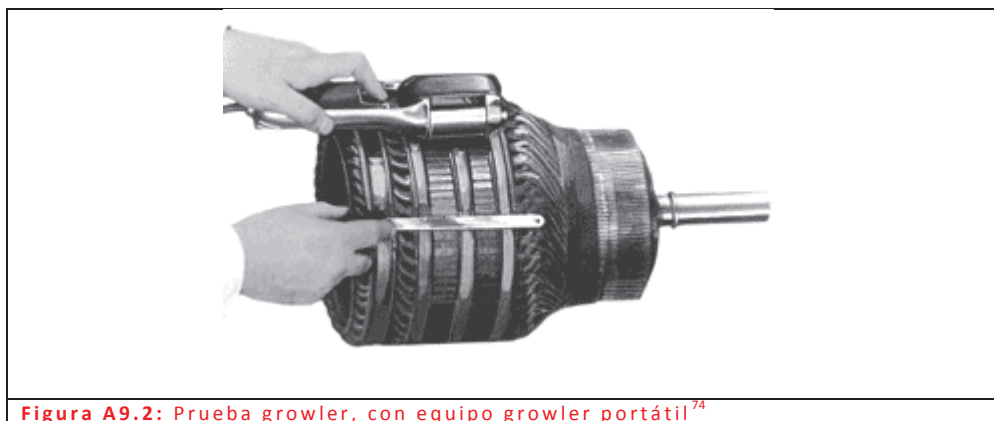


Figura A9.2: Prueba growler, con equipo growler portátil<sup>74</sup>

<sup>73</sup> Figura obtenida de "Failures in Three-Phase Stator Windings. EASA-1985/2002".

<sup>74</sup> Figura obtenida de "Failures in Three-Phase Stator Windings. EASA-1985/2002".



**Figura A9.3:** Utilizando papel magnetizante en la prueba growler puede facilitar la detección de barras abiertas en el rotor<sup>75</sup>

---

<sup>75</sup> Figura obtenida de "Failures in Three-Phase Stator Windings. EASA-1985/2002".

## **ANEXO 10**

### **A10.1. VIBRACIÓN DE MÁQUINAS ROTATIVAS<sup>76</sup>**

El estándar establece que las pruebas, condiciones de medida y los límites para el nivel de vibración de una maquina eléctrica, serán realizadas a una sola maquina en una área de prueba bajo condiciones controladas, las mediciones para los niveles de vibración del eje (velocidad, desplazamiento y/o aceleración) será en relación con las superficie de los cojinetes dentro o cerca de los cojinetes de la máquina, las medidas de vibración en el eje son recomendadas solo para maquinas con cojinetes tipo casquete y velocidades iguales o mayores a 1000 rev/min, la instalación de elementos para las pruebas deben de ser en acuerdo entre fabricante y usuario.

### **A10.2. MEDICIONES.**

#### **A10.2.1. Vibración en la superficie de los cojinetes.**

Los criterios adoptados para la vibración en la superficie de los cojinetes, es el valor pico de la velocidad de vibración en pulgadas por segundo, el mayor valor en el punto de medida descrito caracteriza la vibración de la máquina.

#### **A10.2.2. Vibración relativa del eje.**

El criterio adoptado para la vibración relativa del eje (relativo a la superficie del cojinete), será la vibración del desplazamiento pico a pico ( $S_{p-p}$ ) en pulgadas.

### **A10.3. EQUIPO PARA LA TOMA DE MEDIDAS.**

El equipo a utilizar para la medida de vibración debe tener al menos un  $\pm 10\%$  del límite admisible de la maquina a prueba.

### **A10.4. MONTAJE DE LA MAQUINA**

La evaluación de la vibración para maquinas eléctricas rotativas requiere de medidas bajo condiciones controladas, la vibración están estrechamente

---

<sup>76</sup> Datos e imágenes obtenidas de "Failures in Three-Phase Stator Windings. EASA-1985/2002".

vinculada con el montaje de la máquina, la elección del método de montaje será realizado por el fabricante, usualmente las maquinas con altura en el eje de 11 pulgadas (28cm) o inferiores, son montajes resistentes.

#### **A10.4.1 Montaje flexible.**

Un montaje flexible es alcanzado suspendiendo la maquina sobre resortes o por medio bandas elásticas.

