

EASA, INC.

INTERNATIONAL HEADQUARTERS

Phone: +1 314 993 2220 • 1331 Baur Blvd., St. Louis, MO 63132 USA • FAX: +1 314 993 1269 • www.easa.com

Recognized as an
American National
Standard (ANSI)



Norma EASA AR100-2020

**PRÁCTICA RECOMENDADA
PARA LA REPARACIÓN DE MÁQUINAS
ELÉCTRICAS ROTATIVAS**



*Este documento es una traducción de la versión escrita en inglés de una Norma Nacional Estadounidense. La única versión aprobada por el American National Standards Institute es la versión escrita en inglés.

Reconocida como
una Norma National
Americana (ANSI)*



ANSI/EASA
AR100-2020

Norma EASA AR100-2020

PRÁCTICA RECOMENDADA PARA LA REPARACIÓN DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS



*Este documento es una traducción de la versión escrita en inglés de una Norma Nacional Estadounidense. La única versión aprobada por el American National Standards Institute es la versión escrita en inglés.

EASA, Inc.

1331 Baur Blvd. • St. Louis, MO 63132 USA
+1 314 993 2220 • Fax: +1 314 993 1269
www.easa.com • easainfo@easa.com

Copyright © 2020. Todos los derechos reservados.

TABLA DE CONTENIDO

SECCIÓN 1: GENERALIDADES

- 1.1 OBJETIVO
- 1.2 ALCANCE
- 1.3 IDENTIFICACIÓN
 - 1.3.1 Marcación por el Centro de Servicios
 - 1.3.2 Registros
 - 1.3.3 Placa de Datos
- 1.4 CONDICIONES DE EVALUACIÓN E INVESTIGACIÓN DE FALLOS
- 1.5 INSPECCIÓN Y LIMPIEZA
 - 1.5.1 Inspección
 - 1.5.2 Limpieza
- 1.6 CABLES DE SALIDA
- 1.7 TERMINALES DE CONEXIÓN
- 1.8 CAJAS DE CONEXIONES
- 1.9 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO
- 1.10 ACABADO EXTERIOR
- 1.11 EMBALAJE Y TRANSPORTE
- 1.12 AUTORIZACIÓN PARA LA ENTREGA

SECCIÓN 2: REPARACIONES MECÁNICAS

- 2.1 EJES
 - 2.1.1 Tolerancias de los Diámetros
 - 2.1.2 Excentricidad Permitida
 - 2.1.3 Tolerancias para anchos de Chavetero
- 2.2 RODAMIENTOS
 - 2.2.1 Rodamientos de Bolas o Rodillos
 - 2.2.2 Cojinetes de deslizamiento
 - 2.2.2.1 Empuje Axial de los Cojinetes de deslizamiento
 - 2.2.2.2 Anillos de Lubricación
 - 2.2.2.3 Sellos
- 2.3 LUBRICACIÓN
 - 2.3.1 Grasa
 - 2.3.2 Aceite
- 2.4 CARCASA Y ALOJAMIENTOS DE LOS RODAMIENTOS
 - 2.4.1 Generalidades
 - 2.4.2 Tolerancias de la Superficie de Montaje, Excentricidad y Alabeo
- 2.5 NÚCLEOS LAMINADOS
 - 2.5.1 Partes Rotativas
 - 2.5.2 Estatores
- 2.6 BALANCEO DINÁMICO O EQUILIBRADO
- 2.7 ANILLOS ROZANTES
- 2.8 COLECTORES
 - 2.8.1 Mecanizado
 - 2.8.2 Ranurado y Biselado
- 2.9 PORTA ESCOBILLAS
- 2.10 ESCOBILLAS

- 2.11 AJUSTE DE LAS ESCOBILLAS PARA MÁQUINAS DE CORRIENTE CONTÍNUA
- 2.12 ENTREHIERRO DE LAS MÁQUINAS
- 2.13 ACCESORIOS
 - 2.13.1 Condensadores
 - 2.13.2 Interruptores y Componentes para el Arranque
 - 2.13.3 Borneras
 - 2.13.4 Resistencias de Calefacción
 - 2.13.5 Sensores de Temperatura

TABLAS

- 2-1 Tolerancias para Diámetros de Ejes de Salidas-Máquinas NEMA
- 2-2 Tolerancias para Diámetros de Ejes de Salida-Máquinas IEC
- 2-3 Excentricidades Permisibles para Ejes de Salida-Máquinas NEMA
- 2-4 Excentricidades Permisibles para Ejes de Salida-Máquinas IEC
- 2-5 Tolerancias para Anchos de Chaveteros de Ejes de Salida-Máquinas NEMA
- 2-6 Tolerancias para Anchos de Chaveteros de Ejes de Salida-Máquinas IEC
- 2-7 Guía para Holguras Diametrales en Sellos de Laberinto
- 2-8 Tolerancias de la superficie de Montaje, Excentricidad y Alabeo-Máquinas NEMA con Bidas Tipo C y D
- 2-9 Tolerancias de la Superficie de Montaje, Excentricidad y Alabeo-Máquinas NEMA con Brida Tipo P
- 2-10 Tolerancias Diametrales de Montaje del Anillo de Ajuste-Máquinas IEC con Brida
- 2-11 Excentricidad y Alabeo de la Superficie de Montaje-Máquinas IEC con Brida
- 2-12 Holgura Entre Escobilla y Porta EscobillaS
- 2-13 Tolerancias para Ajustes de Rodamientos Rígidos de Bolas
- 2-14 Tolerancias para Ajustes de Rodamientos de Rodillos Cilíndricos

SECCIÓN 3: REBOBINADO

- 3.1 INSPECCIÓN
 - 3.1.1 Láminas del Núcleo
 - 3.1.2 Protecciones Térmicas o Sensores
- 3.2 ESPECIFICACIÓN DEL REBOBINADO
- 3.3 DESMANTELAMIENTO DE LOS BOBINADOS
- 3.4 SISTEMA DE AISLAMIENTO
- 3.5 CONDUCTORES
- 3.6 BOBINAS DE ESTADORES, ROTORES Y ARMADURAS
 - 3.6.1 Bobinas de Alambre Redondo
 - 3.6.2 Bobinas de Pletina
- 3.7 BOBINAS DE CAMPO
 - 3.7.1 Bobinas Estáticas
 - 3.7.2 Bobinas Rotativas

- 3.8 BOBINADOS DE AMORTIGUACIÓN Y JAULAS DE ARDILLA
- 3.9 MOLDEADO Y ATADO DE LOS BOBINADOS DEL ESTATOR
- 3.10 CONEXIONES DE LAS BOBINAS
 - 3.10.1 Conexionado
 - 3.10.2 Aislamiento de las Conexiones
- 3.11 CUÑAS
- 3.12 ZUNCHADO DE ROTORES Y ARMADURAS
- 3.13 IMPREGNACIÓN DE LOS BOBINADOS
- SECCIÓN 4: PRUEBAS**
- 4.1 CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD
- 4.2 ESTADO DEL AISLAMIENTO, INSPECCIÓN Y PRUEBAS
 - 4.2.1 Prueba de Resistencia de Aislamiento
 - 4.2.2 Prueba de Índice de Polarización (I.P.)
 - 4.2.3 Pruebas de Factor de Potencia del Aislamiento
 - 4.2.4 Pruebas de Impulso (Surge) en Estatores con Bobinas de Pletina
 - 4.2.5 Prueba de Impulso (Surge) en los Demás Bobinados
 - 4.2.6 Ensayo del Aislamiento Interlaminar
 - 4.2.7 Prueba de Aislamiento de los Rodamientos
 - 4.2.8 Prueba de Equilibrio entre Fases
 - 4.2.9 Prueba de Polaridad
 - 4.2.10 Prueba con Rotor Artificial
 - 4.2.11 Prueba de Impedancia
- 4.3 PRUEBAS RECOMENDADAS PARA LOS BOBINADOS
 - 4.3.1 Devanados de Estator y Rotor Bobinado
 - 4.3.2 Bobinados de Jaula de Ardilla
 - 4.3.3 Bobinados de Armadura
 - 4.3.4 Bobinados de Campo, Serie, Interpolos, de Compensación y de Rotores Sincrónicos
 - 4.3.5 Conexiones de los Devanados
- 4.4 PRUEBA DE ALTA TENSIÓN (HIPOT)
 - 4.4.1 Bobinados
 - 4.4.1.1 Bobinados Nuevos
 - 4.4.1.2 Bobinados Reacondicionados
 - 4.4.1.3 Bobinados No Reacondicionados
 - 4.4.2 Accesorios
 - 4.4.2.1 Accesorios Nuevos
 - 4.4.2.2 Accesorios de Máquinas con Bobinados Reacondicionados
 - 4.4.2.3 Accesorios de Máquinas con Bobinados No Reacondicionados
- 4.5 PRUEBAS EN VACÍO
 - 4.5.1 Velocidad
 - 4.5.2 Corriente
 - 4.5.3 Sistema de Enfriamiento
 - 4.5.4 Nivel de Sonido
 - 4.5.5 Temperatura de los Rodamientos

- 4.5.6 Prueba de Vibraciones
- 4.6 PRUEBAS CON CARGA
- 4.7 CALIBRACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS
- TABLAS
- 4-1 Directrices de los Voltajes de Corriente Continua a ser Aplicados Durante la Prueba de Resistencia de Aislamiento
- 4-2 Valores Mínimos Recomendados de Resistencia de Aislamiento a 40°C (Todos Los Valores en MΩ)
- 4-3 Voltajes para la Prueba de Impulso en Bobinados de Pletina Nuevos
- 4-4 Pruebas de Alta Tensión (Hipot) Usando Corriente Alterna–Bobinados Nuevos
- 4-5 Pruebas de Alta Tensión (Hipot) Usando Corriente Contínua–Bobinados Nuevos
- 4-6 Valores Límites de Vibraciones Globales–Máquinas Montadas Sobre Bases Resilientes

APÉNDICE: CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD PARA LAS PRUEBAS ELÉCTRICAS

- A.1 SEGURIDAD PERSONAL
 - A.1.1 Formación
 - A.1.2 Ropa de Trabajo
 - A.1.3 Supervisión
 - A.1.4 Primeros Auxilios y Reanimación Cardiopulmonar
- A.2 ZONA DE PRUEBAS
 - A.2.1 Encerramiento
 - A.2.2 Puertas
 - A.2.3 Señalización
 - A.2.4 Iluminación
 - A.2.5 Equipos de Seguridad
 - A.2.6 Espacio Disponible
- A.3 EQUIPO BAJO PRUEBA
 - A.3.1 Aptitud para la Prueba
 - A.3.2 Atención Exclusiva
 - A.3.3 Puesta a Tierra
 - A.3.4 Base de Montaje
- A.4 TABLEROS DE PRUEBAS
 - A.4.1 Construcción
 - A.4.2 Tensiones
 - A.4.3 Luces de Advertencia
 - A.4.4 Desconexión
 - A.4.5 Interruptor de Seguridad
 - A.4.6 Cables
- A.5 ENSAYO DE ALTA TENSIÓN (HIPOT) A TIERRA (MASA)

BIBLIOGRAFÍA

ORGANISMOS DE NORMALIZACIÓN Y OTROS RECURSOS

Sección 1

Generalidades

1.1 OBJETIVO

El propósito de este documento es el de establecer prácticas recomendadas durante cada etapa de los procesos de bobinado y reconstrucción de las máquinas eléctricas rotativas.

1.2 ALCANCE

Este documento describe la conservación de los registros, pruebas, análisis y las directrices generales para la reparación de máquinas eléctricas rotativas de inducción, sincrónicas y de corriente continua y no pretende reemplazar las instrucciones o especificaciones particulares del cliente o del fabricante de la máquina o acuerdos en concreto y normas industriales aplicables o prácticas recomendadas.

Este documento debe complementarse con los requisitos adicionales que aplican a máquinas eléctricas rotativas especiales incluyendo, pero no limitando, máquinas a prueba de explosión, a prueba de encendido por polvo y otras clasificadas para atmósferas peligrosas y requisitos específicos o adicionales para motores herméticos, máquinas refrigeradas por hidrógeno, motores sumergibles, motores de tracción o motores para usos nucleares clase 1E.

1.3 IDENTIFICACIÓN

1.3.1 Marcación por el Centro de Servicios

Las máquinas o componentes independientes que se reciben para reparación deben estar identificadas con el nombre o el logotipo del centro de servicios y el número de la orden de trabajo debe identificar de forma permanente la máquina o los componentes independientes para futura referencia. Este número de orden de trabajo debe indicarse en la factura de reparación.

1.3.2 Registros

Al momento de la recepción para su reparación, debe crearse un registro para cada máquina el cual tendrá que ser conservado al menos durante tres años. El registro debe incluir los datos de placa, los datos de las pruebas eléctricas (antes y después de la reparación), las dimensiones mecánicas (antes y después de la reparación), los datos originales del bobinado, los datos finales del bobinado y todos los detalles sobre las partes del motor que han sido reemplazadas. El registro debe estar a disposición del cliente, si este lo solicitara para su revisión. Así mismo, si es posible, debe indicar la causa principal de fallo del equipo.

1.3.3 Placa de Datos

Una máquina eléctrica debe tener una placa de datos permanente, preferiblemente la original, que contenga la información principal y necesaria para poner la máquina en servicio. En caso de rediseño, será necesario instalar al lado de la placa original, una placa adicional con la palabra "rediseñado" y que indique los nuevos datos y la fecha del rediseño. Para evitar malas interpretaciones, la placa original debe permanecer en la carcasa del equipo, instalada al revés (con la cara sin datos a la vista).

1.4 CONDICIONES DE EVALUACIÓN E INVESTIGACIÓN DE FALLOS

A su recepción, el centro de servicios debe inspeccionar y

probar las máquinas para confirmar su estado y obtener los datos necesarios para realizar cualquier investigación del fallo presentado. Los datos iniciales deben ser recopilados antes de realizar cualquier trabajo. Se deben inspeccionar todas las partes del motor antes y después de limpiarlas, como también documentar cualquier señal o condición anormal que se presente en el motor, tales como daños físicos, recalentamiento, manipulación, lubricación inadecuada, evidencias de fallos eléctricos o daños ocasionados por objetos extraños. Si es posible, obtenga información acerca de las condiciones de operación en el momento del fallo y recopile y examine cuidadosamente los restos de cualquier fallo. La causa de fallo principal debe determinarse, si es posible, y documentarse en el registro de reparación.

1.5 INSPECCIÓN Y LIMPIEZA

1.5.1 Inspección

Si se requiere, limpie las superficies externas de los equipos para evitar contaminar las componentes internas durante el desmontaje. El desmontaje deberá realizarse de forma metódica. Registre el estado de todos los componentes, tome las medidas necesarias para realizar el montaje al final de la reparación, la evaluación de la condición y el diagnóstico del fallo. Cada componente deberá ser marcada claramente con tinta indeleble de tal forma que pueda montarse de nuevo en su posición correcta. Es importante preservar e inspeccionar cuidadosamente cualquier material o componente que haya estado involucrada en el fallo. Inspeccione todas las partes del equipo en busca de desgastes y daños.

