

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



**PROPUESTA PARA EL DESARROLLO DE UNA ESCUELA
TÉCNICA PARA CAPACITACIÓN DE REPARADORES
DE MOTORES ELÉCTRICOS**

PRESENTADO POR:

**LUIS MARIO ALARCÓN AGUIRRE
KEVIN FRANCISCO ARGUETA NAVAS
JOSUÉ ADALBERTO ARIAS BENAVIDES**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

CIUDAD UNIVERSITARIA, SEPTIEMBRE DE 2019

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

MSC. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

MSc. CRISTÓBAL HERNÁN RÍOS BENÍTEZ

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO:

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO:

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

DIRECTOR:

ING. ARMANDO MARTÍNEZ CALDERÓN

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO ELECTRICISTA

Título:

**PROPUESTA PARA EL DESARROLLO DE UNA ESCUELA
TÉCNICA PARA CAPACITACIÓN DE REPARADORES
DE MOTORES ELÉCTRICOS**

Presentado por:

**LUIS MARIO ALARCÓN AGUIRRE
KEVIN FRANCISCO ARGUETA NAVAS
JOSUÉ ADALBERTO ARIAS BENAVIDES**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

ING. ARMANDO MARTÍNEZ CALDERÓN

SAN SALVADOR, SEPTIEMBRE 2019

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

ING. ARMANDO MARTÍNEZ CALDERÓN

ACTA DE CONSTANCIA DE NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha, Jueves 22 de agosto de 2019, en la Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a las 11:00 a.m. horas, en presencia de las siguientes autoridades de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador:

1. Ing. Armando Martínez Calderón
Director

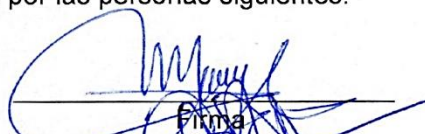

Firma

2. MSc. José Wilber Calderón Urrutia
Secretario


Firma

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


- ING. ARMANDO MARTÍNEZ CALDERÓN
(Docente Asesor)


Firma

- MSc. JORGE ALBERTO ZETINO CHICAS


Firma

- ING. JOSE MIGUEL HERNANDEZ


Firma

Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

PROPUESTA PARA EL DESARROLLO DE UNA ESCUELA TÉCNICA PARA
CAPACITACIÓN DE REPARADORES DE MOTORES ELÉCTRICOS

A cargo de los Bachilleres:

- ALARCÓN AGUIRRE LUIS MARIO

- ARGUETA NAVAS KEVIN FRANCISCO

- ARIAS BENAVIDES JOSUE ADALBERTO

Habiendo obtenido en el presente Trabajo una nota promedio de la defensa final: 9.3

(nueve punto tres .)

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, quiero agradecer a mis maravillosos padres que me han apoyado y siempre han creído en mí y permitirme estudiar para obtener el título de Ingeniero Electricista. A Marigel Violeta Aguirre Sánchez y Mario Antonio Alarcón Vizcarra y gracias a ellos he podido conseguir este logro personal y a mi hermana Marigel Violeta Alarcón Aguirre por estar conmigo y darme animo a lo largo de la carrera.

Agradecer a nuestro asesor Ing. Armando Martínez Calderón que nos guio durante todo el proceso dando sus buenos consejos y observaciones además de ayudar a escoger el tema que desarrollamos.

Agradecer a mis compañeros de Trabajo de Graduación Kevin Francisco Argueta Navas y Josué Adalberto Arias Benavides por nunca rendirnos, aunque hubo momentos complicados supimos solventarlos y salir adelante.

Agradezco a mi novia Rosario y amigos por apoyarme a lo largo de la carrera, con su apoyo se aligero un poco la carga académica a lo largo de los años y también por aquellos que no pudieron terminar por el destino o por reveses de la vida también quiero dedicarles estas palabras.

A mi familia, tíos, primos y sobrinos quiero agradecerles porque siempre me apoyaron con su cariño y sus consejos algunos en más o menos medida, pero siempre supe que podía contar con vuestro apoyo.

Agradezco a las personas que nos apoyan en la Escuela de Ingeniería Eléctrica, al Sr. Salvador Posada, Sr Juan Carlos Olano y Sra. Reina Vides por siempre brindarnos su ayuda y buenos consejos.

Y agradecer a todos los docentes a lo largo de la carrera que supieron transmitir su conocimiento.

LUIS MARIO ALARCON AGUIRRE

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por guiarme y permitirme culminar mis estudios, porque me ha dado las fuerzas necesarias para seguir adelante a pesar de todas las dificultades.

Agradezco a mi madre Gloria Navas por brindarme la oportunidad de continuar mis estudios universitarios, porque siempre estuvo apoyándome y dándome ánimos para salir adelante, sin ella no hubiera sido posible llegar al día en que pudiera presentar mi trabajo de graduación para optar al título de Ingeniero Electricista. A mi padre Roberto Argueta por estar pendiente de mí, por ayudarme con los libros que serían de mucha utilidad durante toda mi carrera y más aun con los libros que me dio para ampliar mis conocimientos y la información presentada en este trabajo de graduación. A mi hermano Fernando Argueta Navas por brindarme la oportunidad de continuar con mis estudios y ser un apoyo muy grande durante todo este tiempo, gracias a él por los ánimos que me dio.

Agradezco a mis abuelos Hilario y Pilar, a toda mi familia por ser la fuente de inspiración y de apoyo emocional para que siguiera con mis estudios y que llegará el día en que pudiera terminar este trabajo de graduación. Muchas gracias siempre por orar por mí salud, mi bienestar y muchas gracias por siempre desearme lo mejor.

Agradezco a nuestro asesor Ing. Armando Martínez Calderón por guiarnos siempre por el camino correcto, por la paciencia que nos tuvo, por brindarnos su conocimiento y sus recomendaciones y agradezco la confianza que puso en nosotros para salir adelante con el tema de nuestro trabajo de graduación.

Agradezco al personal administrativo de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, al Sr. Salvador Posada, Sr Juan Carlos Olano y Sra. Reina Vides por siempre brindarnos su colaboración, sus sabias palabras, gracias por la orientación personal y profesional brindada durante los todos estos años.

Agradezco a los amigos que hice durante mis estudios universitarios, muchas gracias por los días y años que pasamos estudiando y esforzándonos para salir adelante. Gracias a Luis Alarcón, Josué Benavides, José Alemán, Daniel Quijada, Rene Granados, Pablo Chafoya, Nairobi Ventura, Sasi Liset, Noé Díaz, Carlos Humberto, Marvin López y a Javier Cruz Q. E. P. D. Gracias por todo su apoyo y su ayuda durante mis estudios y vida personal.

KEVIN FRANCISCO ARGUETA NAVAS

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios por permitirme completar esta meta de obtener mi titulación profesional de manera exitosa, ya que siempre me ilumino con su palabra y me brindo su fuerza ante los problemas que se presentaron a lo largo de mi carrera.

A mis Padres Carlos Arias y María Benavides. Ha sido una bendición tenerlos como padres porque siempre conté con su amor, y su fe hacia mi persona, por ser esa fuente de apoyo constante en todos los niveles, que me animaban a continuar, por difícil que fuera, siendo a través de su esfuerzo y su buen ejemplo, sus buenos valores y que con orgullo y satisfacción dedico este triunfo a ustedes. Agradeciendo su esfuerzo y sus oraciones para que verme triunfar. Nunca podre agradecerles todo lo que me han dado.

A mi Hermana: Azucena Arias, que también estuvo presente a mi lado con su amor y apoyo incondicional a quien yo puedo recurrir ante un problema y que siempre creyó en mí y me lo demostró a través de la comprensión y colaboración a lo largo del trayecto de estudios y de toda mi vida, compartiendo así el privilegio de aprender cosas buenas de ella.

A mi Familia que fueran demasiados nombres para corresponderles con el cariño y apoyo que me brindaron todo este tiempo y que siempre con sus oraciones y palabras estuvieron conmigo.

A nuestro asesor, Ing. Armando Calderón, que con su dedicación y sus conocimientos brindados a este trabajo fue una fuente de aprendizaje que complemento nuestro trabajo de graduación.

A mis Compañeros de tesis, Kevin Navas y Luis Alarcón, que con nuestro esfuerzo y paciencia logramos realizar, incluyendo desveladas y dificultades, este trabajo de graduación y logramos aprender y conocer muchas cosas nuevas. Y que nos permitió sobre todo compartir el éxito de obtener nuestra titulación Profesional.

A las personas que aun siendo su trabajo siempre nos ayudan y nos brindan su cariño y amistad de la escuela de Ing. Eléctrica: Sr. Salvador Posada, Sr Juan Carlos Olano y Reina Vides, que con su vital colaboración y su orientación recibida se realizó nuestra investigación y su apoyo brindado durante la realización de mi carrera. A mis Amigos y compañeros por los buenos y malos momentos que compartimos a lo largo de la carrera por brindarme su apoyo y ayuda en todo momento de mi formación profesional.

JOSUÉ ADALBERTO ARIAS BENAVIDES

CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	11
ÍNDICE DE FIGURAS	12
INTRODUCCIÓN	14
OBJETIVOS	15
JUSTIFICACIÓN	16
GLOSARIO TÉCNICO	17
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES	21
1.1 EVALUACIÓN DEL IMPACTO SOBRE EL PARÁMETRO EFICIENCIA ELÉCTRICA EN MOTORES ELÉCTRICOS REBOBINADOS DE BAJO VOLTAJE.	21
1.2 DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DEL SECTOR REPARACIÓN Y REBOBINADO DE MOTORES.	22
1.3 PROPUESTA NACIONAL DE ESTÁNDAR PARA LA REPARACIÓN Y REBOBINADO DE MOTORES ELÉCTRICOS.	23
1.4 PROPUESTA DE LABORATORIO DE PRUEBAS DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS.	24
1.5 NORMAS Y ESTÁNDARES NACIONALES E INTERNACIONALES.....	24
CAPÍTULO 2: CURSO A IMPARTIRSE EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA SOBRE REPARACIÓN Y REBOBINADO DE MOTORES BASADO EN EL CURSO DE EASA/AEMT.....	26
2.1 MÓDULO I: INTRODUCCIÓN A MOTORES	26
2.2 MÓDULO II: INSPECCIÓN INICIAL	29
2.3 MÓDULO III: INSPECCIÓN INTERNA.....	30
2.4 MÓDULO IV: REMOCIÓN DEL ANTIGUO BOBINADO Y LIMPIEZA DEL NÚCLEO	32
2.5 MÓDULO V: REPARACIONES MECÁNICAS QUE PUEDEN AFECTAR LA EFICIENCIA	34
2.6 MÓDULO VI: REBOBINADO DEL MOTOR	35
2.7 MÓDULO VII: PRUEBA DEL NUEVO BOBINADO	36
2.8 MÓDULO VIII: MONTAJE DEL MOTOR	39
2.9 MÓDULO IX: PRUEBAS ELÉCTRICAS.....	40
CAPÍTULO 3: LABORATORIO DE PRUEBAS DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS.....	42
3.1 REQUERIMIENTOS EN BASE A NORMAS Y RECOMENDACIONES PRÁCTICAS PARA UN AMBIENTE CONTROLADO.....	43
3.1.1 REQUERIMIENTOS AMBIENTALES.....	43

3.1.2	REQUERIMIENTOS ELÉCTRICOS	43
3.1.3	CONDICIONES DE SEGURIDAD HUMANA	43
3.2	PROCEDIMIENTOS QUE SE APLICAN A LAS PRUEBAS DE MÁQUINAS ELECTRICAS BASADO EN LA IEEE STD. 112	44
3.2.1	MÉTODOS DE PRUEBA DE EFICIENCIA	44
3.2.2	GUÍA PARA ESCOGER EL MÉTODO DE PRUEBA DE EFICIENCIA	45
3.3	ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE CONDICIONES AMBIENTALES, ELÉCTRICAS Y OCUPACIONALES ACTUALES DEL LUGAR DONDE SE IMPLEMENTARÁ EL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS	45
3.3.1	MEDICIÓN DE ILUMINACION ACTUAL DEL ALA SUR DEL EDIFICIO	46
3.3.2	MEDICIÓN DE TEMPERATURA DEL ALA SUR DEL EDIFICIO	46
3.3.3	MEDICIÓN DE HUMEDAD RELATIVA DEL ALA SUR DEL EDIFICIO	46
3.3.4	MEDICIÓN DE RUIDO DEL EDIFICIO	46
3.3.5	MEDICIÓN DE ENERGIA DEL EDIFICIO	46
3.3.6	MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE TIERRA DEL EDIFICIO	47
3.4	EQUIPAMIENTO A UTILIZAR	47
3.4.1	PROTECCIÓN PERSONAL	47
3.4.2	EQUIPOS DE LABORATORIO	48
3.4.3	HERRAMIENTAS Y EQUIPOS NECESARIOS PARA USO EN LA ESCUELA TÉCNICA DE CAPACITACIÓN	61
3.5	DISTRIBUCIÓN EN PLANTA DE LA MAQUINARIA A UBICAR EN EL LABORATORIO.	62
	CONCLUSIONES.....	64
	PROPUESTAS Y RECOMENDACIONES.....	65
	BIBLIOGRAFIA	66
	APÉNDICE A - LOCALIZACIÓN DE AVERÍAS EN MÁQUINAS DE CORRIENTE ALTERNA.....	68
	APÉNDICE B - TABLAS DE CONDUCTORES, CALIBRES EQUIVALENTES Y CORRIENTE ABSORVIDA ...	77

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 2:

TABLA 2. 1 CLASES DE AISLAMIENTO MÁS COMÚNMENTE UTILIZADOS.....	38
TABLA 2. 2 INTERPRETACIÓN DE LAS MEDICIONES OBTENIDAS PARA ÍNDICE DE POLARIZACIÓN Y ABSORCIÓN DIELECTRICA.	41

Capítulo 3:

TABLA 3. 1 PROMEDIO DE LOS NIVELES DE TENSION Y REGULACION OBTENIDA	46
TABLA 3. 2 COMPARACIÓN DE LAS NORMAS IEEE E IEC RESPECTO A LA PRECISIÓN LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN REQUERIDOS.	49
TABLA 3. 3 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ELÉCTRICAS DEL ANALIZADOR DE VIBRACIONES FLUKE 810.....	54
TABLA 3. 4 ESPECIFICACIONES DEL COMPROBADOR DE AISLAMIENTO FLUKE 1550C FC 5 kV.....	56
TABLA 3. 5 CARACTERÍSTICAS DE CÁMARA TERMOGRÁFICA FIJA FLUKE RSE600.....	57
TABLA 3. 6 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL HORNO.	58
TABLA 3. 7 DATOS TÉCNICOS Y ESPECIFICACIONES DE LA MAQUINA BOBINADORA.	59
TABLA 3. 8 ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO PARA MEDICIÓN DE RESISTENCIA ÓHMICA.....	61
TABLA 3. 9 DESCRIPCIÓN Y DE LOS EQUIPOS DENTRO DEL EDIFICIO DE POTENCIA.....	63

Apéndice 1:

TABLA A. 1 RESUMEN DE AVERÍAS Y SOLUCIONES EN MÁQUINAS DE CORRIENTE ALTERNA.	76
---	----

Apéndice 2:

TABLA B. 1 CALIBRE DE CONDUCTORES DE COBRE AWG.	79
TABLA B. 2 CALIBRES EQUIVALENTES DE CONDUCTORES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE BOBINAS.	79
TABLA B. 3 CORRIENTES A PLENA CARGA EN FUNCIÓN DE LA POTENCIA Y EL VOLTAJE.	80
TABLA B. 4 RANGOS DE VELOCIDAD Y POTENCIA EN MOTORES DE INDUCCIÓN POLIFÁSICOS A 50/60 Hz.....	81
TABLA B. 5 CORRIENTE MÁXIMA DE ROTOR BLOQUEADO PARA MOTORES POLIFÁSICOS A 230 V Y 380 V, DISEÑO B, C Y D.....	82
TABLA B. 6 VALORES MÍNIMOS DE EFICIENCIA BASADO EN UNA DIFERENCIA DE 20% DE PERDIDAS	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 1:

FIGURA 1. 1 FOTOGRAFÍAS QUE MUESTRAN LA FORMA EN QUE SE LLEVA A CABO EL REGISTRO EN LOS TALLERES. ¹	21
FIGURA 1. 2 PRESENTACIÓN DE LA REDUCCIÓN DE LA EFICIENCIA POR CADA REBOBINADO SEGÚN SU POTENCIA EN HP. ⁹	22

Capítulo 2:

FIGURA 2. 1 PLACA DE DATOS DE UN MOTOR ELÉCTRICO.	27
FIGURA 2. 2 DESARME DE MOTOR Y SUS COMPONENTES.	27
FIGURA 2. 3 PROCESO REAL PARA LA TOMA DE DECISIONES, ANTE LA FALLA DE UN MOTOR.	28
FIGURA 2. 4 FALLOS MÁS COMUNES EN UN MOTOR.	29
FIGURA 2. 5 A) ROCE PEQUEÑO EN EL ESTATOR. B) ROCE GRAVE E IRREPARABLE.	31
FIGURA 2. 6 DECOLORACIÓN GENERAL EN EL DEVANADO DEL ESTATOR QUE NORMALMENTE INDICA EXCESIVA TEMPERATURA.	31
FIGURA 2. 7 HORNO DE QUEMADO CON TEMPERATURA CONTROLADA.	32
FIGURA 2. 8 ESTE NÚCLEO HA SIDO PARCIALMENTE LIMPIADO CON UNA LAVADORA DE ALTA PRESIÓN.	33
FIGURA 2. 9 ESQUEMA DE LA PRUEBA DEL NÚCLEO Y TERMOGRAFÍA DE UN MOTOR BAJO PRUEBA EN MALAS CONDICIONES.	33
FIGURA 2. 10 EFECTO DEL CAMBIO DE TAMAÑO DEL VENTILADOR.	35
FIGURA 2. 11 FORMA DE ONDA CORRECTA DURANTE LA PRUEBA DE EQUILIBRIO DE FASES/ONDA DE CHOQUE.	37
FIGURA 2. 12 FORMA DE ONDA INCORRECTA QUE INDICA FALLO DURANTE LA PRUEBA DE EQUILIBRIO DE FASES/ONDA.	37
FIGURA 2. 13 CONEXIÓN PARA LA PRUEBA CON EL MEGGER EN LA CAJA DE CONEXIONES DEL MOTOR.	41

Capítulo 3:

FIGURA 3. 1 VISTA DE PLANTA Y DIMENSIONES DEL EDIFICIO DE POTENCIA DE LA EIE.	45
FIGURA 3. 2 RESULTADO DE LA MEDICIÓN DE LA RED DE TIERRA FUE DE LOS 1.98Ω	47
FIGURA 3. 3 EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL.	48
FIGURA 3. 4 DIAGRAMA PRACTICO PARA LAS PRUEBAS BAJO LA NORMA IEEE-112.	48
FIGURA 3. 5 DIAGRAMA DESCRIPTIVO DEL EQUIPAMIENTO DEL LABORATORIO.	48
FIGURA 3. 6 BANCO DE PRUEBAS CONFORME A LOS DEFINIDOS POR LAS NORMAS IEEE 1068, IEEE-112 E IEC60034-1.	49
FIGURA 3. 7 EJEMPLO DE CONEXIÓN DE SISTEMA DE LAZO ABIERTO.	51
FIGURA 3. 8 EJEMPLO DE CONEXIÓN DE SISTEMA DE LAZO CERRADO.	51
FIGURA 3. 9 SOFTWARE MAGTROL M-TEST A UTILIZAR CON EL BANCO DE PRUEBAS.	52
FIGURA 3. 10 SOFTWARE MAGTROL'S DUAL TEST 7.	52
FIGURA 3. 11 SISTEMA DE CONEXIONES DE LOS EQUIPOS MAGTROL PARA SER IMPLEMENTADO EN LABORATORIOS.	53
FIGURA 3. 12 EJEMPLO GRAFICO OBTENIDO DE LOS PARÁMETROS A DETERMINAR.	53
FIGURA 3. 13 ANALIZADOR DE VIBRACIONES FLUKE 810.	54
FIGURA 3. 14 COMPROBADOR DE AISLAMIENTO FLUKE 1550C FC 5 KV.	55
FIGURA 3. 15 CÁMARA TERMOGRÁFICA FIJA FLUKE RSE600.	57
FIGURA 3. 16 HORNO DE SECADO DE MOTORES Y TRANSFORMADORES.	58
FIGURA 3. 17 MÁQUINA BOBINADORA SMT MODELO LR100.	59

FIGURA 3. 18 EQUIPO DE MEDICIÓN DE RESISTENCIA ÓHMICA.	60
FIGURA 3. 19 DISTRIBUCIÓN DE LA MAQUINARIA Y EQUIPOS DE LABORATORIO.	63

Apéndice 1:

FIGURA A. 1 LOCALIZACIÓN DE LA FASE PUESTA A MASA EN ESTATOR Y ROTOR.	68
FIGURA A. 2 LOCALIZACIÓN DE LA BOBINA O GRUPO DE BOBINAS PUESTA A MASA.	69
FIGURA A. 3 LOCALIZACIÓN DE CORTOCIRCUITO ENTRE FASES.	70
FIGURA A. 4 LOCALIZACIÓN DE ESPIRAS EN CORTOCIRCUITO, EN ESTATOR Y ROTOR.	71
FIGURA A. 5 LOCALIZACIÓN DE CONDUCTORES CORTADOS.	72
FIGURA A. 6 DETERMINACIÓN DE LA POLARIDAD CORRECTA DE UN ESTATOR.	73
FIGURA A. 7 VERIFICACIÓN DE LA POLARIDAD CORRECTA EN UN ROTOR DEVANADO, CONECTADO EN ESTRELLA.	74

Apéndice 2:

FIGURA B. 1 CALBRADOR O GALGA PARA CONDUCTORES ELÉCTRICOS DESNUDOS.	77
--	----

INTRODUCCIÓN

En los diferentes estudios referentes al tema realizados por la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador nos muestran que el sector de reparación de motores necesita urgentemente tomar en cuenta el buen desarrollo de las reparaciones, esto si consideramos un proyecto de uso eficiente de la energía y la reducción en los costos de operación de los motores eléctricos mediante buenas prácticas y dando certificación de las reparaciones, se puede conseguir un ahorro de energía y de dinero por reducción de pérdidas en dichas maquinas, sabiendo entonces que tales prácticas tienen que ser realizadas tomando en cuenta la capacidad técnica y equipamiento de los centros de formación, este trabajo pretende dar una propuesta para implementar una escuela técnica de capacitación en el rebobinado y reparación de motores eléctricos.

El mercado actual de reparación y rebobinado de motores no cumple muchas veces con estándares internacionales sobre métodos de reparación y en los centros de estudios paulatinamente se va disminuyendo su enseñanza. Por ello, se ha visto la necesidad de desarrollar una escuela técnica de reparación en la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador

En este trabajo de graduación se presenta una propuesta para implementar un curso de formación para la reparación de motores trifásicos de inducción tipo jaula de ardilla de diferentes capacidades hasta los 250HP, enfocado especialmente en el rebobinado. Para ello se ha basado en el curso de EASA/AEMT, en normas y estándares internacionales como IEEE, IEC, NEMA, ANSI y además de trabajos de graduación presentados anteriormente en la Universidad de El Salvador como se mencionó anteriormente, y que servirán de respaldo a la información presentada en este documento.