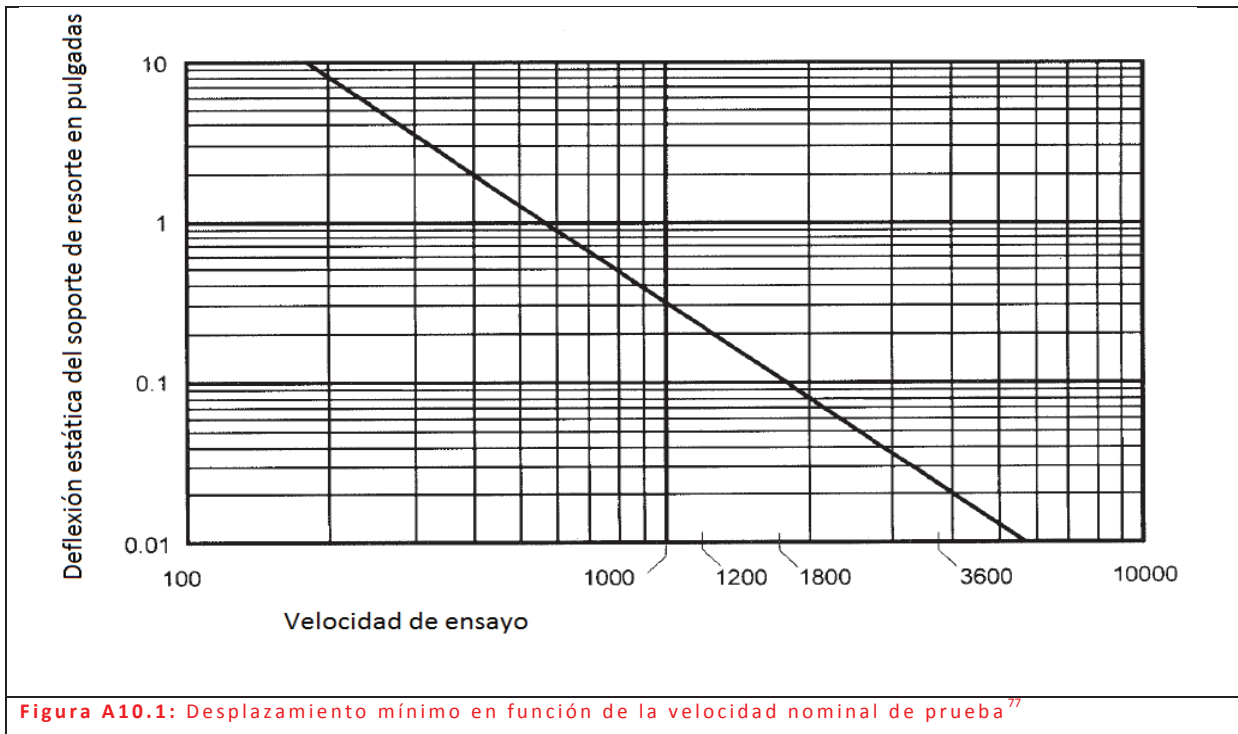
La frecuencia de oscilación vertical del sistema de suspensión y la maquina debe ser inferior al 33% de la frecuencia correspondiente a la velocidad de prueba más baja, para determinar si es necesario un sistema de suspensión elástico ver Figura A10.1.

Para reducir la influencia de la masa y el momento de inercia en el nivel de vibración, la masa efectiva del soporte debe de ser igual o menor que el 10% de la masa de la máquina.

#### **A10.4.2 Montaje rígido**

El montaje rígido es alcanzado fijando la maquina directamente a una base sólida.

La velocidad de vibración de la base horizontal o vertical de la maquina no debe exceder del 25% de la máxima velocidad adyacente a los cojinetes, o en cualquier dirección horizontal o vertical de la frecuencia de rotación.



## A10.5. CONDICIONES PARA EJECUCIÓN DE LA MAQUINA EN LA TOMA DE MEDICIONES

### A10.5.1 Puntos de medida para vibraciones

#### A10.5.1.1 Superficie de los cojinetes

La localización del punto de medida y la dirección de cada nivel de vibración será aplicado para maquinas con cojinetes cerrados como se muestra en la figura A10.2, para maquinas con cojinetes de tipo pedestal figura A10.3, y la figura A10.4 aplica aquellas maquinas cuando la posición de medida está de acuerdo a la figura A10.2 y no es posibles la localización del punto de medida sin el montaje de las piezas o donde no exista una referencia céntrica.