El aislamiento debe ser inspeccionado para detectar evidencias de degradación y daños como:

- (1) Fisuras, degradación, separación o decoloración que indiquen envejecimiento térmico.
 - (2) Contaminación de las bobinas y de las áreas de conexión.
 - (3) Abrasión u otros esfuerzos mecánicos.
 - (4) Evidencia de descargas parciales (efecto corona).
 - (5) Cuñas, rellenos, amarres, cintas y aros de soporte sueltos.
 - (6) Desgastes en soportes, amarres o ataduras (como indicación de movimiento o presencia de solturas).
- (Referencia: Norma IEEE Std. 432, Sec. 5.)

Las barras y los aros de la jaula de ardilla y de los devanados de amortiguación, deben verificarse para detectar evidencias de daños y puede que para ello sea necesario realizar pruebas (ver Parágrafo 4.3.2).

1.5.2 Limpieza

Todas las partes del motor y sus devanados deben limpiarse y tanto el polvo como la arenilla, grasa, aceite y cualquier residuo de un producto usado para la limpieza debe ser removido. Las piezas que no requieran trabajos de reparación inmediatos deberán marcarse claramente para identificar el cliente o el número de orden de trabajo y ser almacenadas para evitar daños, corrosión o contaminación en estas.

1.6 CABLES DE SALIDA

Todas las máquinas que tengan cables de salida deben estar provistas con cables aislados que soporten o superen la corriente

nominal, la clase de temperatura y la tensión de la máquina. Su clasificación térmica debe ser la apropiada para soportar el régimen de trabajo y cualquier proceso de curado y permitir el efecto de la transferencia de calor en los terminales de conexión.

Todos los cables de salida deben ser de colores o estar debidamente marcados para permitir la correcta conexión del equipo. La marcación de los cables de salida debe concordar con la original utilizada por los fabricantes, según las normas NEMA Std. MG 1 o IEC 60034-8, cualquiera que aplique.

Las marcas y los cables deben ser fabricados con materiales lo suficientemente duraderos para soportar las condiciones ambientales y deben tener una longitud adecuada para facilitar su conexión con la acometida eléctrica o con la bornera (placa de bornes) dentro de la caja de conexiones. En las máquinas totalmente cerradas, los cables deben sellarse de forma apropiada para cumplir con las condiciones de operación exigidas por el ambiente de trabajo. A la salida de la carcasa, los cables deben estar protegidos contra la abrasión y cualquier borde afilado.

Cuando sea necesario, la máquina deberá contar con una placa de metal o impresa en papel, indicando las conexiones de forma correcta.

Nota: Si la máquina tiene factor de servicio, los cables de salida deben estar clasificados para la corriente al factor de servicio.

1.7 TERMINALES DE CONEXIÓN

El método recomendado para fijar los terminales de conexión a los cables de salida es el crimpado o aplicando presión sobre el cuerpo del cilindro de un terminal de tamaño apropiado para alojar el diseño particular del trenzado del cable, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante del terminal.

Los terminales de conexión que falten o que presenten daños, deben ser instalados o reemplazados.

1.8 CAJAS DE CONEXIONES

Las cajas de conexiones que falten deben ser suministradas y las que presenten daños reparadas o reemplazadas. Para reemplazar las cajas de conexiones, consulte como guía, la norma NEMA Stds. MG 1, Los sellos, juntas y empaquetaduras que sean

removidas deben ser reemplazadas. Si una inspección indica que faltan sellos o empaquetaduras, estas deberán ser reemplazadas.

1.9 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

Los ventiladores y ductos de enfriamiento deben estar limpios y en condiciones de operación. La tapa de protección del ventilador (caperuza) y los deflectores de aire, deben estar limpios y montados en su sitio. Las partes dañadas o que falten del sistema de enfriamiento se deben reemplazar o reparar. Antes de retirar el bobinado del estator, se debe documentar la ubicación de los deflectores de aire y de cualquier espacio en las cabezas de bobinas utilizado para guiar el aire para permitir que el flujo de aire sea el mismo en un bobinado de reemplazo.

1.10 ACABADO EXTERIOR

Los equipos deben estar externamente limpios y pintados, a no ser que el cliente lo solicite de otra forma.

1.11 EMBALAJE Y TRANSPORTE

Una vez terminada la reparación y las pruebas, la máquina debe ser embalada de forma adecuada y de acuerdo con el tipo de transporte que se va a utilizar. El embalaje y transporte deben acordarse con el cliente. Dependiendo del tipo de máquina, forma de transporte y la distancia a recorrer, se recomienda bloquear el eje. Cuando el eje sea inmovilizado, el sistema de bloqueo debe ser claramente identificable. Las máquinas lubricadas con aceite se deben enviar sin aceite y se debe identificar de forma clara que la máquina necesita lubricación antes de entrar en funcionamiento.

1.12 AUTORIZACIÓN PARA LA ENTREGA

Las máquinas reparadas que hayan superado todas las pruebas e inspecciones requeridas deberán tener en el registro de reparación, una señal que indique que pueden ser entregadas. Por ejemplo: "Conforme para entregar". Los centros de servicio deberán identificar a las personas autorizadas para tomar esa decisión.

Sección 2

Reparaciones Mecánicas

2.1 EJES

Se deben inspeccionar los ejes para detectar fisuras, desgastes, superficies ralladas y torceduras. De igual forma, sus dimensiones también se deben verificar como se indica a continuación.

2.1.1 Tolerancias de los Diámetros

- Para máquinas con carcasas NEMA: Vea la Tabla 2-1.
- Para máquinas con carcasas IEC: Vea la Tabla 2-2.

2.1.2 Excentricidad Permitida

- Para máquinas con carcasas NEMA: Vea la Tabla 2-3.
- Para máquinas con carcasas IEC: Vea la Tabla 2-4.

2.1.3 Tolerancias para anchos de Chavetero

- Para máquinas con carcasas NEMA: Vea la Tabla 2-5.
- Para máquinas con carcasas IEC: Vea la Tabla 2-6.

Los chaveteros deben estar en buenas condiciones y tener ajustes en los que sea necesario golpear suavemente las chavetas con un martillo durante su montaje.

2.2 RODAMIENTOS

Se deben inspeccionar los rodamientos para detectar modos de fallo como spalling, contaminación, fretting, fluting, y scoring. Los rodamientos y las disposiciones de los rodamientos deben identificarse y quedar documentados. Los rodamientos aislados se deben comprobar (ver 4.2.7).

2.2.1 Rodamientos de Bolas o Rodillos

Se debe medir los ajustes de los rodamientos en el eje y en los alojamientos de las tapas (escudos) y comparar los valores con las especificaciones del fabricante de la máquina. Cualquier ajuste fuera de tolerancia deberá ser restaurado. En ausencia de los ajustes del fabricante de la máquina, consulte las Tablas 2-13 y 2-14 (Referencia: ANSI/ABMA Stds. 7 como guía). Los rodamientos de recambio deben ser equivalentes a los especificados originalmente por el fabricante del equipo a no ser que se haga un rediseño por acuerdo con o por instrucciones del cliente.

2.2.2 Cojinetes de deslizamiento

El ajuste en el alojamiento y la tolerancia diametral de los cojinetes de deslizamiento deben ser medidos y restablecidos a las especificaciones del fabricante, si están disponibles. Tenga cuidado con los valores guía para la tolerancia de los cojinetes de deslizamiento ya que muchos no abordan las variables térmicas e hidrodinámicas que se deben considerar para determinar una tolerancia adecuada. Nota: No todos los diámetros de los cojinetes de deslizamiento son cilíndricos.

2.2.2.1 Empuje Axial de los Cojinetes de deslizamiento

Los cojinetes de deslizamiento deberán posicionarse en el eje de las máquinas horizontales, de tal forma, que se elimine el empuje axial sobre cualquiera de ellos.

2.2.2.2 Anillos de Lubricación

Los anillos de lubricación deben estar redondos dentro de 0.015" (0.38 mm) y girar libremente. Cuando existan retenedores, estos deben ser inspeccionados y reemplazados si fuese necesario.

2.2.2.3 Sellos

La tolerancia de los sellos debe ajustarse con las especificaciones del fabricante original, si están disponibles. De lo contrario los valores de la Tabla 2-7 pueden ser usados como guía. Se debe medir las dimensiones finales de los sellos.

2.3 LUBRICACIÓN

2.3.1 Grasa

Si los rodamientos requieren lubricación con grasa, los ductos de entrada de grasa deben contar con boquillas y los conductos y tubos de entrada deben estar limpios y rellenos con una grasa apropiada. El lubricante utilizado debe ser compatible con el que usa el cliente. Los rodamientos abiertos deben ser rellenos con grasa durante el montaje.

En ausencia de las instrucciones de lubricación del fabricante, los depósitos de grasa deben llenarse aproximadamente a 1/3 de su capacidad.

2.3.2 Aceite

El lubricante, incluido el aceite utilizado durante las pruebas, debe ser compatible con el que usa el cliente y deben existir medios apropiados que permitan comprobar sus niveles, como visores de aceite. Si se detectan fugas, estas deberán ser investigadas y sus causas corregidas.

2.4 CARCASA Y ALOJAMIENTOS DE LOS RODAMIENTOS

2.4.1 Generalidades

Las carcasas y los alojamientos de los rodamientos deben inspeccionarse para detectar daños. Las fisuras y roturas deben ser reparadas y los ajustes deben ser restaurados a las especificaciones del fabricante.

2.4.2 Tolerancias de la Superficie de Montaje, Excentricidad y Alabeo

- Para motores NEMA con bridas de montaje tipos C y D: Vea la Tabla 2-8.
- Para motores NEMA con bridas de montaje tipo P: Vea la Tabla 2-9.
- Para motores IEC con bridas de montaje: Vea las Tablas 2-10 y 2-11.

2.5 NÚCLEOS LAMINADOS

Examine las láminas o chapas de los núcleos del estator y de las partes rotativas para detectar si hay evidencias de puntos calientes, daño físico o si faltan partes.

2.5.1 Partes Rotativas

Inspeccione el núcleo de la parte rotativa en busca de evidencias de ajustes flojos en el eje, buje, araña o en lo que haya sido utilizado para ensamblar el paquete del núcleo. La desviación del diámetro exterior del elemento rotativo con respecto a los muñones del eje donde se instalan los rodamientos no debe exceder el 5 por ciento del entrehierro promedio o 0.003" (0.08 mm), cualquiera que sea el valor menor.

2.5.2 Estatores

Las láminas del estator no deben estar flojas dentro de la

carcasa. Si aplica, el diámetro interior de las laminaciones debe estar en buen estado y concéntrico en relación con el diámetro del anillo de ajuste de la carcasa.

2.6 BALANCEO DINÁMICO O EQUILIBRADO

El balanceo dinámico de las partes rotativas se debe realizar al nivel especificado por el cliente. Si no existe este requerimiento, un balanceo dinámico Grado G 2.5 [ISO 21940-11 (rotores rígidos) e ISO 21940-12 (rotores flexibles)] en máquinas con velocidades nominales menores o iguales a 2500 rpm y al grado G 1.0 en las máquinas con velocidades nominales por arriba de las 2500 rpm debería permitir que la máquina cumpla con los límites finales de vibración definidos en el Parágrafo 4.5.6.

Nota: Ubique los pesos de balanceo de tal forma que no interfieran con otros componentes.

2.7 ANILLOS ROZANTES

Los anillos rozantes se deben torneare concéntricos con los muñones de los rodamientos en el eje. La desviación máxima indicada no debe exceder 0.0030" (0.076 mm) para velocidades de superficie hasta 5000 pies/min (1525 m/min) ni sobrepasar las 0.0015" (0.038 mm) para velocidades de superficie que superen los 5000 pies/min (1525 m/min).

El acabado de la superficie debe estar entre 40 y 60 micro pulgadas (1.02 y 1.52 micrones). Para aquellos diseños en los que los anillos rozantes tienen una ranura en espiral para reducir la temperatura de funcionamiento de la escobilla, ambos bordes de la ranura deben estar ligeramente biselados.

Los anillos rozantes deben contar con espesor suficiente para permitir la correcta operación de las escobillas. Deben aplicarse los límites del fabricante.

2.8 COLECTORES

2.8.1 Mecanizado

Los colectores se deben torneare concéntricos con los muñones de los rodamientos en el eje. La desviación máxima indicada no debe exceder 0.0030" (0.076 mm) para velocidades de superficie de hasta 5000 pies/min (1525 m/min) ni estar por arriba de 0.0015" (0.038 mm) para velocidades de superficie por arriba de los 5000 pies/min (1525 m/min).

El acabado de la superficie debe estar entre 40 y 60 micro pulgadas (1.02 y 1.52 micrones). No deben existir superficies con altibajos ni irregularidades como tampoco segmentos flojos en el colector.

El colector debe ser lo suficiente grueso para permitir el correcto funcionamiento de las escobillas. Deben aplicarse los límites del fabricante, si se encuentran disponibles.

2.8.2 Ranurado y Biselado

La mica debe ser ranurada o recortada de acuerdo a lo requerido por la aplicación. Durante el ranurado, se debe retirar la mica a lo largo de los lados de la delga utilizable y a una profundidad aproximada de 1 a 1.5 veces el ancho de la ranura. Las áreas rebajadas deben quedar libres de materiales extraños y de mica alta.

Es posible que sea necesario un pulido o biselado en aquellos colectores que queden con aristas como resultado de un ranurado del cobre muy exigente.

2.9 PORTA ESCOBILLAS

Los porta escobillas deben estar limpios y libres de cualquier contaminación, aceite, polvo o suciedad y sus partes móviles

deben funcionar libremente. El ajuste de las escobilla dentro de la caja de alojamiento debe ser inspeccionado para detectar holguras excesivas y los porta escobillas desgastados deben ser reemplazados. Las tolerancias están especificadas en la Tabla 2-12.

El aislamiento de los brazos de soporte de las escobillas debe estar libre de fisuras. No le deben faltar piezas y no estar carbonizado.

Durante el montaje final de la máquina y dependiendo del tamaño de la máquina, los porta escobillas deben ajustarse de tal forma que exista una tolerancia con el colector o los anillos rozantes de 0.060" (1.5 mm) a 0.125" (3 mm) y es posible que apliquen las especificaciones del fabricante.

En las máquinas con colector, se debe verificar que los porta escobillas permitan que las escobillas queden espaciadas circularmente dentro de 0.040" (1 mm) y alineadas con las delgas del colector.

La presión de las escobillas debe estar dentro de un rango recomendado por el fabricante original del equipo o de las escobillas de acuerdo con la aplicación específica y el tipo de escobillas.

Los porta escobillas y sus puentes de conexión, se deben someter a pruebas de alta tensión (hipot), aplicando entre ellos y la carcasa, a un nivel de tensión especificado para el circuito de bobinado correspondiente (ver el apartado 4.4).

2.10 ESCOBILLAS

Los cables de conexión deben estar bien sujetos a las escobillas y las conexiones del soporte deben estar limpias, firmes y mantener una separación con los otros componentes.