También se aborda la implementación de un laboratorio de pruebas para dichos motores reparados, que deberá reunir todas las condiciones idóneas según las especificadas en las normas internacionales, para la realización de las pruebas aplicables a los motores eléctricos, esto para brindar certificación y garantía al trabajo realizado, como también, un complemento a los procedimientos aplicados en la escuela técnica de capacitación en el rebobinado y reparación de motores eléctricos y para que pueda ser implementado y administrado en la Universidad de El Salvador.

OBJETIVOS

GENERAL

Desarrollar una propuesta que permita gestionar la implementación de una escuela técnica para capacitación de reparadores de motores eléctricos.

ESPECÍFICOS

- Analizar el estado actual del país en el sector talleres de reparación de motores eléctricos.
- Definir cuáles serán los procedimientos adecuados para llevar a cabo el correcto trabajo de rebobinado de motores eléctricos trifásicos.
- Desarrollar una propuesta para la implementación de un laboratorio de pruebas en motores eléctricos, comprobando trabajos realizados previamente.
- Desarrollar una propuesta para la organización e implementación de una escuela técnica para la formación y capacitación de personal calificado para la reparación de motores eléctricos trifásicos.

JUSTIFICACIÓN

Las reparaciones bien realizadas pueden dar como resultado que las características de un motor eléctrico rebobinado pueden igualar o superar las características de un motor nuevo, considerando que actualmente no se cumplen estas condiciones (resultado de nuestras investigaciones previas), la evaluación técnica económica de rebobinar un motor resulta por tanto no recomendada y predomina el uso de un motor nuevo, pero esto incrementa costos de adquisición y daño por reparación, y además, resuelta en un incremento en costos de operación por pérdidas eléctricas.

El tema cobra importancia aquí cuando se traduce a términos monetarios, y es verdad que la inversión que se hace en reparar un motor suele ser mucho más económica que la de adquirir una máquina nueva. Pero además la eficiencia de la máquina se traduce a términos económicos cuando en la reparación se sacrifica esta y otras características.

Por tanto, si el sector es mejorado en la formación técnica de actualidad en tema de las reparaciones, se puede mejorar y aumentar el desarrollo de fuentes de trabajo y reducir el consumo de energía en el sector industrial en donde el uso de motores eléctricos es grande y/o de grandes capacidades.

GLOSARIO TÉCNICO

UES: Universidad de El Salvador.

EIE: Escuela de Ingeniería Eléctrica.

ANSI: The American National Standards Institute, es una organización encargada de supervisar el desarrollo de normas para los servicios, productos, procesos y sistemas en los Estados Unidos.

El ANSI forma parte de la Organización Internacional para la Estandarización (ISO) y de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC).

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

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

IEC: The International Electrotechnical Commission (La Comisión Electrotécnica Internacional) es el organismo internacional de evaluación de conformidad y estándares para todos los campos de la electrotecnología.

NEC: National Electrical Code o Código Eléctrico Nacional.

EASA: Electrical Apparatus Service Association, es una organización de comercio internacional de más de 1.800 empresas de ventas y servicios electromecánicos en casi 80 países. A través de sus numerosos programas de ingeniería y educación, EASA proporciona a los miembros un medio para mantenerse al día sobre materiales, equipos y tecnología de punta.

AEMT: The European Association for Machine Translation (AEMT) es una organización que sirve a la creciente comunidad de personas interesadas en MT incluidos usuarios, desarrolladores e investigadores de esta tecnología cada vez más viable.

Motor eléctrico: Es una máquina eléctrica que transforma energía eléctrica en energía mecánica por medio de interacciones electromagnéticas.

Motor abierto: Es un motor que permite el paso del aire exterior alrededor y a través de sus embobinados, para su enfriamiento.

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

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

Motor vertical: Es aquel cuya posición de instalación debe ser con su eje de rotación perpendicular al plano de montaje.

Flecha: sinónimo de eje del motor.

Rodamiento: cojinete, balinero o balero.

Acoplamientos: unión de dos piezas.

Rotor: parte giratoria de una máquina electromecánica (motor).

Devanado: Sinónimo de embobinado.

Espiras: cada una de las vueltas de una bobina.

Núcleo: empaquetamiento de chapas magnéticas.

Aislamiento eléctrico: En el que se impide el paso de la corriente eléctrica.

Aislamiento térmico: Que se opone al paso del calor por conducción.

Estator: es una parte fija de una máquina rotativa (motor).

Conductividad eléctrica: Capacidad de un medio o espacio físico de conducir la electricidad.

Rotacional: Inducir rotación alrededor de un punto.

Entrehierro: Al espacio de aire existente entre el estator y el rotor.

Potencia nominal: Es la potencia mecánica de salida, indicada en la placa de datos del motor.

Temperatura ambiente: Es la temperatura del medio que rodea el motor, generalmente aire y que está en contacto con sus partes externas, enfriándolo.

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

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

Corriente de arranque (rotor bloqueado): Es la corriente que demanda el motor al arrancar, y que corresponde a condiciones de rotor bloqueado o velocidad cero. Aplicando tensión y frecuencia eléctricas nominales.

Deslizamiento: Es la diferencia entre la frecuencia de rotación (velocidad) síncrona y de plena carga de un motor de inducción, expresada en por ciento.

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

Eficiencia nominal: Es el valor de la eficiencia mostrado en la placa de datos del motor, representa el valor máximo que un motor puede alcanzar en condiciones plenas de tensión y corriente. Dos términos que deben ser entendidos son “nominales” y “mínimos” en relación con la eficiencia de plena-carga. Aquí están las últimas definiciones, desde MG 1-1993, Parte 12.58.2:

- Eficiencia de plena-carga Nominal: “...no debería ser mayor que la eficiencia promedio de una gran población de motores del mismo diseño.”
- Eficiencia de plena-carga Mínima: Las pérdidas no son más de 20% más grandes que para la eficiencia nominal (de la Tabla 12-8 de NEMA MG 1).

Factor de Potencia: Es el cociente entre la potencia activa en watts y la potencia aparente en volt-amperes, generalmente se expresa en por ciento.

Factor de servicio: Según NEMA MG-1, sección 1, parte 1, el Factor de Servicio se expresa como un multiplicador el cual se aplica a la potencia de placa del motor, para indicar la carga que puede llevar en condiciones nominales de servicio. Significa que el motor puede ser sobrecargado continuamente si el mismo es alimentado a voltaje y frecuencia nominal, y sin provocar daños.

Usuario: Se refiere directamente al dueño del motor, este puede ser una persona natural o una persona jurídica, incluso la misma empresa, puede referirse a un encargado por parte del dueño del motor.

Cliente: Es quien paga el servicio, no es necesariamente el dueño del motor, si no que puede ser un enviado del mismo y quien finalmente pagara la reparación.

Reparación: Proceso que se lleva a cabo al rebobinar un motor, este inicia desde que se lleva el motor al taller y termina cuando este se encuentra ya en manos del usuario o del cliente.

Taller de reparación o Taller: Lugar donde se realiza el proceso de reparación.

Equipo de rebobinado: se refiere al equipo necesario para realizar la reparación esto no incluye herramientas de uso común si no únicamente a las herramientas que son indispensables para la reparación.

kWh: Se refiere a la energía consumida en un determinado tiempo, hace referencia a unidad de energía; [kilowatt hora].

kW: unidad de potencia; [kilowatt potencia].

Garantía: Una garantía es un contrato mediante el cual se pretende dotar de una mayor seguridad al usuario, de una buena reparación de su motor.

Infraestructura: Hace referencia al local donde está ubicado el taller y a los equipos de posición fija que estén dentro del mismo.

Proveedor: Taller o técnico que brinda el servicio de reparación.

Hi-pot: (High Potential/alto potencial). Es un término dado a una clase de instrumentos de prueba de seguridad eléctrica utilizados para verificar el aislamiento eléctrico en cables u otros conjuntos cableados, tarjetas de circuitos impresos, motores eléctricos y transformadores.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES

En la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador se han desarrollado trabajos de graduación referentes al tema de reparación de motores que han servido para darle la importancia a nuestro trabajo. En cada uno de estos documentos es posible observar las condiciones en las que son llevadas a cabo las reparaciones y rebobinados de los motores eléctricos en los talleres de reparación de nuestro país.

Los documentos aquí citados son los siguientes:

- ❖ Evaluación del impacto sobre el parámetro eficiencia eléctrica en motores eléctricos rebobinados de bajo voltaje.
- ❖ Diagnóstico del estado actual del sector reparación y rebobinado de motores.
- ❖ Propuesta nacional de estándar para la reparación y rebobinado de motores eléctricos.
- ❖ Laboratorio de pruebas de máquinas eléctricas.

Cada uno de estos documentos han sido de valiosa importancia para abrir el tema de desarrollar una escuela técnica para capacitación de reparadores de motores eléctricos, debido a la falta e incluso a paulatina desaparición de los temas de reparación y rebobinado de motores en centros de formación técnica vocacional.

1.1 EVALUACIÓN DEL IMPACTO SOBRE EL PARÁMETRO EFICIENCIA ELÉCTRICA EN MOTORES ELÉCTRICOS REBOBINADOS DE BAJO VOLTAJE. ¹

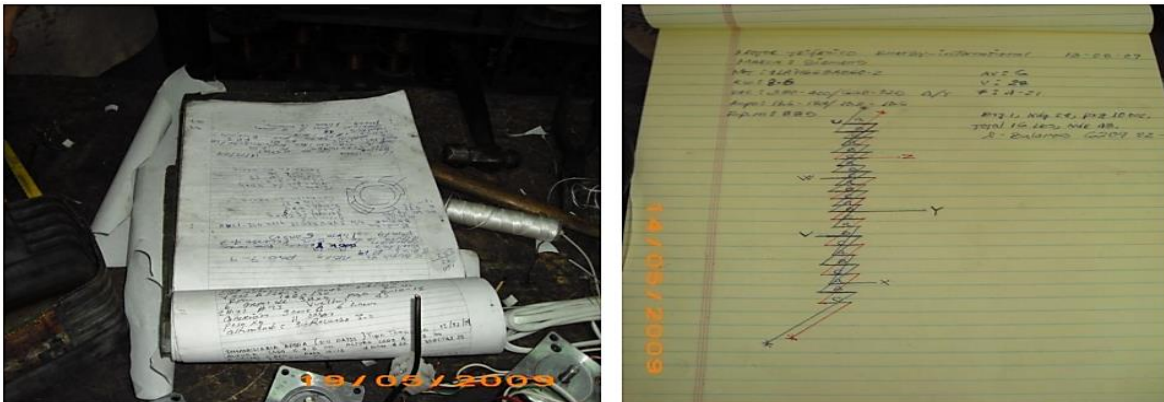


Figura 1. 1 Fotografías que muestran la forma en que se lleva a cabo el registro en los talleres.¹

Este estudio se enfoca en cuantificar la disminución de la eficiencia al trabajo de reparación desarrollado por los talleres en nuestro país, y se desglosa en dos etapas. La primera consiste en encuestar a los talleres para obtener información de procesos, pruebas, maquinaria o equipos y sobre prácticas estandarizadas o reconocidas de reparación que inciden en la calidad de

¹Quijano Hernández, Manuel de Jesús y Rivas Niño, Nelson Alberto (2009). *Evaluación del impacto sobre el parámetro eficiencia eléctrica en motores eléctricos rebobinados de bajo voltaje*. Universidad de El Salvador.

reparación y que se refleja directamente en la eficiencia de la máquina. La segunda etapa consistió en medir usando el método de carga-deslizamiento basado en la norma IEEE Std. 739 una muestra de una población de motores rebobinados propiedad de una entidad estatal.

Con la información reunida de cada máquina a la que se le realizaron las pruebas correspondientes se muestra a continuación un resumen de los porcentajes de reducción de la eficiencia en función de las capacidades de la máquina. Esto ha permitido observar la figura 1.1, que en efecto se presenta una pérdida en la eficiencia debido a cada reparación y rebobinado que se ha hecho al motor.

%Reducción de la eficiencia por cada rebobinado en función de su capacidad (HP)

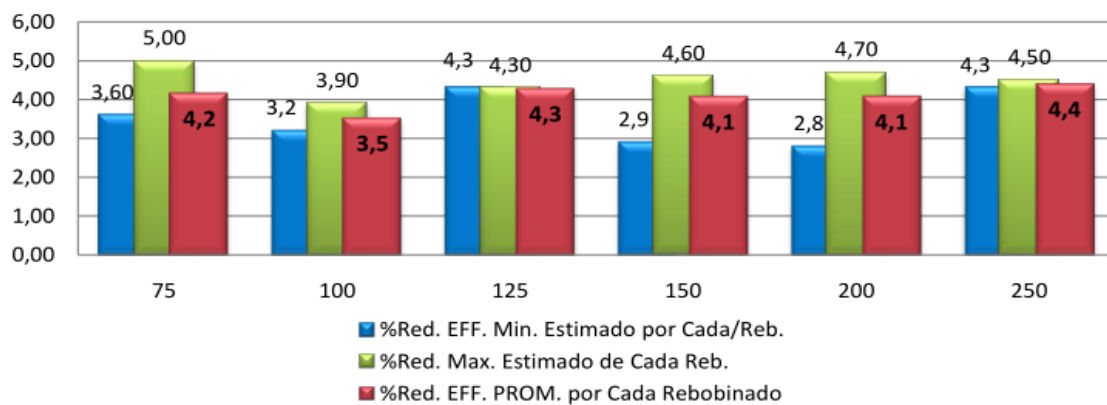


Figura 1. 2 Presentación de la reducción de la eficiencia por cada rebobinado según su potencia en HP.⁹

Los resultados obtenidos por este estudio sobre la reducción de eficiencia eléctrica para los motores de inducción de capacidades en el rango de 75 hp a 250 hp, de bajo voltaje, utilizando el método del deslizamiento de carga en el motor, varían de entre un promedio mínimo de 3.5% a un máximo de 4.5% de reducción de eficiencia equivalente por cada rebobinado, siendo el promedio total 4.1% de reducción equivalente por cada rebobinado.

1.2 DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DEL SECTOR REPARACIÓN Y REBOBINADO DE MOTORES.²

Basado en estudios previos realizados en la universidad, en este principalmente se encontraron algunas deficiencias en los sectores más importantes en los que la reparación de motores se ve involucrada. A continuación, son presentadas 3 análisis o diagnóstico hechos a los sectores más importantes que tienen que ver con la reparación y rebobinado de motores eléctricos, el Diagnóstico de los talleres de reparación es el primero, en las empresas o la industria es el segundo y en los centros educativos de formación técnico vocacional el tercero.

² Portillo Méndez, Xochilt Eunice y Palma Medrano, José Santiago (2017) *Diagnóstico del estado actual del sector reparación y rebobinado de motores. Universidad de El Salvador.*

1. Diagnóstico en los talleres: En este sector existe abandono hacia el sector de talleres de reparación de motores, que se muestra en parte por el cierre de muchos de talleres y en la preferencia por parte de las empresas en comprar motores nuevos y no en su reparación. Las garantías que brindan los talleres no generan confianza por parte de los clientes, ya que estas son de períodos cortos y no generan confianza en los clientes que necesitan seguridad en las reparaciones.
2. Diagnostico en las empresas: La gran mayoría de las empresas muestran una preferencia por adquirir motores nuevos y no a la reparación, esto debido a las malas reparaciones que se tienen actualmente.
3. Diagnostico en los centros de educación: No existen unidades temáticas que brinden aptitudes técnicas en el área de rebobinado de motores, en los centros de educación que preparan a los futuros técnicos que prestan el servicio, dejando el aspecto educativo a la enseñanza empírica que se da en los mismos talleres. Las instituciones de estudio técnico que se encuestaron muestran en un 50% no poseer los recursos necesarios para poder brindar los conocimientos necesarios en el área.

1.3 PROPUESTA NACIONAL DE ESTÁNDAR PARA LA REPARACIÓN Y REBOBINADO DE MOTORES ELÉCTRICOS.³

Este documento muestra que en el país no se tiene una normativa la cual rija y establezca como deben llevarse a cabo los procesos de reparación de motores y también aclara como el no tener una normativa provoca un problema de calidad energética.

Con la propuesta nacional basada en la IEEE Std. 1068 se plantea que tanto el propietario del motor, como el propietario del taller de reparación estén informados de cuáles tienen que ser los procedimientos adecuados y que estos den garantías de que estos procedimientos son llevados a cabo mediante un reglamento normalizado establecido en el país. Se plantea además la necesidad de regular esta área y dar como resultado un mayor control y eficiencia de la energía eléctrica, haciendo uso de políticas que estén referenciadas a la construcción y uso de motores eléctricos más eficientes.

Como en este documento se menciona, *“el 70% de la energía consumida por el sector industrial en todo el mundo es debido a motores eléctricos, si la parte de la reparación se mejora implementando procedimientos estandarizados es posible conservar o incluso mejorar las características de eficiencia de los motores.”*

Partiendo que esta propuesta de normativa servirá para regular el sector de reparación de motores es de carácter riguroso que el propietario o encargado de la máquina mantengan un historial de las condiciones de trabajo, pruebas y reparaciones que ha sufrido, esto es debido a que la información proporcionada por el usuario es de valiosa utilidad para saber el estado y condiciones

³ Flores López, Luis Edgardo y Portillo Salazar, Rubén Augusto (2013) *Propuesta nacional de estándar para la reparación y rebobinado de motores eléctricos. Universidad de El Salvador*

en las que llega y opera el motor. La responsabilidad del taller es ejecutar la reparación llevando a cabo los procedimientos estandarizado y reconocido para que la máquina presente idénticas o mejores características.

1.4 PROPUESTA DE LABORATORIO DE PRUEBAS DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS.⁴

Este trabajo considera como objetivo una propuesta de diseño para la implementación de un laboratorio de ensayo de máquinas eléctricas de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, especificando los requerimientos en base a normas y recomendaciones prácticas para obtener un ambiente controlado en el laboratorio de pruebas y los procedimientos a desarrollar para ejecutar las pruebas de máquinas eléctricas. Basado el análisis en la norma IEEE Std. 112 “Procedimientos de pruebas para motores y generadores polifásicos de inducción.”

Basado en las investigaciones realizadas en este capítulo, se encontró que algunos parámetros que provocan la reducción de la eficiencia por cada rebobinado es debida a los métodos empíricos que se utilizan en cada taller, así como también la falta de apoyo e interés por parte de las instituciones financieras y de los centros de enseñanza que no dan la importancia debida a la formación técnica en el área, formación que actualmente se da únicamente en los talleres de manera empírica, donde las costumbres y malas prácticas por el jefe o supervisor son replicadas en sus aprendices y trabajadores por muchas generaciones. Finalmente nos dimos cuenta que la calidad se está perdiendo y que muchos centros de reparaciones van desapareciendo por temas como la delincuencia y la extorsión.

Debido a la importancia del tema se vuelve necesario mencionar una vez más que es necesario establecer un reglamento para llevar a cabo las reparaciones y rebobinados de motores eléctricos, retomar el tema a nivel académico para formar excelentes técnicos reparadores que ayudaría a muchos negocios a prosperar, que los empleadores y dueños de talleres ayudarían a sus empleados mediante la capacitación a implementar procedimientos que sean reconocidos internacionalmente y que ayudarían al desarrollo y crecimiento de los talleres de reparación y rebobinado de motores eléctricos.

1.5 NORMAS Y ESTÁNDARES NACIONALES E INTERNACIONALES.

La importancia de esta sección es dejarnos ver las normas referentes a los motores eléctricos existentes en nuestro país y las que se están utilizando y son referencias en países desarrollados e industrializados, los métodos de reparación estandarizados y los ensayos que se aplican a la verificación de sus características, son las normas que son citadas a continuación.

EL Salvador:

⁴ González Aquino, Claudia Marina; Ramos Ayala, Noel Antonio y Treminio, Henry David (2016) Propuesta de laboratorio de pruebas de máquinas eléctricas. Universidad de El Salvador.

- ❖ NSO.29.47.02:08, "Eficiencia energética de motores de corriente alterna, trifásicos de inducción, tipo jaula de ardilla en potencia nominal de 0.746 a 373kW, límites, métodos de prueba y etiquetado" establecida por la Defensoría del Consumidor.

Internacionales:

- ❖ IEEE 1068-1990 "Recommended Practice for the Repair and Rewinding of Motors for the Petroleum and Chemical Industry"
- ❖ IEEE 112-1996/2004 "Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators"
- ❖ IEEE Std. 43-2000 "Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery"
- ❖ IEEE Std. 95-2002 "Recommended Practice for Insulation Testing of Large AC Rotating Machinery with High Direct Voltage"
- ❖ IEEE Std. 432-1992 "Guide for Insulation Maintenance for Rotating Electric Machinery"
- ❖ EASA Standard AR100-2015 "Recommended practice for the repair of rotating electrical apparatus"
- ❖ IS 900-1990 "Code of for installation and maintenance of induction motors"

CAPÍTULO 2: CURSO A IMPARTIRSE EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA SOBRE REPARACIÓN Y REBOBINADO DE MOTORES BASADO EN EL CURSO DE EASA/AEMT

El curso que se describirá en este capítulo ha sido desarrollado en base a la guía de buenas prácticas para conservar la eficiencia del motor, un estudio desarrollado por EASA/AEMT en el que se detallan los procedimientos que deben seguirse para llevar a cabo la reparación de motores eléctricos de inducción tipo jaula de ardilla, con el objetivo de conservar y/o mejorar la eficiencia del motor. Además de lo que ofrece este estudio, se ha complementado la información basado en normas como la IEEE en la que se describen los procesos que deben seguirse en cuanto a la reparación de motores, las pruebas o ensayos que deben realizarse para garantizar el correcto funcionamiento

El curso de reparación y rebobinado de motores eléctricos se ha desglosado en 9 módulos, que convenientemente se describen en el orden de los procesos que habitualmente se siguen para llevar a cabo las reparaciones, estas van desde el proceso que debe seguirse cuando se recibe la máquina, hasta las pruebas eléctricas que deberán realizarse para garantizar la reparación y el funcionamiento, para posteriormente ser entregado al cliente o propietario. A continuación, se pueden observar los temas de los módulos a impartir en la escuela técnica para capacitación de reparadores de motores eléctricos:

- ❖ Módulo I: Introducción a motores.
- ❖ Módulo II: Inspección inicial.
- ❖ Módulo III: Inspección interna.
- ❖ Módulo IV: Remoción del antiguo bobinado y limpieza del núcleo.
- ❖ Módulo V: Reparaciones mecánicas que pueden afectar la eficiencia.
- ❖ Módulo VI: Rebobinado del motor.
- ❖ Módulo VII: Prueba del nuevo bobinado.
- ❖ Módulo VIII: Montaje del motor.
- ❖ Módulo IX: Pruebas eléctricas.

Es de recalcar que cada uno de estos módulos y procesos influyen drásticamente en lo que conlleva la conservación o mejoramiento de la eficiencia de un motor. A continuación, se describe a detalle el contenido de cada módulo del curso.

2.1 MÓDULO I: INTRODUCCIÓN A MOTORES

En este módulo comenzaremos a reconocer los conceptos básicos que son necesarios para abrirnos camino al entendimiento de los motores eléctricos, conceptos referentes a las reparaciones de motores eléctricos y como estos nos dan un mejor entendimiento en el momento de analizar las fallas y como reparar el motor de una forma apropiada.

El módulo de introducción se desglosa en los siguientes subtemas que se han considerado los más importantes para el desarrollo del curso de reparación y rebobinado:

- ❖ Fundamentos de operación de los motores eléctricos.
Se pretende describir el funcionamiento de un motor, esto dará comienzo con la temática y comprensión de cómo es posible el que una maquina realice el movimiento de rotación.
- ❖ Conceptos básicos.
Descripción de los términos más utilizados en motores como son velocidad mecánica, polos de un motor, torque. Se describirán los componentes de un motor, placa y más.

