

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



**DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DEL SECTOR
REPARACIÓN Y REBOBINADO DE MOTORES**

PRESENTADO POR:

**JOSE SANTIAGO PALMA MEDRANO
XOCHILT EUNICE PORTILLO MENDEZ**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

CIUDAD UNIVERSITARIA, AGOSTO DE 2017

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

MSC. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

MSC. CRISTOBAL HERNAN RIOS BENITEZ

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO:

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCON SANDOVAL

SECRETARIO:

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERIA 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:

**DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DEL SECTOR
REPARACIÓN Y REBOBINADO DE MOTORES**

Presentado por:

**JOSE SANTIAGO PALMA MEDRANO
XOCHILT EUNICE PORTILLO MENDEZ**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

ING. ARMANDO MARTÍNEZ CALDERÓN

SAN SALVADOR, AGOSTO DE 2017

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

ING. ARMANDO MARTÍNEZ CALDERÓN

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría que estas líneas sirvieran para expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a todas aquellas personas que con su ayuda han colaborado en la realización de este momento culmen en todos estos años que he dedicado al estudio de la ingeniería. Primeramente a Dios, de quien depende todos mis logros y este en especial sea para su honra y gloria y quien en los momentos más difíciles de la carrera sé que estuvo conmigo tomándome de la mano y guiándome.

A mis padres Alma de Palma y German Palma, quienes en todo este tiempo siempre me animaron y me brindaron todo su apoyo a lo largo de este tiempo y que sin ellos es muy seguro que no estuviera en este punto de mi vida, sé que nunca poder pagarles todo lo que me han dado, muchas gracias. A mis hermanos, Emma Palma y Emilio Palma, que a pesar de que en muchas ocasiones no nos ponemos de acuerdo sé que me apoyaron y darían todo por mí. A mis familiares cercanos mi tía Silvia Ramírez y mis abuelos (QDDG) quienes también estuvieron ahí cada vez que necesite de ellos, y de quienes conservare muy valioso recuerdos de cómo me acompañaron en lo poco que ellos podían hacer, pero que lo hicieron con mucho amor y con la mejor de las intenciones.

Un agradecimiento especial al Ingeniero Armando Calderón, quien ha sido mi mentor a lo largo de estos años y me ha mostrado una gran estima y apoyo, en especial cuando la carrera estaba todo en mi contra me dio ánimos, orientación y seguimiento pero sobre todo motivación para continuar.

A todos los amigos que caminaron junto a mi durante estos largos años, compañeros de lucha e incansables guerreros que combatimos arduamente hasta el fin, sé que sin ellos mi vida en la universidad hubiera sido aún más pesada. La lista es larga pero mencionare algunos nombres: Cesar, Carlos, Luis, Marvin, Freddy, Jorge, Juan Carlos, Claudia, Noé, Nelson, Aarón, Reynaldo, Samuel (miembros de la Palma Corp.) y desde luego mi amiga y actual compañera de tesis Xochilt Portillo a quien le tengo mucho aprecio y espero logremos culminar juntos la meta.

Jose Santiago Palma Medrano

AGRADECIMIENTOS

Primeramente le doy gracias a Dios, por haberme dado la fortaleza y sabiduría para superar cada uno de los retos que he tenido que enfrentar a lo largo de mi carrera. Todo el camino ha sido largo y difícil; hubieron momentos que pensé que no lo lograría pero Dios, mi familia y amigos siempre estuvieron ahí para apoyarme. La disciplina, el esfuerzo personal, y la inversión de horas y horas de estudio han valido la pena ya que todo el aprendizaje obtenido y las amistades que he conocido son invaluable. Llegar hasta este punto de mi vida es de tremenda satisfacción para mí; el lograr uno de mis más grandes sueños me llena de felicidad.

Agradezco también a mi familia: mis padres Carlos Portillo y Silvia de Portillo pilares fundamentales en mi vida, que nunca dejaron de darme palabras de aliento y consejos que me han forjado como la persona que soy hoy en día. A mi amada tía Juanita Portillo y abuela Sofía Barrera, quienes con su cariño me apoyaron y acompañaron en mis noches de desvelos y estudio junto a mis compañeros, también a mi abuelo Oscar Portillo por su inmenso cariño. A mis hermanos Carlos Armando Portillo y Sofía Portillo que con su amor me inspiraban a seguir adelante. A mi bisabuela paterna que sé que desde el cielo podrá ver todo lo que estoy logrando y que siempre quiso para mí. A mi novio y además compañero, los primeros 2 años, Fernando Mejía, quien siempre me brindo su amor, me apoyó, y confió en mi capacidad en cada momento.