La cara de la escobilla debe estar asentada o tener forma curva para que haga contacto total con la superficie del colector o de los anillos rozantes. Se debe verificar el ajuste de la escobilla dentro de la caja del porta escobillas para determinar su tolerancia lateral (ver Tabla 2-12) y detectar si existen desgastes excesivos. Las escobillas que se encuentren por debajo de su longitud útil deben ser remplazadas.

Para máquinas de corriente continua, las escobillas deben ser del grado y tamaño apropiados para permitir una adecuada conmutación durante la operación normal de la máquina.

2.11 AJUSTE DE LAS ESCOBILLAS PARA MÁQUINAS DE CORRIENTE CONTÍNUA

Durante el montaje final de la máquina, el porta escobillas debe quedar instalado de tal forma que las escobillas queden localizadas en su punto neutro (plano neutro) y la posición final de montaje debe quedar claramente identificada (marcada). Los métodos para determinar la posición del porta escobillas varían ampliamente y no aplica un único procedimiento estándar en particular.

Nota: En las máquinas de corriente continua ensambladas, cada escobilla debe hacer contacto de forma simultánea, al menos con dos delgas del colector. Por consiguiente, las escobillas cortocircuitan las bobinas de la armadura conectadas a esas delgas. Se considera que las escobillas se encuentran en su punto o plano neutro, cuando las bobinas del inducido cortocircuitadas por las escobillas se encuentran en el medio de dos de los polos principales.

2.12 ENTREHIERRO DE LAS MÁQUINAS

El entrehierro no deberá variar más del 5% del valor promedio

en máquinas de 2 polos, o el 10 % en otras máquinas o deberá cumplir con las especificaciones originales del fabricante.

En una máquina de CC, los entrehierros de los polos principales y de sus interpolos deberán ser uniformes.

2.13 ACCESORIOS

2.13.1 Condensadores

Los condensadores deben ser sometidos a pruebas de alta tensión o hipot (vea el Punto 4.4) y su capacitancia nominal debe ser comprobada. Si presentan daños deberán ser reemplazados.

2.13.2 Interruptores y Componentes para el Arranque

La operación eléctrica y mecánica de los dispositivos de cortocircuito, mecanismos centrífugos y relés utilizados durante el arranque de la máquina deben ser comprobadas a niveles de tensión y velocidad adecuados y en caso de que presenten daños

deben ser reemplazados.

2.13.3 Borneras

Si presentan daños, las borneras deben ser reemplazadas por otras con las misma ampacidad y características de temperatura originales.

2.13.4 Resistencias de Calefacción

Las resistencias de calefacción se deben probar al voltaje de operación, a corriente o potencia nominal y ser sometidas a pruebas de alta tensión (hipot) (ver Parágrafo 4.4). En caso de que presenten daños deberán ser reemplazadas.

2.13.5 Sensores de Temperatura

Los sensores o protectores térmicos instalados en los bobinados y los rodamientos deben ser idénticos a los originales o tener las características térmicas y eléctricas equivalentes.

**TABLA 2-1. TOLERANCIAS PARA DIÁMETROS DE EJES DE SALIDA
MÁQUINAS NEMA**

DIMENSIONES EN PULGADAS			DIMENSIONES EQUIVALENTES EN MILÍMETROS		
Diámetro del Eje	Tolerancia		Diámetro del Eje	Tolerancia	
0.1875 a 1.5000, incl.	+0.000	-0.0005	4.76 a 38.1, incl.	+0.000	-0.013
Mayores que 1.5000 hasta 6.500, incl.	+0.000	-0.001	Mayores que 38.1 hasta 165.1, incl.	+0.000	-0.025

Referencia: NEMA Stds. MG 1, 4.9.1. Las dimensiones en milímetros están redondeadas.

**TABLA 2-2. TOLERANCIAS PARA DIÁMETROS DE EJES DE SALIDA
MÁQUINAS IEC**

DIMENSIONES EN MILÍMETROS				DIMENSIONES EQUIVALENTES EN PULGADAS				
Designación de la Tolerancia	Diámetro Nominal del Eje ^r		Tolerancia		Diámetro del Eje		Tolerancia	
	Desde	Hasta			Desde	Hasta		
j6*	6	10	+0.007	-0.002	0.236	0.394	+0.0003	-0.0001
j6*	10	18	+0.008	-0.003	0.394	0.709	+0.0003	-0.0001
j6*	18	30	+0.009	-0.004	0.709	1.181	+0.0004	-0.0002
k6	30	50	+0.018	+0.002	1.181	1.969	+0.0007	+0.0001
m6	50	80	+0.030	+0.011	1.969	3.150	+0.0012	+0.0004
m6	80	120	+0.035	+0.013	3.150	4.724	+0.0014	+0.0005
m6	120	180	+0.040	+0.015	4.724	7.087	+0.0016	+0.0006
m6	180	250	+0.046	+0.017	7.087	9.843	+0.0018	+0.0007
m6	250	315	+0.052	+0.020	9.843	12.402	+0.0020	+0.0008
m6	315	400	+0.057	+0.021	12.402	15.748	+0.0022	+0.0008
m6	400	500	+0.063	+0.023	15.748	19.685	+0.0025	+0.0009
m6	500	630	+0.070	+0.026	19.685	24.803	+0.0028	+0.0010

*En algunos países se utiliza la tolerancia k6 a diferencia de la j6.

Referencia: IEC Stds. 60072-1, C.1.4. Las dimensiones en pulgadas están redondeadas.

**TABLA 2-3. EXCENTRICIDADES PERMISIBLES PARA EJES DE SALIDA
MÁQUINAS NEMA**

DIMENSIONES EN PULGADAS		DIMENSIONES EQUIVALENTES EN MILÍMETROS	
Diámetro del Eje	Excentricidad del Eje*	Diámetro del Eje	Excentricidad del Eje*
0.1875 a 1.625 incl.	0.002	4.76 a 41.3, incl.	0.051
Mayores que 1.625 hasta 6.500, incl.	0.003	Mayores que 41.3 hasta 165.1, incl.	0.076

*Máximo cambio permisible en la lectura del indicador cuando se realiza la medición en la punta del eje de salida.

Nota: No se han establecido tolerancias de las excentricidades permisibles para ejes de salida que excedan a las longitudes establecidas en la norma NEMA. No obstante, las excentricidades para ejes más largos que los normalizados (no estándar), son usualmente mayores que las indicadas anteriormente.

Referencia: NEMA Stds. MG 1, 4.9.7. Las dimensiones en milímetros están redondeadas.

**TABLA 2-4. EXCENRICIDADES PERMISIBLES PARA EJES DE SALIDA
MÁQUINAS IEC**

DIMENSIONES EN MILÍMETROS			DIMENSIONES EQUIVALENTES EN PULGADAS		
Diámetro Nominal del Eje		Excentricidad del Eje*	Diámetro del Eje		Excentricidad del Eje*
Desde	Hasta		Desde	Hasta	
6	10	0.030	0.236	0.394	0.001
10	18	0.035	0.394	0.709	0.001
18	30	0.040	0.709	1.181	0.002
30	50	0.050	1.181	1.969	0.002
50	80	0.060	1.969	3.150	0.002
80	120	0.070	3.150	4.724	0.003
120	180	0.080	4.724	7.087	0.003
180	250	0.090	7.087	9.843	0.004
250	315	0.100	9.843	12.402	0.004
315	400	0.110	12.402	15.748	0.004
400	500	0.125	15.748	19.685	0.005
500	630	0.140	19.685	24.803	0.006

Esta tabla aplica para máquinas con patas y máquinas con brida.

* Cambio máximo permisible en la lectura del indicador cuando la medida es realizada en la mitad de la longitud útil del eje de salida.

Referencia: IEC Stds. 60072-1, C.1.6. Las dimensiones en pulgadas están redondeadas.

**TABLA 2-5. TOLERANCIAS PARA ANCHOS
DE CHAVETEROS DE EJES DE SALIDA
MÁQUINAS NEMA**

DIMENSIONES EN PULGADAS			DIMENSIONES EQUIVALENTES EN MILÍMETROS		
Ancho del Chavetero	Tolerancia		Ancho del Chavetero	Tolerancia	
0.188 a 0.750, incl.	+0.002	-0.000	4.78 a 19.1, incl.	+0.051	-0.000
Mayores que 0.750 hasta 1.500, incl.	+0.003	-0.000	Mayores que 19.1 hasta 38.1, incl.	+0.076	-0.000

Referencia: NEMA Stds. MG 1, 4.9.2. Las dimensiones en milímetros están redondeadas.

**TABLA 2-6. TOLERANCIAS PARA ANCHOS
DE CHAVETEROS DE EJES DE SALIDA
MÁQUINAS IEC**

DIMENSIONES EN MILÍMETROS				DIMENSIONES EQUIVALENTES EN PULGADAS			
Ancho Nominal de Chavetero (Cuñero)		Tolerancia*		Ancho Nominal de Chavetero (Cuñero)		Tolerancia*	
Desde	Hasta			Desde	Hasta		
2 hasta	3	-0.004	-0.029	0.078	0.118	-0.0002	-0.0011
3	6	0	-0.030	0.118	0.236	0	-0.0012
6	10	0	-0.036	0.236	0.394	0	-0.0014
10	18	0	-0.043	0.394	0.709	0	-0.0017
18	30	0	-0.052	0.709	1.181	0	-0.0020
30	50	0	-0.062	1.181	1.969	0	-0.0024
50	80	0	-0.074	1.969	3.150	0	-0.0029
80	100	0	-0.087	3.150	3.937	0	-0.0034

*Chavetas estándar, Tolerancia N9.

Referencia: IEC Stds. 60072-1, C.1.5. Las dimensiones en pulgadas están redondeadas.

TABLA 2-7. GUÍA PARA HOLGURAS DIAMETRALES EN SELLOS DE LABERINTO

DIMENSIONES EN PULGADAS					
Diámetro del Eje* 3000 a 3600 rpm		Holgura Diametral** (+.002"/-.000")	Diámetro del Eje* 1800 rpm o menos		Holgura Diametral** (+.002"/-.000")
Desde	Hasta		Desde	Hasta	
3.000	3.500	0.009	3.000	3.500	0.012
3.500	4.000	0.010	3.500	4.000	0.014
4.000	4.500	0.012	4.000	4.500	0.016
4.500	5.000	0.014	4.500	5.000	0.018
5.000	5.500	0.015	5.000	5.500	0.020
5.500	6.000	0.017	5.500	6.000	0.022
6.000	6.500	0.018	6.000	6.500	0.024
6.500	7.000	0.020	6.500	7.000	0.026
7.000	7.500	0.021	7.000	7.500	0.028
DIMENSIONES EQUIVALENTES EN MILÍMETROS					
Diámetro del Eje* 3000 a 3600 rpm		Holgura Diametral** (+.050mm/-.000mm)	Diámetro del Eje* 1800 rpm o menos		Holgura Diametral** (+.050mm/-.000mm)
Desde	Hasta		Desde	Hasta	
76	89	0.230	76	89	0.305
89	102	0.255	89	102	0.355
102	114	0.305	102	114	0.405
114	127	0.355	114	127	0.455
127	140	0.380	127	140	0.510
140	152	0.430	140	152	0.560
152	165	0.455	152	165	0.610
165	178	0.510	165	178	0.660
178	191	0.535	178	191	0.710

Las velocidades indicadas son velocidades sincrónicas correspondientes con la frecuencia de red y el número de polos del bobinado. Las dimensiones en milímetros están redondeadas.

En ausencia de las especificaciones del fabricante, esta tabla se usa en máquinas de montaje horizontal con sellos de laberinto de bronce/latón. En materiales que sufren desgastes por fricción y adhesión ("galling") como el hierro fundido, pueden requerirse holguras mayores. Las máquinas para montaje vertical pueden requerir holguras menores. Las holguras de los sellos de laberinto deben ser siempre mayores que las de los rodamientos. Una regla general o empírica es que la holgura de los sellos de laberinto debe ser 0.002" - 0.004" (.050 - .100 mm) mayor que la holgura de los cojinetes antifricción o chumaceras.

* El diámetro del eje es el diámetro de ajuste del sello; y "Hasta" significa hasta pero no incluye el valor."

** La holgura diametral es la holgura aplicable al rango del diámetro del eje.

TABLA 2-8. TOLERANCIAS DE LA SUPERFICIE DE MONTAJE, EXCENTRICIDAD Y ALABEO**MÁQUINAS NEMA CON BRIDAS TIPO C Y D**

DIMENSIONES EN PULGADASS				DIMENSIONES EQUIVALENTES EN MILÍMETROS			
Diámetro del Anillo de Ajuste	Tolerancia Diametral		Excentricidad y Alabeo*	Diámetro del Anillo de Ajuste (centrado)	Tolerancia Diametral		Excentricidad y Alabeo*
Menores que 12	+0.000	-0.003	0.004	Menores que 304.8	+0.000	-0.076	0.102
12 a 24	+0.000	-0.005	0.007	304.8 a 609.6	+0.000	-0.127	0.178
Mayores que 24 hasta 40	+0.000	-0.007	0.009	Mayores que 609.6 hasta 1016	+0.000	-0.178	0.229

*Cambio máximo permisible en la lectura del indicador.

Referencia: NEMA Stds. MG 1, 4.12, Tabla 4-5. Las dimensiones en milímetros están redondeadas.

**TABLA 2-9. TOLERANCIAS DE LA SUPERFICIE
DE MONTAJE, EXCENRICIDAD Y ALABEO
MÁQUINAS NEMA CON BRIDA TIPO P**

DIMENSIONES EN PULGADAS			DIMENSIONES EQUIVALENTES EN MILÍMETROS				
Diámetro del Anillo de Ajuste	Tolerancia Diametral		Excéntrica y Alabeo*	Diámetro del Anillo de Ajuste	Tolerancia Diametral		Excéntrica y Alabeo*
Menores que 12	+0.003	-0.000	0.004	Menores que 304.8	+0.076	-0.000	0.102
12 a 24	+0.005	-0.000	0.007	304.8 a 609.6	+0.127	-0.000	0.178
Mayores que 24 hasta 40	+0.007	-0.000	0.009	Mayores que 609.6 hasta 1016	+0.178	-0.000	0.229
Mayores que 40 hasta 60	+0.010	-0.000	0.012	Mayores que 1016 hasta 1524	+0.254	-0.000	0.305

*Cambio máximo permisible en la lectura del indicador.

Referencia: NEMA Stds. MG 1, 4.13, Tabla 4-6. Las dimensiones en milímetros están redondeadas.