#### A10.5.2 Eje

Si se utiliza los transductores libres de contacto, deben de ser instalados dentro de los cojinetes, midiendo directamente el desplazamiento en el muñón del eje,

<sup>77</sup> NEMA MG 1 2009 Sección 1 parte 7

no es recomendable la instalación de estos cerca de los cojinetes. Una correcta posición es como se indica en la Figura A10.5.

#### **A10.5.3. Condición de operación.**

Para máquinas que son bidireccionales, se puede aplicar los límites de vibración en ambas direcciones de rotación, pero la medición es necesario aplicarla solamente en una dirección.

Las medidas de vibración deben de realizarse con la maquina sin carga.

#### **A10.5.4. Fuente de alimentación**

Se deben hacer funcionar las máquinas de corriente alterna a su tensión y frecuencia nominal proporcionando un equilibrio entre las fases, cuando no sea especificado la frecuencia debe mantenerse con un  $\pm 0.5\%$  del valor requerido para la prueba, la prueba debe ser realizada cuando el desbalance de tensión no exceda el 1%.

Para máquinas de corriente directa, se debe aplicar una tensión y una corriente de campo correspondiente a la velocidad con que se mida la vibración, los límites de vibración son correspondientes a la variación de tensión aplicada.

#### **A10.5.5. Velocidad de operación**

Para máquinas que tengan más de una sola velocidad estas no deben exceder los límites de la velocidad máxima de operación, para maquinas con rango de velocidades se debe aplicar la prueba al menos a su velocidad mínima y máxima, en motores con una sola velocidad la prueba se aplica solamente a la velocidad nominal. Las medidas de vibración serán aceptables a la frecuencia de 60Hz.

### A10.5.6. Montaje de transductor de vibración.

Asegurar el contacto entre el transductor de vibración y la superficie de la máquina se realice como lo especifica el fabricante del transductor y en los puntos de medida de la maquina bajo prueba, el peso total del transductor debe ser menor que el 2% del peso total de máquina.

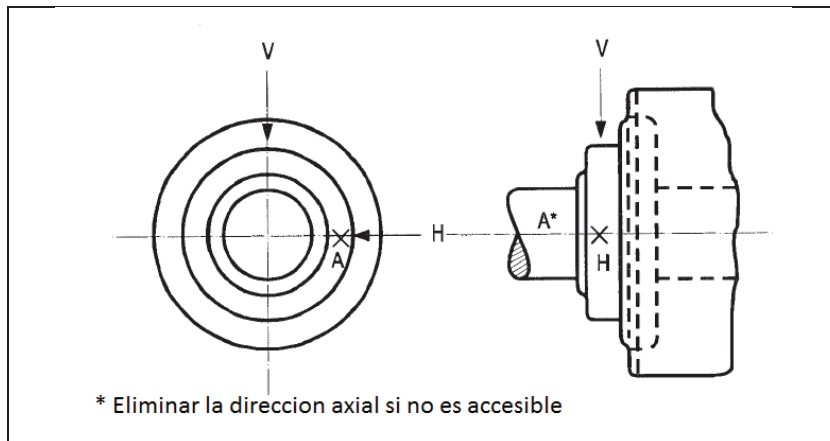


Figura A10.2: Puntos de medida aplicables en uno o ambos extremos de la máquina<sup>78</sup>.