Agradezco igualmente a mis amigos; Débora Guardado por su incondicional amistad, cariño y su inmensa ayuda en las materias que llevamos juntas en los primeros 3 años. A Javier García por ser un gran amigo y compañero, con quien estudiábamos incansablemente. A mi compañero de trabajo de graduación y estimado amigo Santiago Palma con quien luchamos y trabajamos tanto para superar esta meta juntos a pesar de todos los obstáculos. A todos mis demás compañeros y amigos con quienes compartí tantas noches de estudio y que hacen que este logro sea más gratificante. Al Ing. Armando Calderón quien siempre nos apoyó, aconsejó y asesoró todo lo posible para lograr un trabajo profesional y con el criterio ingenieril que se requiere actualmente. Finalmente a todos los profesores de la carrera por brindarme los conocimientos necesarios y los consejos para poder obtener éxito en el ámbito laboral.

Xochilt Eunice Portillo Mendez

ÍNDICE

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	i
1.1. OBJETIVOS.....	iii
1.1.1 OBJETIVO GENERAL	iii
1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	iii
1.2. GLOSARIO TÉCNICO.....	iv
1.1. JUSTIFICACIÓN	vii
1.2. ALCANCES.....	viii
1.3. LIMITACIONES	viii
1.4. ANTECEDENTES	ix
1.5. DESCRIPCIÓN DEL TEMA.....	x
1.6. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	xi
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	1
2.1. REPARACIÓN DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS Y SU EFICIENCIA.	1
2.1.1. Eficiencia.....	3
2.2. TENDENCIAS ACTUALES EN MOTORES INDUSTRIALES.....	8
2.2.1. Reducción del ruido.....	8
2.2.2. Aumento de rendimiento.....	10
2.2.3. Motores de alta velocidad	11
2.2.4. Motor electrónico.....	12
2.2.5. Nuevas tecnologías y prototipos.....	12
2.3. IMPORTACIONES DE MOTORES ELÉCTRICOS EN EL SALVADOR....	13
2.4. CAUSAS MÁS COMUNES DE FALLA EN MOTORES ELÉCTRICOS.....	16
2.4.1. Condiciones ambientales adversas	16
2.4.2. Selección o aplicación incorrectas	17
2.4.3. Instalación inadecuada	17
2.4.4. Desperfectos mecánicos.....	18
2.4.5. Fallas eléctricas	18

2.4.6.	Desequilibrio de tensión.....	18
2.4.7.	Mantenimiento no apropiado.....	19
2.4.8.	Falla por operación con una sola fase.....	19
2.4.9.	La combinación de uno o más problemas anteriores.....	19
2.5.	CALIDAD DEL SUMINISTRO DE ENERGÍA.....	24
2.5.1.	Indicadores Individuales.....	24
2.5.2.	Comparación de los indicadores individuales de producto técnico.....	26
2.5.3.	Incidencia del usuario en la calidad del producto	27
2.6.	VARIACIÓN DEL VOLTAJE NOMINAL Y LA FRECUENCIA NOMINAL SEGÚN NEMA MG-1-2009.....	27
2.6.1.	Efectos de la variación de la tensión en la temperatura.	28
2.6.2.	Efecto de la variación en el voltaje en el factor de potencia.	28
2.6.3.	Efecto de la variación de tensión en el par de arranque.	28
2.6.4.	Efecto de la variación de tensión en el deslizamiento.....	28
2.6.5.	Efectos de la variación en la frecuencia.....	28
2.6.6.	Efectos del desequilibrio de tensión en el rendimiento de motores de inducción polifásicos.....	29
2.6.7.	Efecto en el rendimiento – general.....	30
2.6.8.	Desequilibrio definido	30
2.6.9.	Voltaje y armónicos.....	31
2.7.	DESLIZAMIENTO DEPLENA CARGA Y SU CORRECCIÓN DEBIDO A VARIACIONES EN LA TENSIÓN Y TEMPERATURA.....	33
2.8.	CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE AISLAMIENTO.	36
2.8.1.	Aislamiento de bobina con sus accesorios.....	36
2.8.2.	Aislamiento de conexión y aislamiento de bobinado.	36
2.8.3.	Piezas estructurales asociadas.	36
2.9.	IMPORTANCIA DE LOS RODAMIENTOS.....	37
2.9.1.	Medidas de los rodamientos, tipos y tolerancias.....	37
2.10.	CONSIDERACIONES PARA REPARAR O REEMPLAZAR MOTORES.	39
2.10.1.	Factor de rebobinado	41