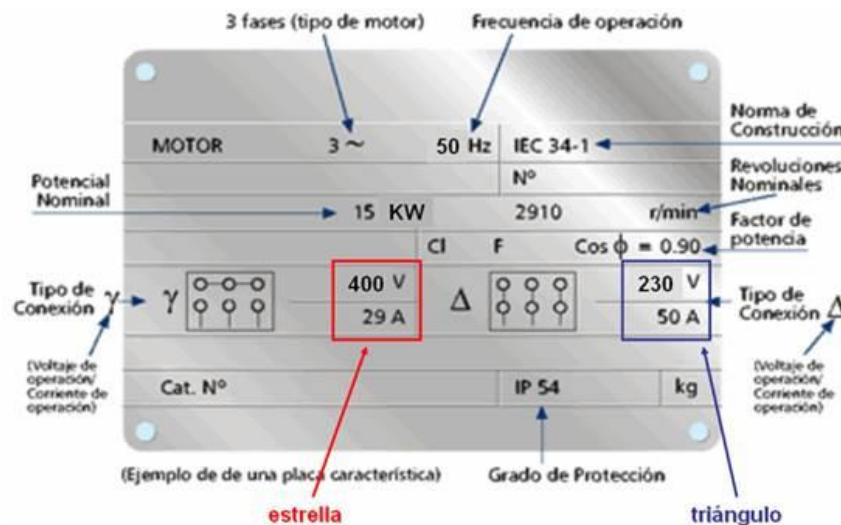


Figura 2. 1 Placa de datos de un motor eléctrico.

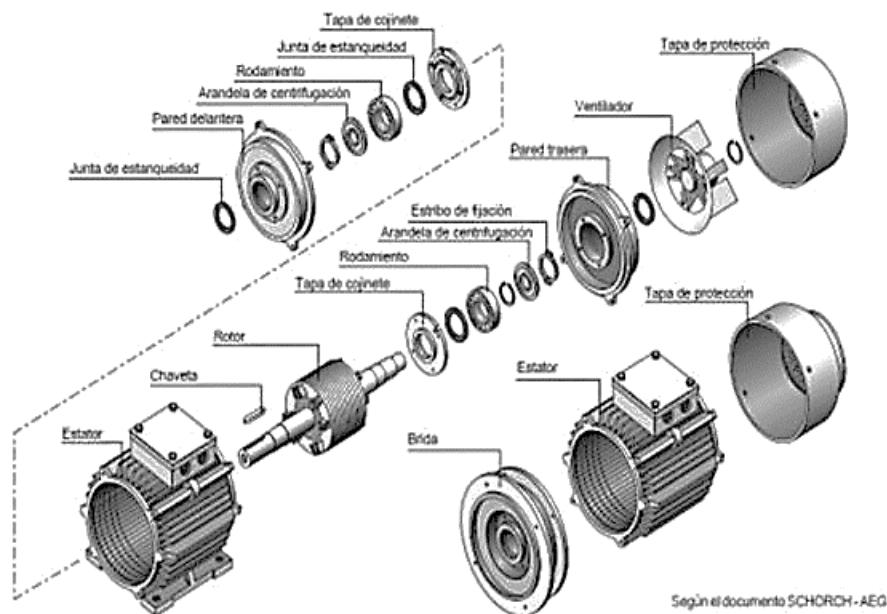


Figura 2. 2 Desarme de motor y sus componentes.

❖ Cálculos de costos de operación.

Debido a la importancia que conlleva la reparación de un motor, es necesario conocer cuáles son los cálculos que determinan si un motor deberá ser reparado o simplemente reemplazado por uno idéntico o uno de eficiencia Premium.

❖ Consideraciones para sustituir un motor fallado por uno nuevo o repararlo.

Cuando los motores fallan hay casos en que la solución es sustituirlos por motores de mayor eficiencia. De igual manera hay muchos casos en los cuales la mejor opción es la reparación del motor averiado. Para analizar si el motor se reemplaza se recomienda seguir el siguiente esquema en la figura 2.3.

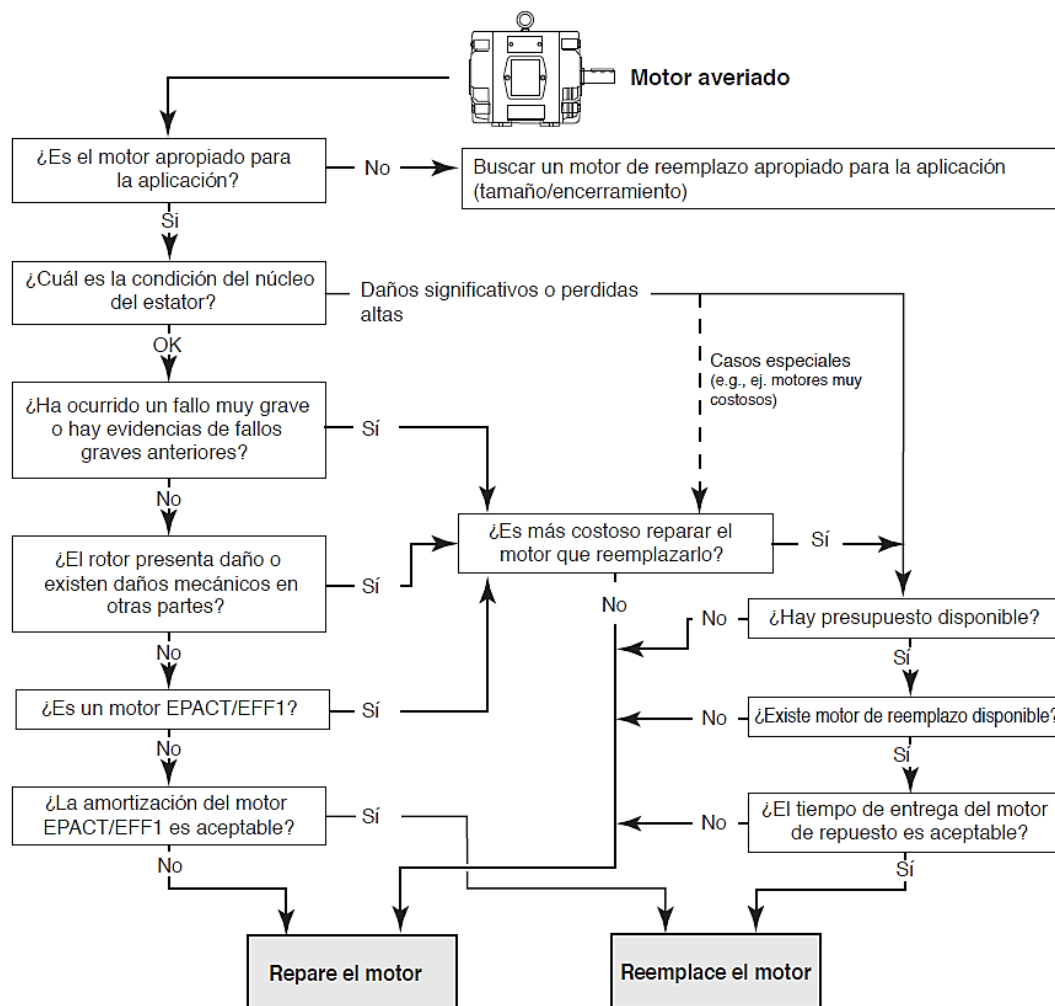


Figura 2. 3 Proceso real para la toma de decisiones, ante la falla de un motor.

❖ Reparaciones contra Eficiencia.

La eficiencia de un motor reparado puede llegar a variar por causas que tienen que ver con la calidad de la reparación y los métodos empleados. Las variaciones van desde 0.5%

hasta 2.5% de reducción de la eficiencia por cada reparación y en los peores casos puede variar hasta un 5%.

❖ Fallos más comunes en los componentes de un motor.

En el estudio desarrollado por EASA/AEMT en la guía de buenas prácticas para conservar la eficiencia del motor, se muestra un gráfico que muestra estadísticamente las partes más comunes en un motor, que tienden a fallar y a ser el por qué llevar a reparación.

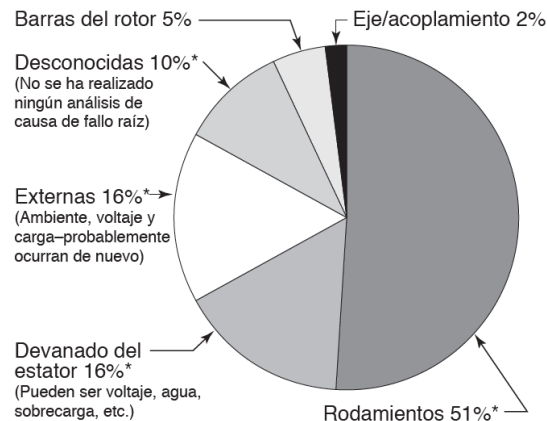


Figura 2. 4 Fallos más comunes en un motor.

❖ Mejoramiento de la eficiencia energética.

Aunque en muchos diseños las pérdidas I^2R son las componentes de pérdidas más grandes también estas pérdidas se pueden reducir cuando se convierte un bobinado que fue hecho a maquinas en un rebobinado hecho a mano. La importancia en este caso es realizar siempre un porcentaje de llenado de las ranuras más alto.

2.2 MÓDULO II: INSPECCIÓN INICIAL

Durante el protocolo de recepción de un motor es necesario detallar la información proporcionada por el cliente y además describir las condiciones en las cuales el motor llega al taller de reparación. Tener en consideración una inspección inicial detallada del motor, proporcionara al cliente un fuerte compromiso por parte del taller.

La inspección inicial forma parte importante para los registros de reparación de cada motor. Las condiciones en las que la maquina es puesta en funcionamiento, el tipo y tamaño de la carga con la que el motor estuvo operando y más son los tipos de datos que son necesarios recopilar en este módulo. La inspección inicial puede proporcionarnos una gran información sobre la posible causa de falla y proceder a una adecuada reparación del motor.

Los puntos más importantes a tratar durante la inspección inicial son los siguientes.

❖ Información proporcionada por el cliente.

La información proporcionada por el cliente es de suma importancia ya que brinda a detalle como es puesto en funcionamiento el motor, las condiciones en que se trabaja y más.

❖ Datos de placa.

Tomar todos los datos de placa, habrá que tener en cuenta que algunos códigos, números o letras pueden llegar a ser considerados sin importancia para un técnico, pero estos pueden llegar a tornarse importantes en caso de que se requiera solicitar información del fabricante o solicitar repuestos.

- | | |
|--|---|
| 1) Tipo de máquina. | 10) Corriente a plena carga. |
| 2) Fabricante. | 11) Temperatura máxima/clase de aislamiento/entorno de operación. |
| 3) Modelo. | 12) Tipo de cojinetes y el fabricante. |
| 4) Número de serie. | 13) Amperios del rotor bloqueado. |
| 5) HP / kVA / kW / factor de potencia. | 14) Factor de servicio. |
| 6) rev/min. | 15) Armazón. |
| 7) Fases. | 16) Si la eficiencia del motor es EPAct (EE.UU.) o EFF1 (Europa). |
| 8) Frecuencia. | |
| 9) Tensión. | |

❖ Inspección externa.

Tomar nota del estado general, si es viejo/nuevo, se encuentra sucio/limpio, posee o no corrosión y más.

NOTA: La información referente al protocolo de recepción deberá ser anotados de manera ordenada de acuerdo al formulario "Motor Repair Report Form" en el Apéndice A de la norma IEEE Std. 1068-1990.

2.3 MÓDULO III: INSPECCIÓN INTERNA

En este módulo hay que prestar mucha atención a los puntos más importantes que están presentes durante la inspección interna de un motor eléctrico a ser reparado. También durante este proceso, es importante separar las partes que no requieren reparación e identificarlas adecuadamente por el orden de servicio o el número de serie del motor.

La inspección interna involucra que habrá que desarmar o desmontar el motor y por lo tanto los puntos más importantes a tratar durante la inspección interna del motor son:

❖ Estado de las cajas de conexiones, esquemas y conexiones.

Tomar nota de las marcas de los cables de salida y en los terminales. Tomar nota de la posición de cualquier puente existente entre los terminales (hacer un esquema).

- ❖ Ingreso de agua o suciedad.
La presencia de residuos de polvo, marcas de agua u óxido en las superficies internas, particularmente en el fondo del motor, pueden ser atribuidas al ingreso de agua o polvo, lo que puede haber contribuido a que se presentara la falla.
- ❖ Estado de los núcleos estator y rotor daño o calentamiento.
Los núcleos del rotor pueden haber sufrido daños debido a diferentes razones como la son los roces en el núcleo, daños mecánicos graves y recalentamiento severo.

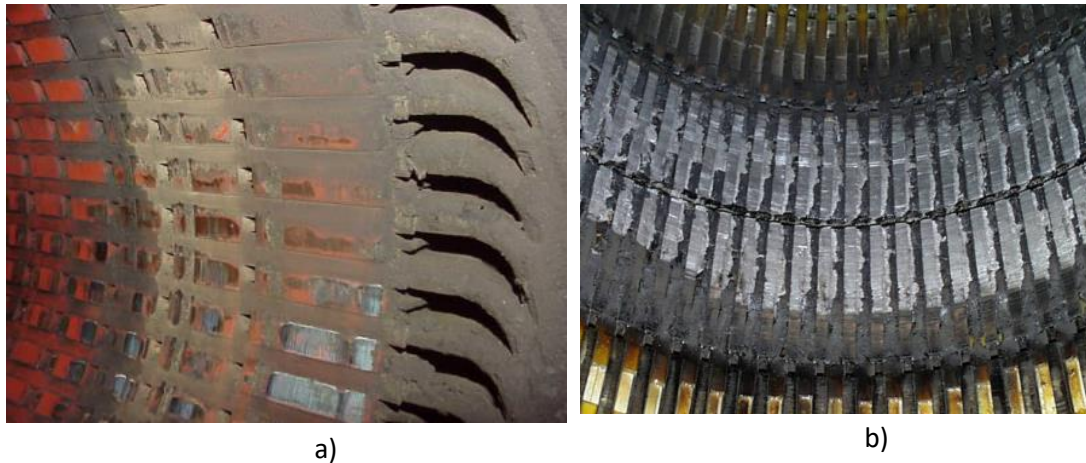


Figura 2. 5 a) Roce pequeño en el estator. b) Roce grave e irreparable.

- ❖ Estado del bobinado decoloración, tipo de falla.
Normalmente, un recalentamiento no es una falla que sea irreparable, pero el reparador deberá inspeccionar cuidadosamente los bobinados para determinar el origen de la falla.

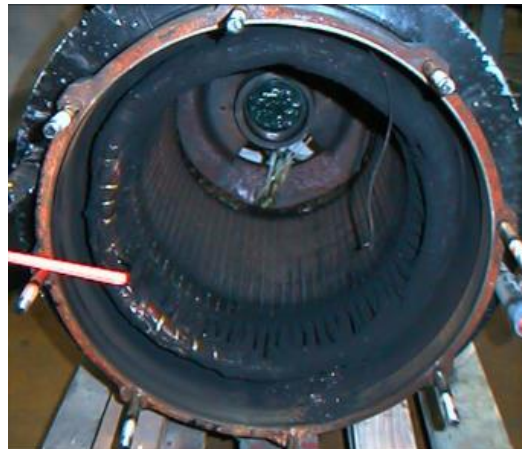


Figura 2. 6 Decoloración general en el devanado del estator que normalmente indica excesiva temperatura.

- ❖ Motores muy contaminados.
Si el exterior está muy lleno de contaminantes, llevar a cabo los procedimientos de limpieza y mantenimiento o considerar utilizar un motor con un tipo diferente de encerramiento.

Si los bobinados están llenos de contaminantes el tipo de encerramiento puede no ser el adecuado para la aplicación en la que está utilizándolo el cliente, en el ambiente de trabajo del motor.

NOTA: Es muy recomendable hacer uso de formularios donde pueda ser reportado el estado interno del motor. Esto brindara información sobre la posible falla y evidenciara las condiciones en las que el motor llega al taller.

2.4 MÓDULO IV: REMOCIÓN DEL ANTIGUO BOBINADO Y LIMPIEZA DEL NÚCLEO

En este apartado existen tareas muy importantes que hay que considerar a la hora de realizar la remoción del antiguo bobinado y la limpieza de los núcleos del motor como son las siguientes:

- ❖ Toma de datos de bobinado.

Habrà que tomar en consideración que la toma de datos es una actividad coordinada que se hace antes y después de la remoción del bobinado. Al igual que la prueba de pérdidas en el núcleo es realizada en puntos fijos durante el proceso.

NOTA: Es importante tomar nota de forma precisa y permanente de todos los detalles del antiguo bobinado como lo establece EASA/AEMT⁵.

- ❖ Proceso de quemado utilizando un horno de quemado a temperatura controlada. Asumiendo que no hay láminas fundidas entre sí o que no se haya producido una explosión dentro del núcleo (con su correspondiente reducción de masa), el siguiente paso es realizar el quemado de los bobinados a una temperatura apropiada.



Figura 2. 7 Horno de quemado con temperatura controlada.

⁵ Figura 12 Parte 2. "El efecto de la Reparación/Rebobinado en la eficiencia del motor" Estudio de Rebobinado EASA/AEMT y guía de buenas prácticas para conservar la eficiencia del motor.

- ❖ Proceso de remoción del antiguo bobinado.
Cuando finalice el proceso de quemado, retire el antiguo bobinado teniendo el cuidado de no dañar el núcleo (ej. deformando hacia dentro y hacia afuera los dientes del núcleo).
- ❖ Limpieza del núcleo del estator.
Puede que después de retirar el antiguo bobinado, queden en las ranuras restos de aislamiento y otro tipo de residuos, por lo que estos desechos deben ser limpiados cuidadosamente evitando dañar el núcleo. Si durante el proceso de remoción, los dientes de las láminas al final del núcleo han sido forzados o doblados hacia afuera, restablezca su posición utilizando la mínima fuerza.



Figura 2. 8 Este núcleo ha sido parcialmente limpiado con una lavadora de alta presión.

- ❖ Daños en el núcleo por recalentamiento.
Algunas veces después de remover las bobinas, las láminas de los dientes al final del núcleo presentan problemas, por lo que es importante no golpearlos de una forma excesiva para devolverlos a su posición inicial. Debido a esto se recomienda golpear las láminas con un martillo blando usando el mínimo de fuerza.
- ❖ Prueba de pérdidas en el núcleo.
Los probadores de núcleo disponibles en el comercio pueden indicarnos si durante el proceso de reparación y rebobinado las pérdidas en el núcleo del estator han aumentado o no.

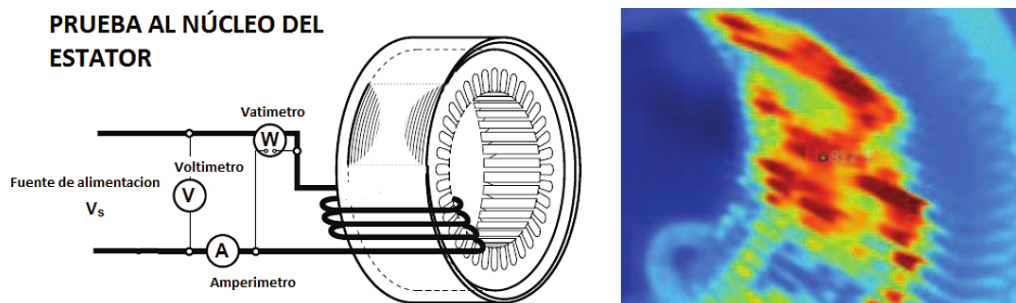


Figura 2. 9 Esquema de la prueba del núcleo y termografía de un motor bajo prueba en malas condiciones.

NOTA: Utilizar el formulario para llevar a cabo la prueba del núcleo como la que establece en la tesis Propuesta de laboratorio de pruebas de máquinas eléctricas⁶.

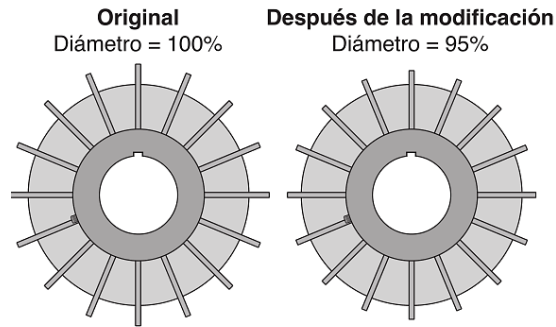
2.5 MÓDULO V: REPARACIONES MECÁNICAS QUE PUEDEN AFECTAR LA EFICIENCIA

En este módulo revisaremos las partes mecánicas que más sufren debido a las malas prácticas realizadas a la hora de realizar el calentamiento del núcleo para la extracción del bobinado y el retiro del aislamiento, incluso las fallas que se hayan provocado debido a una incorrecta utilización de la máquina o incluso una falla que haya ocurrido cuando el motor estuvo en funcionamiento, generan un daño en las partes del motor que si son reparadas de una forma inadecuada provocaran pérdidas en la eficiencia.

Las reparaciones mecánicas que más influencia tienen sobre la eficiencia y correcto o incorrecto funcionamiento de la maquina son los siguientes:

- ❖ Reparaciones en los núcleos
Durante la reparación de las zonas dañadas del núcleo, realice los mínimos trabajos de limado y esmerilado. Las pérdidas en el núcleo aumentarán al quitar láminas o al cortocircuitarlas.
- ❖ Reparaciones del eje
Las reparaciones al eje del motor se deben a que la maquina ha sido sobrecargada, a temperaturas altas que han provocado incluso que se tuerza el eje. Las reparaciones realizadas de la manera incorrecta provocaran un mal funcionamiento y un mal balanceo dinámico.
- ❖ Reparaciones de los alojamientos (carcasa, tapas, anillos)
Reparaciones de las superficies de ajuste o encaje de la carcasa con las tapas o de los anillos de ajuste de las tapas o de los anillos de ajuste de las tapas con la carcasa, presentar errores de concentricidad al ser rectificadas y mecanizadas.
- ❖ Reparaciones en la ventilación
Los ventiladores externos son otra fuente potencial de pérdida de eficiencia. La ventilación varía de acuerdo con el diseño del ventilador y depende de factores como el diámetro, número y tamaño de las aspas, materiales y acabado de la superficie. No obstante, la variable más importante es el diámetro del ventilador.

⁶ Apéndice 7 Propuesta de laboratorio de pruebas de máquinas eléctricas. Universidad de El Salvador. González Aquino, Claudia Marina; Ramos Ayala, Noel Antonio y Treminio, Henry David (2016).



Si el tamaño del ventilador se reduce al 95% del diámetro original, este moverá $(.95)^5$ del volumen de aire que originalmente podría mover.

Figura 2. 10 Efecto del cambio de tamaño del ventilador.

No es recomendable reemplazar el ventilador original por otro de menor diámetro. Realizar esto reduce también el flujo de aire causando la elevación de la temperatura del bobinado. Esto significa incremento en las pérdidas y menor eficiencia.

2.6 MÓDULO VI: REBOBINADO DEL MOTOR

La importancia de realizar un correcto rebobinado a un motor, implica que podremos igualar o mejora la eficiencia si seguimos un proceso adecuado. Para esto tenemos diferentes procesos como son copiar o duplicar el bobinado original o actual de un motor, donde es posible partir de una base de datos propia de cada taller de reparación para modelos y marcas específicas, o el diseñar un nuevo bobinado. Con el tipo de bobinado que vayamos a implementar en la reparación, podremos bajar las pérdidas en el cobre si diseñamos o cambiamos a un nuevo bobinado, ya sea utilizando un conductor de diferente calibre, cantidades diferentes de alambre, entre otros. Pero para esto hay que conocer cuáles son los tipos de bobinado, cuáles son las ventajas y desventajas de cada uno y cuales se adecuan más de acuerdo a las exigencias del propietario.