**TABLA 2-10. TOLERANCIAS DIAMETRALES DE
MONTAJE DEL ANILLO DE AJUSTE
MÁQUINAS IEC CON BRIDA**

Designación de la Tolerancia	DIMENSIONES EN MILÍMETROS				DIMENSIONES EQUIVALENTES EN PULGADAS			
	Diámetro Nominal del Anillo de Ajuste		Tolerancia		Diámetro del Anillo de Ajuste		Tolerancia	
	Desde	Hasta			Desde	Hasta		
j6	30	50	+0.011	-0.005	1.181	1.969	+0.0004	-0.0002
j6	50	80	+0.012	-0.007	1.969	3.150	+0.0005	-0.0003
j6	80	120	+0.013	-0.009	3.150	4.724	+0.0005	-0.0004
j6	120	180	+0.014	-0.011	4.724	7.087	+0.0006	-0.0004
j6	180	250	+0.016	-0.013	7.087	9.843	+0.0006	-0.0005
h6	250	315	0	-0.032	9.843	12.402	0	-0.0013
h6	315	400	0	-0.036	12.402	15.748	0	-0.0014
h6	400	500	0	-0.040	15.748	19.685	0	-0.0016
h6	500	630	0	-0.044	19.685	24.803	0	-0.0017
h6	630	800	0	-0.050	24.803	31.496	0	-0.0020
h6	800	1000	0	-0.056	31.496	39.370	0	-0.0022
h6	1000	1250	0	-0.066	39.370	49.213	0	-0.0026
h6	1250	1600	0	-0.078	49.231	62.992	0	-0.0031
h6	1600	2000	0	-0.092	62.992	78.740	0	-0.0036
h6	2000	2200	0	-0.110	78.740	86.614	0	-0.0043

Nota: Esta tabla aplica a máquinas con bridas tipo FF, FT y FI.

Referencia: IEC Stds. 60072-1, C.1.7. Las dimensiones en pulgadas están redondeadas.

**TABLA 2-11. EXCENTRICIDAD Y ALABEO DE
LA SUPERFICIE DE MONTAJE
MÁQUINAS IEC CON BRIDA**

DIMENSIONES EN MILÍMETROS			DIMENSIONES EQUIVALENTES EN PULGADAS		
Diámetro Nominal del Anillo de Ajuste		Excentricidad y Alabeo*	Diámetro del Anillo de Ajuste		Excentricidad y Alabeo*
Desde	Hasta		Desde	Hasta	
40 hasta	100	0.080	1.575	3.937	0.003
100	230	0.100	3.937	9.055	0.004
230	450	0.125	9.055	17.717	0.005
450	800	0.160	17.717	31.496	0.006
800	1250	0.200	31.496	49.213	0.008
1250	2000	0.250	49.213	78.740	0.010
2000	2240	0.315	78.740	88.189	0.012

Nota: Esta tabla aplica a máquinas con bridas tipo FF, FT y FI.

*Cambio máximo permisible en la lectura del indicador.

Referencia: IEC Stds. 60072-1, C.7. Las dimensiones en pulgadas están redondeadas.

**TABLA 2-12. HOLGURA ENTRE ESCOBILLA
Y PORTA ESCOBILLAS**

DIMENSIONES EN MILÍMETROS			DIMENSIONES EQUIVALENTES EN PULGADAS		
Dimensiones Nominales de la Escobilla Ancho y Espesor	Holgura		Dimensiones Nominales de la Escobilla Ancho y Espesor	Holgura	
	Max.	Min.		Max.	Min.
1.6 2 2.5	0.144	0.044	1/16	0.0056	0.00175
3.2	0.158	0.050	1/8	0.0062	0.0020
4 5	0.178	0.050	3/16	0.0070	0.0020
6.3 8 10	0.193	0.055	1/4 5/16 3/8	0.0076	0.0022
12.5 16	0.232	0.072	7/16 1/2 5/8	0.0091	0.0028
20 25	0.254	0.080	3/4 7/8 1	0.0100	0.0032
32 40 50	0.300	0.100	1-1/4 1-1/2	0.0118	0.0039
64 80	0.330	0.110	1-3/4 2	0.0130	0.0043

Referencia: IEC Stds. 60136, Tabla I. Las dimensiones en pulgadas están redondeadas.

Para evitar confusión entre dimensiones en milímetros y en pulgadas. Los porta escobillas y escobillas pueden estar marcados de la siguiente forma: dimensiones métricas □; dimensiones en pulgadas Δ.

Nota: El reemplazo de escobillas fabricadas con dimensiones en pulgadas por escobillas fabricadas en milímetros o viceversa pueden causar problemas debido a un ajuste no adecuado en el porta escobillas.

TABLA 2-13. TOLERANCIAS PARA AJUSTES DE RODAMIENTOS RÍGIDOS DE BOLAS*

Número Básico	Ajustes en el Eje				Ajustes en el Alojamiento (todos H6)							
	Clase de Tolerancia*	Diámetro Interior mm	Diámetro del Eje (mm)		Diámetro Exterior mm	Serie 200 (pulgadas)		Serie 300 (pulgadas)		Diámetro Exterior mm	Alojamiento Exterior del Alojamiento (mm)	
			Máximo	Mínimo		Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo			
00	j5	10	0.3939	0.3936	10.004	9.998	1.1811	1.1816	30.000	30.016	35.000	35.016
01	j5	12	0.4726	0.4723	12.005	11.997	1.2598	1.2604	32.000	32.016	37.000	37.016
02	j5	15	0.5908	0.5905	15.005	14.997	1.3780	1.3786	35.000	35.016	42.000	42.016
03	j5	17	0.6695	0.6692	17.005	16.997	1.5748	1.5754	40.000	40.016	47.000	47.016
04	k5	20	0.7878	0.7875	20.011	20.002	1.8504	1.8510	47.000	47.016	52.000	52.019
05	k5	25	0.9847	0.9844	25.011	25.002	2.0472	2.0479	52.000	52.019	62.000	62.019
06	k5	30	1.1815	1.1812	30.011	30.002	2.4409	2.4416	62.000	62.019	72.000	72.019
07	k5	35	1.3785	1.3781	35.013	35.002	2.8346	2.8353	72.000	72.019	80.000	80.019
08	k5	40	1.5753	1.5749	40.013	40.002	3.1496	3.1503	80.000	80.019	90.000	90.022
09	k5	45	1.7722	1.7718	45.013	45.002	3.3465	3.3474	85.000	85.022	100.000	100.022
10	k5	50	1.9690	1.9686	50.013	50.002	3.5433	3.5442	90.000	90.022	110.000	110.022
11	k5	55	2.1660	2.1655	55.015	55.002	3.9370	3.9379	100.000	100.022	120.000	120.022
12	k5	60	2.3628	2.3623	60.015	60.002	4.3307	4.3316	110.000	110.022	130.000	130.025
13	k5	65	2.5597	2.5592	65.015	65.002	4.7244	4.7253	120.000	120.022	140.000	140.025
14	k5	70	2.7565	2.7560	70.015	70.002	4.9213	4.9223	125.000	125.025	150.000	150.025
15	k5	75	2.9534	2.9529	75.015	75.002	5.1181	5.1191	130.000	130.025	160.000	160.025
16	k5	80	3.1502	3.1497	80.015	80.002	5.5118	5.5128	140.000	140.025	170.000	170.025
17	k5	85	3.3472	3.3466	85.018	85.003	5.9055	5.9065	150.000	150.025	180.000	180.025
18	k5	90	3.5440	3.5434	90.018	90.003	6.2992	6.3002	160.000	160.025	190.000	190.029
19	k5	95	3.7409	3.7403	95.018	95.003	6.6929	6.6939	170.000	170.025	200.000	200.029
20	k5	100	3.9377	3.9371	100.018	100.003	7.0866	7.0876	180.000	180.025	215.000	215.029
21	m5	105	4.1350	4.1344	105.028	105.013	7.4803	7.4814	190.000	190.029	225.000	225.029
22	m5	110	4.3318	4.3312	110.028	110.013	7.8740	7.8751	200.000	200.029	240.000	240.029
24	m5	120	4.7255	4.7249	120.028	120.013	8.4646	8.4657	215.000	215.029	260.000	260.032
26	m5	130	5.1194	5.1187	130.033	130.015	9.0551	9.0562	230.000	230.029	280.000	280.032
28	m5	140	5.5131	5.5124	140.033	140.015	9.8425	9.8436	250.000	250.029	300.000	300.032
30	m5	150	5.9068	5.9061	150.033	150.015	10.6299	10.6312	270.000	270.032	320.000	320.036
32	m5	160	6.3005	6.2998	160.033	160.015	11.4173	11.4186	290.000	290.032	340.000	340.036
34	m6	170	6.6945	6.6935	170.040	170.015	12.2047	12.2060	310.000	310.032	360.000	360.036
36	m6	180	7.0882	7.0872	180.040	180.015	12.5984	12.5998	320.000	320.036	380.000	380.036
38	m6	190	7.4821	7.4810	190.046	190.017	13.3858	13.3872	340.000	340.036	400.000	400.036
40	m6	200	7.8758	7.8747	200.046	200.017	14.1732	14.1746	360.000	360.036	420.000	420.040

*Para ejes huecos, use tolerancia j6 envés de j5, m5 envés de k5, n6 envés de m5 y p6 envés de m6.

El eje gira—la pista externa está quieta. Adaptada de las tablas 1, 2, 3 y 4 de la norma ABMA 7. Los ajustes de los ejes (interferencias) y de los alojamientos (holguras) descritos en la tabla, son válidos para la mayoría de las aplicaciones de los motores eléctricos convencionales. Donde sea permisible utilizar tolerancias más amplias (ajustes en los alojamientos), use tolerancias H7 envés de H6. Algunas aplicaciones como motores con ejes huecos, motores de husillos y vibradores requieren tolerancias diferentes a las descritas en la tabla.

TABLA 2-14. TOLERANCIAS PARA AJUSTES DE RODAMIENTOS DE RODILLOS CILÍNDRICOS

Número Básico	Ajustes en el Eje				Ajustes en el Alojamiento (todos H6)											
	Clase de Tolerancia*	Diámetro Interior mm	Diámetro del Eje (mm)		Diámetro Exterior mm	Serie 200 Diámetro Exterior (pulgadas)		Serie 300 Diámetro Exterior (pulgadas)		Diámetro Exterior mm	Diámetro Exterior del Alojamiento (mm)					
			Máximo	Mínimo		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo		Mínimo	Máximo				
00	m5	10	0.3942	0.3939	10.012	10.006	30	1.1811	1.1816	30.000	30.016	35	1.3780	1.3786	35.000	35.016
01	m5	12	0.4730	0.4727	12.015	12.007	32	1.2598	1.2604	32.000	32.016	37	1.4567	1.4573	37.000	37.016
02	m5	15	0.5911	0.5908	15.015	15.007	35	1.3780	1.3786	35.000	35.016	42	1.6535	1.6541	42.000	42.016
03	m5	17	0.6699	0.6696	17.015	17.007	40	1.5748	1.5754	40.000	40.016	47	1.8504	1.8510	47.000	47.016
04	m5	20	0.7881	0.7877	20.017	20.008	47	1.8504	1.8510	47.000	47.016	52	2.0472	2.0479	52.000	52.019
05	m5	25	0.9850	0.9846	25.017	25.008	52	2.0472	2.0479	52.000	52.019	62	2.4409	2.4416	62.000	62.019
06	m5	30	1.1818	1.1814	30.017	30.008	62	2.4409	2.4416	62.000	62.019	72	2.8346	2.8353	72.000	72.019
07	m5	35	1.3787	1.3783	35.020	35.009	72	2.8346	2.8353	72.000	72.019	80	3.1496	3.1503	80.000	80.019
08	m5	40	1.5756	1.5752	40.020	40.009	80	3.1496	3.1503	80.000	80.019	90	3.5433	3.5442	90.000	90.022
09	m6	45	1.7726	1.7720	45.025	45.009	85	3.3465	3.3474	85.000	85.022	100	3.9370	3.9379	100.000	100.022
10	m6	50	1.9695	1.9689	50.025	50.009	90	3.5433	3.5442	90.000	90.022	110	4.3307	4.3316	110.000	110.022
11	m6	55	2.1666	2.1658	55.030	55.011	100	3.9370	3.9379	100.000	100.022	120	4.7244	4.7253	120.000	120.022
12	m6	60	2.3634	2.3626	60.030	60.011	110	4.3307	4.3316	110.000	110.022	130	5.1181	5.1191	130.000	130.025
13	m6	65	2.5603	2.5595	65.030	65.011	120	4.7244	4.7253	120.000	120.022	140	5.5118	5.5128	140.000	140.025
14	n6	70	2.7574	2.7567	70.039	70.020	125	4.9213	4.9223	125.000	125.025	150	5.9055	5.9065	150.000	150.025
15	n6	75	2.9543	2.9536	75.039	75.020	130	5.1181	5.1191	130.000	130.025	160	6.2992	6.3002	160.000	160.025
16	n6	80	3.1511	3.1504	80.039	80.020	140	5.5118	5.5128	140.000	140.025	170	6.6929	6.6939	170.000	170.025
17	n6	85	3.3483	3.3474	85.045	85.023	150	5.9055	5.9065	150.000	150.025	180	7.0866	7.0876	180.000	180.025
18	n6	90	3.5451	3.5442	90.045	90.023	160	6.2992	6.3002	160.000	160.025	190	7.4803	7.4814	190.000	190.029
19	n6	95	3.7420	3.7411	95.045	95.023	170	6.6929	6.6939	170.000	170.025	200	7.8740	7.8751	200.000	200.029
20	n6	100	3.9388	3.9379	100.045	100.023	180	7.0866	7.0876	180.000	180.025	215	8.4646	8.4657	215.000	215.029
21	n6	105	4.1357	4.1348	105.045	105.023	190	7.4803	7.4814	190.000	190.029	225	8.8583	8.8594	225.000	225.029
22	n6	110	4.3325	4.3316	110.045	110.023	200	7.8740	7.8751	200.000	200.029	240	9.4488	9.4499	240.000	240.029
24	n6	120	4.7262	4.7253	120.045	120.023	215	8.4646	8.4657	215.000	215.029	260	10.2362	10.2375	260.000	260.032
26	n6	130	5.1202	5.1192	130.052	130.027	230	9.0551	9.0562	230.000	230.029	280	11.0236	11.0249	280.000	280.032
28	n6	140	5.5139	5.5129	140.052	140.027	250	9.8425	9.8436	250.000	250.029	300	11.8110	11.8123	300.000	300.032
30	p6	150	5.9082	5.9072	150.068	150.043	270	10.6299	10.6312	270.000	270.032	320	12.5984	12.5998	320.000	320.036
32	p6	160	6.3019	6.3009	160.068	160.043	290	11.4173	11.4186	290.000	290.032	340	13.3858	13.3872	340.000	340.036
34	p6	170	6.6956	6.6946	170.068	170.043	310	12.2047	12.2060	310.000	310.032	360	14.1732	14.1746	360.000	360.036
36	p6	180	7.0893	7.0883	180.068	180.043	320	12.5984	12.5998	320.000	320.036	380	14.9606	14.9620	380.000	380.036
38	p6	190	7.4834	7.4823	190.079	190.050	340	13.3858	13.3872	340.000	340.036	400	15.7480	15.7494	400.000	400.036
40	p6	200	7.8771	7.8760	200.079	200.050	360	14.1732	14.1746	360.000	360.036	420	16.5354	16.5370	420.000	420.040

El eje gira—la pista externa está quieta. Adaptada de las tablas 1, 2, 3 y 4 de la norma ABMA 7. Los ajustes de los ejes (interferencias) y de los alojamientos (holguras) descritos en la tabla, son válidos para la mayoría de las aplicaciones de los motores eléctricos convencionales. Donde sea permisible utilizar tolerancias más amplias (ajustes en los alojamientos), use tolerancias H7 en vez de H6. Algunas aplicaciones como motores con ejes huecos, motores de husillos y vibradores requieren tolerancias diferentes a las descritas en la tabla.