2.11. EFECTOS DE REPARAR Y REBOBINAR EN LA EFICIENCIA	41
2.12. ESTÁNDARES Y MÉTODOS DE MEDICIÓN DE EFICIENCIA.....	42
2.13. NORMAS RELATIVAS A EFICIENCIA EN MOTORES ELÉCTRICOS EN EL SALVADOR.....	43
2.14. FAMILIA DE NORMAS 50000 PARA SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA.....	44
CAPÍTULO 3: INVESTIGACIÓN DE CAMPO.....	45
3.1. ENCUESTA A TALLERES DE REPARACIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS.	45
3.1.1. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN DE CAMPO.....	45
3.2. ENCUESTA A EMPRESAS	52
3.2.1. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN DE CAMPO.....	52
3.3. ENCUESTA A INSTITUCIONES EDUCATIVAS	59
3.3.1. RESULTADOS DE LA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	60
3.4. DIAGNÓSTICO DE LA INVESTIGACIÓN DE CAMPO.	64
3.4.1. SECTOR TALLERES.	64
3.4.2. SECTOR EMPRESAS.	64
3.4.3. SECTOR INSTITUCIONES EDUCATIVAS.	65
3.5. PROBLEMÁTICA EN LA ADMINISTRACIÓN Y FINANZAS DE LOS TALLERES.....	66
3.5.1. Publicidad y promoción	66
3.5.2.Obstáculos que se enfrentan en las inversiones en Eficiencia Energética.	67
CAPÍTULO 4: PROPUESTAS DE SOLUCIÓN	68
4.1. PROPUESTA: MANUAL DE BUENAS PRÁCTICAS DE REBOBINADO Y REPARACIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS EN EL SALVADOR.....	68
PROCESO A SEGUIR	69
1. Responsabilidades y actividades de pre -reparación.....	69
2. Inspección inicial.....	69
3. Desmontaje.....	71
4.Toma de datos, remoción del antiguo rebobinado y limpieza del núcleo..	73
5. Reparaciones mecánicas que pueden afectar la eficiencia.	75

6. Rebobinado.....	77
7. Pruebas	80
8. Montaje del motor.....	87
9. Actividades Post reparación.....	87
10. Formación y Seguridad del personal	88
4.2. PROPUESTA DE FINANCIAMIENTO PARA EL SECTOR DE TALLERES DE REBOBINADO Y REPARACIÓN DE MOTORES.	92
4.3. PROPUESTA DE TEMATICAS SOBRE REBOBINADO Y REPARACIÓN DE MOTORES ORIENTADAS A INSTITUCIONES EDUCATIVAS DE ENSEÑANZA TÉCNICA.....	94
4.4. CONCLUSIONES.....	95
4.5. RECOMENDACIONES.....	97
4.6. BIBLIOGRAFÍA	98
4.7. ANEXOS	100
ANEXO A. Lista de los mercados proveedores para un producto importado por El Salvador.	100
ANEXO B. Formatos usados por “Programa de Eficiencia Energética” del Ministerio de Economía de la República de El Salvador y el Banco Interamericano de Desarrollo CT No. ATN/OC.....	101
ANEXO C. Fotografías en uno de los talleres encuestados.....	103
ANEXO D. Terminología utilizada por EASA/EAMT para el Manual de Buenas prácticas, para motores verticales AC.	106
ANEXO E. Formulario propuesto para la recepción de motores en talleres de reparación y rebobinado.....	107
ANEXO F. Formato para reporte de pruebas realizadas sugerido por EASA.....	108
ANEXO G. Hoja para prueba e Historial de datos de la resistencia de aislamiento.....	109
ANEXO H. Formulario propuesto de informe post reparación.....	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comparación de eficiencias entre los diferentes tipos de motor.	4
Figura 2. Características de un motor de acuerdo a su grado de eficiencia.....	5
Figura 3. Clases de eficiencia norma IEC-60034-30/IEC-60034-31 y NEMA.....	6
Figura 4. Componentes que influyen en la eficiencia de un motor.....	8
Figura 5. Rotor inyectado en cobre.	10
Figura 6. Formas de los bobinados.	10
Figura 7. Ventajas del motor con imanes permanentes.	11
Figura 8. Estator y rotor de la tecnología de los motores con reluctancia conmutada.	12
Figura 9. Motor IE4.....	13
Figura 10. Composición de las importaciones por rama de Actividad Económica.....	14
Figura 11. Importaciones por Sector Económico del año 2015 al 2016..	14
Figura 12. Importaciones de Motores y generadores eléctricos.....	15
Figura 13. Fallas en los devanados de un motor eléctrico.....	22
Figura 14. Características del motor y sus pérdidas versus la tensión aplicada y frecuencia..	29
Figura 15. Factor medio de derating del motor debido a la tensión desequilibrada.....	30
Figura 16. Desbalance de tensión vrs incremento de pérdidas en el motor.	31
Figura 17. Curva propuesta del derating para los armónicos de tensión.	32
Figura 18. Curva de un motor de inducción para un diseño NEMA clase B. ..	35
Figura 19. Juego interno del rodamiento.	38
Figura 20. Proceso para la toma de decisiones, ante la falla de un motor.....	40
Figura 21. Reducción de la eficiencia por cada rebobinado en el motor.....	41
Figura 22. Elementos para una efectiva administración de motores.	41
Figura 23. Respuestas de los talleres que se buscaba encuestar.	46
Figura 24. Publicidad en talleres.	46
Figura 25. Tiempo de existir de los talleres.	47