En resumen, los principales temas a tratar en este módulo son:

❖ Tipos de bobinados.

Es importante el conocer que tipos de bobinados existen, cuáles son sus diferencias y cuáles son sus esquemas de bobinas, debido a que en el mercado existen diferentes tipos de motores, diferentes clases y cuando requiere ser reparado habrá que identificar el tipo de bobinado que el motor presente.

Ejemplo de tipos de bobinados por construcción de bobinas:

- a) Random wound
- b) Form wound
- c) A una capa.
- d) Doble capa.
- e) Bobinado por polos.

- f) Bobinados concéntricos.
- g) Bobinados imbricados.
- h) Bobinado ondulado.

❖ Copia o duplicado del bobinado original.

Una vez se tome nota de los datos y los detalles del antiguo bobinado (ver Sección 3.1) y se haya verificado que el bobinado es el original, el próximo paso es el de preparar el núcleo para poder realizar el rebobinado.

Aunque los datos del paso (o pasos), las espiras/bobina y la conexión sigan siendo los mismos, se pueden realizar dos cambios que ayudarán a conservar o inclusive mejorar significativamente, la eficiencia del motor una vez sea rebobinado.

❖ Diseñar nuevo bobinado.

Para construir el bobinado requeriremos de tener el molde o forma de la bobina si deseamos un rápido trabajo de reparación. En el caso que se nos dificulten algunas tomas de datos de los bobinados es necesario conocer los cálculos generales para los diferentes tipos de bobinados antes mencionados. Por tanto, a continuación, se presentan algunos cálculos para los diferentes tipos de bobinados.

❖ Finalización del trabajo de bobinado.

La finalización del trabajo de bobinado consiste en que, teniendo el diseño de las bobinas, ya sea copiando el bobinado original, el bobinado con el que llega el motor al taller, o diseñando uno nuevo, hay que proceder a construir las bobinas y colocarlas en el estator, para esto hay que preparar el núcleo del estator aislándolo correctamente utilizando el papel aislante correcto.

Por tanto, en este módulo se pretende dar énfasis a los temas antes mencionados, de manera que ilumine el camino de los futuros reparadores en la correcta toma de decisiones.

2.7 MÓDULO VII: PRUEBA DEL NUEVO BOBINADO

En este módulo destacaremos la importancia de las pruebas que pueden realizarse al nuevo bobinado, estas pruebas servirán para asegurarse que el nuevo bobinado está en perfectas y óptimas condiciones, será importante analizar los puntos claves de las pruebas a realizar, Se analizará también el aislamiento en cuanto al barniz que se le aplicaría al nuevo bobinado posteriormente a que pase todas las pruebas.

Las pruebas del bobinado y los puntos más importantes que se estudiarán en este módulo son los siguientes:

❖ Prueba de resistencia.

$$R_x = \frac{(234.5 + 25)}{(234.5 + T_a)} \times \text{Resistencia medida} \quad (2.7.1)$$

Dónde:

R_x = resistencia corregida del grupo de bobinas

T_a = temperatura ambiente del aire.

Los valores corregidos de la resistencia del nuevo grupo de bobinas, deben ser iguales o menores a las del grupo original de bobinas y el instrumento de medición para la realización de esta prueba es con un Micro-óhmetro.

❖ Prueba de equilibrio de fases⁷.

La prueba de onda de choque o por comparación de impulsos, detecta un desbalance en los devanados midiendo la atenuación, debido a un corto entre espiras o a conexiones desbalanceadas.

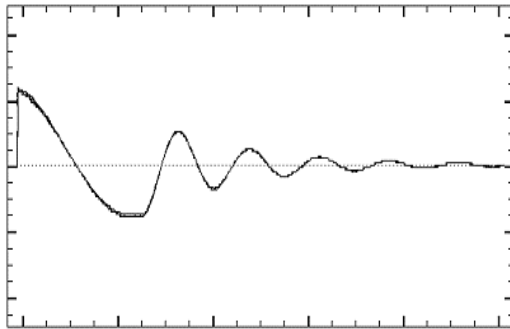


Figura 2. 11 Forma de onda correcta durante la prueba de equilibrio de fases/onda de choque.

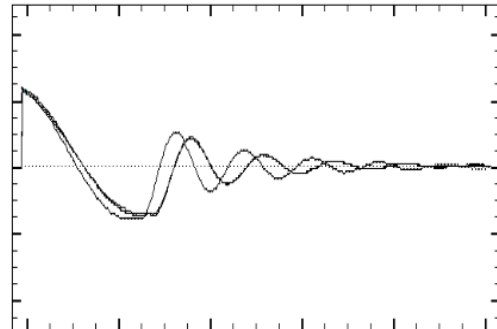


Figura 2. 12 Forma de onda incorrecta que indica fallo durante la prueba de equilibrio de fases/onda.

La norma MG1 en la sección 12.45 establece que “los motores polifásicos operarán con éxito bajo condiciones de funcionamiento a carga nominal cuando el desequilibrio de voltaje en los terminales del motor no supera el 1%”.

Formas de onda diferentes indican un fallo que debería ser detectado mediante una inspección posterior. El procedimiento a seguir para la realización de este ensayo es en base a la norma IEEE Std. 522-1992.

❖ Prueba a tierra/Prueba de Hi-Pot.

Es una prueba de aislamiento que somete el bobinado a un voltaje directo el objetivo es determinar si sobrevive al estrés del sobre voltaje. Se espera que cuando el aislamiento tenga un punto débil éste se romperá durante la prueba, indicando disparo, es decir el aislamiento no pasa.

⁷ IEEE Std-522-1992 “Guide for Testing Turn-to-Turn Insulation on Form-Wound Stator Coils for Alternating-Current Rotating Electric Machines” 5. Test Sequence

Los bobinados de las máquinas que van a ser probados deberán estar limpios y secos. Antes de realizar esta prueba debe inspeccionar el bobinado y comprobar que el valor de la prueba de aislamiento es aceptable (Ver módulo IX para la realización de la prueba).

❖ Aplicación o impregnación de barniz.

Clases de Aislamiento	Material Aislante	Impregnante o Barniz	Aplicaciones
Y (90°C)	Papel no impregnado, seda, algodón, caucho natural vulcanizado, termoplásticos que soporten arriba de los 90°C		
A (105°C)	Algodón, seda, rayón. Poliamida, Acetato de Celulosa. Esmaltes de Resina de Poliéster.	Barnices Naturales y Sintéticos.	Recubrimiento de Conductores y Ranuras. Tubos Flexibles (Espaguetis) Recubrimiento de Conductores.
E (120°C)	Tereftalato de polietileno y Otros materiales que han demostrado una vida útil a esta temperatura.		
B (130°C)	Tejidos de fibra de vidrio y Amianto. Mica, sola o con soporte de papel. Esmaltes a base de poliuretano y polivinilos. Caucho etileno-propileno. Cintas de fibra de vidrio y mica.	Barnices y resinas a base de Epóxicos, Melanina, Poliéster reticulado.	Aislamiento de ranuras y bobinas. Separadores de delgas de colectores. Recubrimiento de conductores e impregnación de bobinados.
F (155°C)	Tejidos de fibra de vidrio barnizados. Papeles de mica y Amianto. Compuestos a base de poliamida. Esmaltes y barnices a base de: Poliéster modificado, polietileno, poliuretano, poliamida. Resinas Epoxi.	Barnices y resinas a base de: Poliéster, poliuretano, epóxicas.	Recubrimiento de conductores y ranuras. Tubos flexibles. Sujeción de armaduras. Recubrimiento de conductores y ranuras. Tubos flexibles.
H (180°C)	Tejidos de fibra de vidrio, amianto, mica, impregnados con silicona. Fibras de vidrio y caucho silicona. Esmaltes de silicona, poliéster, poliuretano y poliesterimida.	Resina de Silicona.	Recubrimiento de conductores y ranuras. Tubos flexibles. Recubrimiento de conductores e impregnación de bobinados.

Tabla 2. 1 Clases de aislamiento más comúnmente utilizados.⁸

La tabla 2.2 de temperaturas y tiempos de secado, muestra las temperaturas correctas y el tiempo aproximado en horas que debe dársele para secar barnices aislantes en un horno como el que se muestra en la figura 2.7.

⁸ IEC-60085:2004 Standard. Electrical Insulation - Thermal Evaluation and Designation. Evaluation and qualification of electrical insulating materials and systems.

Diámetro del núcleo [cm]	Secado rápido [Horas] 120°C.	Secado elástico [Horas] 107°C.	Secado extraelástico [Horas] 100°C.
<15	4 a 6	6 a 8	8 a 10
15 a 30	12	24	36
30 a 45	24	36	48
45 a 60	36	48	60

Tabla 2.2 Capacidad para soportar temperatura.⁹

2.8 MÓDULO VIII: MONTAJE DEL MOTOR

En este módulo veremos cuál es la mejor manera y la más adecuada de montar el motor, el lubricante o engrase del mismo, la lubricación de los rodamientos, arandelas, los ventiladores y deflectores de aire, como debe manipularse y de qué manera se puede aplicar la pintura, su nivel de sonido y las pruebas de vibraciones y las pruebas con carga del mismo.

Ciertos pasos del proceso de montaje pueden causar impacto sobre la eficiencia si el montaje se hace de una forma incorrecta, incluso es posible incrementar las pérdidas del motor, o que el motor falle al arrancar. Entre los temas y su corta descripción de los puntos a estudiar en este módulo están los siguientes:

- ❖ Colocación y lubricación de los rodamientos.
Estos contribuyen a la óptima operación de las partes giratorias del motor. Se utilizan para sostener y fijar ejes mecánicos, y para reducir la fricción, lo que contribuye a lograr que se consuma menos potencia.
- ❖ Arandelas de presión/onduladas.
Durante el proceso de montaje, particularmente en los casos en los que el rodamiento se encuentra muy ajustado dentro del alojamiento, el rodamiento podría pre-cargarse, incrementando así las pérdidas por fricción hasta que el motor haya alcanzado su ciclo térmico varias veces. Hacer funcionar el motor sin carga durante largos períodos no dará solución a esta condición, ya que la expansión térmica del eje es mínima, hasta que el motor alcance la temperatura aproximada de operación a plena carga. Por esto es necesario asegurarse que la arandela de presión se encuentra correctamente instalada.
- ❖ Manipulación.
Los daños físicos provocados en las superficies de los entrehierros del rotor y del estator pueden incrementar las pérdidas adicionales con carga y una manipulación brusca del motor puede dañar las superficies de los entrehierros, lo que puede elevar las respectivas pérdidas en el núcleo.

⁹ Tabla obtenida de: Andres Videla Flores. Manual de motores eléctricos.

- ❖ Nivel de sonido.
Se debe realizar una prueba de nivel de sonido para determinar si se escucha un ruido molesto alrededor de la máquina. (Hacer referencia a la norma NEMA MG 1, parte 9).
- ❖ Prueba de vibraciones.
La realización de la prueba de vibraciones puede en común acuerdo con el cliente y 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 Std. MG 1.
- ❖ Pruebas con carga
Las pruebas con carga deberán ser realizadas si el cliente lo desea o para verificar las características de operación de la máquina, el método para realizar las pruebas con carga esta descrito en el capítulo 3 y sección 3.2.14 de la versión completa de este trabajo de graduación. Es el método empleando carga con un freno de dinamómetro (Hacer referencia a las normas IEEE Std. 112 y NEMA Std. MG 1).

2.9 MÓDULO IX: PRUEBAS ELÉCTRICAS

En el módulo IX se realizarán y se analizarán las pruebas finales del motor una vez armado o montado y listo, las pruebas eléctricas tales como clase de aislamiento, a las temperaturas a las que se expone dicho motor, su vida útil también pruebas con aparatos que ayudaran a analizar dichos parámetros, a corregir el efecto de la temperatura en una maquina eléctrica, Pruebas por incremento de voltaje, índice de polarización, la absorción eléctrica y como debemos interpretar dichos valores obtenidos.

Los temas junto a una pequeña descripción de lo que se plantea estudiar en este módulo son los siguientes:

- ❖ Clase de aislamiento.
NEMA Clasifico el sistema de aislamiento de las maquinas eléctricas por su habilidad de proveer adecuada resistencia a la temperatura (véase Modulo VII tabla 2.1).
- ❖ Vida útil del aislamiento.
La IEEE establecen un mínimo de 100,000 horas de vida. La prueba cuantitativa que se realiza es aquella en la que obtenemos una medición llamada RESISTENCIA DE AISLAMIENTO. Esta es función del tipo y condición del material aislante.
- ❖ Pruebas de aislamiento con Megger.
El Megger, o Mega-óhmetro, es un instrumento que sirve para medir la resistencia de aislamiento de: cables y bobinados. Este puede ser respecto a tierra o entre fases, con el Megger también es posible hallar el índice de polarización. Prueba siguiendo el estándar IEEE Std. 43-2000.

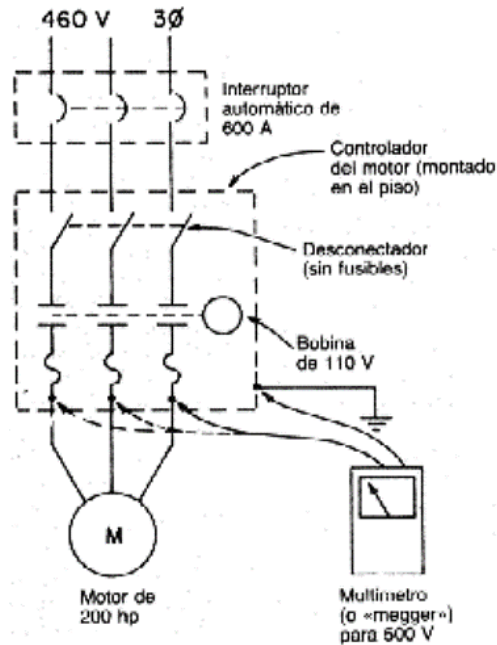


Figura 2. 13 Conexión para la prueba con el Megger en la caja de conexiones del motor.

Los indicadores que nos determinaran el estado del aislamiento son el Índice de polarización (prueba de 10 minutos) y también el de absorción dieléctrica (Prueba de 1 minuto).

❖ Interpretación de los resultados obtenidos.

En función de los resultados que se obtengan de haber realizado la prueba de aislamiento con el Megger y obteniendo lo que son los Índice de polarización y también el de Absorción dieléctrica, es posible determinar su condición basando nos de la tabla 2.3.

Índice de polarización (pi)		Absorción dieléctrica (ad)	
Peligro	< 1.0	Peligro	< 1.1
Pobre	1.0 a 1.4	Pobre	1.1 a 1.24
Cuestionable	1.5 a 1.9	Cuestionable	1.25 a 1.3
Mínimo aceptable	2.0 a 2.9	Mínimo aceptable	1.4 a 1.6
Bueno	3.0 a 4.0	Excelente	> 1.7
Excelente	> 4.0		

Tabla 2. 2 Interpretación de las mediciones obtenidas para índice de polarización y absorción dieléctrica.

❖ Prueba de eficiencia.

La prueba de eficiencia deberá implementarse en común acuerdo con el propietario o cliente. El procedimiento a seguir será el método B descrito en IEEE Std. 112.

CAPÍTULO 3: LABORATORIO DE PRUEBAS DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS

Como parte del desarrollo de una escuela técnica para capacitación de reparadores de motores eléctricos, es esencial tener un laboratorio de pruebas de máquinas en el que se puedan verificar el correcto funcionamiento en un ambiente controlado. Se pretende además, que el laboratorio de pruebas de máquinas eléctricas sea acreditado como organismo de inspección, que sea capaz de realizar ensayos, calibración, inspección o certificación de las tareas a realizar y que legalmente sea facultada para llevar a cabo procesos de evaluación.

Esto se vuelve necesario para brindar compromiso por parte de la Universidad, de que las reparaciones han sido llevadas a cabo siguiendo estándares y normativas que aplican en la fabricación de motores, para la verificación de las características de los motores eléctricos. Por tanto, de esta manera el laboratorio de pruebas puede brindar el servicio de otorgar las características reales del funcionamiento luego de llevada a cabo la reparación en la escuela técnica, incluso el servicio puede llevarse más allá y es que con la implementación de este laboratorio, será posible brindar certificaciones a motores reparados en otros talleres o incluso a una muestra de motores recién comprados o ingresados al mercado.

El laboratorio de pruebas será llevado a cabo siguiendo la norma y estándar IEEE Std. 112 “Procedimientos de pruebas para motores y generadores polifásicos de inducción”, con la implementación de este estándar se pretende dar continuidad al tema de las reparaciones con el complemento de los procedimientos que se siguen para la verificación de los parámetros como son la eficiencia de las máquinas eléctricas.

Para comenzar es necesario establecer los puntos principales que se trabajarán en esta sección, y éstos son:

- ❖ Requerimientos en base a normas y recomendaciones prácticas para un ambiente controlado en el laboratorio de pruebas.
- ❖ Procedimientos que se aplican a las pruebas de máquinas eléctricas y consideraciones a tomar en cuenta antes de realizar.
- ❖ Análisis y comparación de condiciones ambientales, eléctricas y ocupacionales actuales del lugar donde se implementará el laboratorio de máquinas eléctricas con los requerimientos en base a norma.
- ❖ Equipamiento a utilizar.
- ❖ Distribución en planta de la maquinaria a ubicar en el laboratorio.

Una vez establecidos los puntos principales para llevar a cabo la implementación del laboratorio, conociendo cuáles son los requerimientos que se deberán cumplir, es posible implementarlo en cualquier sitio, para quien desee implementar un laboratorio de pruebas de motores y generadores en el país.

3.1 REQUERIMIENTOS EN BASE A NORMAS Y RECOMENDACIONES PRÁCTICAS PARA UN AMBIENTE CONTROLADO

El objetivo principal de establecer cuáles son las condiciones ambientales, eléctricas e incluso ocupacionales, para asegurar una adecuada toma de datos de los ensayos, un ambiente seguro, tanto para el equipo como el personal que realizará las pruebas en el laboratorio. Este punto se basa en las recomendaciones de normas internacionales como la ISO/IEC 17025 "Requisitos Generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración" IEEE, ISA RP 52.1 "Recommended Environments for Standards Laboratories", NEMA, etc.

3.1.1 REQUERIMIENTOS AMBIENTALES

Todos los laboratorios de pruebas o ensayos, deben cumplir exigencias en el entorno donde se desarrollan las pruebas, esto se debe cumplir para garantizar el buen funcionamiento de los equipos utilizados en los ensayos, así como también la fidelidad de los resultados en las mediciones.

Para asegurar la calidad de los servicios de pruebas o ensayos, es necesario controlar y monitorear las condiciones ambientales con el fin de asegurar la validación de los resultados, para reducir el número de errores y repeticiones de las pruebas.

Los resultados de pruebas realizados en condiciones ambientales adversas o superiores a los límites ambientales (como la temperatura y la humedad etc.) que se establecen los procedimientos de las pruebas, deberán ser corregidos como lo establecen dichos procedimientos.

3.1.2 REQUERIMIENTOS ELÉCTRICOS

Al realizar las pruebas a máquinas eléctricas se debe tener en consideración la posibilidad de llegar a generar problemas eléctricos dañinos para los equipos en el laboratorio y dañinos para la salud humana si no se tiene en cuenta la correcta instalación eléctrica de los equipos y del local. Para dar las soluciones a estos problemas, habrá que establecer los requerimientos eléctricos a cumplir según diferentes normas como NEMA, IEEE, ISA 52.1, la norma SIGET.

3.1.3 CONDICIONES DE SEGURIDAD HUMANA

Se debe de considerar de mucha importancia las condiciones de Seguridad e Higiene en que deben mantenerse en un entorno como es el laboratorio de pruebas de máquinas eléctricas, a fin de eliminar o controlar los factores de riesgos en los puestos de trabajo, ya sean estos riesgos de origen natural, mecánica o estructural, física, química, ergonómica, biológica o psicosocial. Todo

con la finalidad de proteger la vida, la salud, la integridad física, mental y moral del personal que realice permanezca dentro de las instalaciones del laboratorio, tal como también lo describe la ley general de prevención de riesgos de El Salvador.

3.2 PROCEDIMIENTOS QUE SE APLICAN A LAS PRUEBAS DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS BASADO EN LA IEEE STD. 112

En el desarrollo de esta sección se presentan los métodos para el cálculo de eficiencia en máquinas de inducción tanto como motor como generador, basado el análisis en la norma IEEE Std. 112 “Procedimientos de pruebas para motores y generadores polifásicos de inducción”, tomando en cuenta todos aquellos aspectos que de una forma directa o indirecta afectan las mediciones de los diferentes ensayos que se presentan; como lo es la temperatura, distorsión armónica, desbalance de tensiones, rangos permitidos de frecuencia, equipos utilizados para las pruebas entre otros.

Los formularios que establece la norma IEEE-112 para los diferentes ensayos de prueba en los cuales se establecen las mediciones obtenidas y posibles conclusiones de las mismas las cuales permiten tener un parámetro confiables sobre las condiciones de la maquina en prueba se muestran en los anexos B de este documento.

3.2.1 MÉTODOS DE PRUEBA DE EFICIENCIA

Los métodos de eficiencia son variados y la determinación de pérdidas es identificada a continuación.

- a) Método A entrada-salida.
- b) Método B entrada salida con la segregación de pérdidas y medición indirecta de las pérdidas indeterminadas.
- c) Método B1 entrada –salida con segregación de pérdidas, medición indirecta de pérdidas indeterminadas y temperatura determinadas.
- d) Método C máquinas dobles con segregación de pérdidas, medición indirecta de las pérdidas indeterminadas.
- e) Método E medición de la potencia eléctrica bajo carga con segregación de pérdidas y medición directa de pérdidas indeterminadas.
- f) Método E1. Medición de potencia eléctrica bajo carga con segregación de pérdidas y asumiendo un valor de pérdidas indeterminadas.
- g) Método F circuito equivalente con medición directa de pérdidas indeterminadas.
- h) Método F1 circuito equivalente con valor asumido de pérdidas indeterminadas.
- i) Método C/F circuito equivalente calibrado por el método C con medición de pérdidas indeterminadas.
- j) Método E/F circuito equivalente calibrada por el método E con punto de carga con medición directa de pérdidas indeterminadas.
- k) Método E1/F1 circuito equivalente calibrado para el método E con punto de carga con un valor indeterminado de pérdidas.

3.2.2 GUÍA PARA ESCOGER EL MÉTODO DE PRUEBA DE EFICIENCIA

El método de las entradas-salidas (método de prueba A) deberá ser limitado a máquinas con rangos nominales menores de 1 kW.

Las máquinas horizontales con un rango de 1kW a 300 kW deberán probarse por el método B si la construcción de los rodamientos lo permite. De no ser así, el método E, E1, F, F1 serán usados.

Máquinas con valores nominales mayores de 300 kW deberán ser aprobadas por los métodos B, B1, C, C1, E, E1, F, F1. Dependiendo de la capacidad de la prueba. Cuando las facilidades propias de la prueba están disponibles. El método B será seleccionado cuando la precisión y la respetabilidad del método que sea requerido.

Métodos de pruebas de eficiencia (C/F, E/F, E1/F1) provee el nivel de confianza de las pruebas a carga nominal con la simplicidad de determinar el rendimiento de varias cargas como la solución del circuito equivalente.