Sección 3 Rebobinado

3.1 INSPECCIÓN

3.1.1 Láminas del Núcleo

Se debe realizar una prueba de núcleo en los estatores y armaduras antes de efectuar el quemado de los bobinados u otro proceso equivalente, así como también después de extraer los bobinados y comparar los resultados obtenidos antes y después. Los núcleos de los estatores y armaduras se deben probar para detectar puntos calientes y pérdidas (ver Punto 4.2.6).

3.1.2 Protecciones Térmicas o Sensores

Se deben comprobar los termostatos, los detectores de temperatura resistivos (RTDs), las termocuplas (termopares) y los termistores, para determinar si presentan defectos físicos o eléctricos.

Los termostatos, los detectores de temperatura resistivos (RTD), las termocuplas (termopares) y los termistores de reemplazo deben tener características eléctricas y térmicas idénticas o equivalentes a las de los dispositivos originales y se deben instalar en los mismos lugares en el devanado. Los protectores o sensores térmicos sólo pueden ser retirados o puenteados con consentimiento del cliente y esto deben quedar documentado en el registro de reparación.

3.2 ESPECIFICACIÓN DEL REBOBINADO

El bobinado debe conservar las mismas características eléctricas que el original. Los datos del bobinado deben ser revisados para determinar su exactitud.

3.3 DESMANTELAMIENTO DE LOS BOBINADOS

Para evitar degradación del aislamiento interlaminar y la distorsión de cualquiera de sus partes, la temperatura del núcleo debe ser controlada y no deberá exceder de 700 °F (370 °C). Si se utiliza un horno de quemado, este debe contar con un sistema de supresión de agua. Las piezas deben quedar orientadas y soportadas dentro del horno de tal forma que haya suficiente refrigeración y evitar su distorsión. Después que el bobinado haya sido retirado, se deben inspeccionar las ranuras del estator para asegurarse de que se encuentran libres de filos y materiales extraños.

3.4 SISTEMA DE AISLAMIENTO

El sistema de aislamiento completo, los materiales y los métodos de aplicación, deben ser iguales o mejores que los usados por el fabricante original de la máquina. Todas las componentes del sistema de aislamiento deben ser compatibles entre ellos con respecto a características eléctricas, mecánicas y térmicas. El sistema de aislamiento deberá soportar las pruebas de alta tensión (hipot), descritas en la sección 4.4 y la operación normal de la máquina.

3.5 CONDUCTORES

La ampericidad, el aislamiento y las calidades mecánicas de los conductores deben ser adecuadas para soportar el ambiente de trabajo de la máquina. Si el material del conductor es reemplazado, este deberá ser igual o mejor que el original en todos los aspectos de aplicación y funcionamiento.

3.6 BOBINAS DE ESTADORES, ROTORES Y ARMADURAS

Las cabezas de las bobinas no deben ser más largas que las originales. El área o sección de los conductores debe ser al menos la especificada originalmente por el fabricante.

3.6.1 Bobinas de Alambre Redondo

Las bobinas deben ser fabricadas e insertadas en las ranuras del núcleo con el mínimo de conductores cruzados. Durante el bobinado, se debe tener cuidado de no dañar el aislamiento o los conductores. Para que las bobinas queden apretadas de forma segura dentro de la ranura, se deben utilizar cuñas de cierre que abarquen toda la longitud de la ranura, también se debe utilizar aislamiento entre fases (donde sea necesario).

3.6.2 Bobinas de Pletina

La fabricación de los lazos y la conformación de los mismos en forma de bobina debe ser realizada sin causar daños al aislamiento de los conductores. Cada capa del aislamiento de las bobinas debe ser aplicada de una forma firme e uniforme para minimizar los puntos de esfuerzos y las burbujas de aire.

Las bobinas deben instalarse dentro del núcleo sin causar daños en su aislamiento. Estas deben quedar apretadas en el interior de las ranuras y cuñadas para sujetarlas firmemente dentro de las ranuras. Según sea necesario, las cuñas deberán tener las muescas requeridas para cualquier ducto de ventilación del estator. Para evitar su movimiento y distorsión, las bobinas deben estar atadas entre sí y aseguradas a aros de sujeción u otros medios de soporte similares, tal como se considere necesario.

3.7 BOBINAS DE CAMPO

3.7.1 Bobinas Estáticas

Se acepta que las bobinas de los campos serie y shunt e interpolos estén barnizadas cuando las bobinas hayan sido fabricadas originalmente con ese mismo método. De lo contrario se podría realizar una impregnación con presión y vacío para asegurar una completa adhesión entre los conductores y el aislamiento.

El aislamiento de las capas exteriores de las bobinas debe estar en capacidad de soportar las sobretensiones o picos de tensión inductivos.

3.7.2 Bobinas Rotativas

Se requiere gran rigidez y adherencia de todas las componentes para soportar las fuerzas centrífugas. Para la mayoría de rotores de polos salientes se debe utilizar una resina tixotrópica de alta resistencia adhesiva.

Cuando se instalen, las bobinas y piezas polares deben quedar cuñadas y atadas de forma segura.

3.8 BOBINADOS DE AMORTIGUACIÓN Y JAULAS DE ARDILLA

Las barras de las jaulas de ardilla y los bobinados de amortiguación deben permanecer firmes dentro de las ranuras del núcleo. Los aros de las jaulas deben estar unidos con las barras mediante soldaduras con electrodo o con relleno (soldadura fuerte), apropiadas para cada material. Los bobinados deben

conservar las mismas características térmicas, eléctricas y mecánicas que los originales, a no ser que se haga un rediseño por acuerdo con o por instrucciones del cliente.

Para el equilibrado o balanceo dinámico, véase el punto 2.6.

3.9 MOLDEADO Y ATADO DE LOS BOBINADOS DEL ESTATOR

Para mantener las distancias de seguridad con el rotor, estator, carcasa, alojamiento de los rodamientos, deflectores de aire y las partes metálicas de la carcasa, las cabezas de los bobinados pueden ser moldeadas y atadas como se considere necesario. En máquinas que tienen aros metálicos de soporte, estos deben quedar debidamente aislados, fijados, ajustados y atados de forma precisa a las bobinas, para garantizar un soporte firme del bobinado. Los bobinados deben conservar las mismas características térmicas, eléctricas y mecánicas que los originales, a no ser que se haga un rediseño debido a un acuerdo con o por instrucciones del cliente.

Se debe evitar realizar restricciones en el flujo de aire.

3.10 CONEXIONES DE LAS BOBINAS

3.10.1 Conexionado

Las conexiones que sean hechas por crimpado, con soldaduras por electrodo, por fusión o con relleno (soldadura fuerte), deben utilizar materiales de adecuada conductividad y tener la suficiente resistencia mecánica para soportar las condiciones normales de operación. Los materiales tales como pastas, aportes, inhibidores y compuestos empleados durante la soldadura, deben ser retirados y neutralizados después de su uso. Estos materiales deben ser adecuados para el uso requerido y de un tipo que no cause ningún impacto negativo sobre los conductores del bobinado. Las uniones soldadas con electrodos no deben ser reemplazadas por soldaduras con relleno (soldadura fuerte) o por fusión.

Las conexiones y empalmes deben ser hechos de tal forma que su resistencia óhmica no sea mayor que la de los conductores del bobinado.

3.10.2 Aislamiento de las Conexiones

Las conexiones deben estar aisladas de forma apropiada, para soportar los niveles de temperatura y voltaje de la máquina y tener la resistencia mecánica adecuada para soportar la operación normal del equipo. Las conexiones y los cables deben estar atados y apretados o por el contrario sujetos de forma segura para prevenir su movimiento.

Los aislamientos deben ser aplicados de tal forma que permitan que penetre la resina/barniz.

3.11 CUÑAS

Las cuñas de los estatores, armaduras y rotores deben tener una resistencia mecánica y una clasificación térmica adecuada para soportar la operación normal de la máquina. Las cuñas magnéticas deben reemplazarse por cuñas magnéticas equivalentes.

Las cuñas deben encajar ajustadas dentro de las canales de las ranuras.

3.12 ZUNCHADO DE ROTORES Y ARMADURAS

El zunchado se puede aplicar directamente sobre el bobinado utilizando cintas de vidrio impregnadas con resina. La cinta debe ser aplicada utilizando la tensión mecánica y el método de curado recomendados por el fabricante. El zuncho debe ser

lo suficiente grueso y ancho para contener las bobinas durante la operación normal de la máquina.

Si se usa un zuncho metálico, este debe ser aplicado sobre un aislamiento dispuesto previamente sobre el bobinado. El zuncho debe coincidir con el original en cuanto a su localización, tipo de material (magnético o no magnético), calibre del alambre y número de vueltas. El alambre debe ser aplicado con la tensión suficiente para mantener las bobinas en su sitio sin distorsionarlas.

Advertencia: Reemplazar zunchos metálicos por zunchos de cinta de vidrio impregnadas con resina puede variar la configuración del circuito magnético, afectando la conmutación y la clasificación térmica del bobinado. Efectos similares resultan al reemplazar zunchos de cinta de vidrio impregnados con resina por zunchos metálicos.

3.13 IMPREGNACIÓN DE LOS BOBINADOS

Los devanados de las máquinas rebobinadas deben ser precalentados, barnizados/enresinados y curados usando procedimientos y materiales con una clasificación térmica suficiente para soportar la operación normal de la máquina. La impregnación debe ser compatible para todo el sistema de aislamiento y adecuada para el ambiente de trabajo de la máquina.

Sección 4 Pruebas

4.1 CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD

Consulte el Apéndice para ver las condiciones de seguridad.

4.2 ESTADO DEL AISLAMIENTO, INSPECCIÓN Y PRUEBAS

Se deben realizar pruebas para determinar si el aislamiento es apto para continuar en operación. Antes de la prueba de alta tensión (hipot), se debe realizarse una prueba de resistencia de aislamiento (IR) la cual deberá tener un resultado satisfactorio. Tal como se indica a continuación, es posible realizar otras pruebas y todos los resultados deben ser conservados. A menudo, los análisis de tendencias de los resultados son mejores indicadores del estado del aislamiento, que los valores absolutos.

4.2.1 Prueba de Resistencia de Aislamiento

Se debe realizar la prueba de resistencia de aislamiento durante un minuto, al nivel de voltaje especificado en la Tabla 4-1 (Referencia: IEEE Std. 43, Sec. 5.3). El valor mínimo de resistencia de aislamiento recomendado debe ser el especificado en la Tabla 4-2 (Referencia: IEEE Std. 43, Sec. 12.3)

TABLA 4-1. DIRECTRICES DE LOS VOLTAJES DE CORRIENTE CONTINUA A SER APLICADOS DURANTE LA PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

Tensión Nominal del Bobinado (V) ^a	Tensión C.C. para la Prueba de Resistencia de Aislamiento (V)
<1000	500
1000 - 2500	500 - 1000
2501 - 5000	1000 - 2500
5001 - 12,000	2500 - 5000
>12,000	5000 - 10,000

^a Es el voltaje nominal línea-línea para máquinas trifásicas de C.A., línea-neutro (tierra) para máquinas monofásicas y el voltaje nominal C.C. para máquinas de corriente continua o devanados de campo.
Referencia: Tabla 1, IEEE Std. 43.

4.2.2 Prueba de Índice de Polarización (I.P.)

La prueba de índice de polarización (I.P.) se debe efectuar aplicando durante 10 minutos el mismo nivel de voltaje descrito en el Punto 4.2.1. El valor mínimo de I.P. recomendado para bobinados con aislamientos clase B o superiores es 2.0 (Referencias: IEEE Std. 43, Sec. 12.2; y IEEE Std. 432, App. A2).

Si el valor de la resistencia de aislamiento al primer minuto es superior a 5000 MΩ, el índice de polarización calculado (I.P.) puede que no sea significativo. En estos casos, es posible que el valor de I.P. no sea tenido en cuenta para evaluar el estado del aislamiento (Referencia: IEEE 43, Sec. 12.2.2).

4.2.3 Pruebas de Factor de Potencia del Aislamiento

Las pruebas de factor de potencia, factor de disipación y tip-up se pueden efectuar en los sistemas de aislamiento de máquinas de gran potencia. La interpretación de los resultados se hace

mediante la comparación con pruebas anteriormente realizadas en máquinas similares. No se han establecido interpretaciones normalizadas para los resultados (Referencia: IEEE Std. 432, Sec. 8.1).

TABLA 4-2. VALORES MÍNIMOS RECOMENDADOS DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO A 40°C (TODOS LOS VALORES EN MΩ)

Valor Mínimo de Resistencia de Aislamiento	Tipo de Máquina
$IR_{1min} = kV + 1$	Para la mayoría de los bobinados fabricados antes de 1970, todos los bobinados de campo y otros no descritos abajo.
$IR_{1min} = 100$	Para la mayoría de los bobinados de C.A. fabricados después de 1970 (en pletina).
$IR_{1min} = 5$	Para la mayoría de las máquinas con estatores bobinados con alambre redondo y en pletina con tensiones por debajo de 1 kV y armaduras de C.C.

Notas:
 1 IR_{1min} es el valor mínimo recomendado de la resistencia de aislamiento de todo el bobinado de la máquina, en Mohms y a 40°C.
 2 kV es el valor rms de la tensión nominal de la máquina expresada en kV.
 Referencia: Tabla 3, IEEE Stds. 43.

4.2.4 Pruebas de Impulso (Surge) en Estatores con Bobinas de Pletina

La capacidad para soportar impulsos del devanado se debe verificar durante uno o más de los siguientes pasos del rebobinado: (a) bobinas individuales antes de ser instaladas en las ranuras (se aceptan las pruebas del fabricante de bobinas), (b) después de instalar las bobinas individuales pero antes de conectarlas, con cuñas, amarres y soportes instalados, (c) bobinas individuales después de ser conectadas en serie y antes de conectar los grupos, (d) grupos individuales después de ser conectados para formar las fases pero antes de conectar las fases entre sí, y / o (e) fases en el estator completamente rebobinado y curado. Se recomienda realizar pruebas en los pasos (a) si no las realiza el fabricante de bobinas y efectuar las pruebas (b) y (e) con fines de aseguramiento de calidad.

Los niveles de prueba se reducen para las bobinas sin curar y deben ser acordados con anticipación entre el fabricante de bobinas, el centro de servicio y, si es necesario, el cliente. Los valores de prueba descritos en la Tabla 4-3 fueron adaptados de las normas IEEE 522 e IEC 60034-15. La norma IEEE 522 se refiere a 3,5 por unidad (p.u.) como tensión soportada estándar y 2,0 p.u. como una prueba de voltaje reducido que se usa para devanados en los que no es probable que vean impulsos (surges) de alta magnitud y de frente rápido (donde 1 p.u. = voltios pico a tierra del devanado del estator).