Figura 26. Tamaño de motores reparados usualmente según su potencia.	47
Figura 27. Motores según Norma, que se reciben en los talleres.....	48
Figura 28. Uso de altas temperaturas para extraer la bobina.....	48
Figura 29. Modificaciones mecánicas que se realizan a los motores.....	49
Figura 30. Posesión de equipos especializados.	49
Figura 31. Posesión de equipos especializados.	49
Figura 32. Inversión en equipo.	50
Figura 33. Formación del personal técnico.	50
Figura 34. Capacitaciones para el equipo técnico.	50
Figura 35. Conocimiento de las líneas de crédito.	51
Figura 36. Tiempo de existencia de la empresa.....	52
Figura 37. Rango de capacidad en la que operan los motores en empresas encuestadas.	52
Figura 38. Comparación de economía de las empresa.....	53
Figura 39. Porcentaje de carga al que operan los motores en empresas encuestadas.	53
Figura 40. Porcentaje de registro de valores de tensión y frecuencia en empresas encuestadas.	54
Figura 41. Porcentaje de registro de historial de motores en las empresas encuestadas.	54
Figura 42. Empresas que cuentan con un programa de mantenimiento de sus motores.....	55
Figura 43. Preferencia de empresas encuestadas (Reparación vrs reemplazo). .	55
Figura 44. Porcentaje de empresas que cuentan o no con taller de reparación de motores.	56
Figura 45. Porcentaje de empresas encuestadas que realizan mejoras periódicas de los equipos utilizados.	56
Figura 46. Porcentaje de empresas encuestadas en las que el personal que realiza reparaciones posee formación técnica.	57
Figura 47. Porcentaje de empresas encuestadas donde su personal recibe capacitación técnica.	57

Figura 48. Porcentaje de empresas donde el personal tiene interés de seguirse capacitando.....	58
Figura 49. Opinión de empresas encuestadas en relación a la propuesta de invertir en el sector reparación y rebobinado.....	58
Figura 50. Porcentaje de empresas encuestadas que demuestran conocimiento de líneas de crédito para inversión en el sector de reparación y rebobinado.	59
Figura 51. Porcentaje de respuesta a encuestas dirigidas a instituciones educativas.	59
Figura 52. Porcentaje de instituciones educativas que imparten temas relativos a la reparación y rebobinado de motores.....	60
Figura 53. Porcentaje de instituciones educativas que cuentan con talleres para prácticas de medición en motores eléctricos.....	60
Figura 54. Porcentaje de instituciones educativas que realizan inversiones periódicas para la mejora de equipos.	61
Figura 55. Porcentaje de instituciones educativas donde los docentes reciben capacitación.	61
Figura 56. Porcentaje de preferencia (Reparar vrs reemplazar) en opinión de docentes de instituciones educativas.....	61
Figura 57. Porcentaje de instituciones educativas que imparten conocimientos sobre programas de mantenimiento de motores eléctricos.....	62
Figura 58. Opinión de docentes acerca si es importante de capacitación de los técnicos en el área de reparaciones.	62
Figura 59. Opinión de docentes acerca de la importancia de invertir en el sector reparaciones de motores eléctricos.....	63
Figura 60. Pruebas realizadas en el nucleo del estator.....	72
A.B.1.Registro de levantamiento de motores.	101
A.B.2. Registro de mediciones en motores.....	102
A.C.1. a) Placa de características de un generador síncrono AC. b) Detalle del generador. c) Detalle del generador completo.	103
A.C.2. Bobinado de un generador, desgastado por uso.....	103
A.C.3. Generador Diesel con problemas mecanicos.....	104

A.C.4. Generador Diesel, ya reparado.....	104
A.C.5. Generador Diesel en fase de prueba.	104
A.C.6. Fotografía de uno de los motores en reparación. Se puede observar la condiciones de suciedad que se tienen en la zona de trabajo del taller.	105
A.C.7. Uno de los equipos de prueba. También se puede apreciar en esta fotografía las condiciones de abandono y suciedad no adecuadas.	105
A.D.1 Terminología utilizada para motores verticales AC basada el Manual de Buenas prácticas de EASA/AEMT.....	106
A.D.2 Terminología utilizada para motores horizontal AC basada el Manual de Buenas prácticas de EASA/AEMT.....	106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Requerimientos de combustible en el sector industrial.	1
Tabla 2. Comparación entre eficiencias de motores de inducción bajo la norma IEC y NEMA.....	5
Tabla 3. Comparación de eficiencias según diferentes estándares.....	7
Tabla 4. Medidas de ahorro de energía.	15
Tabla 5. Características problemas en los enbobinados y sus posibles causas.	23
Tabla 6. Límites permisibles de Tensión.	25
Tabla 7. Niveles de tensión manejados en BT y MT en El Salvador.	25
Tabla 8. Regulación de tensión mínima y máxima permitida en BT Y MT.	26
Tabla 9. Niveles de regulación de voltajes permitidos en BT.	26
Tabla 10. Comparación niveles de regulación de voltajes permitidos en MT. .	26
Tabla 11. Incremento en las pérdidas del motor vrs Desbalance de tensión. ...	31
Tabla 12. Capacidad para soportar temperaturas.....	37
Tabla 13. Métodos de medición de eficiencia.	42
Tabla 14. Oportunidades de mejora vrs Obstáculos a vencer en relación al aspecto administrativo y financiero.	67
Tabla 15. Precios aproximados de motores en el mercado.....	91