3.3 ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE CONDICIONES AMBIENTALES, ELÉCTRICAS Y OCUPACIONALES ACTUALES DEL LUGAR DONDE SE IMPLEMENTARÁ EL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS

En esta sección detallamos las condiciones actuales en las que se encuentra el edificio de potencia de la escuela de ingeniería Eléctrica, esto con el fin de determinar los trabajos necesarios para implementar el laboratorio de pruebas de motores.



Figura 3. 1 Vista de planta y dimensiones del edificio de potencia de la EIE.

3.3.1 MEDICIÓN DE ILUMINACION ACTUAL DEL ALA SUR DEL EDIFICIO

Siguiendo las mediciones obtenidas en el trabajo de graduacion “Propuesta de laboratorio de pruebas de máquinas eléctricas¹⁰” pondremos decir textualmente que cumple con los requerimientos minimos recomendados respecto a la iluminacion y para la realizacion de los ensayos con un valor de 538 lux según los niveles de iluminacion establecidos por la IESNA (500 hasta 1000 lux).

3.3.2 MEDICIÓN DE TEMPERATURA DEL ALA SUR DEL EDIFICIO

Las mediciones realizadas dieron valores de temperatura en los rangos de 28°C y 32° y por lo tanto entre las recomendaciones dadas en “Propuesta de laboratorio de pruebas de máquinas eléctricas¹⁰” y que compartimos de igual manera, se debera implementar un equipo de enfriamiento para poder operar a los 23°C que nos dice la **norma ISA RP52.1** o incluso para operar a la temperatura establecida por la realizacion de los ensayos establecida en la seccion 3.2 y establecida en la IEEE Std. 112.

3.3.3 MEDICIÓN DE HUMEDAD RELATIVA DEL ALA SUR DEL EDIFICIO

En dias nublados la humedad relativa promedio sobrepasó el limite de 55% establecidos en la norma **norma ISA RP52.1** llegando a un 62%. Por tanto, para poder cumplir este requerimiento sera necesario contar con un equipo deshumidificador.

3.3.4 MEDICIÓN DE RUIDO DEL EDIFICIO

De la medicion obtenida se concluyó que en promedio el nivel de ruido fue de 63 dB y que por lo tanto cumple la norma OSHA. Haye que considerar que con mayor maquinaria en el laboratorio de pruebas se tendría que mantener un nivel de ruido menor a 90 dB según lo establecido por el Ministerio de Trabajo y Prevision Social de El Salvador.

3.3.5 MEDICIÓN DE ENERGIA DEL EDIFICIO

Las mediciones que se tomaron en este apartado fueron tomados del estudio "Propuesta de laboratorio de máquinas eléctricas¹⁰" son mediciones que ya fueron analizadas y en las que se obtuvieron nieves de tension y que destacó estar entre los limites establecidos por la norma IEEE Std. 112.

	Voltaje (V)	Desviación (%)
$V_{RMS_FASE_A}$	119.1	0.75
$V_{RMS_FASE_B}$	116.1	3.25
$V_{RMS_FASE_C}$	117.7	1.92

Tabla 3. 1 Promedio de los niveles de tension y regulacion obtenida

¹⁰ Capitulo II. González Aquino, Claudia Marina; Ramos Ayala, Noel Antonio y Treminio, Henry David (2016), Propuesta de laboratorio de pruebas de máquinas eléctricas. Universidad de El Salvador.

A pesar de los resultados obtenidos, se concluyó que se necesita equipo de protección, esto porque durante las mediciones realizadas, la red llegó a tener 46 variaciones de tensión y está afectada por armónicos.

3.3.6 MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE TIERRA DEL EDIFICIO

La última prueba realizada de medición de la red de tierra fue el ciclo I-2019, luego de que se realizara un mejoramiento de la red de tierra que estuvo existente antes del año 2019 y que fue realizada bajo criterios sugeridos y que pueden observarse en el trabajo de graduación "Propuesta de laboratorio de pruebas de máquinas eléctricas"¹¹



Figura 3. 2 Resultado de la medición de la red de tierra fue de los 1.98Ω

3.4 EQUIPAMIENTO A UTILIZAR

Las descripciones de los equipos a utilizar en el laboratorio deben ir desde la protección personal para los operadores o las personas que van a estar en el lugar, hasta el equipo a utilizar para la realización de las pruebas descritas en este documento.

3.4.1 PROTECCIÓN PERSONAL

Es importante establecer el tipo de protección requerida para estar en el laboratorio siguiendo la ley general de prevención de riesgos del ministerio de trabajo de El Salvador, esto proveerá seguridad y confiabilidad dentro de las instalaciones, proveerá de compromiso hacia los clientes y visitantes interesados en el desarrollo de los procedimientos a llevar a cabo.

Los diferentes tipos de protección personal a exigir dentro de las instalaciones son:

- Protección de cabeza.
- Protección para la visual.
- Protección auditiva.
- Protección para las manos y pies.

¹¹ González Aquino, Claudia Marina; Ramos Ayala, Noel Antonio y Treminio, Henry David (2016), Propuesta de laboratorio de pruebas de máquinas eléctricas. Universidad de El Salvador.



Figura 3. 3 Equipos de protección personal.

3.4.2 EQUIPOS DE LABORATORIO

A continuación, se presenta el diagrama conceptual de los equipos a necesitar bajo el estándar IEEE-112. según el método B. El cual básicamente es variable según los requerimientos utilizando un banco de pruebas con dinamómetro.

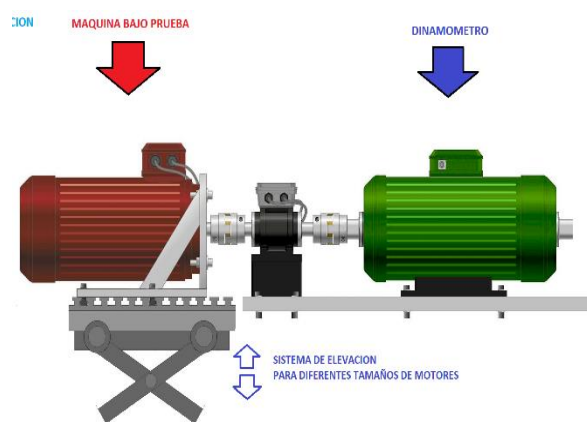


Figura 3. 4 Diagrama practico para las pruebas bajo la norma IEEE-112.

La implementación de un sistema moto-generados se debe a ensayos a baja frecuencia que se realizan a la maquina bajo prueba.

En la figura 3.5 se muestra un diagrama descriptivo para especificar a detalle cada parte de los componentes a utilizar, con el fin de especificar los equipos e instrumentos necesarios y verificar la disponible en el mercado.

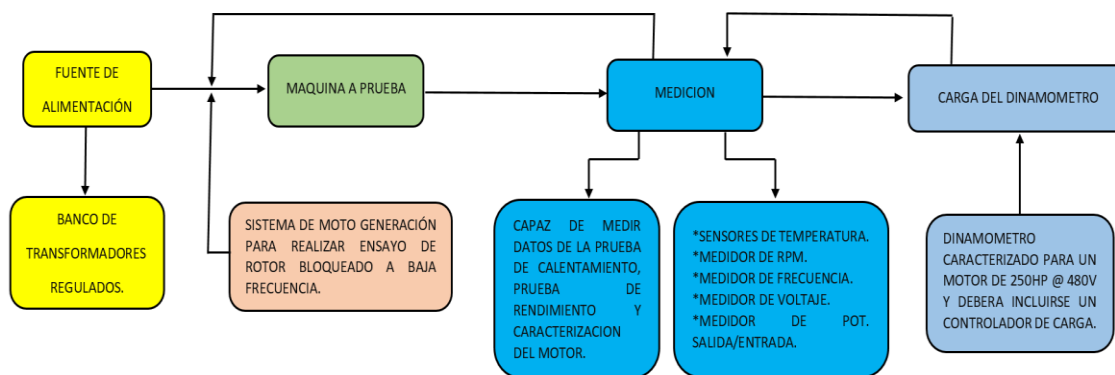


Figura 3. 5 Diagrama descriptivo del equipamiento del laboratorio.

El sistema de adquisición de datos deberá de contar con una computadora con el software respectivo para el procesamiento de los datos tomados. Es de resaltar también que las características de precisión son las más importantes del equipo ya que el estándar IEEE-112 requiere tolerancias menores al 0.2%.

ESPECIFICACIÓN DE LA PRECISIÓN DE LOS EQUIPOS.

Las especificaciones de los instrumentos a utilizar en los ensayos de laboratorio se estarán especificando a continuación y a manera de comparación y resumen en la Tabla 3.2 se observan los porcentajes en cuanto a la precisión requerida de los instrumentos según las normas IEEE-112 e IEC 60034-2.

	IEEE 112-1996	IEC 60034-2
General	±0.2%	±0.5%
Vatímetro trifásico	±0.2%	±0.1%
Transformadores	±0.2%	Incluido
Velocidad/Desplazamiento	Estroboscopio/Digital	Estroboscopio/Digital
Par (torque)		
a) Clasificación	≤0.5%	---
b) Sensibilidad	±0.25%	---
EPACT (IEEE 112-1996)		
General	±0.2%	---
Transformadores	±0.2%	---
Combinado	±0.2%	---
Velocidad	±1 rpm	---
Par (torque)	±0.2%	---

Tabla 3. 2 Comparación de las normas IEEE e IEC respecto a la precisión los equipos de medición requeridos.

BANCO DE PRUEBAS DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS.

En la figura 3.16 se puede apreciar un banco de pruebas para motores eléctricos trifásicos de grandes capacidades, tal como el que se desea implementar en la Escuela de Ingeniería eléctrica.



Figura 3. 6 Banco de pruebas conforme a los definidos por las normas IEEE 1068, IEEE-112 e IEC60034-1.

Todos los modelos de motores eléctricos rebobinados y reparados o incluso aquellos motores nuevos antes de ser lanzados al mercado deberían de pasar una serie de ensayos o pruebas, donde se comprueben sus características, con el fin de incluirlas tras su comprobación empírica en la hoja de especificaciones del motor.

Cálculos para dinamómetro.

Se toma como base el torque de un motor para poder calcular la carga del dinamómetro necesario que ese necesitaría para poder funcionar, este dato se selecciona de acuerdo a la capacidad máxima del motor a la que fue planteada inicialmente en este estudio.

Se tiene como un límite máximo un motor de las siguientes características: un motor NEMA Premium Efficiency de 250 hp, 4 polos de eje horizontal, carcasa 445/7T 3F a 460 voltios a 1800 rpm.

De la ecuación de la potencia de un motor tenemos:

$$P = T \omega_{mec}$$

Se requiere obtener el torque para este motor por lo tanto obtendremos la velocidad angular. Por lo tanto:

$$\omega_{mec} = \frac{2\pi n}{60}$$

Se sustituye "n" con el valor de 1800:

$$\omega_{mec} = \frac{2\pi(1800)}{60} = 188.50 \text{ rad/s}$$

Y convirtiendo la potencia en watts:

$$P = 250HP * \frac{0.746 \text{ kW}}{HP} = 186.5 \text{ kW}$$

Sustituyendo los valores, tenemos que el torque será:

$$T = \frac{P}{\omega_{mec}} = \frac{186.5 \text{ kW}}{188.50 \text{ rad/s}} = 989.38 \text{ N} \cdot \text{m} = 100.88 \text{ kgf/m} = 729.63 \text{ lbf/ft}$$

Para motores de 250HP con funcionamiento a velocidades de 900 rpm el par máximo es:

$$T = \frac{P}{\omega_{mec}} = \frac{186.5 \text{ kW}}{94.25 \text{ rad/s}} = 1978.7 \text{ N} \cdot \text{m} = 201.76 \text{ kgf/m} = 1459.22 \text{ lbf/ft}$$

Propuesta de banco para ensayos de motores

Como propuesta para la implementación de un banco de pruebas de motores eléctricos se ha escogido hacer uso de los equipos de la marca MAGTROL de la empresa Magtrol Inc. y Magtrol SA. Magtrol Inc. con sede en los Estados Unidos, es fabricante líder de equipos de prueba de motores y frenos y embragues de histéresis. Magtrol SA, ubicada en Suiza, también ofrece equipos de prueba de motores, así como productos para medir, controlar y monitorear la carga, la fuerza, el peso y el desplazamiento.

La amplia variedad de los equipos de medición que ofrece el fabricante se adecuan a la capacidad máxima (HP) de los motores bajo prueba que estarán en el laboratorio. En la figura 3.5 se muestra un esquema de los equipos que se utilizarán en el banco de pruebas, estos son implementados para recoger información de las mediciones de voltaje, corriente, potencia y factor de potencia.

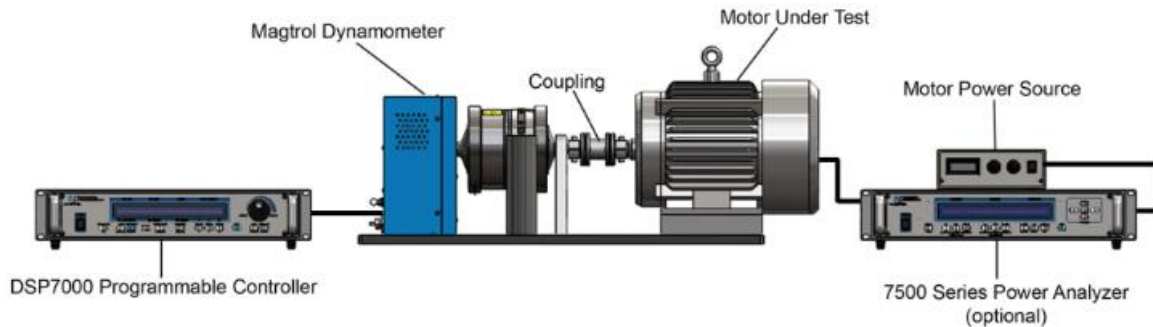


Figura 3. 7 Ejemplo de conexión de sistema de lazo abierto.

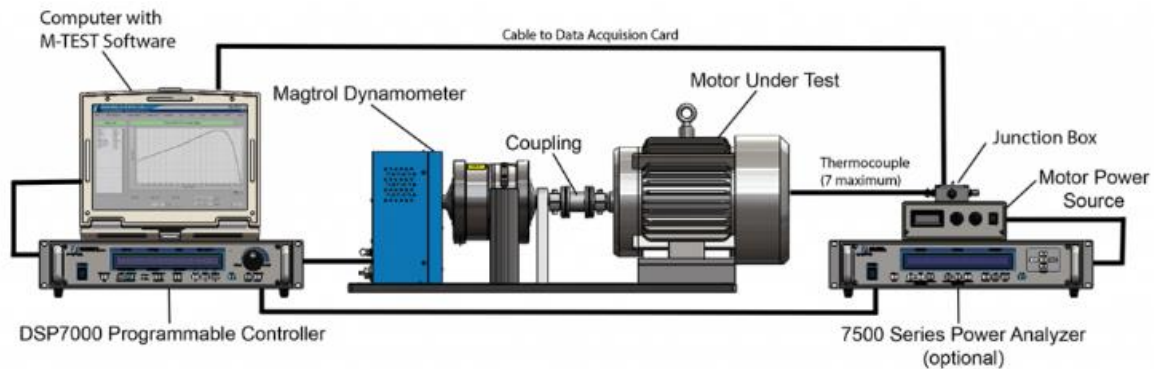


Figura 3. 8 Ejemplo de conexión de sistema de lazo cerrado.

En las figuras 3.7 y 3.8 se observan los instrumentos de medición a implementar en el banco de pruebas de motores eléctricos, estos esquemas y equipos son los desarrollados por el fabricante MAGTROL INC & SA. Las conexiones físicas de los instrumentos se pueden apreciar en la figura 11.

Software M-TEST 7

El nuevo M-TEST 7 de Magtrol es un programa de prueba de motores de última generación para la adquisición de datos. Utilizado con un controlador de dinamómetro programable Magtrol, M-TEST 7 funciona con cualquier dinamómetro Magtrol o transductor de par en línea para ayudar a

determinar las características de rendimiento de un motor bajo prueba. Se calculan y visualizan hasta 63 parámetros utilizando las capacidades de gráficos y pruebas ricas en características de M-TEST 7.



Figura 3. 9 Software Magtrol M-Test a utilizar con el banco de pruebas.

Escrito en LabVIEW™, M-TEST 7 tiene la flexibilidad de probar una variedad de motores en una multitud de configuraciones. Magtrol también puede hacer modificaciones personalizadas al software para cumplir con los requisitos adicionales de prueba de motores.

Además de M-TEST 7, Magtrol ofrece EM-TEST 2.0 específicamente diseñado para pruebas de motores de resistencia y el software de control de doble canal DUALTEST 7 totalmente independiente.

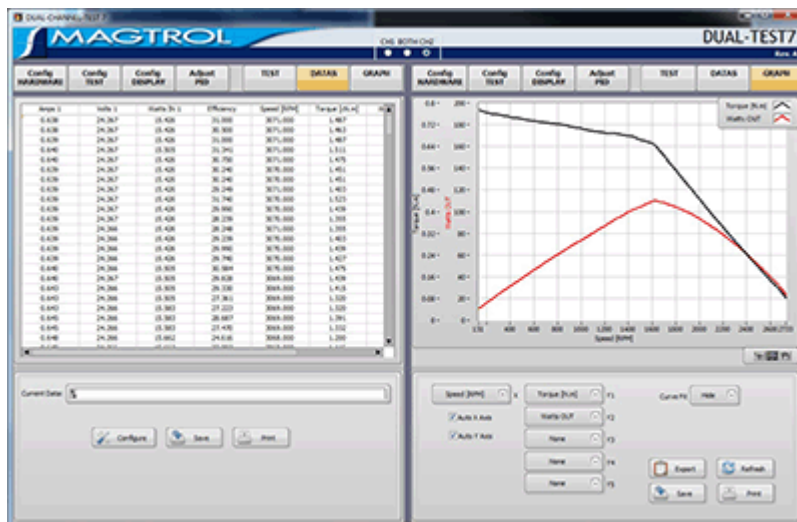


Figura 3. 10 Software Magtrol's DUAL TEST 7.

Sistema de conexiones de los equipos MAGTROL.

Un esquema de fácil interpretación de las conexiones entre los equipos de medición y de control MAGTROL se puede apreciar en la figura 3.11.

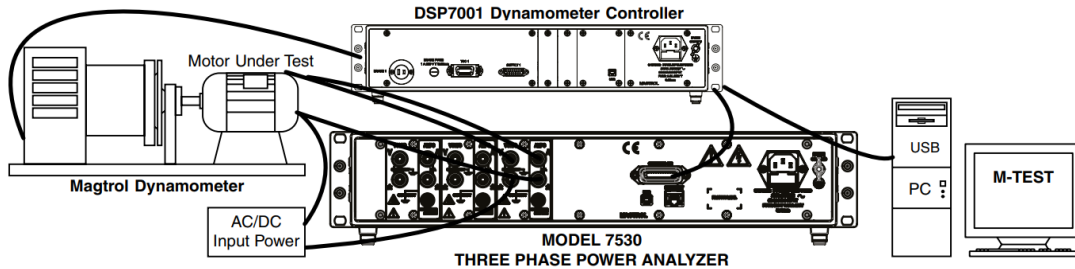


Figura 3. 11 Sistema de conexiones de los equipos Magtrol para ser implementado en laboratorios.

Ejemplo de prueba de rendimiento con el banco de pruebas de MAGTROL¹².

El ensayo fue realizado con un controlador de velocidad aplicando rampa a rotor bloqueado utilizando las conexiones de lazo cerrado en los equipos como se muestra en la figura 3.8.

Los parámetros monitoreados fueron:

- ❖ Tensión
- ❖ Corriente
- ❖ Par
- ❖ Potencia de entrada

Los valores calculados fueron:

- ❖ Potencia de salida
- ❖ Eficiencia
- ❖ Horsepower

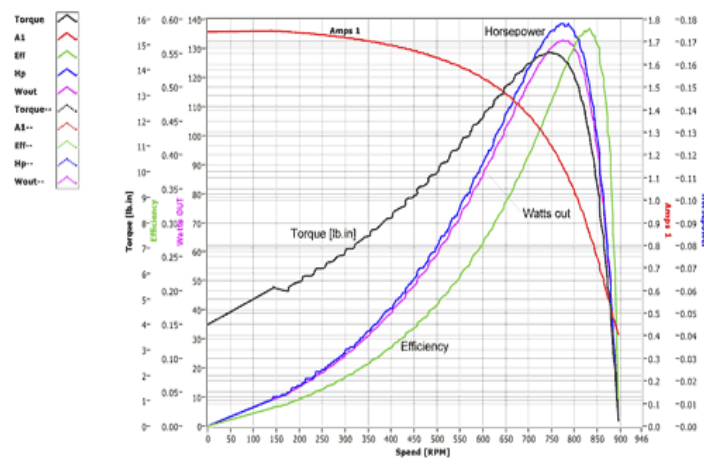


Figura 3. 12 Ejemplo grafico obtenido de los parámetros a determinar.

¹² Motor Analysis, DOC No. CMA 0000. MAGTROL INC & SA

Analizador de vibraciones FLUKE 810

El FLUKE 810 ayuda a identificar y priorizar problemas mecánicos, la implementación de este analizador de vibraciones manual puede ayudarlo a tomar decisiones de mantenimiento informadas. Este analizador de vibraciones es el instrumento de resolución de problemas más avanzado para los equipos de mantenimiento mecánico que necesitan una respuesta inmediata. La exclusiva tecnología de diagnóstico lo ayuda rápidamente a identificar y priorizar problemas mecánicos, y pone la experiencia de un analista en vibraciones al alcance de cualquier operador.



Figura 3. 13 Analizador de vibraciones Fluke 810.

Especificaciones eléctricas	
Selección de rangos	Automática
Convertidor A/D	4 canales, 24 bits
Ancho de banda útil	2 Hz a 20 kHz
Muestreo	51,2 Hz
Funciones de procesamiento de señales digitales	Filtro anti-aliasing configurado automáticamente, filtro paso alto, superposición, presentación en ventana, FFT, cálculo de la media
Velocidad de muestreo	2,5 Hz a 50 kHz
Rango dinámico	128 dB
Relación señal/ruido	100 dB
Resolución FFT	800 líneas
Ventanas espectrales	Hanning
Unidades de frecuencia	Hz, órdenes, cpm
Unidades de amplitud	pulg./seg, mm/seg, VdB (EE.UU), VdB* (Europa)
Memoria no volátil	Tarjeta de memoria micro SD, 2GB de memoria interna + almacenamiento adicional a través de ranura accesible para el usuario

Tabla 3. 3 Especificaciones técnicas eléctricas del Analizador de vibraciones Fluke 810.

Medidor de Resistencia de Aislamiento FLUKE 1550C

El medidor de resistencia de aislamiento Fluke 1550C permite realizar una comprobación digital del aislamiento de hasta 5 kV, por lo que resultan idóneos para una amplia gama de equipos de alto voltaje, como disyuntores, motores, generadores y cables.