Un patrón de forma de onda de impulso con un sólo trazo indica que no se detectaron fallas o anomalías. Un patrón de forma de onda de impulso con múltiples trazos indica una falla o anomalía que requiere un análisis más detallado.

Nota: Los resultados de la prueba de impulso se pueden ver influenciados por múltiples factores, como la presencia del rotor al probar un estator. El análisis de los resultados de las pruebas de sobretensión es subjetivo, incluso cuando se utilizan herramientas cuantitativas para comparar formas de onda.

4.2.5 Prueba de Impulso (Surge) en los Demás Bobinados

La prueba de Impulso se realiza con más frecuencia a los demás bobinados incluyendo en los devanados de alambre redondo a dos veces el voltaje nominal de la máquina más 1000 voltios con un frente de onda de 0.2 ± 0.1 microsegundos.

Un patrón de forma de onda de impulso con un sólo trazo indica que no se detectaron fallas o anomalías. Un patrón de forma de onda de impulso con múltiples trazos indica una falla o anomalía que requiere un análisis más detallado.

Nota: Los resultados de la prueba de impulso se pueden ver influenciados por múltiples factores, como la presencia del rotor al probar un estator. El análisis de los resultados de las pruebas de sobretensión es subjetivo, incluso cuando se utilizan herramientas cuantitativas para comparar formas de onda.

4.2.6 Ensayo del Aislamiento Interlaminar

Los núcleos de las máquinas de corriente alterna se deben probar utilizando un probador de núcleos o con una prueba de lazo ("toroide" o loop test) o mediante una prueba de flujo con baja energía también conocida como prueba de EL CID [(Electromagnetic Core Imperfection Detection) (Referencia IEEE Std. 56)]. El nivel de flujo magnético utilizado para realizar la prueba después de remover los devanados deberá estar dentro del 5% del empleado para realizar la prueba antes de retirar los bobinados. Cualquier incremento en las pérdidas o la presencia de puntos calientes se debe investigar. Las laminaciones que presenten daños deberán ser reparadas o sustituidas.

4.2.7 Prueba de Aislamiento de los Rodamientos

Para los motores que funcionen con una tensión sinusoidal de corriente alterna o con corriente continua, el valor de la resistencia de aislamiento (IR) debe ser mayor o igual a 1 MOhm. Los sistemas de aislamiento de los rodamientos utilizados en aplicaciones que utilizan variadores de frecuencia electrónicos deberán ser evaluados para determinar si proporcionan la impedancia adecuada para la aplicación de un determinado accionamiento. [Nota: No existe un consenso general en la industria para los valores mínimos de la resistencia de aislamiento o de impedancia de los rodamientos en las aplicaciones que requieran variadores de frecuencia electrónicos.]

TABLA 4-3. VOLTAJES PARA LA PRUEBA DE IMPULSO EN BOBINADOS DE PLETINA NUEVOS

Voltaje Nominal (V)	IEEE 522 ^{1,4,5} 2.0 p.u. (kV)	IEEE 522 ^{2,4,5} 3.5 p.u. (kV)	IEC 60034-15 ^{3,4} $U_p' = 0.65 U_p$	2E+1kV ⁶ per sección 4.2.5
400	–	–	–	1.8
460	–	–	–	1.9
575	–	–	–	2.2
690	–	–	–	2.4
2300	3.8	6.6	9.2	–
3300	5.4	9.4	11.8	–
4000	6.5	11.4	13.7	–
6600	10.8	18.9	20.4	–
11000	18.0	31.4	31.9	–
13800	22.5	39.4	39.1	–

- 2.0 p.u. = $2 \cdot V_{L-L} \sqrt{2/3}$ kV, frente de onda $0.2 \mu s$
- 3.5 p.u. = $3.5 \cdot V_{L-L} \sqrt{2/3}$ kV, frente de onda $0.1 \mu s$
- $1.0 U_p = 4 \cdot V_{L-L} + 5$ kV, frente de onda $0.2 \pm 0.1 \mu s$
- Bobinas sin procesar completamente, Ej. Resin Rich no curadas o VPI secas (green), se deben probar a voltaje reducido, generalmente al 40-80 % del valor calculado.
- Las pruebas de mantenimiento de los bobinados reacondicionados pueden ser realizadas al 75% del valor calculado.
Precaución: Si se desconoce el diseño del aislamiento, utilice el 75% de los valores indicados en la columna de 2.0 p.u.
- Para máquinas con tensiones por debajo de 2300 V use la sección 4.2.5.

4.2.8 Prueba de Equilibrio entre Fases

En la prueba de equilibrio entre fases se aplica al estator un voltaje trifásico reducido y se miden las corrientes para comprobar si están balanceadas.

4.2.9 Prueba de Polaridad

En la prueba de polaridad se aplica corriente continua, generalmente en cada una de las fases y se verifica la polaridad magnética de los grupos de bobinas.

4.2.10 Prueba con Rotor Artificial

Durante esta prueba se utiliza un rotor artificial, como un pequeño rotor con poco ajuste entre el eje y su núcleo magnético y se aplica al estator una tensión trifásica reducida. El rotor se desplaza manualmente dentro del diámetro interior del estator para verificar si existe rotación continua.

4.2.11 Prueba de Impedancia

En esta prueba se aplica una tensión C.A. entre las dos salidas de una bobina y se miden la corriente y el voltaje. Utilizando la ley de Ohm, se calcula la impedancia. Las impedancias de cada bobina se comparan para verificar que tienen valores relativamente iguales, con la intención de conservar las mismas propiedades electromagnéticas.

4.3 PRUEBAS RECOMENDADAS PARA LOS BOBINADOS

Los bobinados se deben probar para garantizar que no se encuentran en corto circuito, a tierra (masa), abiertos, incorrectamente conectados o que tienen conexiones de alta resistencia.

4.3.1 Devanados de Estator y Rotor Bobinado

Se deben efectuar las pruebas de resistencia de aislamiento (IR), onda de choque (surge) y resistencia de bobinados. Adicionalmente una o varias de las siguientes pruebas pueden realizarse:

- (1) Prueba de equilibrio entre fases.
- (2) Prueba de polaridad.
- (3) Prueba de rotor artificial (energización a baja tensión).
- (4) Prueba de índice de polarización o de absorción dieléctrica.
- (5) Prueba de disipación del aislamiento o factor de potencia.
- (6) Prueba del aislamiento entre espiras.
- (7) Prueba para determinar los niveles de voltaje de inicio y extinción de descargas parciales.

Nota: De acuerdo con la norma CSA C392, el límite de desbalance de resistencia en los bobinados de alambre redondo debe ser el 2% del promedio y para bobinados de pletina el 1 % del promedio.

Nota: Algunos bobinados concéntricos pueden exceder el límite del 2%.

4.3.2 Bobinados de Jaula de Ardilla

Una o más de los siguientes métodos de prueba pueden ser utilizados para producir corriente en las barras y los aros para detectar defectos en la jaula de ardilla:

- (1) Prueba de growler.
- (2) Prueba monofásica.
- (3) Medición y análisis del campo magnético a lo largo de la circunferencia del rotor con corriente aplicada a la jaula de ardilla por inducción o conexión directa a los anillos de la jaula.

Precaución: Usar abrazaderas en el eje puede ocasionar tra-

vectorias de corrientes parásitas que reducen la efectividad de la prueba y pueden afectar la condición física del rotor o del eje.

4.3.3 Bobinados de Armadura

Se debe realizar una prueba de resistencia de aislamiento. Adicionalmente una o varias de las siguientes pruebas deben realizarse:

- (1) Prueba de growler (zumbador o roncador).
- (2) Prueba de impulso (surge).
- (3) Prueba delga-delga.

4.3.4 Bobinados de Campo, Serie, Interpolos, de Compensación y de Rotores Sincrónicos

Se debe realizar una prueba de resistencia de aislamiento. Adicionalmente una o varias de las siguientes pruebas deben realizarse:

- (1) Prueba de resistencia de los bobinados.
- (2) Prueba de impulso (surge).
- (3) Prueba de caída de tensión C.A.
- (4) Prueba de impedancia.

4.3.5 Conexiones de los Devanados

Los bobinados de campo, serie, de compensación, interpolos y de los rotores sincrónicos, deben ser probados para asegurarse que tanto las conexiones como las polaridades son las correctas. La marcación de los cables y terminales de conexión deben cumplir con lo establecido en el punto 1.6.

4.4 PRUEBA DE ALTA TENSIÓN (HIPOT)

La prueba de alta tensión (hipot) debe realizarse a los bobinados y ciertos accesorios de las máquinas eléctricas, aplicando un nivel de tensión específico. Para evitar someter el aislamiento a esfuerzos excesivos no se recomienda repetir esta prueba.

Los bobinados de las máquinas que van a ser probados deberán estar limpios y secos. Antes de realizar esta prueba se debe inspeccionar el bobinado y comprobar que el valor de la resistencia de aislamiento es aceptable. Después de terminar el ensayo de alta tensión (hipot) se debe repetir la prueba de resistencia de aislamiento.

Cuando se realicen pruebas de alta tensión (hipot) en el conjunto excitatriz y bobinado de campo del rotor de una máquina sincrónica con excitación sin escobillas, los componentes del circuito de la excitación sin escobillas (diodos, tiristores, etc.) deben ser puestos en corto circuito (no a tierra o masa)

Las pruebas de alta tensión (hipot) deben realizarse de forma sucesiva entre cada bobinado o circuito eléctrico bajo prueba y la carcasa aterrizada (conectada a tierra) (o núcleo) de la máquina. Todos los demás devanados o circuitos eléctricos que no se estén sometiendo a prueba deben conectarse a la carcasa aterrizada (conectada a tierra) (o núcleo).

Los condensadores de los motores con condensador deben permanecer conectados a los bobinados de la misma forma en la que funcionan en la máquina (arranque o marcha).

Las máquinas eléctricas pueden ser probadas utilizando un equipo de alta tensión (hipot) de C.A. o C.C. El voltaje de prueba C.C. debe ser 1.7 veces la tensión especificada para la prueba con voltaje C.A. Si se usa voltaje C.C. y se presenta un fallo durante la prueba, se causa menos perjuicios al bobinado.

La prueba con voltaje C.A. debe ser realizada aplicando de forma continua la tensión especificada a 50 ó 60 Hz durante un minuto.

La prueba con voltaje C.C. debe ser realizada una vez se alcance la tensión de prueba y aplicando el voltaje especificado durante un minuto. Para efectos de limitar la corriente de carga, el voltaje C.C. debe incrementarse gradualmente en pasos o rampas hasta alcanzar la tensión deseada.

Precaución: Después de terminar la prueba de alta tensión C.C., el devanado debe ser puesto a tierra (masa) conectándolo a la carcasa o núcleo hasta descargarlo. (Referencias: IEEE Stds. 4 y 95; NEMA Stds. MG 1, 3.1.1.)

4.4.1 Bobinados

4.4.1.1 Bobinados Nuevos

Las pruebas de alta tensión C.A. y C.C. se deben aplicar utilizando las tensiones especificadas en la Tablas 4-4 y 4-5 respectivamente. Para evitar someter el aislamiento a esfuerzos excesivos, no se recomienda realizar varias veces la prueba de alta tensión (hipot). Cuando se requiera realizar otra prueba de hipot al devanado, inmediatamente después del rebobinado, se recomienda que la tensión de ensayo no supere el 80% del voltaje de prueba original. La prueba se debe realizar una sola vez al voltaje especificado.

4.4.1.2 Bobinados Recondicionados

Si es aprobada por el cliente, la prueba de alta tensión para bobinados recondicionados se debe realizar al 65% de la tensión utilizada para probar bobinados nuevos.

4.4.1.3 Bobinados No Recondicionados

Las máquinas con bobinados no recondicionados deben ser sometidas a una prueba de resistencia de aislamiento en lugar de una prueba de alta tensión (hipot).

4.4.2 Accesorios

4.4.2.1 Accesorios Nuevos

Los accesorios como los condensadores de protección, pararrayos, transformadores de corriente, etc. que tengan sus cables conectados a los bornes de la máquina, deben desconectarse y sus cables deben ser unidos entre sí y conectados a la carcasa aterrizada (conectada a tierra) o al núcleo durante la prueba. Estos accesorios deben haber sido sometidos por parte del fabricante a una prueba de alta tensión (hipot) de acuerdo con la clase de máquina. Los condensadores de los motores con condensador deben permanecer conectados a los bobinados de la misma forma en la que funcionan en la máquina (arranque o marcha).

Los dispositivos y sus circuitos, tales como las resistencias de calefacción y los sensores de temperatura que están en contacto con los bobinados (termostatos, termocuplas o termopares, termistores y sensores de temperatura resistivos o RTDs, etc.), que no se encuentren conectados a la línea de alimentación eléctrica, deben conectarse a la carcasa aterrizada (conectada a tierra) o núcleo mientras se realiza la prueba de Alta Tensión (hipot) en los bobinados. Aquellos circuitos de estos dispositivos que tengan cables comunes se deben probar aplicando una tensión de ensayo de 1500 voltios CA (2600 voltios CC). Durante la prueba de cada circuito de dispositivos, todos los bobinados de la máquina y demás componentes deben unirse entre sí y conectarse al núcleo o a una carcasa aterrizada (conectada a tierra). (Referencia: NEMA Stds. MG 1, 3.1.8.)

4.4.2.2 Accesorios de Máquinas con Bobinados Recondicionados

Las pruebas de alta tensión (hipot) para los circuitos de los accesorios de máquinas recondicionadas, deben realizarse al 65% del nivel de la tensión utilizada para probar los dispositivos nuevos.

4.4.2.3 Accesorios de Máquinas con Bobinados No Recondicionados

Los circuitos de los accesorios de máquinas con bobinados no recondicionados deben ser sometidos a una prueba de resistencia de aislamiento aplicando 500v con un megómetro. La resistencia de aislamiento deberá ser mayor o igual a 1 megohmio.

4.5 PRUEBAS EN VACÍO

Después de ensamblar el motor este deberá probarse en vacío para estar seguros de que funciona satisfactoriamente. Como preparación a esto, el motor deberá montarse de forma segura sobre una base sólida o resiliente y luego ser energizado. Es necesario instalar y asegurar una media chaveta en el chavetero (cuñero).

Precaución: Si el peso de los elementos rotativos no es suficiente para proporcionar la precarga mínima del rodamiento se debe usar una carga artificial para suministrar la precarga requerida por el rodamiento.

4.5.1 Velocidad

Las pruebas sin carga (en vacío) de las máquinas de C.A. deben realizarse con tensión y frecuencia nominales. La velocidad debe ser medida y comparada con la indicada en la placa de datos.

En los motores de C.A. alimentados con un variador de velocidad electrónico, que funcionan por arriba de la velocidad nominal, se deben realizar pruebas adicionales a la máxima frecuencia nominal del motor.

Los motores de C.C. tipo compuesto (compound) y tipo derivación (shunt), deberán funcionar aplicando la tensión nominal a la armadura y con la corriente nominal circulando por el devanado de campo. La velocidad debe ser medida y comparada con la velocidad base indicada en la placa de datos y debe estar dentro del 1% en ambas direcciones. Si el motor está clasificado para funcionar a velocidades que superen la velocidad base, la alimentación del campo deberá variarse para obtener la máxima velocidad nominal. Tome nota de la corriente del campo a la máxima velocidad.