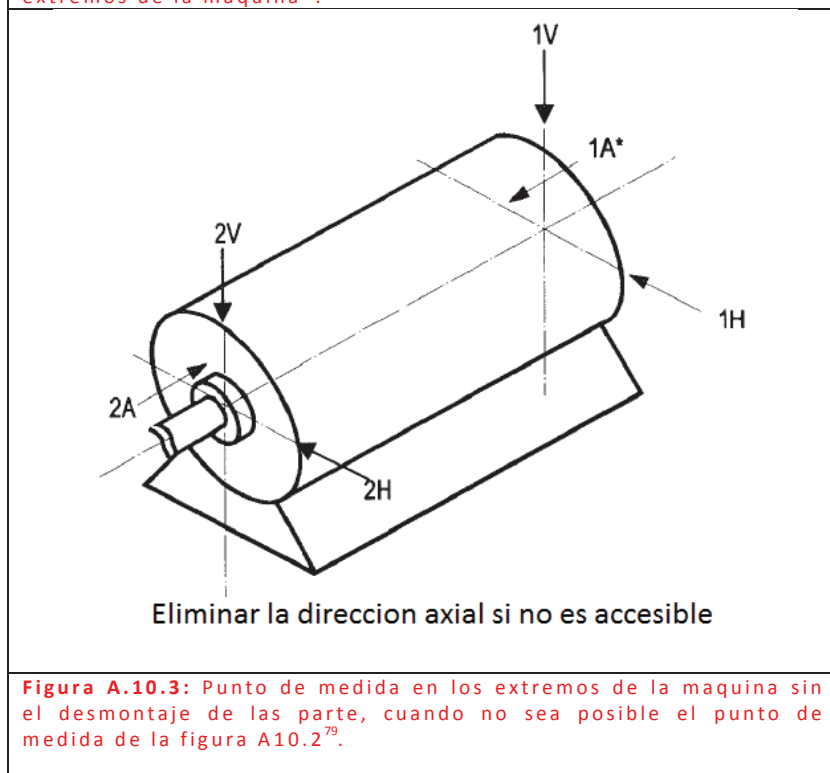


Figura A.10.3: Punto de medida en los extremos de la maquina sin el desmontaje de las parte, cuando no sea posible el punto de medida de la figura A10.2<sup>79</sup>.