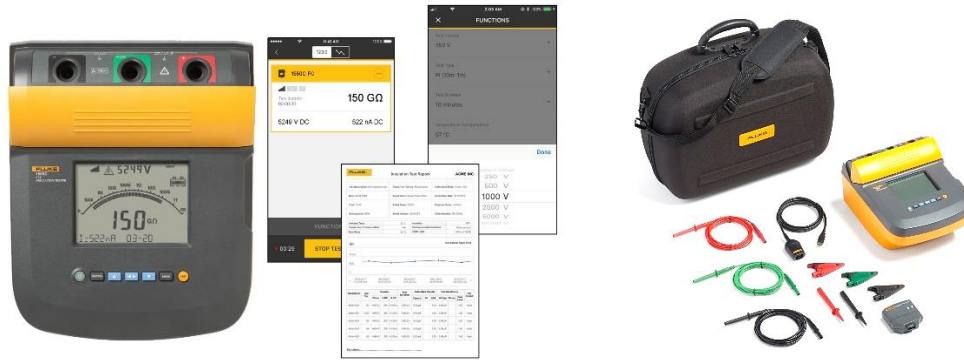


Figura 3. 14 Comprobador de aislamiento Fluke 1550C FC 5 kV.

Especificaciones eléctricas		
<p>La precisión del comprobador se especifica por un año después de calibrar a temperaturas de funcionamiento entre 0 °C y 35 °C. Para temperaturas de funcionamiento que se encuentren fuera del rango (de -20 °C a 0 °C y de 35 °C a 50 °C), sume el $\pm 0.25\%$ por °C, excepto en las bandas con un 20 %, donde deberá sumar el $\pm 1\%$ por °C.</p>		
Especificaciones de Medición de Resistencia de Aislamiento		
250 V	Rango	< 250 k Ω , 250 k Ω a 5 G Ω 5 G Ω a 50 G Ω > 50 G Ω
	Precisión (\pm lectura)	No especificada 5 % 20 % No especificada
500 V	Rango	< 500 k Ω 500 k Ω a 10 G Ω 10 G Ω a 100 G Ω > 100 G Ω
	Precisión	No especificada 5 % 20 % No especificada
1000 V	Rango	< 1 M Ω 1 M Ω a 20 G Ω 20 G Ω a 200 G Ω > 200 G Ω
	Precisión	No especificada 5 % 20 % No especificada
2500 V	Rango	< 2.5 M Ω 2.5 M Ω a 50 G Ω 50 G Ω a 500 G Ω > 500 G Ω

	Precisión	No especificada 5 % 20 % No especificada
5000 V	Rango	< 5 MΩ De 5 MΩ a 100 GΩ 100 GΩ a 1 TΩ > 1 TΩ
	Precisión	No especificada 5 % 20 % No especificada
Rango de grafico de barras	0 a 1 TΩ (1550C) - 0 a 2 TΩ (1555)	
Exactitud de voltaje en la prueba de aislamiento	-0 %, +10 % en una corriente de carga de 1 mA	
Supresión de corriente de alimentación CA inducida	2 mA máximo	
Velocidad de carga para carga capacitiva	5 segundos por μF	
Velocidad de descarga para carga capacitiva	1.5 s/μF	
Medición de la corriente de fuga	Rango	1 nA a 2 mA
	Precisión	± (5 % + 2 nA)
Medición de capacitancia	Rango	0.01 μF a 15.00 μF
	Precisión	± (15 % rdg + 0.03 μF)
Temporizador	Rango	0 a 99 minutos
	Ajuste de resolución	1 minuto
	Indicador de resol.	1 segundo
Advertencia de circuito energizado	Rango de advertencia	30 V a 660 V CA/CC, 50/60 Hz
	Precisión de voltaje	± (15 % + 2 V)
Especificaciones del software	El software básico Fluke ViewForms™ requiere de una PC con Windows XP, Windows Vista, Windows 7 o Windows 8.	

Tabla 3. 4 Especificaciones del Comprobador de aislamiento Fluke 1550C FC 5 kV.

Cámara termográfica fija Fluke RSE600

Cámaras termográficas fijas y totalmente radiométricas de Fluke. Equipadas con funciones avanzadas y extensiones de software para MATLAB® y LabVIEW®, son los instrumentos ideales para la transmisión continua y el análisis de datos infrarrojos.

Está diseñada para cubrir las necesidades de los ámbitos de la investigación, la ciencia y la ingeniería, y mejore sus procedimientos de evaluación y garantía de calidad. Con este cámara es posible transmitir de forma continua hasta 60 secuencias de datos por segundo directamente a la computadora para controlar minúsculas diferencias de temperatura y analizar los vídeos imagen por imagen a distancia con el software SmartView®



Figura 3. 15 Cámara termográfica fija Fluke RSE600.

Características principales	
Resolución del detector	640 x 480 (307.200 píxeles)
Campo de visión	34 °H x 25,5 °V
Distancia focal mínima	15 cm (aprox. 6 pulgadas)
Opciones de enfoque de cámara	El enfoque se ajusta en el software SmartView®
Conectividad inalámbrica	Sí, con PC, iPhone® e iPad® (iOS 4 y posterior), Android™ 4.3 y posterior, y de WiFi a LAN (donde esté disponible)
Sensibilidad térmica	≤ 0,040 °C a una temp. del objetivo de 30 °C (40 mK)
Cámara digital integrada (luz visible)	Rendimiento industrial de 5 megapíxeles
Frecuencia de refresco	Versiones de 60 Hz o 9 Hz
Zoom digital	Variable hasta 16x en el software SmartView®
Opciones de memoria	Utilice el software SmartView® para almacenamiento en dispositivo o cargue los datos a la Fluke Cloud™ para su almacenamiento permanente. Capture, guarde y analice las imágenes en el software SmartView®
Rango de medida de temperatura (no calibrada por debajo de -10 °C)	-10 °C a +1200 °C (14 °F a +2192 °F)

Tabla 3. 5 Características de cámara termográfica fija Fluke RSE600.

Horno de deshidratado, curado y secado al vacío de motores eléctricos.

Diseñado para cualquier proceso que requiera uniformidad de temperatura con circulación de aire. Las dimensiones de estos equipos permiten la carga y descarga mecánica o manual. Según la necesidad de tamaño y uso.

Este tipo de horno tiene visualización digital del controlador de temperatura, con una función de control de temperatura preciso, fácil de usar. Tiene la función de control de tiempo, el usuario puede configurar el tiempo de trabajo de acuerdo a la necesidad y luego detener la calefacción automáticamente.

Características	
Fabricante	Taizhou haojia Co., LTD en China
Modelo	YPO-1000
Medidas del horno W * H * D (cm) x 2 (cm)	Interior: 100*100*100 Exterior: 116*150*166
Material de cámara interna	Placa de acero inoxidable para cámara interna, placa de acero inoxidable + alimentación revestida para el exterior y aislamiento de fibra de vidrio.
Sistema de convección forzada	Ventilador de refrigeración
Temperatura máxima de trabajo	300 °C
Voltaje de alimentación	240 o 380V 60/50Hz
Intensidad	20 Amperios
Numero de fases	3
Tipo de termocupla	Tipo K con revestimiento cerámico
Elementos calefactores	Resistencia eléctrica tipo espiral inoxidable
Temperatura de resolución	+/- 0.1 °C
Personalización	Personalización del tamaño de la cámara interior, rango de temperatura, etc.
Controlador digital, Indicador de estado de Control, 2 estantes de carga de altura ajustable. Interruptor de circuito de sobrecalentamiento, protección contra sobrecarga e indicador de sobrecarga	
Manual de instalación del horno y uso incluido!!!	

Tabla 3. 6 Características principales del Horno.

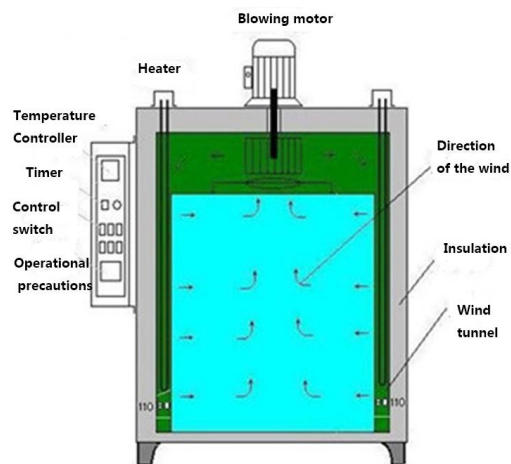


Figura 3. 16 Horno de secado de motores y transformadores.

Máquina bobinadora y maquina extractora de bobinas para motores eléctricos marca DEMATEL

Se utiliza para enrollar el alambre en bobinas y donde todos los parámetros y características de la bobina se pueden programar en la pantalla táctil. Todo el proceso de bobinado se realizará automáticamente por máquina, como bobinado, corte, indexación.



Figura 3. 17 Máquina bobinadora SMT modelo LR100.

Esta máquina es adecuada para 2 polos, 4 polos y 6 polos de bobina y cada máquina tiene un conjunto de herramientas de bobinado y tres formas de bobinado vertical.

Se garantiza que el bobinado esté libre de daños en esmalte y broche de alambre. Una vez que el cable de cobre se agote, la máquina se detendrá automáticamente.

Datos del producto			
Bobinadora		Extractor de Bobinas	
Marca	DMATEL	Marca	DMATEL
Modelo	JH2	Capacidades	0.5 a 200 HP
Lugar	Madrid	Recorrido cilindro y extracción	650 mm
Certificado	CE	Grupo hidráulico con motor	1 HP
Cabezal de fundición	Aluminio	Velocidad del motor	1500 rpm
Velocidad	Curva de velocidad 25 a 400 rpm	Protección eléctrica	Automática
Fuente de alimentación	220 V monofásico	Fuente de Alimentación	220/380 V trifásico
Rampa de arranque	Progresivo	Fuerza de tiro	10,000 kg
Peso	85 kg	Dimensiones Maquina	L2000*W860*600 mm
Potencia del motor	1 HP	Dimensiones base	L600*W600*10 mm
Dimensiones	L1140* W520 * 520 mm	Peso	200 kg

Tabla 3. 7 Datos técnicos y especificaciones de la maquina bobinadora.

Micro-óhmetro AEMC de 10 A Modelo 6255.

Para medición de resistencia óhmica a la bobina de campo y del devanado de un motor eléctrico, El Puente Kelvin (conocido también como Puente Thomson) se usa para mediciones de precisión por debajo del rango típico del Puente Wheatstone.



Figura 3. 18 Equipo de medición de resistencia óhmica.

Las mediciones de resistencia se calculan y se muestran automáticamente, considerando el valor de la medición, la temperatura ambiente, la temperatura de referencia y el coeficiente de temperatura del metal.

El usuario puede ingresar manualmente la temperatura del dispositivo bajo prueba, o el Modelo 6255 la puede medir directamente mediante una sonda de temperatura RTD externa.

Rango de medición				
Range	Resolution	Accuracy @ 23°C±5°C	Measurement Current	Voltage Drop
5mΩ	0.1μΩ	±(0.15% +1.0μΩ)	10A	50mV
25mΩ	1μΩ	±(0.05% +3μΩ)	10A	250mV
250mΩ	10μΩ	±(0.05% +30μΩ)	10A	2500mV
2500mΩ	0.1mΩ	±(0.05% +0.3mΩ)	1A	2500mV
25Ω	1mΩ	±(0.05% +3mΩ)	100mA	2500mV
250Ω	10mΩ	±(0.05% +30mΩ)	10mA	2500mV
2500Ω	100mΩ	±(0.05% +300mΩ)	1mA	2500mV
Temperature Measurement	3 wire 100Ω platinum RTD			
Accuracy	±0.5°C			
Resolution	0.1°C			
Selectable Metal Type	Yes – Copper, Aluminum or Custom			
Alarm Mode	Yes – 2 Alarms with High-Low trigger			
Storage Memory	1500 tests, supplied with DataView® software for download and reporting			
Battery	Rechargeable NIMH battery pack 6V, 8.5Ah			
Battery Life: 10A	≥ 5000 tests typical			
Battery Charger	120/240VAC ± 20% (45 to 400Hz)			
Auto Power OFF	When battery voltage <5.0V			
Dimensions (L x W x H)	10.70 x 9.76 x 7.18" (272 x 248 x 182mm)			

Weight	8.1 lbs. (3.69 kg)
IP Rating	IP64 (with cover closed) IP53 (with cover open)
Altitude Operating	2000 m
Operating Temperature	14° to 131°F (-10° to +55°C) & 10 to 80% RH
Storage Temperature (without battery)	-40° to 140°F (-40° to +60°C) & 10 to 90% RH
Safety	IEC/EN 61010-1 50V CAT III Pollution 2

Tabla 3. 8 Especificaciones del equipo para medición de Resistencia óhmica.

3.4.3 HERRAMIENTAS Y EQUIPOS NECESARIOS PARA USO EN LA ESCUELA TÉCNICA DE CAPACITACIÓN

A continuación, se da un listado de las herramientas y equipo necesario para el taller de rebobinado de motores que son los más comúnmente utilizados para llevar a cabo reparaciones adecuadas en motores eléctricos:

- ❖ Arco con segueta
- ❖ Suavizador o Asentadores de fibra
- ❖ Botador de cuñas
- ❖ Botadores juego de 5 piezas
- ❖ Brochas
- ❖ Cautín eléctrico 125 W. y 250 W.
- ❖ Cepillo de carpintero
- ❖ Cinceles
- ❖ Compás de exteriores
- ❖ Compás de interiores
- ❖ Compás de trazos
- ❖ Cuchilla
- ❖ Desarmador de cruz
- ❖ Desarmador plano
- ❖ Escuadras
- ❖ Extractor de poleas chico
- ❖ Extractor de poleas grande
- ❖ Juego de brocas
- ❖ Lima cuadrada
- ❖ Lima de media caña
- ❖ Lima plana
- ❖ Lima redonda
- ❖ Lima triangular
- ❖ Llave “perico”

- ❖ Llaves Allen (juego)
- ❖ Llaves estrías (juego)
- ❖ Llaves españolas (juego)
- ❖ Llaves Stillson
- ❖ Martillo de bola
- ❖ Martillo de goma, chico y grande
- ❖ Pinzas de corte
- ❖ Pinzas de electricista
- ❖ Pinzas de mecánico
- ❖ Pinzas de presión
- ❖ Pinzas de punta
- ❖ Punto de golpe
- ❖ Saca-bocado juego de 5 piezas
- ❖ Serrucho de carpintero

Otros Instrumentos de medición:

- ❖ Calibrador de alambre
- ❖ Cinta métrica
- ❖ Pie de rey (vernier)
- ❖ Puentes de medición eléctrica

Equipos:

- ❖ Dobladora de papel aislante
- ❖ Esmeril
- ❖ Prensa (tornillo de banco)
- ❖ Soportes para estatores
- ❖ Taladro de columna 3/4
- ❖ Taladro de mano 1/4

3.5 DISTRIBUCIÓN EN PLANTA DE LA MAQUINARIA A UBICAR EN EL LABORATORIO.

Se planea llevar a cabo la implementación de la escuela de formación y del laboratorio de pruebas dentro del edificio de potencia de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador. Este edificio es de 2 niveles, el piso inferior es amplio y cuenta con dos alas o zonas. En un ala se encuentra el laboratorio de Pruebas de Impulso de alta tensión y la otra el laboratorio de conversión de energía electromecánica. En el piso superior se cuenta con un salón de clases el cual puede alojar alrededor de 12 a 15 estudiantes.

Se pretende implementar en laboratorio de pruebas donde actualmente es el laboratorio de conversión debido a que el acceso a cualquier tipo de maquinaria es más fácil.

Distribución en planta de la maquinaria a ubicar en el laboratorio.

Se planea llevar a cabo la implementación de la escuela de formación y del laboratorio de pruebas dentro del edificio de potencia de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador. Este edificio es de 2 niveles, el piso inferior es amplio y cuenta con dos alas o zonas. En un ala se encuentra el laboratorio de Pruebas de Impulso de alta tensión y la otra el laboratorio de conversión de energía electromecánica. En el piso superior se cuenta con un salón de clases el cual puede alojar alrededor de 12 a 15 estudiantes.

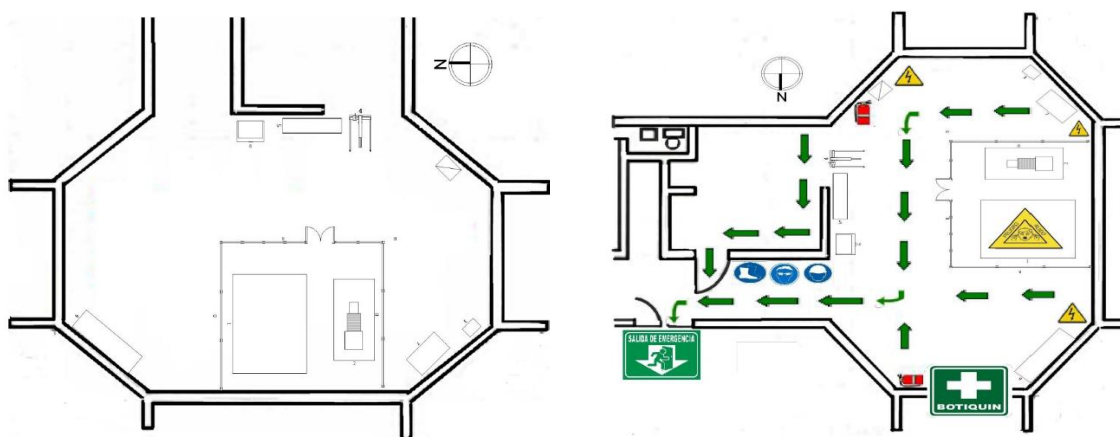


Figura 3. 19 Distribución de la maquinaria y equipos de laboratorio.

Simbología y numeración	Descripción
	Tablero principal del edificio de potencia.
	Banco de pruebas de motores, incluiría el dinamómetro y el sistema de adquisición de datos de pruebas.
	Sistema de moto generación para alimentar el banco de pruebas.
	Horno de secado de motores y Transformadores.
	Grúa hidráulica plegable para levantar y movilizar los motores eléctricos y otros.
	Estante de almacenamiento para motores y otras utilidades.
	Gabinete de herramientas.
	Almacenamiento de transformadores.
	Barandas de restricción para el área de pruebas.
	Área de trabajo para desarme y diagnóstico de motores.

Tabla 3. 9 Descripción y de los equipos dentro del edificio de potencia.

CONCLUSIONES

- ❖ El sector eléctrico tiene descuidado el rubro de las reparaciones de motores eléctricos debido a que las empresas prefieren comprar motores nuevos que rebobinarlos y esto ocasiona que este tema solo sea considerado en un corto tiempo mientras se logra sustituir la maquina por una más eficiente.
- ❖ El número de talleres de reparación y rebobinado de motores cada año disminuye y esto se debe a diferentes factores como los financieros, donde es difícil adquirir un crédito para dotar al taller de las herramientas y equipos adecuados para realizar una buena reparación y rebobinado. Los índices de delincuencia afectan los negocios, el cobro de la extorsión hace que los talleres de reparación que logran mantenerse abiertos sean para subsistencia, no plantean un crecimiento del negocio o una mejora de los procedimientos.
- ❖ El país no cuenta con una reglamentación que regule prácticas adecuadas para la reparación y rebobinado de motores, lo que provoca que se sigan utilizando prácticas que no mejoran la eficiencia de los motores reparados. Las garantías que brindan los talleres no generan confianza por parte de los clientes, ya que estas son de períodos cortos y que no se vuelven una opción a largo plazo.
- ❖ Una de las cuestiones que determinan el mantener e incrementar la eficiencia de los motores trifásicos de inducción durante su reparación, es el logro de una alta calidad en la parte del proceso de reparación en el devanado del estator. Y durante la reparación del devanado se pueden tomar medidas que lleven a reducir las pérdidas, aumentar la potencia nominal del motor o incrementar su capacidad de sobrecarga.
- ❖ La implementación de la guía de buenas prácticas para el rebobinado de motores trifásicos de inducción de EASA/AEMT junto con las diferentes normas IEEE hacen que los procedimientos descritos cobren un valor muy alto, que ayudarían a conservar y mejorar la eficiencia de los motores eléctricos rebobinados. Estas instituciones se dedican al estudio y al continuo aprendizaje de métodos y procesos que se vuelven estándares, normas y regulaciones que rigen a países desarrollados y con gran avance industrial. Por lo tanto, el desarrollo de este trabajo acompañado de estos estándares y junto a las investigaciones antes realizadas en la Universidad de El Salvador respecto al tema, es para tomarse en consideración para establecer en el país un procedimiento verídico y eficiente para la reparación de motores.
- ❖ Con la propuesta de implementar una escuela para capacitación de reparadores de motores eléctricos dentro de la Universidad de El Salvador será posible impulsar programas de aprendizaje técnico en esta área. Se brindarán aptitudes técnicas en el área de rebobinado de motores, en los centros de educación y los centros de capacitación se despertará el interés de implementar también este curso, la enseñanza empírica que se da en los talleres de reparación quedara atrás y finalmente el rebobinado de motores eléctricos se convertirá en una opción a largo plazo.

PROPUESTAS Y RECOMENDACIONES

- ❖ Proponer la creación de una escuela de formación dentro de la Universidad de El Salvador para adiestrar a técnicos reparadores, dueños de talleres de reparación, encargados o ingenieros, para específicamente capacitarlos en el área de reparación y rebobinado de motores.
- ❖ Montar un laboratorio de pruebas para monitorear o poner a prueba máquinas eléctricas, en esencia motores trifásicos de inducción para evaluar su desempeño y de esta manera dar certificación o garantía de la calidad de trabajo realizado en el área de enseñanza en la Universidad de El Salvador.
- ❖ Demostrar a las empresas que es rentable la reparación de motores igualando o hasta mejorando su rendimiento y eficiencia original con base en las investigaciones realizadas en este estudio e implementando los procedimientos descritos por EASA/AEMT y los estándares IEEE como la norma IEEE Std. 1068.
- ❖ Dar a conocer los diferentes estudios realizados en la Universidad de EL Salvador en cuanto a los temas de la reparación y rebobinado de motores eléctricos, su importancia para el desarrollo de las aptitudes técnicas de los reparadores, la conservación y mejora de la eficiencia siguiendo buenas prácticas de rebobinado.

BIBLIOGRAFIA

- [1] *Diagnóstico del estado actual del sector reparación y rebobinado de motores*. Universidad de El Salvador. Portillo Méndez, Xochilt Eunice y Palma Medrano, José Santiago (2017).
- [2] *Evaluación del impacto sobre el parámetro eficiencia eléctrica en motores eléctricos rebobinados de bajo voltaje*. Universidad de El Salvador. Quijano Hernández, Manuel de Jesús y Rivas Niño, Nelson Alberto (2009).
- [3] Propuesta de laboratorio de pruebas de máquinas eléctricas. Universidad de El Salvador. González Aquino, Claudia Marina; Ramos Ayala, Noel Antonio y Treminio, Henry David (2016).
- [4] Propuesta nacional de estándar para la reparación y rebobinado de motores eléctricos. Universidad de El Salvador. Flores López, Luis Edgardo y Portillo Salazar, Rubén Augusto (2013)
- [5] Manual para el rebobinado de motores eléctricos de inducción. Universidad Tecnológica de Pereira. Murillo Hurtado, Jorge Enrique y Serna Grisales, Alejandro. (2010)
- [6] Estudio de Rebobinado EASA/AEMT y guía de buenas prácticas para conservar la eficiencia del motor.
- [7] IEEE 1068-1990 Recommended Practice for the Repair and Rewinding of Motors for the Petroleum and Chemical Industry
- [8] IEEE 112-1996/2004 Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators.
- [9] EASA Standard AR100-2015 Recommended practice for the repair of rotating electrical apparatus.
- [10] NEMA standard MG 1-2009 Motors and Generators published by National Electrical Manufacturers Association.
- [11] IS 900-1990 Code of for installation and maintenance of induction motors.
- [12] ISA RP 52.00.01-2006 "Recommended Environments for Standards Laboratories" an American National Standards Institute (ANSI) accredited organization.
- [13] ACUERDO No. 29-E-2000. Normas técnicas de diseño, seguridad y operación de las instalaciones de Distribución eléctrica.
- [14] Manual de motores eléctricos. Andrés Videla Flores.