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación (1).....	1
Ecuación (2).....	2
Ecuación (3).....	2
Ecuación (4).....	3
Ecuación (5).....	3
Ecuación (6).....	3
Ecuación (7).....	25
Ecuación (8).....	30
<i>Ecuación</i> (9).....	32
<i>Ecuación</i> (10).....	33
<i>Ecuación</i> (11).....	33
<i>Ecuación</i> (12).....	33
<i>Ecuación</i> (13).....	33
<i>Ecuación</i> (14).....	33
<i>Ecuación</i> (15).....	33

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Hoy en día el constante incremento de los costos de la energía eléctrica y las restricciones establecidas sobre la conservación del medio ambiente hicieron que en los países industrializados como USA y algunos países europeos, se dictaran políticas y se aprobaran legislaciones respecto al uso de la energía eléctrica. Considerando que de la energía total generada en el mundo, aproximadamente el 60% la consumen los motores eléctricos y que el motor eléctrico más usado es el asíncrono de jaula de ardilla, surgió entre las medidas más prometedoras para el ahorro de la energía, establecer el incremento obligatorio de la eficiencia de estos motores. Esta idea fue reforzada cuando un estudio realizado en 1990 por el Departamento de Energía de los Estados Unidos de América mostró que para el año 2010, la industria podría ahorrar 240 mil millones de kWh anualmente reemplazando motores y accionamiento de eficiencia estándar, por otros que fueran solo de 2% a 6% más eficientes.

En nuestro país, este tipo de política energética ha demorado en establecerse y las cifras que se encuentran en cuanto al uso de motores más eficientes son notablemente inferiores a las de los países industrializados. Una de las razones es que en las prácticas tradicionales de compra no se evalúa el costo real de la energía, entre otras cosas, porque no se comprende la relación entre la eficiencia y los costos totales durante la vida útil del equipo. Así, los compradores se concentran con frecuencia en el bajo costo inicial. Esto es debido a que hay que evaluar que los motores y acondicionamientos con mayor eficiencia, aunque son más caros inicialmente, gracias a los costos de operación más bajos, compensan la diferencia en un plazo normalmente apropiado. Otra razón es la poca información que tienen los ingenieros y técnicos respecto a los motores de alta eficiencia. Este desconocimiento da inseguridad en el momento de la aplicación y en algunos casos puede ocasionar inconvenientes en la operación de los motores.

La preocupación de lograr una mejor eficiencia en los motores, lleva a buscar alternativas que conlleven a solventar este problema, sin embargo cuando entre las opciones se encuentra la reparación del motor se presenta el cuestionamiento si la eficiencia se verá reducida, sin embargo según encuestas realizadas en investigaciones anteriores, se tiene que se prefiere la reparación antes que comprar un motor nuevo, debido al alto precio que estos tienen; y la reparación resulta ser una opción barata pero que puede repercutir en el aumento de los costos de operación. En nuestro país, los talleres que realizan estas reparaciones utilizan herramientas artesanales además de tener un plan de trabajo poco orientado a seguir estándares regulados que aseguren que el motor no disminuya

su eficiencia en manera significativa. Estas prácticas lo que hacen es reducir la eficiencia.