<sup>78</sup> NEMA MG 1 2009 Sección 1 parte 7

<sup>79</sup> NEMA MG 1 2009 Sección 1 parte 7

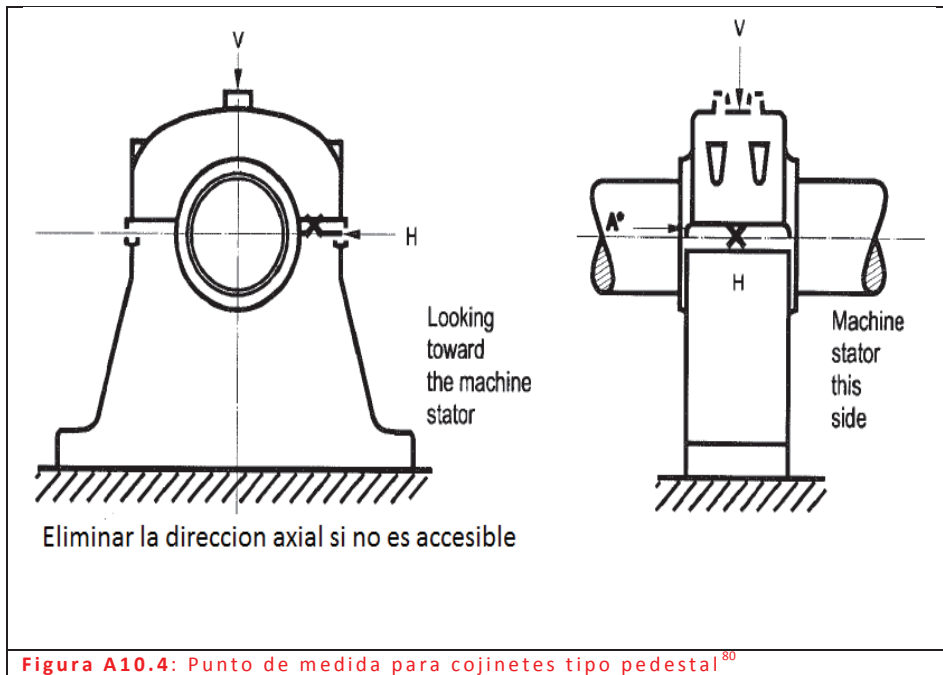


Figura A10.4: Punto de medida para cojinetes tipo pedestal<sup>80</sup>

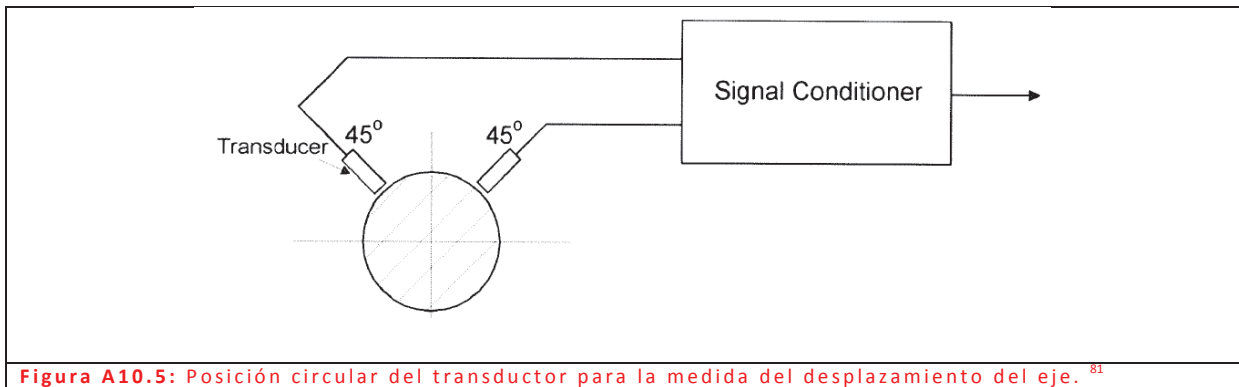


Figura A10.5: Posición circular del transductor para la medida del desplazamiento del eje.<sup>81</sup>

### A10.6. LÍMITE DE VIBRACIÓN PARA MAQUINAS ESTÁNDAR

Las vibración no deben exceder los niveles de velocidad mostrados en la curva superior de la Tabla A10.2 (requerimientos de vibración no especiales) por estándar para maquinas con montajes flexibles.

Para frecuencias rotacionales los límites son mostrados en la Tabla A10.1

<sup>80</sup> NEMA MG 1 2009 Sección 1 parte 7

<sup>81</sup> NEMA MG 1 2009 Sección 1 parte 7



<b>Velocidad (r/min)</b>	<b>Frecuencia de rotación  (Hz)</b>	<b>Límites estándar de la máquina, velocidad  pulg/seg pico (mm/s pico)</b>	<b>Límites especiales de la máquina, velocidad  pulg/seg pico (mm/s pico)</b>
3600	60	0.15 (3.8)	0.08 (2.0)
1800	30	0.15 (3.8)	0.08 (2.0)
1200	20	0.15 (3.8)	0.08 (2.0)
900	15	0.12 (3.0)	0.06 (1.5)
720	12	0.09 (2.3)	0.05 (1.2)
600	10	0.08 (2.0)	0.04 (1.0)

**Tabla A10.1: Límites de vibración**<sup>82</sup>

<b>Límite de vibración (pulg/seg pico)</b>	<b>Tipo de máquina- ejemplos generales</b>
0.15	Motores estándar en la industria  Motores para uso comercial/residencial
0.08	Herramientas con motor  Motores medianos o grandes con requerimientos especiales
0.04	Motores para rodajes o engranajes  Pequeños motores con requerimientos especiales
0.02	Cabezal de precisión
0.01	Motores de precisión con requerimientos especiales

**Tabla A10.2: Maquinas con límites de vibración (montajes flexibles)**<sup>83</sup>

<sup>82</sup> NEMA MG 1 2009 Sección 1 parte 7

<sup>83</sup> NEMA MG 1 2009 Sección 1 parte 7

### **A10.7 VIBRACIONES AXIALES**

Los niveles de vibración axial en la carcasa del cojinete o en el soporte de vibración dependen de la función y diseño de los cojinetes, uniformidad en el núcleo del rotor y el estator. La vibración axial debe ser evaluada como se muestra en el ítem 3, y los límites deben estar acorde con la Tabla A10.2.

### **A10.8 LÍMITE DE VIBRACIÓN EN EL EJE**

Los límites de vibración del eje son aplicables solo cuando se proporciona como parte de la máquina un punto de medida para la instalación del medidor de vibración y este no entre en contacto con otro punto de la máquina, tener en cuenta que estos medidores son sensibles a anomalías mecánicas y magnéticas, esto se reconoce comúnmente como “descentramiento eléctrico y mecánico en el punto de medida” la combinación del descentramiento mecánico y eléctrico del eje no debe de exceder 0,0005 pulgadas pico a pico (6,4 micrómetros pico a pico) o un 25% del desplazamiento límite de vibración. El descentramiento del punto de medida se mide a bajas revoluciones (100-400 rpm), donde las fuerzas mecánicas de desequilibrio en el rotor son despreciables. Cuando se analiza el descentramiento, es preferible que el eje gire sobre los cojinetes de la máquina, posicionándolo en el centro axial (centro magnético).