[15]Robert Rosenberg B.S.M.A. *Reparación de motores eléctricos. (1970). Editorial Gustavo Gili, S.A. ISBN 84-252-0146-2*

[16]*Reglamento general en materia de prevención de riesgos en los lugares de trabajo. Ministerio de Trabajo y Previsión Social de El Salvador*

APÉNDICE A - LOCALIZACIÓN DE AVERÍAS EN MÁQUINAS DE CORRIENTE ALTERNA.

El análisis de la localización de los diferentes tipos de averías que presenta un motor de corriente alterna descritas en este anexo, son basadas bajo la experiencia de diferentes centros de reparación de motores eléctricos. A pesar que en este trabajo de graduación nos enfocamos a maquinas con rotor tipo jaula de ardilla, a un taller de reparación puede llegar una maquina con rotor bobinado y es aquí donde deseamos ampliar un poco el tema para los estudiantes que recibirán la capacitación en la escuela de técnica para capacitación de reparadores de motores eléctricos, debido a que motores tipo jaula de ardilla y de rotor bobinado son los más utilizados en la industria.

Localización de contactos a masa.

Para verificar la existencia de contactos a masa en el estator de los motores, procederemos como se aprecia en la figura C.1, retirando primeramente los puentes de la placa de bornes, para medir a continuación el aislamiento entre cada una de las fases y la carcasa del motor, bien sea con el medidor de aislamiento de un polímetro o con un medidor de aislamiento apropiado. La fase que acuse continuidad es la que tiene el defecto. Luego, como más adelante veremos, hay que localizar la bobina o bobinas puestas a masa, para su posterior aislamiento o sustitución.

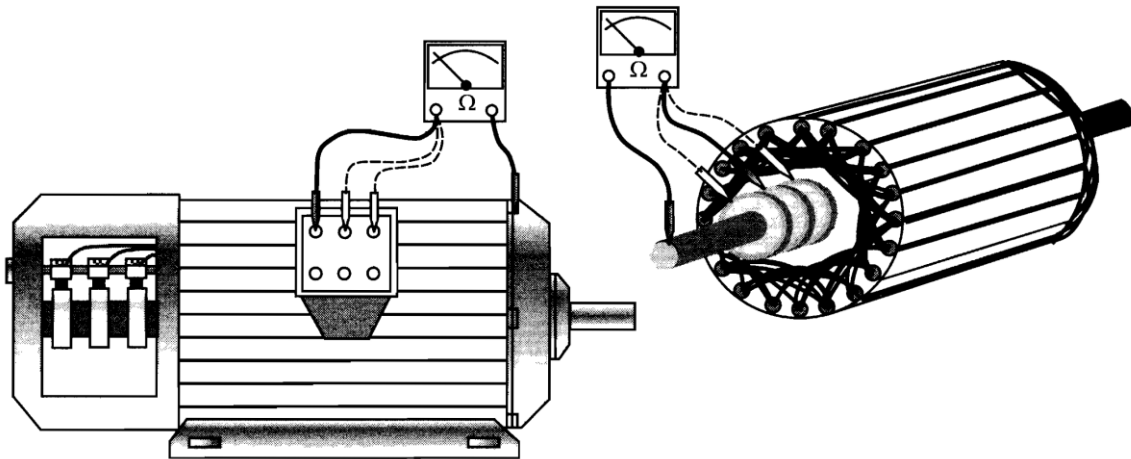


Figura A. 1 Localización de la fase puesta a masa en estator y rotor.

Como ya se mencionó, cuando el rotor es de anillos rozantes, éste puede presentar en él la misma anomalía que en el estator y la verificación puede realizarse tanto desmontado éste como sin desmontarlo. siempre que aislemos correctamente sus escobillas de los anillos rotóricos. La comprobación se realiza de igual forma que en el estator, midiendo la continuidad entre el eje y cada uno de los tres anillos del rotor. En principio solamente detectamos si una fase está puesta a masa; por el contrario, si queremos saber qué fase es la dañada, debemos desconectar las tres

fases del punto de la estrella del devanado y verificar las fases una a una. Una vez localizada la fase averiada, para determinar qué bobina o bobinas están puestas a masa, hay que desconectar todos los puentes de conexión entre grupos de bobinas, de dicha fase, e ir comprobando la continuidad entre cada una de las bobinas y masa (figura C.2).

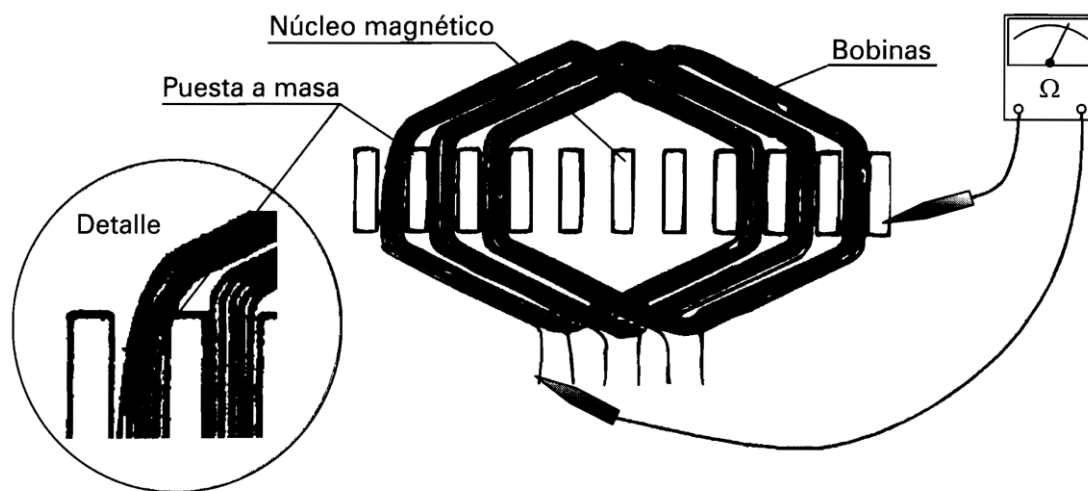


Figura A. 2 Localización de la bobina o grupo de bobinas puesta a masa.

Una vez localizada la bobina averiada, se puede extraer y aislar convenientemente o bien sustituirla por otra nueva, siempre que el tamaño del motor y los tipos de bobinas lo hagan posible o bien sustituir el grupo al que pertenece la bobina averiada, e incluso toda la fase averiada o el devanado completo, como suele hacerse en los motores de pequeña potencia.

Localización de cortocircuitos.

Los cortocircuitos en los devanados de corriente alternan se suelen producir siempre que: los aislamientos fallen, debido a quemazón por sobrecargas frecuentes, o bien debido al empleo de materiales de aislamiento e impregnación de baja calidad, que fallan debido a las vibraciones del propio motor y a la degradación de los mismos. Los cortocircuitos en el interior de un motor pueden ser de muy distinta magnitud, de tal forma que para su estudio los clasificamos en dos apartados, a saber:

- Cortocircuitos entre dos fases distintas.
- Cortocircuitos entre espiras de una misma fase.

Los primeros suelen ser muy radicales, siempre que sean directos entre fases. Éstos son detectados por las protecciones del motor y éste se queda instantánea-mente fuera de servicio. En otros casos, ya sean del primer o segundo tipo. su grado de peligrosidad puede variar, dependiendo de las espiras que queden cortocircuitadas. lo que puede originar: desde ningún síntoma apreciable cuando son pocas espiras de una misma fase, a una intensidad absorbida

exagerada cuando las espiras eliminadas son muchas, o bien un calentamiento excesivo y la quema posterior del propio motor en los casos extremos.

Cortocircuito entre fases

En estos casos, si el cortocircuito es franco (ejemplo A-B de la figura C.3), lo normal es que los fusibles o relés de protección contra cortocircuitos salten, el motor se desconecta y la avería no pase a tener mayores consecuencias. Pero otras veces, cuando el cortocircuito es entre bobinas de distinta fase y éste no es franco, debido a la impedancia de las muchas espiras intercaladas, como es el caso C-D de la figura C.3, el motor puede llegar a arrancar, calentarse exageradamente, e incluso llegar a quemarse sin que sus protecciones lo desconecten.

Por tanto, cuando un motor no sobrecargado se calienta exageradamente y sus protecciones no saltan, hay que suponer un cortocircuito incipiente entre fases, con una gran impedancia, debido a las muchas espiras que quedan intercaladas (ejemplo C-D). En estos casos para detectarlo hay que desmontar el motor y, si una observación visual no es suficiente para detectarlo, hay que proceder a retirar los puentes de la placa de bornes y verificar el aislamiento entre las fases, por medio de un polímetro o un medidor de aislamiento. Tal como se aprecia en la figura C.3 como es natural las fases cortocircuitadas acusarán más continuidad entre ellas, siendo ésta mayor o menor dependiendo del tipo e impedancia del cortocircuito.

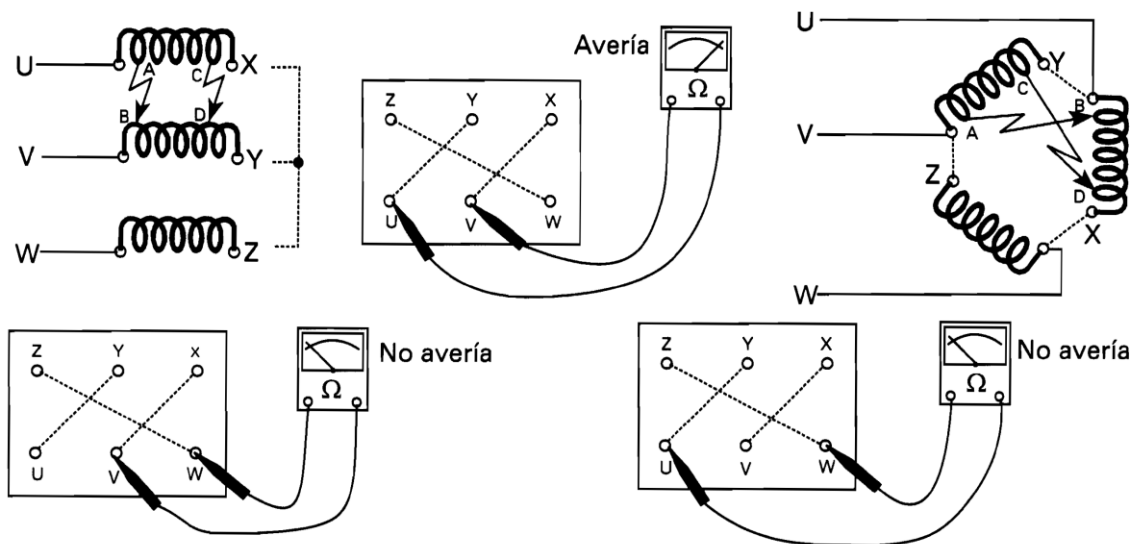


Figura A. 3 Localización de cortocircuito entre fases.

Cortocircuito entre espiras de una misma fase.

En estos casos, si el cortocircuito es en el devanado del estator, puede darse el caso de que el motor no pueda llegar a arrancar. Por el contrario, si al aparecer el cortocircuito el motor está en marcha, puede seguir girando, aunque empezará a roncar y aumentará su calentamiento. En este

caso también aumentará la corriente de la fase defectuosa, defecto que puede ser suficiente para que un relé de sobrecarga, del tipo diferencial pueda llegar a desconectar el motor.

Si las espiras cortocircuitadas pertenecen al rotor de un motor de anillos, el motor, si está parado, puede llegar a arrancar, pero lo hará con brusquedad y metiendo mucho ruido, a la vez que la corriente absorbida de la red oscilará durante el arranque. En estos casos, tanto si el defecto es en el rotor como en el estator, y si visualmente no logramos detectar la bobina con espiras en cortocircuito, la mejor forma de localizarla es como se hacía en los devanados de corriente continua, o sea, empleando un zumbador, manual o de sobremesa, y una lámina metálica u hoja de sierra, tal como se aprecia en la figura C.4. Al ir recorriendo el devanado con el zumbador, la lámina metálica vibrará cuando ésta esté situada sobre la bobina defectuosa.

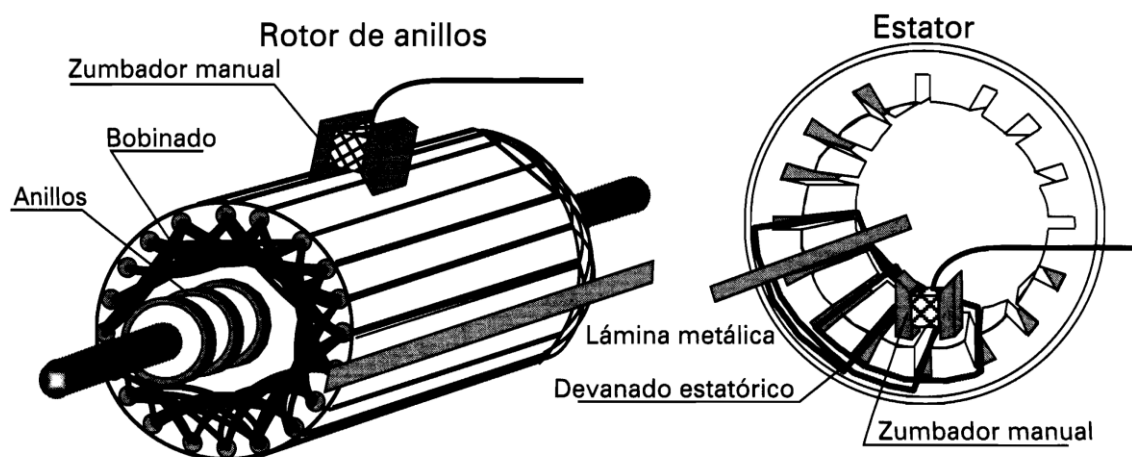


Figura A. 4 Localización de espiras en cortocircuito, en estator y rotor.

Recordamos una vez más, como ya lo hacíamos en el capítulo 2, que para la mejor detección de la bobina con espiras en cortocircuito hay que mantener una distancia entre el entrehierro del zumbador y la lámina metálica igual al ancho de bobina del devanado.

Si antes de desmontar el motor sospechamos que el defecto está en el rotor, podemos detectar la fase con la bobina defectuosa sin desmontarlo. Para ello se levantan las escobillas y, ya con el devanado del rotor abierto, se le aplica tensión al estator (si es posible inferior a la nominal) y se miden las tensiones entre los tres anillos del rotor. Si las tres tensiones son iguales, nos indica que no hay espiras en cortocircuito en el rotor, en caso contrario, si una de ellas es nula o inferior a las otras, nos indica que en esa fase existen espiras en cortocircuito.

Por medio del zumbador también podríamos detectar si en un rotor de jaula de ardilla hay alguna barra desoldada o cortada. Para ello procedemos como anteriormente se explicó, para un rotor devanado, observando que la lámina vibra en cada barra del inducido, excepto en la que está interrumpida. Este defecto se manifiesta normalmente por medio de: ruidos anormales, arranques dificultosos, e incluso pueden aparecer chispas entre las barras del rotor y sus discos de cortocircuito.

Localización de conductores cortados.

Estas anomalías, tanto si el devanado es de rotor como si es de estator, se manifiestan con arranques dificultosos, el motor no logra alcanzar su velocidad nominal, ronca y se achica con la carga, o incluso no logra arrancar; todo ello debido a su alimentación en bifásico, como se aprecia en los esquemas de la figura C.5. Si el devanado está ejecutado con circuitos en paralelo y es uno solo de esos circuitos el interrumpido, el motor presenta los mismos síntomas que si la fase completa estuviera cortada.

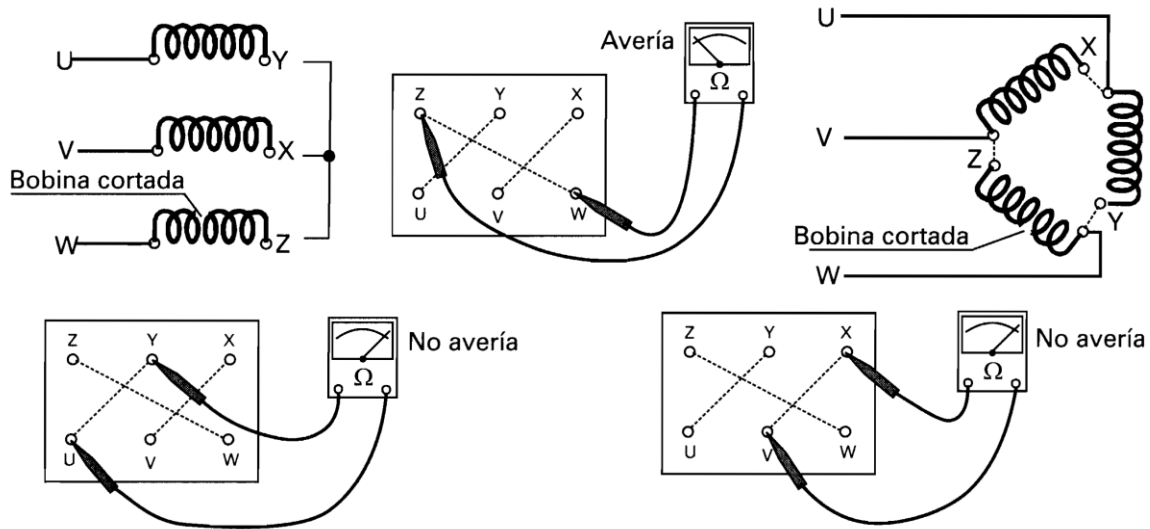


Figura A. 5 Localización de conductores cortados.

Primeramente, debemos observar los conductores que van a la placa de bornes, ya que, con frecuencia, y bien sea debido a las vibraciones, al envejecimiento del aislamiento o de las soldaduras de los terminales, se sueltan o cortan en la propia placa de bornes.

Luego para localizar las interrupciones en el devanado del estator, debemos comprobar la continuidad de cada fase por separado. Para ello retiramos los puentes de la placa de bornes, ya estén en estrella o en triángulo y con un medidor de continuidad (polímetro o medidor de aislamiento) verificamos una a una las fases del motor, tal como se aprecia en la figura C.5.

Para localizar las interrupciones en un rotor de anillos rozantes, empezaremos por aislar los anillos rotóricos, bien sea levantando las escobillas o colocando un aislante entre aros y escobillas. Seguidamente procedemos a medir la continuidad entre cada dos anillos o entre cada anillo y el punto de la estrella del devanado, si éste es accesible, como si de un devanado de estator se tratara.

Otra forma de localizar la fase cortada del rotor, una vez aislados los anillos rotóricos, consiste en alimentar el estator (si es posible a tensión reducida) y medir la tensión existente entre cada dos anillos. Si una fase está cortada, no nos dará tensión alguna con ninguna de las otras dos. Esto es

debido a que en estas condiciones el rotor se comporta como el secundario de un transformador, en el que se inducen tensiones debido al flujo estáticos.

Determinación de polaridad correcta.

Si alguna de las conexiones entre grupos de bobinas no se conecta correctamente, o bien se han equivocado algunas entradas (U, V, W) con salidas (X, Y, Z), el campo magnético no será completamente giratorio y, en consecuencia, la máquina no podrá arrancar o lo hará con mucha dificultad.

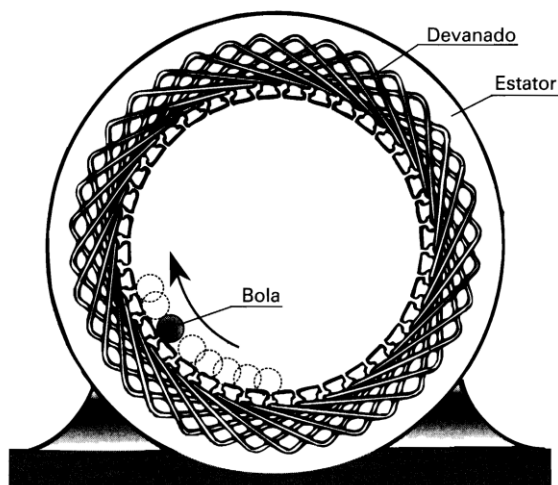


Figura A. 6 Determinación de la polaridad correcta de un estator.

La localización de las bobinas o los grupos de bobinas conectados incorrectamente, podría hacerse de manera práctica, y sobre todo para motores que no sean de gran tamaño, y es que existe un procedimiento mucho más fácil y rápido, aplicable a los estatores de las máquinas de corriente alterna, que es el reflejado en la figura C.6.

Este sistema de comprobación de la polaridad correcta consiste en aplicarle tensión alterna al estator, desmontado, al que se le ha introducido previamente una bola de acero en su interior -de un cojinete de bolas o similar-, tal como se aprecia en la figura 4.6. Si las conexiones están correctamente realizadas, la bola rodará por el interior del estator perfectamente, arrastrada por el campo magnético giratorio. Si existiera alguna conexión equivocada, la bola permanecería en reposo u oscilaría, debido a la deformación del campo magnético.

Para realizar esta comprobación en los motores de mediana o gran potencia, es mejor hacerlo con una tensión inferior a la nominal de la máquina, siempre que ésta sea alterna, ya que el campo magnético se forma perfectamente y es mucho más segura la prueba.

Si deseamos verificar la polaridad en un rotor devanado, lo mejor es emplear el sistema de la brújula, tal como se hace con los inducidos de las máquinas de corriente continua. Para ello se aplica tensión continua entre cada anillo rozante y el punto de la estrella del devanado, mientras

se va verificando, con la brújula, la polaridad fase a fase, comprobando que en cada una de ellas su número de polos es igual al de polos del estator y que a su vez estará desplazado entre sí el mismo número de ranuras, obteniendo además tres series de polaridades completas.

Si vamos marcando los polos, al final del ensayo habremos comprobado que se obtiene un número de polos tres veces mayor que el del motor y que, además, todos estos polos tendrán alternativamente sentido contrario, ya que cada fase alimentada independientemente forma la polaridad completa, tal como se aprecia en la figura C.7. Así para un devanado tetrapolar obtendremos doce polaridades con el sentido siguiente: N-S-N-S-N-S-N-S-N-S. Esto por supuesto no va a ocurrir en funcionamiento normal, cuando sea alimentado con corriente alterna, ya que en este caso esas polaridades se van manifestando una después de otra, dando así lugar al campo magnético giratorio.

Aunque no es normal que los devanados de rotor estén conectados en triángulo, si éste fuera el caso, la tensión continua se aplicará de una sola vez a todo el devanado, abriendo la conexión triángulo en uno de sus vértices y conectando éstos a la fuente de corriente continua, tal como se aprecia en el pequeño dibujo de la figura C.7. De esta forma, todas las fases quedan en serie y al ir comprobando la polaridad con la brújula, obtendremos la misma serie de polaridades descrita para la conexión estrella.