Los talleres de reparación deben poseer buenas prácticas; una evaluación preliminar del estado del motor, pruebas eléctricas para detectar posibles fallas, procedimientos para el desmontaje y desarmado de la máquina al igual como procedimientos para una correcta extracción de bobinas sin causar daños en el núcleo, pruebas que brinden un diagnóstico del estado de las partes fundamentales, y una evaluación de si el motor necesita solamente un reacondicionamiento de daños. Es por ello que el presente estudio se enfoca en recopilar los procedimientos aplicados y posibles mejoras para la reparación y rebobinado de motores en talleres, a partir de las investigaciones hechas por la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador, recomendaciones de estándares relacionados como la IEEE STD 1068-1996, El libro de Bronce IEEE STD. 739, EASA STD-AR100-2015 (Recommended practice for the repair of electrical apparatus) y EASA- AEMT-Estudio de rebobinado-1203-0316.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un diagnóstico del estado actual del sector de talleres dedicados a la reparación y rebobinado de motores.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar los estudios relacionados a la temática; que han sido realizados hasta la fecha en el país.
- Desarrollar criterios que permitan tomar decisiones basándose en ahorros futuros, potencia consumida, potencia ahorrada y retorno de inversión.
- Brindar datos estadísticos acerca de las importaciones de motores en el país, resaltando la importancia económica que tienen estos.
- Dar a conocer los parámetros que influyen en el aumento o disminución de la eficiencia del motor, límites permisibles para el correcto desempeño, factores de corrección, etc.
- Establecer criterios y consideraciones para reparar o reemplazar motores.
- Identificar cómo influye la aplicación de VFD en la eficiencia del motor.
- Proponer la adopción de métodos estandarizados y mediciones que permitan regular, y de igual manera mejorar el proceso de reparación de motores eléctricos mediante su rebobinado.
- Comparar métodos de medición de eficiencia en motores y mostrar sus ventajas.
- Evaluar las prácticas de reparación de motores eléctricos de talleres en el país para comparar con las recomendaciones de normas reconocidas.
- Sugerir recomendaciones y procedimientos a desarrollar por los talleres y usuarios para mejorar el rendimiento de los motores eléctricos.

1.2. GLOSARIO TÉCNICO

- **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.
- **NEMA:** National Electrical Manufacturers Association (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos)
- **IEEE:** Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Ingenieros Electronicos y Electricistas).
- **NEC:** Código Eléctrico Nacional.
- **Flecha:** sinónimo de eje del motor.
- **Rodamiento:** cojinete, balinero o balero.
- **Acoplamientos:** unión de dos piezas.
- **Rotor:** parte giratoria de una maquina electromecánica (motor).
- **Devanado:** Sinónimo de embobinado.
- **Espiras:** cada una de las vueltas de una bobina.
- **Núcleo:** empaquetamiento de chapas magnéticas.
- **Rebaba:** Materia sobrante cualquiera, que forma un resalte en los bordes de un objeto.
- **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 se le denomina entrehierro.

- **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 voltaje y corriente. Dos términos que deben ser entendidos son “nominal” y “mínimo” 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 potencia 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.
- **Ente certificador:** organización que busca garantizar que los parámetros de los motores reparados continúen siendo iguales o mejores que los que poseía antes de su reparación, también dará su aval a los talleres sobre si siguen o no la normativa.
- **Unidad temática:** Unidad de estudio que se propone agregar al currículo de estudios técnicos, cuya duración no debe ser mayor a un mes.
- **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.
- **Growler:** Es un dispositivo eléctrico usado para probar el aislamiento de un motor para bobinas en cortocircuito. Un growler consiste en una bobina de alambre envuelta alrededor de un núcleo de hierro y conectada a una fuente de corriente alterna . Cuando se coloca sobre el núcleo de la armadura o estator de un motor, el growler actúa como primario de un transformador y las bobinas en el lado inducido actúan como secundarias. una delgada tira de acero se puede utilizar como el detector corto.
- **Hipot:** (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.

1.1. JUSTIFICACIÓN

Es necesario mejorar el uso eficiente de la energía eléctrica a través de motores eléctricos y sistemas que manejen estas cargas, y que estos puedan generar un ahorro energético; por consiguiente que los costos de operación se reduzcan considerablemente al tomar la decisión de reparar un motor ya que actualmente se tiene que luego de la reparación se sufre una disminución de eficiencia y elevación de los costos. Se puede desarrollar un diagnóstico útil si se observa con cuidado el parámetro de eficiencia y como puede este ser desmejorado y corregido durante los procesos de reparación y rebobinado lo cual incide en la reducción o aumento del pago por consumo de energía eléctrica. De igual manera se pretende mostrar a los talleres; que existen documentos guías que deben seguir para determinar la eficiencia de las máquinas eléctricas que se someterán a reparación, contar con el equipo adecuado de reparación y medición y que las condiciones de reparación sean las adecuadas para garantizar un buen trabajo correctivo, y un buen desempeño posterior de la máquina; es por eso que se deben de tomar en cuenta buenas prácticas para asegurar un buen desempeño posterior.

1.2. ALCANCES

Definir un diagnóstico del estado actual del manejo de la eficiencia en relación con los motores rebobinados y sus propuestas para mejorar dichos procedimientos que se aplican actualmente en los talleres del país basándose en normas aplicables que regulen estas prácticas. De esta manera se podrán minimizar las pérdidas y disminución de la eficiencia que presentan los motores luego de ser reparados. Se pretende que el hecho de reparar un motor sea una práctica que garantice calidad y que sea preferible que comprar un motor nuevo, pero para esto hay que mejorar los procedimientos actuales; claramente esto depende de la condición en la que se encuentre el motor. Partiendo del conocimiento de las fallas más comunes en los motores, se puede establecer una serie de procedimientos adecuados para la reparación de estos y así regular de mejor manera los resultados esperados desde la perspectiva del cliente.