Cuando se prueben motores de C.C. tipo serie estos deberán ser excitados de forma separada o cargados mecánicamente para evitar el peligro de que se embalen.

Los generadores C.C. deben ser impulsados a su velocidad nominal con la corriente nominal circulando por su devanado de campo. El voltaje de salida debe ser medido y comparado con el indicado en la placa de datos.

4.5.2 Corriente

Se debe tomar nota de las corrientes en vacío.

4.5.3 Sistema de Enfriamiento

Se debe verificar que el sistema de enfriamiento funciona.

4.5.4 Nivel de Sonido

Se debe realizar una prueba del nivel del sonido para determinar si hay algún fallo o para detectar si se escucha un ruido molesto alrededor de la máquina (Referencia: NEMA Stds. MG 1, Part 9).

4.5.5 Temperatura de los Rodamientos

Se debe medir periódicamente la temperatura ambiente y en los alojamientos de los rodamientos hasta que la temperatura se estabilice.

4.5.6 Prueba de Vibraciones

De común acuerdo con el cliente o si es necesario verificar las características de operación de la máquina, las vibraciones de la máquina deben cumplir con lo estipulado en la norma NEMA Stds. MG 1, 7 para máquinas estándar. Cuando existan requisitos especiales como niveles de vibración más bajos, se recomienda usar la norma NEMA Stds. MG 1, 7 para máquinas especiales.

La Tabla 4-6 basada en las velocidades de rotación, muestra los valores límites globales de las vibraciones para máquinas estándar (que no presentan requisitos especiales de vibración) montadas sobre bases aisladas resilientes. Los niveles de vibración para velocidades arriba de 1200 rpm se basan en una velocidad pico de 0.15 pulgadas por segundo (3.8 mm/s). Los niveles de vibración para velocidades por debajo de 1200 rpm se basan en una velocidad pico equivalente al desplazamiento

pico-pico de 0.0025 pulgadas (0.0635 mm). Para máquinas de montaje rígido, se multiplican los valores límites por 0.8.

Nota: Las normas internacionales especifican la velocidad de la vibración en valores rms y en mm/s. Para obtener el equivalente métrico aproximado de la vibración en pul/s multiplique los valores pico por 18 (Referencia: NEMA Stds. MG 1, 7.8).

4.6 PRUEBAS CON CARGA

Las pruebas con carga pueden ser realizadas de común acuerdo con el cliente o para verificar las características de operación de la máquina (Referencias: IEEE Stds. 112 and 115 & NEMA Stds. MG 1).

4.7 CALIBRACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS

Cada instrumento y transductor (si aplica), requerido para medir u obtener los resultados de las pruebas, debe ser calibrado al menos cada año de acuerdo con una norma que pueda ser relacionada de forma específica (que tenga trazabilidad) con las normas del National Institute of Standards and Technology (NIST) o con normas de laboratorios que sean equivalentes (Referencias: Normas ISO/IEC 17025 e ISO 10012).

**Tabla 4-4. Pruebas de Alta Tensión (Hipot) Usando Corriente Alterna
BOBINADOS NUEVOS**

TIPO DE MÁQUINA	VALOR EFICAZ DE LA TENSIÓN C.A. DE PRUEBA	
	BOBINADO DEL ESTATOR	BOBINADO DEL ROTOR
MÁQUINAS DE INDUCCIÓN DE C.A. Y MÁQUINAS SINCRÓNICAS NO EXCITADAS		
Motores de potencia nominal menor o igual a 0.5 hp, generadores de potencia nominal menor o igual a 373 vatios (o equivalente) y que funcionan con una tensión: a) Menor o igual a 250 voltios	1000 voltios	1000 voltios + 2 veces la tensión secundaria
b) Mayor que 250 voltios	1000 voltios + 2 veces la tensión nominal de la máquina	
Motores de potencia nominal mayor que 0.5 hp, generadores de potencia nominal mayor que 373 vatios (o equivalente) y para ciclo de trabajo: a) No reversible		1000 voltios + 2 veces la tensión nominal de la máquina
b) Reversible		
MÁQUINAS SINCRÓNICAS DE C.A. CON ANILLOS ROZANTES	BOBINADO DEL ESTATOR	BOBINADO DE CAMPO
MOTORES	1000 voltios + 2 veces la tensión nominal de la máquina	Método de arranque 1* 10 veces la tensión de excitación nominal pero no menos de 2500 voltios ni más de 5000 voltios
		Método de arranque 2* 2 veces la caída IR a través del resistor pero no menos de 2500 voltios
GENERADORES	500 voltios	
a) Con devanados de estator (armadura) o devanados de campo de tensión nominal menor o igual que 35 voltios	1000 voltios	
b) Con potencia de salida menor que 250 vatios y de tensión nominal menor o igual a 250 voltios	1000 voltios	
c) Con tensión de excitación nominal menor o igual a 500 voltios C.C.	1000 voltios + 2 veces la tensión nominal del generador	10 veces la tensión nominal de excitación pero no menos de 1500 voltios
d) Con tensión de excitación nominal mayor que 500 voltios C.C.		4000 voltios + 2 veces la tensión nominal de excitación

* Método de arranque 1: Para motores que arrancan con el campo en cortocircuito o cerrado a través de una armadura de excitación.

Método de arranque 2: Para motores que arrancan con un resistor conectado en serie con el devanado de campo. La caída IR es el resultado de multiplicar la resistencia y la corriente que circularía por el devanado de campo, si se cortocircuitara sobre sí mismo a la tensión de arranque especificada (Referencia: NEMA Stds. MG 1, 21.22.3).

**TABLA 4-4. Pruebas de Alta Tensión (Hipot) Usando Corriente Alterna
BOBINADOS NUEVOS—CONTINUACIÓN**

TIPO DE MÁQUINA	VALOR EFICAZ DE LA TENSIÓN C.A. DE PRUEBA	
	DEVANADO DE ESTATOR PRINCIPAL	DEVANADO DE CAMPO PRINCIPAL Y ARMADURA DE LA EXCITATRIZ
MÁQUINAS SINCRÓNICAS DE C.A. SIN ESCOBILLAS Y EXCITATRICES		
Con devanados de armadura (estator) o devanados de campo de tensión nominal menor o igual que 35 voltios	500 voltios	
Con potencia menor que 250 vatios y de tensión nominal menor o igual a 250 voltios	1000 voltios	
Con tensión nominal de excitación principal menor o igual que 350 voltios C.C.	1000 voltios + 2 veces la tensión nominal de la máquina	10 veces la tensión nominal de excitación pero no menos de 1500 voltios*
Con tensión nominal de excitación principal mayor que 350 voltios C.C.		2800 voltios + 2 veces la tensión nominal de excitación*
EXCITATRICES SIN ESCOBILLAS	ESTATOR DE LA EXCITATRIZ (CAMPOS)	De forma alternativa, se permite que el rotor de la excitatriz sin escobillas (armadura) sea probado con 1000 voltios más 2 veces la tensión nominal C.A no rectificada, pero en ningún caso con menos de 1500 voltios.*
a) Con tensiones de excitación del campo de la excitatriz menores o iguales a 350 voltios C.C.	10 veces la tensión nominal de excitación pero no menos de 1500 voltios	
b) Con tensiones de excitación del campo de la excitatriz superiores a 350 voltios C.C.	2800 voltios + 2 veces la tensión nominal de excitación	
c) Con estatores excitados con C.A. (campos)	1000 voltios + 2 veces la tensión nominal C.A. del estator	
MOTORES Y GENERADORES DE CORRIENTE CONTÍNUA	DEVANADO DE CAMPO	DEVANADO DE ARMADURA
Con devanados de campo o devanados de armadura de tensión nominal menor o igual a 35 voltios	500 voltios	
Motores de potencia nominal menor o igual a 0.5 hp, generadores de potencia nominal menores que 250 vatios y que funcionan con una tensión:	1000 voltios	
a) Menor o igual a 240 voltios	1000 voltios + 2 veces la tensión nominal de la máquina	
b) Mayor que 240 voltios		
Motores de potencia nominal mayor que 0.5 hp y generadores de potencia nominal mayor o igual a 250 vatios		
MOTORES UNIVERSALES DE TENSIÓN NOMINAL MENOR O IGUAL A 250 VOLTIOS	DEVANADO DE CAMPO	DEVANADO DE ARMADURA
Motores de potencia nominal menor o igual a 0.5 hp, excepto motores para uso en herramientas portátiles	1000 voltios	
Motores de potencia nominal mayor que 0.5 hp y todos motores clasificados para uso en herramientas portátiles	1000 voltios + 2 veces la tensión nominal del motor	

* Durante las pruebas, los componentes del circuito sin escobillas (diodos, tiristores, etc.) deben ser cortocircuitados (no puestos a tierra).

Referencias: NEMA Stds. MG 1, 12.3, 15.48, 20.17, 21.22.4, 21.22.5, 23.20 y 24.49.

**Tabla 4-5. Pruebas de Alta Tensión (Hipot) Usando Corriente Continua
BOBINADOS NUEVOS**

TIPO DE MÁQUINA	TENSIÓN C.C. DE PRUEBA	
	BOBINADO DEL ESTATOR	BOBINADO DEL ROTOR
MÁQUINAS DE INDUCCIÓN DE C.A. Y MÁQUINAS SINCRÓNICAS NO EXCITADAS		
Motores de potencia nominal menor o igual a 0.5 hp, generadores de potencia nominal menor o igual a 373 vatios (o equivalente) y que funcionan con una tensión: a) Menor o igual a 250 voltios	1700 voltios	1700 voltios + 3.4 veces la tensión secundaria
b) Mayor que 250 voltios	1700 voltios + 3.4 veces la tensión nominal de la máquina	
Motores de potencia nominal mayor que 0.5 hp, generadores de potencia nominal mayor que 373 vatios (o equivalente) y para ciclo de trabajo: a) No reversible		1700 voltios + 6.8 veces la tensión secundaria
b) Reversible		
MÁQUINAS SINCRÓNICAS DE C.A. CON ANILLOS ROZANTES	BOBINADO DEL ESTATOR	BOBINADO DE CAMPO
MOTORES	1700 voltios + 3.4 veces la tensión nominal de la máquina	Método de arranque 1* 17 veces la tensión de excitación nominal pero no menos de 4250 voltios ni más de 8500 voltios
		Método de arranque 2* 3.4 veces la caída IR a través del resistor pero no menos de 4250 voltios
GENERADORES		
a) Con devanados de estator (armadura) o devanados de campo de tensión nominal menor o igual que 35 voltios	850 voltios	
b) Con potencia de salida menor que 250 vatios y de tensión nominal menor o igual a 250 voltios	1700 voltios	
c) Con tensión de excitación nominal menor o igual a 500 voltios C.C.	1700 voltios + 3.4 veces la tensión nominal del generador	17 veces la tensión nominal de excitación pero no menos de 2550 voltios
d) Con tensión de excitación nominal mayor que 500 voltios C.C.		6800 voltios + 3.4 veces la tensión nominal de excitación

* Método de arranque 1: Para motores que arrancan con el campo en cortocircuito o cerrado a través de una armadura de excitación.

Método de arranque 2: Para motores que arrancan con un resistor conectado en serie con el devanado de campo. La caída IR es el resultado de multiplicar la resistencia y la corriente que circularía por el devanado de campo, si se cortocircuitara sobre sí mismo a la tensión de arranque especificada (Referencia: NEMA Stds. MG 1, 21.22.3).

Advertencia: Después de completar la prueba de alta tensión (hipot) C.C., los devanados deben ser aterrizados conectándolos a la carcasa o al núcleo hasta que queden completamente descargados. (Referencias: IEEE Stds. 4 y 95; NEMA Stds. MG 1, 3.1.)

Tabla 4-5. Pruebas de Alta Tensión (Hipot) Usando Corriente Continua
BOBINADOS NUEVOS—CONTINUACIÓN

TIPO DE MÁQUINA	TENSIÓN C.C. DE PRUEBA	
MÁQUINAS SINCRÓNICAS DE C.A. SIN ESCOBILLAS Y EXCITATRICES	DEVANADO DE ESTATOR PRINCIPAL	DEVANADO DE CAMPO PRINCIPAL Y ARMADURA DE LA EXCITATRIZ
Con devanados de armadura (estator) o devanados de campo de tensión nominal menor o igual que 35 voltios	850 voltios	
Con potencia menor que 250 vatios y de tensión nominal menor o igual a 250 voltios	1700 voltios	
Con tensión nominal de excitación principal menor o igual que 350 voltios C.C.	1700 voltios + 3.4 veces la tensión nominal de la máquina	17 veces la tensión nominal de excitación pero no menos de 2550 voltios*
Con tensión nominal de excitación principal mayor que 350 voltios C.C.		4750 voltios + 3.4 veces la tensión nominal de excitación*
EXCITATRICES SIN ESCOBILLAS	EXCITACION DE ESTATOR (CAMPOS)	De forma alternativa, se permite que el rotor de la excitatriz sin escobillas (armadura) sea probado con 1700 voltios más 3.4 veces la tensión nominal C.A no rectificadas, pero en ningún caso con menos de 2550 voltios.*
a) Con tensiones de excitación del campo de la excitatriz menores o iguales a 350 voltios C.C.	17 veces la tensión nominal de excitación pero no menos de 2550 voltios	
b) Con tensiones de excitación del campo de la excitatriz superiores a 350 voltios C.C.	4750 voltios + 3.4 veces la tensión nominal de excitación	
c) Con estatores excitados con C.A. (campos)	1700 voltios + 3.4 veces la tensión nominal C.A. del estator	
MOTORES Y GENERADORES DE CORRIENTE CONTÍNUA	DEVANADO DE CAMPO	DEVANADO DE ARMADURA
Con devanados de campo o devanados de armadura de tensión nominal menor o igual a 35 voltios	850 voltios	
Motores de potencia nominal menor o igual a 0.5 hp, generadores de potencia nominal menores que 250 vatios y que funcionan con una tensión:	1700 voltios	
a) Menor o igual a 240 voltios	1700 voltios + 3.4 veces la tensión nominal de la máquina	
b) Mayor que 240 voltios		
Motores de potencia nominal mayor que 0.5 hp y generadores de potencia nominal mayor o igual a 250 vatios		
MOTORES UNIVERSALES DE TENSIÓN NOMINAL MENOR O IGUAL A 250 VOLTIOS	DEVANADO DE CAMPO	DEVANADO DE ARMADURA
Motores de potencia nominal menor o igual que 0.5 hp, excepto motores para uso en herramientas portátiles	1700 voltios	
Motores de potencia nominal mayor de 0.5 hp y todos motores clasificados para uso en herramientas portátiles	1700 voltios + 3.4 veces la tensión nominal del motor	

* Durante las pruebas, los componentes del circuito sin escobillas (diodos, tiristores, etc.) deben ser cortocircuitados (no puestos a tierra).