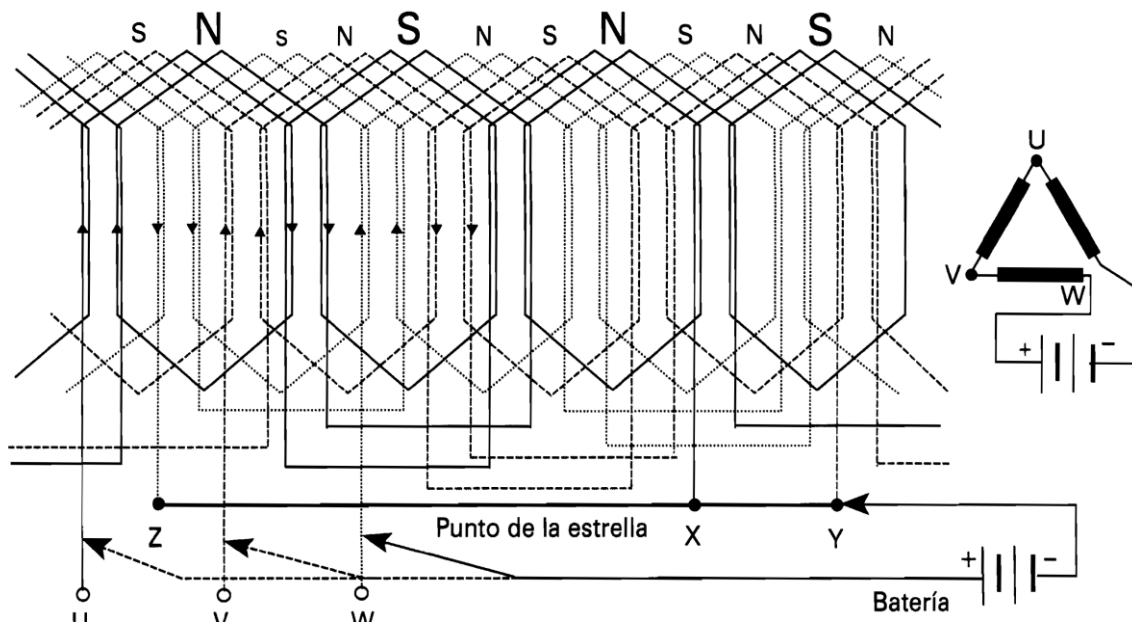


Figura A. 7 Verificación de la polaridad correcta en un rotor devanado, conectado en estrella.

Cuando verificamos con la brújula un rotor devanado, según cuál sea el defecto, quedará manifestado por las secuencias de polaridad de los ejemplos siguientes:

- Si en el ejemplo de la figura C.7 obtuviéramos las polaridades: N-S-N-N-N-S-N-S-N-S-N-S, nos indicará que un grupo de bobinas está mal conectado. En este caso será el cuarto grupo, que deberemos corregir permutando las conexiones de dicho grupo.

- Si por el contrario la secuencia fuera: N-N-N-S-S-N-N-N-S-S, nos indicaría que una fase completa está invertida. En este caso la segunda fase, que debemos de corregir cambiando su entrada por su salida.

- Si un grupo completo no manifiesta polaridad alguna, nos indicará que está completamente cortocircuitado.

Resumen de localización de averías.

En la tabla se muestran las fallas más comúnmente presentadas en motores de corriente alterna, así también, se aprecia las causas que provocan estas fallas y sus diferentes soluciones.

Síntomas	Causa probable	Verificación y soluciones
1. Motor que no arranca	<ul style="list-style-type: none"> No le llega corriente al motor. Si el motor ronca y no llega a arrancar, le falta una fase. Tensión insuficiente o carga excesiva. Se el motor es de anillos y el ruido es normal y no arranca, el circuito retorico está mal. Circuito exterior o devanado cortado. Devanado a masa. 	<ul style="list-style-type: none"> Verificar tensión en la red, fusibles, contactos, conexiones del motor. Verificar la correcta conexión, estrella o triangulo en su placa de bornes y la carga del motor. Verificar tensiones rotóricas. Contacto de las escobillas y circuito de las resistencias de arranque (conductores o resistencia) Verificar aislamiento de los devanados.
2. El motor arranca, pero no alcanza la velocidad nominal.	<ul style="list-style-type: none"> Tensión insuficiente o caída de tensión excesiva. Fase del estator cortada. Si el motor es de anillos, han quedado resistencias intercaladas. Si el motor es de anillos, ruptura del circuito de arranque rotórico. Cortocircuito o devanado a masa. 	<ul style="list-style-type: none"> Verificar tensión de red y sección de línea. Verificar tensión y devanado. Verificar circuitos de arranque. Verificar conexiones, resistencias, escobillas y devanados. Verificar devanados y reparar.
3. La corriente absorbida en funcionamiento es excesiva.	<ul style="list-style-type: none"> Maquina accionada, agarrotada o carga excesiva. Si el motor ronca y las intensidades de las tres fases son desiguales, cortocircuito en el estator. 	<ul style="list-style-type: none"> Verificar carga y sustituir motor si este es pequeño. Verificar aislamiento y reparar o rebobinar el motor. Verificar anillos, escobillas y circuito de resistencias. Verificar devanado rotórico

		y reparar.
4. La corriente absorbida en el arranque es excesiva.	<ul style="list-style-type: none"> • Par resistente muy grande. • Si el motor es de anillos, resistencias rotórico mal calculadas o cortocircuitadas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar la carga del motor • Verificar resistencias y posibles cortocircuitos en resistencias y devanados rotóricos.
5. El rotor se calienta exageradamente.	<ul style="list-style-type: none"> • Motor sobrecargado. • Ventilación incorrecta. • Si el motor se calienta en vacío, conexión defectuosa. • Tensión de red excesiva. 	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar carga. • Verificar y limpiar rejillas y ranuras de ventilación. • Verificar la conexión de la placa de bornes. • Verificar devanado estatórico. • Verificar tensión y corregir.
6. El motor humea y se quema.	<ul style="list-style-type: none"> • Cortocircuito directo o de un número excesivo de espiras en cualquiera de sus devanados. • Mala ventilación del motor. 	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar devanados y reparar o rebobinar. • Mantener siempre limpios los circuitos de ventilación.
7. El motor produce demasiado ruido.	<ul style="list-style-type: none"> • Vibraciones de ciertos órganos. • Si el ruido es solamente en reposo y no en marcha, cortocircuito en el rotor. • Si el ruido cesa al cortar la corriente, entrehierro irregular. 	<ul style="list-style-type: none"> • Lanzar y desconectar el motor y si el ruido persiste, verificar fijaciones y cojinetes. • Verificar devanado rotórico y reparar. • Verificar cojinetes y rotor. • Verificar barras del rotor.

Tabla A. 1 Resumen de averías y soluciones en máquinas de corriente alterna.

APÉNDICE B - TABLAS DE CONDUCTORES, CALIBRES EQUIVALENTES Y CORRIENTE ABSORVIDA

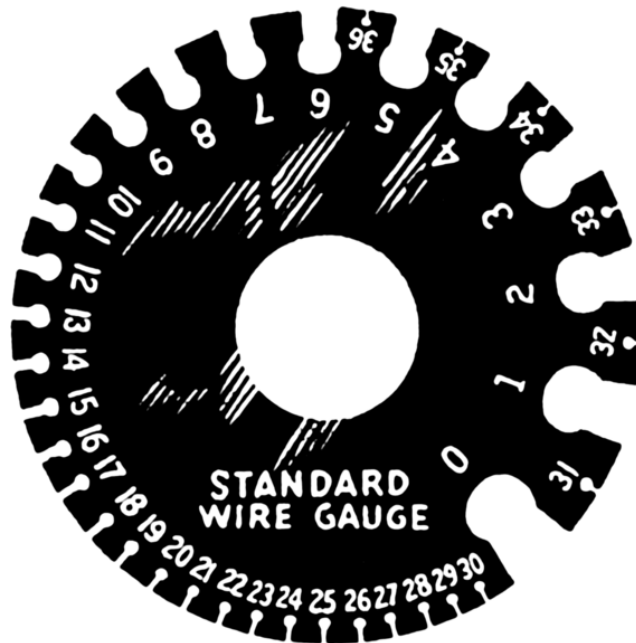


Figura B. 1 Calibrador o galga para conductores eléctricos desnudos.

CARACTERÍSTICAS DE LOS CONDUCTORES DE COBRE NORMALIZADOS SEGÚN LA ESCALA DE CALIBRES AWG (AMERICAN WIRE GAUGES).

AWG	Diámetro		Área		Resistencia eléctrica en cobre ($\Omega/1$ km)	Resistencia eléctrica en cobre ($\Omega/1000$ ft.)	Corriente admisible en cobre
	(in)	(mm)	(kcmil)	(mm ²)			a 40 °C al aire libre (A)
1000	1	25.4	1000	507	0.03394346		870
900	0.9487	24.1	900	456	0.03773977		800
750	0.866	22	750	380	0.04528772		740
600	0.7746	19.67	600	304	0.05660965		650
500	0.7071	17.96	500	253	0.06802108		580
400	0.6325	16.06	400	203	0.08477505		500
350	0.5916	15.03	350	177.3	0.09706336		460
250	0.5	12.7	250	126.7	0.13582742		370
0000(4/0)	0.46	11.68	211.6	107	0.1608349		335

000(3/0)	0.4096	10.4	167.8	85	0.20246276		287
00(2/0)	0.3648	9.266	133.1	67.4	0.25533137		247
0(1/0)	0.3249	8.251	105.5	53.5	0.32470442	~0.1	214
1	0.2893	7.348	83.69	42.4	0.40588053		180
2	0.2576	6.544	66.37	33.6	0.51218257		150
3	0.2294	5.827	52.63	26.7	0.64454436		125
4	0.2043	5.189	41.74	21.2	0.81176105		117
5	0.1819	4.621	33.1	16.8	1.02436514		
6	0.162	4.115	26.25	13.3	1.29393491		89
7	0.1443	3.665		10.5	1.63898422		
8	0.1285	3.264		8.37	2.0560734		66
9	0.1144	2.906		6.63	2.59567637		
10	0.1019	2.588		5.26	3.2772	0.9989	30
11	0.0907	2.305		4.17	4.1339	1.26	25
12	0.0808	2.053		3.31	5.21	1.588	20
13	0.072	1.828		2.62	6.572	2.003	17
14	0.0641	1.628		2.08	8.284	2.525	15
15	0.0571	1.45		1.65	10.45	3.184	12
16	0.0508	1.291		1.31	13.18	4.016	10
17	0.0453	1.15		1.04	16.614	5.064	7
18	0.0403	1.02362		0.823	20.948	6.385	5
19	0.0359	0.9116		0.653	26.414	8.051	
20	0.032	0.8128		0.518	33.301	10.15	
21	0.0285	0.7229		0.41	41.995	12.8	
22	0.0253	0.6438		0.326	52.953	16.14	
23	0.0226	0.5733		0.258	66.798	20.36	
24	0.0215	0.5106		0.205	84.219	25.67	
25	0.0179	0.4547		0.162	106.201	32.37	
26	0.0159	0.4049		0.129	133.891	40.81	
27	0.0142	0.3606		0.102	168.865	51.47	
28	0.0126	0.3211		0.081	212.927	64.9	
29	0.0113	0.2859		0.0642	268.471	81.83	
30	0.01	0.2546		0.0509	338.583	103.2	
31	0.0089	0.2268		0.0404	426.837	130.1	
32	0.008	0.2019		0.032	538.386	164.1	
33	0.0071	0.1798		0.0254	678.806	206.9	
34	0.0063	0.1601		0.0201	833	260.9	
35	0.0056	0.1426		0.016	1085.958	331	
36	0.005	0.127		0.0127	1360.892	414.8	

37	0.0045	0.1131		0.01	1680.118	512.1	
38	0.004	0.1007		0.00797	2127.953	648.6	
39	0.0035	0.08969		0.00632	2781.496	847.8	
40	0.0031	0.07987		0.00501	3543.307	1080	

Tabla B. 1 Calibre de conductores de cobre AWG.

CALIBRES EQUIVALENTES DE CONDUCTORES.

Al rebobinar un motor es preferible utilizar el conductor de calibre idéntico al del conductor original. Sin embargo, en ocasiones podemos encontrar calibres de conductores que no estén disponibles en el mercado, y esto nos obliga a implementar calibres de conductores diferentes.

Con el objetivo de facilitar la selección del conductor, la tabla B.2 muestra varias correspondencias entre calibres de conductores que mantienen la sección útil inalterada.

Cuando no se dispone de 1 conductor de calibre	Puede emplearse 2 conductores en paralelo de calibre
N° 10	N° 13
N° 11	N° 14
N° 12	N° 15
N° 13	N° 16
N° 14	N° 17
N° 15	N° 18
N° 16	N° 19
N° 17	N° 20
N° 18	N° 21
N° 19	N° 22
N° 20	N° 23
Cuando no se dispone de 2 conductor de calibre	Puede emplearse 1 conductores en paralelo de calibre
N° 28	N° 25
N° 27	N° 24
N° 26	N° 23
N° 25	N° 22
N° 24	N° 21
N° 23	N° 20
N° 22	N° 19
N° 21	N° 18
N° 20	N° 17
N° 19	N° 16
N° 18	N° 15

Tabla B. 2 Calibres equivalentes de conductores utilizados en la construcción de bobinas.

CORRIENTE EN AMPERIOS ABSORBIDA A PLENA CARGA POR MOTORES TRIFÁSICOS DE DIVERSAS POTENCIAS Y TENSIONES.

HP	Asíncronos, de jaula de ardilla y de rotor bobinado					Síncronos Factor de potencia = 1 *			
	115V	230V	460V	575V	2300V	220V	440V	550V	2300V
½	4	2	1	0.8					
¾	5.6	2.8	1.4	1.1					
1	7.2	3.6	1.8	1.4					
1 ½	10.4	5.2	2.6	2.1					
2	13.6	6.8	3.4	2.7					
3		9.6	4.8	3.9					
5		15.2	7.6	6.1					
7 ½		22	11	9					
10		28	14	11					
15		42	21	17					
20		54	27	22					
25		68	34	27		54	27	22	
30		80	40	32		65	33	26	
40		104	52	41		86	43	35	
50		130	65	52		108	54	44	
60		154	77	62	16	128	64	51	12
75		192	96	77	20	161	81	65	15
100		248	124	99	26	211	106	85	20
125		312	156	125	31	264	132	106	25
150		360	180	144	37		158	127	30
200		480	240	192	49		210	168	40

Tabla B. 3 Corrientes a plena carga en función de la potencia y el voltaje.

*Para un factor de potencia igual a 0.9 o 0.8 estas cifras deben multiplicarse por 1.1 y 1.25 respectivamente.

Potencia, velocidad de motores de inducción polifásicos¹³

La potencia en HP y los rangos de la velocidad síncrona de motores polifásicos de inducción deberá ser según lo se muestra en la tabla B.4.

¹³ Section 10.32.3. NEMA standard MG 1-2009 Motors and Generators published by National Electrical Manufacturers Association.

HORSEPOWER AND SPEED RATINGS, POLYPHASE MEDIUM INDUCTION MOTORS

Hp	60-Hertz							50-Hertz			
	Synchronous Rpm							Synchronous Rpm			
1/2	...	...	...	900	720	600	514	...	...	...	750
3/4	...	...	1200	900	720	600	514	...	...	1000	750
1	...	1800	1200	900	720	600	514	...	1500	1000	750
1-1/2	3600**	1800	1200	900	720	600	514	3000	1500	1000	750
2	3600**	1800	1200	900	720	600	514	3000	1500	1000	750
3	3600**	1800	1200	900	720	600	514	3000	1500	1000	750
5	3600**	1800	1200	900	720	600	514	3000	1500	1000	750
7-1/2	3600**	1800	1200	900	720	600	514	3000	1500	1000	750
10	3600*	1800	1200	900	720	600	514	3000	1500	1000	750
15	3600**	1800	1200	900	720	600	514	3000	1500	1000	750
20	3600**	1800	1200	900	720	600	514	3000	1500	1000	750
25	3600**	1800	1200	900	720	600	514	3000	1500	1000	750
30	3600**	1800	1200	900	720	600	514	3000	1500	1000	750
40	3600**	1800	1200	900	720	600	514	3000	1500	1000	750
50	3600**	1800	1200	900	720	600	514	3000	1500	1000	750
60	3600**	1800	1200	900	720	600	514	3000	1500	1000	750
75	3600**	1800	1200	900	720	600	514	3000	1500	1000	750
100	3600**	1800	1200	900	720	600	514	3000	1500	1000	750
125	3600**	1800	1200	900	720	600	514	3000	1500	1000	750
150	3600**	1800	1200	900	720	600	...	3000	1500	1000	750
200	3600**	1800	1200	900	720	...	...	3000	1500	1000	750
250	3600**	1800	1200	900	...	...	...	3000	1500	1000	750
300	3600**	1800	1200	...	...	...	...	3000	1500	1000	...
350	3600**	1800	1200	...	...	...	...	3000	1500	1000	...
400	3600**	1800	...	...	...	...	...	3000	1500	...	...
450	3600**	1800	...	...	...	...	...	3000	1500	...	...
500	3600**	1800	...	...	...	...	...	3000	1500	...	...

*For frame assignments, see Part 13.

**Applies to squirrel-cage motors only.

Tabla B. 4 Rangos de velocidad y potencia en motores de inducción polifásicos a 50/60 Hz.

Corriente de rotor bloqueado en motores trifásicos de inducción tipo jaula de ardilla.¹⁴

La corriente de rotor bloqueado de los motores trifásicos de inducción de velocidad constante, a 230 voltios a 60 Hz, cuando se mide con voltaje y frecuencia nominal y con el rotor bloqueado, no debe exceder los valores enumerados en la tabla B.5.

¹⁴ Section 12.35.1. NEMA standard MG 1-2009 Motors and Generators published by National Electrical Manufacturers Association.

**MAXIMUM LOCKED-ROTOR CURRENT FOR 60-Hz
DESIGN B, C, AND D MOTORS AT 230 VOLTS**

Hp	Locked-Rotor Current, Amperes*	Design Letters
1/2	20	B, D
3/4	25	B, D
1	30	B, C, D
1-1/2	40	B, C, D
2	50	B, C, D
3	64	B, C, D
5	92	B, C, D
7-1/2	127	B, C, D
10	162	B, C, D
15	232	B, C, D
20	290	B, C, D
25	365	B, C, D
30	435	B, C, D
40	580	B, C, D
50	725	B, C, D
60	870	B, C, D
75	1085	B, C, D
100	1450	B, C, D
125	1815	B, C, D
150	2170	B, C, D
200	2900	B, C
250	3650	B
300	4400	B
350	5100	B
400	5800	B
450	6500	B
500	7250	B

*The locked-rotor current of motors designed for voltages other than 230 volts shall be inversely proportional to the voltages.

Tabla B. 5 Corriente máxima de rotor bloqueado para motores polifásicos a 230 V y 380 V, diseño B, C y D.

Eficiencia de motores polifásicos tipo jaula de ardilla¹⁵

La eficiencia a plena carga de los motores polifásicos medianos tipo jaula de ardilla de una velocidad y de diseño A y B en el rango de 1 a 400 HP asignados de acuerdo con la Parte 13 (NEMA Std. MG 1) y por encima de 400 caballos de fuerza hasta 500 caballos de fuerza, incluido el Diseño C las clasificaciones se identificarán en la placa de identificación mediante una eficiencia nominal seleccionada de la columna de Eficiencia nominal en la Tabla B.6, que no será mayor que la eficiencia promedio de una gran población de motores del mismo diseño.

¹⁵ Section 12.58.2. NEMA standard MG 1-2009 Motors and Generators published by National Electrical Manufacturers Association.

La eficiencia se identificará en la placa de identificación con el título "Eficiencia nominal NEMA o - NEMA Nom. Eff.

La eficiencia a plena carga, cuando funciona a voltaje y frecuencia nominales, no debe ser menor que el valor mínimo asociado con el valor nominal en la Tabla B.6.

EFFICIENCY LEVELS			
Nominal Efficiency	Minimum Efficiency Based on 20% Loss Difference	Nominal Efficiency	Minimum Efficiency Based on 20% Loss Difference
99.0	98.8	91.0	89.5
98.9	98.7	90.2	88.5
98.8	98.6	89.5	87.5
98.7	98.5	88.5	86.5
98.6	98.4	87.5	85.5
98.5	98.2	86.5	84.0
98.4	98.0	85.5	82.5
98.2	97.8	84.0	81.5
98.0	97.6	82.5	80.0
97.8	97.4	81.5	78.5
97.6	97.1	80.0	77.0
97.4	96.8	78.5	75.5
97.1	96.5	77.0	74.0
96.8	96.2	75.5	72.0
96.5	95.8	74.0	70.0
96.2	95.4	72.0	68.0
95.8	95.0	70.0	66.0
95.4	94.5	68.0	64.0
95.0	94.1	66.0	62.0
94.5	93.6	64.0	59.5
94.1	93.0	62.0	57.5
93.6	92.4	59.5	55.0
93.0	91.7	57.5	52.5
92.4	91.0	55.0	50.5
91.7	90.2	52.5	48.0
		50.5	46.0

Tabla B. 6 Valores mínimos de eficiencia basado en una diferencia de 20% de perdidas

Energy Efficient Motors¹⁶

Si el motor, en el reporte de pruebas de rutinas realizado iguala o excede los límites dados en la tabla B.7, el motor puede ser denominado como "Energy Efficient"

¹⁶ Section 12.61. NEMA standard MG 1-2009 Motors and Generators published by National Electrical Manufactures Association.

FULL-LOAD EFFICIENCIES OF ENERGY EFFICIENT MOTORS

OPEN MOTORS								
Hp	2 POLE		4 POLE		6 POLE		8 POLE	
	Nominal Efficiency	Minimum Efficiency	Nominal Efficiency	Minimum Efficiency	Nominal Efficiency	Minimum Efficiency	Nominal Efficiency	Minimum Efficiency
1	...	...	82.5	80.0	80.0	77.0	74.0	70.0
1.5	82.5	80.0	84.0	81.5	84.0	81.5	75.5	72.0
2	84.0	81.5	84.0	81.5	85.5	82.5	85.5	82.5
3	84.0	81.5	86.5	84.0	86.5	84.0	86.5	84.0
5	85.5	82.5	87.5	85.5	87.5	85.5	87.5	85.5
7.5	87.5	85.5	88.5	86.5	88.5	86.5	88.5	86.5
10	88.5	86.5	89.5	87.5	90.2	88.5	89.5	87.5
15	89.5	87.5	91.0	89.5	90.2	88.5	89.5	87.5
20	90.2	88.5	91.0	89.5	91.0	89.5	90.2	88.5
25	91.0	89.5	91.7	90.2	91.7	90.2	90.2	88.5
30	91.0	89.5	92.4	91.0	92.4	91.0	91.0	89.5
40	91.7	90.2	93.0	91.7	93.0	91.7	91.0	89.5
50	92.4	91.0	93.0	91.7	93.0	91.7	91.7	90.2
60	93.0	91.7	93.6	92.4	93.6	92.4	92.4	91.0
75	93.0	91.7	94.1	93.0	93.6	92.4	93.6	92.4
100	93.0	91.7	94.1	93.0	94.1	93.0	93.6	92.4
125	93.6	92.4	94.5	93.6	94.1	93.0	93.6	92.4
150	93.6	92.4	95.0	94.1	94.5	93.6	93.6	92.4
200	94.5	93.6	95.0	94.1	94.5	93.6	93.6	92.4
250	94.5	93.6	95.4	94.5	95.4	94.5	94.5	93.6
300	95.0	94.1	95.4	94.5	95.4	94.5	...	...
350	95.0	94.1	95.4	94.5	95.4	94.5	...	...
400	95.4	94.5	95.4	94.5	...	...	...	...
450	95.8	95.0	95.8	95.0	...	...	...	...
500	95.8	95.0	95.8	95.0	...	...	...	...

Tabla D. 1 Eficiencia en motores de inducción para ser considerados como motores eficientes.