1.3. LIMITACIONES

Para la realización de este estudio se necesita mucha investigación de los variables que influyen en la eficiencia del motor, es por eso que se consultaran normas y artículos que garanticen el cumplimiento de requerimientos mínimos. Sin embargo para lograr determinar cómo disminuye la eficiencia, con las prácticas realizadas actualmente se necesita realizar mediciones y así obtener información estadística que muestre su efecto.

Dichas mediciones se pueden realizar con estudios posteriores, para los cuales este diagnóstico será de mucha utilidad. La falta de estadísticas sobre el tipo de motores que se compran en el país es una limitante importante ya que no permite saber cuáles son las tecnologías con las que cuenta el país actualmente. No obstante los datos estadísticos mostrados pertenecen al Banco Central de Reserva de El Salvador y a Trademap (un programa estadístico económico a nivel mundial).

1.4. ANTECEDENTES

La Escuela de Ingeniería Eléctrica de La Universidad de El Salvador ha desarrollado trabajos previos, relativos al tema pero no se han unificado los resultados para proponer soluciones definitivas y concretas al sector Reparación y rebobinado de motores.

1.5. DESCRIPCIÓN DEL TEMA

El sector de talleres dedicados al rubro de la reparación de máquinas eléctricas tiene un gran peso en relación al incremento de energía por pérdidas internas causadas por posibles defectos en los trabajos ejecutados. Por lo cual se hace necesaria una evaluación de los procedimientos que son aplicados y por consiguiente definir posibles mejoras a los procedimientos actuales, así como también promover la inversión para mejorar técnicamente al sector, reduciendo los costos por pago de servicios de energía eléctrica.

1.6. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Realizar un estudio para el Diagnóstico del estado actual del Sector de Reparación y rebobinado de motores es de vital importancia ya que no se tiene un conglomerado de prácticas concisas que se puedan aplicar en el país para garantizar que posterior a la reparación no disminuya la eficiencia y rendimiento del motor, y evitar que el usuario incurra en costos mayores a los esperados; para esto es necesario realizar mediciones a los motores, retomando estudios realizados en la Escuela de Ingeniería Eléctrica y si es posible tomar estudios de otras universidades del país para que estos puedan ser tomados en cuenta, revisar estándares que permitan regular los procedimientos a desarrollar; los cuales son el IEEE STD. 1068-1990 Práctica recomendada para la reparación y Rebobinado de motores para la Industria Petrolera y Química y el libro de Bronce IEEE STD. 739, y otros estándares aplicables.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. REPARACIÓN DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS Y SU EFICIENCIA.

Los requerimientos de combustible en el sector Industrial se muestran en la tabla 1, los cuales son consumidos como electricidad en la primera columna. Los kWh de electricidad consumida se muestran en la tercera columna y su respectivo porcentaje en la segunda columna. El 26% del combustible es consumido como electricidad y el 69% de electricidad es consumida por las unidades de motor.

Combustible como electricidad		Consumo de electricidad en la industria	
Sector energía	Porcentaje (%)	kWh10 ⁹	Porcentaje (%)
Unidades de motor	20	580.9	69
Electrolítico	3	100.8	12
Calor directo	2	90.4	11
Otros	1	71.6	8
Total	26	843.7	100

Tabla 1. Requerimientos de combustible en el sector industrial¹.

Es importante tener en cuenta todos los otros puntos dentro de la industria donde se puede ahorrar energía, pero en el aspecto de la eficiencia de los motores eléctricos es indispensable, principalmente en el momento del reemplazo, o desarrollo de un nuevo proyecto en el que se necesiten comprar motores. Ya que un motor con poca eficiencia, rebobinado varias veces, o sobredimensionado, es difícil percibir el desperdicio de energía, siendo el principal factor de las cuentas tan altas a fin de mes. A continuación se presenta una ecuación para calcular el ahorro de energía en términos económicos al comparar el consumo de dos motores y que puede ser de mucha utilidad para los usuarios o clientes que deseen mandar a reparar o comprar un motor nuevo:

$$\text{Ahorro de energía} = (Pc1 - Pc2) * Nh * CkWh \quad (1)$$

Siendo

$Pc = P$ [kW]/ eficiencia.

$Pc1$ = Potencia consumida del motor 1 (motor antiguo) en kW.

$Pc2$ = Potencia consumida del motor 2 (motor nuevo "eficiente") en kW.

Nh = Número de horas trabajadas en el año.

¹ IEEE STD 739-1995, Capítulo 5

CkWh = Costo del kilowatt hora (Promedio de la industria; El Foro Económico Mundial indica que El Salvador paga \$0.16 el kWh. Según la SIGET, es de \$0.19).

$$Potencia\ en\ kW = Potencia\ en\ hp * 0.746 \quad (2)$$

La ecuación (1) es una forma de evaluar cuál es el valor del ahorro. Y permite saber si con esa cantidad es más factible comprar uno nuevo y conservar una buena eficiencia o viceversa. Y la ecuación (2) determina la potencia en kW para un motor.