#### **NOTAS**

- 1-Se requiere una preparación en la superficie del eje (cepillado y desmagnetizado) para obtener la lectura del descentramiento pico a pico
- 2- Para medir vibraciones en el eje se requiere que el equipo (medidor de vibraciones) se ubique conforme a los acuerdos tomados entre fabricante y comprador al momento del diseño del motor.

#### **A10.8.1 Límites para maquinas estándar**

Cuando se especifique, los límites de vibración relativos en el eje para maquinas estándar con cojinetes tipo casquete, inclusive descentramientos eléctrico y mecánicos, no debe exceder los mites presentados en la tabla A.10.3.

Velocidad síncrona, RPM	Máximo desplazamiento relativo en el eje
1801-3600	0.0028 pulg, (70 $\mu$ m)
$\leq 1800$	0.0035 pulg, (90 $\mu$ m)

**Tabla A.10.3:** Límites para el máximo desplazamiento relativo del eje

#### **A10.8.2 Límites para maquinas especiales**

Cuando se especifique, los límites de vibración relativo en el eje para maquinas especiales con montajes rígidos y cojinetes tipos casquete, requieren bajos niveles de vibración como se muestran en la tabla 2, inclusive para descentramientos eléctricos y mecánicos no debe exceder los límites en la tabla 3.

Velocidad síncrona, RPM	Máximo desplazamiento relativo en el eje
1801-3600	0.0020 pulg, (50 $\mu$ m)
1201-1800	0.0028 pulg, (70 $\mu$ m)
$\leq 1200$	0.0030 pulg, (75 $\mu$ m)

**Tabla A.10.4** Límites para el máximo desplazamiento relativo del eje, para maquinas especiales

## **CONCLUSIONES**

- Normalizar un procedimiento de reparación y rebobinado de motores eléctricos en nuestro país.
- Minimizar el impacto en la eficiencia de un motor si es reparado bajo esta propuesta.
- La ejecución de las pruebas eléctricas es de vital importancia ya que estas determinan el estado y la garantía de la reparación.
- Es de gran importancia que los propietarios de motores eléctricos lleven un historial de pruebas de aislamiento.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- DOE(Departament Of Energy 2013)
- Evaluación del impacto sobre el parámetro eléctrico en motores eléctricos rebobinados de bajo voltaje: Trabajo de graduación de Universidad de El Salvador Noviembre 2009.
- IEEE Std. 43-2000 “Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery”.
- IEEE Std. 1068-1996 “Recommended Practice for the Repair and Rewinding of Motors for the Petroleum and Chemical Industry”
- IEEE Std-522-1992 “Guide for Testing Turn-to-Turn Insulation on Form-Wound Stator Coils for Alternating-Current Rotating Electric Machines”.
- IEEE Std. 432-1992. “Guide for Insulation Maintenance for Rotating Electric Machinery (5 hp to less than 10 000 hp)”.
- IEEE Std. 4-2001 “Amendment to IEEE Standard Techniques for High-Voltage Testing”.
- The Effect of Repair/Rewinding on Motor Efficiency”, TEST DATA FOR EASA/AEMT STUDY.
- NEMA MG-1-2009: Motor and Generators
- EASA-2003 The Effect of Repair/Rewinding on Motor Efficiency
- CFE ST-CT-001, Procedimiento para la medición de resistencia de aislamiento
- “Chaovin Arnoux” Megahometro de 50 a 5000 VDC, Guía de la medición de aislamiento
- EASA Standard AR100-2010 “Recommended Practice”
- MEGGER: “Guía para pruebas de baja resistencia”
- DV POWER NOTA DE APLICACIÓN “Medida de la resistencia de los devanados a motores/generados eléctricos”
- TOSHIBA INTERNATIONAL CORPORATION “APPLICATION GUIDELINE #42 (Motor Insulation Turn-Turn Failures & Testing)”

- CURRENT STATE OF SURGE TESTING INDUCTION MACHINES “John Wilson Baker Instrument Company”
- Pruebas Eléctricas Para El Diagnóstico Del Sistema De Aislamiento Entre Vueltas De Bobinas De Motores Eléctricos De Media Tensión México D.F. Noviembre 2009.
- TECH NOTE NO. 16. “Guidelines for Maintaining Motor Efficiency During Rebuilding”
- EASA-1985/2002 “Failures in Three-Phase Stator Windings. ”.