Referencias: NEMA Stds. MG 1, 12.3, 15.48, 20.17, 21.22.4, 21.22.5, 23.20 y 24.49.

Advertencia: Después de completar la prueba de alta tensión (hipot) C.C., los devanados deben ser aterrizados conectándolos a la carcasa o al núcleo hasta que queden completamente descargados. (Referencias: IEEE Stds. 4 y 95; NEMA Stds. MG 1, 3.1.)

Tabla 4-6. Valores Límites de Vibraciones Globales
MÁQUINAS MONTADAS SOBRE BASES RESILIENTES

RPM†	Límite (pulgadas)	Límite (milímetros)	Características
1200 & superior	0.15 pulg/seg pico	2.7 mm/seg rms	Velocidad constante
Inferior a 1200	2.4 mils pico-pico	0.061 mm pico-pico	Desplazamiento constante

† Para la norma IEC 60034-14 utilice desplazamiento constante en velocidades por debajo de 600 rpm y velocidad constante en velocidades mayores o iguales de 600 rpm.

Nota: Para máquinas montadas sobre bases rígidas multiplique los valores límites por 0.8.

Apéndice

Consideraciones de Seguridad para las Pruebas Eléctricas

(Este apéndice no forma parte de la EASA AR-100-2020, *Práctica Recomendada para la Reparación de Máquinas Eléctricas Rotativas.*)

A.1 SEGURIDAD PERSONAL

A.1.1 Formación

Los empleados deben estar capacitados y cualificados en el manejo seguro de todos los equipos eléctricos que se encuentren bajo su responsabilidad. La formación debe ser realizada mediante el uso de los manuales de operación relevantes, por medio de capacitación práctica y otros métodos multimedia. Los empleados deben ser informados de las reglas de seguridad pertinentes y los empleadores deben hacerlas cumplir.

A.1.2 Ropa de Trabajo

La ropa debe ser acorde con el tipo de trabajo que se va a realizar y se recomienda el uso de ropa de protección contra arco o descarga eléctrica. Durante todo el tiempo se debe usar gafas de seguridad y zapatos de trabajo y no está permitido el uso de joyas.

Cuando se realicen trabajos en o cerca de circuitos o cables energizados, el personal debe cumplir adicionalmente con las prácticas de trabajo seguro como se describe en la norma NFPA 70E, Standard for Electrical Safety in the Workplace (Norma de Seguridad Eléctrica en el Sitio de Trabajo).

A.1.3 Supervisión

Dentro del área de pruebas, los empleados deben trabajar bajo la dirección de una persona experimentada y cualificada. Al menos dos personas calificadas deben permanecer todo el tiempo dentro de la zona de pruebas.

A.1.4 Primeros Auxilios y Reanimación Cardiopulmonar

El personal debe estar entrenado en los procedimientos para la prestación de primeros auxilios, reanimación cardiopulmonar y ayuda médica de emergencia segura.

A.2 ZONA DE PRUEBAS

A.2.1 Encerramiento

La zona de pruebas debe estar cerrada por medio de una valla u otra barrera física y además debe contar con luces estroboscópicas rojas o amarillas en sus esquinas como una medida de advertencia adicional.

A.2.2 Puertas

Cuando se use una reja o jaula metálica esta debe estar conectada a tierra. Las puertas destinadas para la entrada del equipo y del personal deben contar con interruptores de seguridad para que realicen la desconexión de la potencia eléctrica en caso de que la puerta se abra.

A.2.3 Señalización

Dentro de la zona de pruebas, deben existir señales de seguridad que indiquen los riesgos eléctricos y que adviertan al personal no autorizado que no puede permanecer dentro de la misma.

A.2.4 Iluminación

Toda el área debe estar bien iluminada.

A.2.5 Equipos de Seguridad

Los equipos de primeros auxilios y extintores deben estar disponibles y el personal debe estar entrenado para su uso.

A.2.6 Espacio Disponible

Debe haber espacio suficiente disponible alrededor del equipo que se prueba para facilitar el desplazamiento del personal en sus inmediaciones. La longitud de los cables de prueba debe permitir al operador permanecer alejado del equipo bajo prueba al menos una distancia de 10 pies (3 metros). Los ejes y acoplamientos/poleas que se encuentren expuestos deben quedar protegidos.

A.3 EQUIPO BAJO PRUEBA

A.3.1 Aptitud para la Prueba

El personal que realiza la prueba debe verificar que el equipo que se va a probar se encuentra apto eléctrica y mecánicamente para ser sometido a los procedimientos de prueba propuestos

A.3.2 Atención Exclusiva

Dentro de la zona de pruebas sólo debe permanecer el equipo que se va a ser probado.

A.3.3 Puesta a Tierra

Una puesta de tierra deberá ser instalada en todos los equipos sometidos a prueba.

A.3.4 Base de Montaje

Todos los equipos bajo prueba deben ser montados sobre una base para prevenir que se muevan o vuelquen durante la ejecución de las pruebas.

A.4 TABLEROS DE PRUEBAS

A.4.1 Construcción

La construcción del tablero de pruebas debe ser del tipo "frente muerto", es decir, que no tenga partes vivas expuestas a las personas durante su operación. El tablero de pruebas debe estar protegido con dispositivos de protección instantánea o fusibles de suficiente capacidad para evitar la circulación de corrientes durante un fallo.

A.4.2 Tensiones

Los voltajes de salida deben estar claramente identificados. Para evitar que tensiones por arriba de 600V sean seleccionadas por error, será necesario seguir un procedimiento especial para poder escoger dichos niveles de tensión de prueba.

A.4.3 Luces de Advertencia

Se debe contar con luces de advertencia que indiquen cuando el tablero de pruebas se encuentra energizado y una luz de advertencia adicional debe indicar que los cables conectados al equipo bajo prueba se encuentran energizados.

A.4.4 Desconexión

Deben existir medios de fácil acceso para realizar la desconexión de la potencia eléctrica del tablero de pruebas.

A.4.5 Interruptor de Seguridad

La zona de pruebas debe contar con un interruptor manual, tipo pedal o botonera, que permita desconectar su potencia eléctrica. Como medida de seguridad, es también recomendable instalar al lado de la zona de pruebas un interruptor de emergencia remoto.

A.4.6 Cables

Los niveles de tensión, el tamaño (calibre) de los cables y los conectores usados para realizar la prueba deben ser los adecuados para la máquina que se va a probar.

A.5 ENSAYO DE ALTA TENSIÓN (HIPOT) A TIERRA (MASA)

Para evitar daños mayores, si ocurre un fallo durante la prueba de alta tensión (hipo) C.A o C.C, la corriente de prueba debe estar limitada por impedancia o por la operación de una protección de disparo instantáneo.

Bibliografía

Las referencias citadas a continuación corresponden a las fechas de revisión indicadas.

- ANSI/ABMA Standard 7-1995: *Shaft and Housing Fits for Metric Radial Ball and Roller Bearings (Except Tapered Roller Bearings) Conforming to Basic Boundary Plans*. American Bearing Manufacturers Association, Inc. and American National Standards Institute. New York, NY, 1995.
- ANSI S2.41-1985: *Mechanical Vibration of Large Rotating Machines With Speed Ranges From 10 to 200 RPS. Measurement And Evaluation of Vibration Severity In Situ*. American National Standards Institute. New York, NY, 1985; reaffirmed 1997. (Note: Published originally by International Organization for Standardization; Geneva, Switzerland, 1985; withdrawn by ISO in 1995 but retained by ANSI.)
- ISO/IEC 17025:2017: *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*. International Electrotechnical Commission. Geneva, Switzerland, 2017.
- CSA-C392-11: *Testing of Three-Phase Squirrel Cage Induction Motors During Refurbishment*. Canadian Standards Association. Toronto, ON, 2011.
- IEC Standard Publication 60034-8: *Rotating Electrical Machines, Part 8: Terminal Markings and Direction of Rotation of Rotating Machines*. International Electrotechnical Commission. Geneva, Switzerland, 2007; AMD1:2014.
- IEC Standard Publication 60034-23: *Rotating Electrical Machines, Part 23: Repair, overhaul and reclamation*. International Electrotechnical Commission. Geneva, Switzerland, 2019; first edition, 2019.
- IEC Standard Publication 60072-1: *Part 1—Frame Numbers 56 to 400 and Flange Numbers 55 to 1080*. International Electrotechnical Commission. Geneva, Switzerland; seventh edition, 2000.
- IEC Standard Publication 60136: *Dimensions of Brushes and Brush-holders for Electric Machinery*. International Electrotechnical Commission. Geneva, Switzerland; second edition, 1986.
- IEEE Standard 4-2013: *Standard Techniques for High-Voltage Testing*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. New York, NY, 2013.
- IEEE Standard 43-2013: *IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. New York, NY, 2014.
- IEEE Standard 56-2016: *IEEE Guide for Insulation Maintenance of Electric Machines*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. New York, NY, 2016.
- IEEE Standard 95-2002: *IEEE Recommended Practice for Insulation Testing of Large AC Rotating Machinery with High Direct Voltage*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. New York, NY, 2002; Reaffirmed 2012.
- IEEE Standard 112-2017: *IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. New York, NY, 2018.
- IEEE Standard 115-2009: *IEEE Guide: Test Procedures for Synchronous Machines*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. New York, NY, 2010.
- IEEE Standard 432-1992: *IEEE Guide for Insulation Maintenance for Rotating Electric Machinery (5 hp to less than 10 000 hp)*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. New York, NY, 1992.
- IEEE Standard 522-2004: *IEEE Guide for Testing Turn-To-Turn Insulation on Form-Wound Stator Coils for Alternating-Current Rotating Electric Machines*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. New York, NY, 2004.
- IEEE Standard 792-1995: *IEEE Recommended Practice for the Evaluation of the Impulse Voltage Capability of Insulation Systems for AC Electric Machinery Employing Form-Wound Stator Coils*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. New York, NY, 1995.
- IEEE Standard 1068-2015: *IEEE Standard for the Repair and Rewinding of AC Motors for the Petroleum, Chemical, and Process Industries*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. New York, NY, 2016.
- ISO 10012:2003: *Measurement management systems – Requirements for measurement processes and measuring equipment*. International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland, 2003; Confirmed 2015.
- ISO 21940-11: *Mechanical vibration – rotor balancing – Part 11: Procedures and tolerances for rotors with rigid behaviour*. International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland, 2016.
- ISO 21940-12: *Mechanical vibration – rotor balancing – Part 12: Procedures and tolerances for rotors with flexible behaviour*. International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland, 2016.
- ISO 21940-14: *Mechanical vibration – rotor balancing – Part 14: Procedures for assessing balance error*. International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland, 2012.

ISO 20816-1:2016: *Mechanical vibration -- Measurement and evaluation of machine vibration -- Part 1: General guidelines*. International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland, 2016.

NEMA Standards MG 1-2016: *Motors and Generators*. National Electrical Manufacturers Association. Rosslyn, VA; 2018.

NFPA Standard 70E-2018: *Standard for Electrical Safety in the Workplace*. National Fire Protection Association, Quincy, MA; 2018.

29CFR1910.331 - .335 OSHA: *Electrical Safety-Related Work Practices*. Occupational Safety And Health Administration. Washington, DC; revised 2014.

Organismos de Normalización y Otros Recursos

Los siguientes organismos producen documentos y normas y algunos de ellos están referenciados en la *Norma EASA AR-100-2020 Práctica Recomendada para la Reparación de Máquinas Eléctricas Rotativas*.

ABMA–American Bearing Manufacturers Association
2025 M St., NW, Ste. 800
Washington, DC 20036
202-367-1155
Fax: 202-367-2155
Website: www.americanbearings.com
Email: abma@dc.sba.com

ANSI–American National Standards Institute

Headquarters
1819 L St., NW, 6th Floor
Washington, DC 20036
202-293-8020
Fax: 202-293-9287

Operations
25 West 43rd St., 4th Floor
New York, NY 10036
212-642-4900
Fax: 212-398-0023
Website: www.ansi.org
Email: info@ansi.org

CSA–Canadian Standards Association
178 Rexdale Blvd.
Rexdale, ON M9W 1R3
Canada
416-747-4000
866-797-4272
Fax: 416-747-4149
Website: www.csa-international.org
Email: certinfo@csa-international.org

IEC–International Electrotechnical Commission*
3, rue de Varembe
P.O. Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
41-22-919-02-11
Fax: 41-22-919-03-00
Website: www.iec.ch
Email: custserv@iec.ch

Publications
Available from IHS, Inverness, CO

Website: www.globalihs.com
Email: global@ihs.com

IEEE–Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
3 Park Ave., 17th Floor
New York, NY 10016-5997
212-419-7900
Fax: 212-752-4929
Website: www.ieee.org
Publications
IEEE Operations Center
445 Hoes Lane
Piscataway, NJ 08854-4141
732-981-0060
Fax: 732-981-9667

ISO–International Organization for Standardization*
1, ch. de la Voie-Creuse, Case postale 56
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
41-22-749-01-11
Fax: 41-22-733-34-30
Website: www.iso.org
Email: central@iso.org

Publications
Available from IHS, Inverness, CO
Website: www.globalihs.com
Email: global@ihs.com

MIL-STD–United States Government Printing Office
710 North Capitol St. N.W.
Washington, DC 20420
202-512-1800
866-512-1800
Fax: 202-512-2104
Website: www.gpo.gov

Orders
Website: bookstore.gpo.gov (Do **not** put “www.” in front of this address)

NEMA–National Electrical Manufacturers Association
1300 North 17th St., Ste. 1752
Rosslyn, VA 22209
703-841-3200
Fax: 703-841-5900
Website: www.nema.org

Sales
800-854-7179
303-397-7956

* Las normas ISO e IEC se encuentran disponibles a través de ANSI, que es el representante estadounidense de todos los grupos de normalización internacionales

Fax: 303-397-2740
Website: globalihs.com
Email: global@ihs.com

NFPA–National Fire
Protection Association
1 Batterymarch Park
Quincy, MA 02269-7471
617-770-3000
95-800-844-6058 (Mexico-toll free)
Fax: 617-770-0700
Website: www.nfpa.org

Sales
800-344-3555, Option 1
617-770-3000, Option 1
Fax: 508-895-8301

NIST–National Institute of
Standards and Technology
100 Bureau Dr.
Stop 1070
Gaithersburg, MD 20899-1070
301-975-6478
Federal Relay Service: 800-877-8339 (TTY)
Website: www.nist.gov
Email: inquiries@nist.gov

UL–Underwriters Laboratories, Inc.
333 Pfingsten Rd.
Northbrook, IL 60062-2096
847-272-8800
Website: www.ul.com
Customer Service–All initial US inquiries
2600 N.W. Lake Rd.
Camas, WA 98607-8542
877-854-3577
Fax: 360-817-6278
Email: cec.us.ul.com
Product Directories and CDs
Underwriters Laboratories, Inc.
333 Pfingsten Rd.
Northbrook, IL 60062-2096
847-664-3480
Fax: 847-509-6243
Email: directories@us.ul.com



Electrical Apparatus Service Association, Inc.
1331 Baur Blvd. • St. Louis, MO • 63132 • U.S.A. • www.easa.com