Las eficiencias de los motores están directamente relacionadas con la calidad y cantidad de materia prima con que es construido. La calidad de las chapas, el tamaño del paquete de chapas, la cantidad de cobre y la distancia del entrehierro, son los principales puntos que hacen más eficiente el motor. Para resumir, la eficiencia del motor eléctrico, es simplemente la proporción de Energía Eléctrica con que éste logra transformarla en Energía Mecánica.

Cuando se habla de eficiencias, inmediatamente viene la idea de cambiar los motores por otros más eficientes. Si la decisión es comprar uno nuevo es útil e importante saber en cuanto tiempo se recupera la inversión. Existen dos ópticas distintas para el tema²:

1. Si el motor tiene un mayor costo pero es más eficiente, la óptica es buscar en cuánto tiempo se recupera la inversión.
2. Si el motor es más barato, pero también más eficiente, la óptica es en cuánto tiempo se recupera la inversión del motor, mediante el ahorro de energía consumida.

A continuación se encuentra la fórmula de retorno de inversión o en cuánto tiempo se ganará el motor.

$$R = \frac{\Delta C}{kW \times Nh \times CkWh \times \left(\frac{100}{\eta\%at} - \frac{100}{\eta\%nuevo} \right)} \quad (3)$$

Siendo:

ΔC = Diferencia de precios entre los motores

kW = Potencia del motor en kW

Nh = Número de horas que el motor trabaja anualmente

$CkWh$ = Costo de kilowatts hora - kWh

$\eta\%at$ = Eficiencia del motor antiguo

$\eta\%nuevo$ = Eficiencia del motor nuevo

Para calcular la Potencia Ahorrada se aplica la siguiente ecuación:

²“La eficiencia de los motores” Informe especial URE, URL: “www.mundoelectrico.com”

$$PA(kW) = 0.746 \times hp \left(\frac{100}{E_1} - \frac{100}{E_2} \right) \quad (4)$$

Siendo:

hp= caballos de potencia

E₁=Eficiencia del motor de rendimiento menor

E₂=Eficiencia del motor de rendimiento mayor.

$$\text{Consumo anual [kWh(año)]} = \frac{\% \text{ de carga} \times \text{Potencia nominal (kW)}}{\eta (\%)} \times \frac{\text{horas}}{\text{día}} \times \frac{\text{días}}{\text{año}} \quad (5)$$

2.1.1. Eficiencia

La eficiencia de un motor es la relación entre la potencia mecánica de salida y la potencia eléctrica de entrada. La eficiencia puede proporcionarla el fabricante o medirse directamente en motores en uso. En motores rebobinados se realizará la medición directa y se verá que la eficiencia ha disminuido respecto a lo previsto. Este es el concepto más importante desde el punto de vista del consumo de energía y del costo de operación de un motor eléctrico. La eficiencia se puede expresar de las siguientes maneras:

$$\begin{aligned} \text{Eficiencia} &= \frac{\text{Potencia mecánica de salida}}{\text{Potencia eléctrica que entra}} * 100 \\ \text{Eficiencia} &= \frac{\text{Potencia eléctrica que entra} - \text{pérdidas}}{\text{Potencia eléctrica que entra}} * 100 \quad (6) \end{aligned}$$

El valor más alto de eficiencia sería 100%, si acaso las pérdidas fueran cero, como lo indica la segunda expresión. Pero en el proceso de conversión siempre se presentan pérdidas por lo que la eficiencia nunca será del 100%.

Según el estándar IEEE STD. 739-1995, el potencial de energía ahorrado para el uso industrial de la electricidad, se estima que será el siguiente:

- Ahorro inmediato por cambios en operaciones y mantenimiento 5-10%.
- A corto plazo algunas inversiones y cambios de equipos de procesos 5-10%.
- A largo plazo: mejora en las inversiones y cambios de equipos de procesos 5-10%.

Conforme a la eficiencia pueden considerarse tres géneros de motores eléctricos:

- Motores de Eficiencia Estándar
- Motores de Alta Eficiencia
- Motores de Eficiencia Premium

Los motores estándar no consideran la eficiencia como la principal cualidad, más bien privilegian la funcionalidad y precio, prácticamente los motores con más de 15 años podrían considerarse de eficiencia estándar. El concepto alta eficiencia surge en la década de los años noventa, como consecuencia de contrarrestar los altos precios de la energía y por la necesidad ya existente de hacer un uso eficiente y racional de la energía. La innovación de los Premium se da en la actual década con la pretensión de elevar aún más la eficiencia de los motores eléctricos, para ellos se ha perfeccionado el proceso de manufactura y se utilizan materiales muy superiores, ello acarrea que el diferencial en precio sea también más elevado.

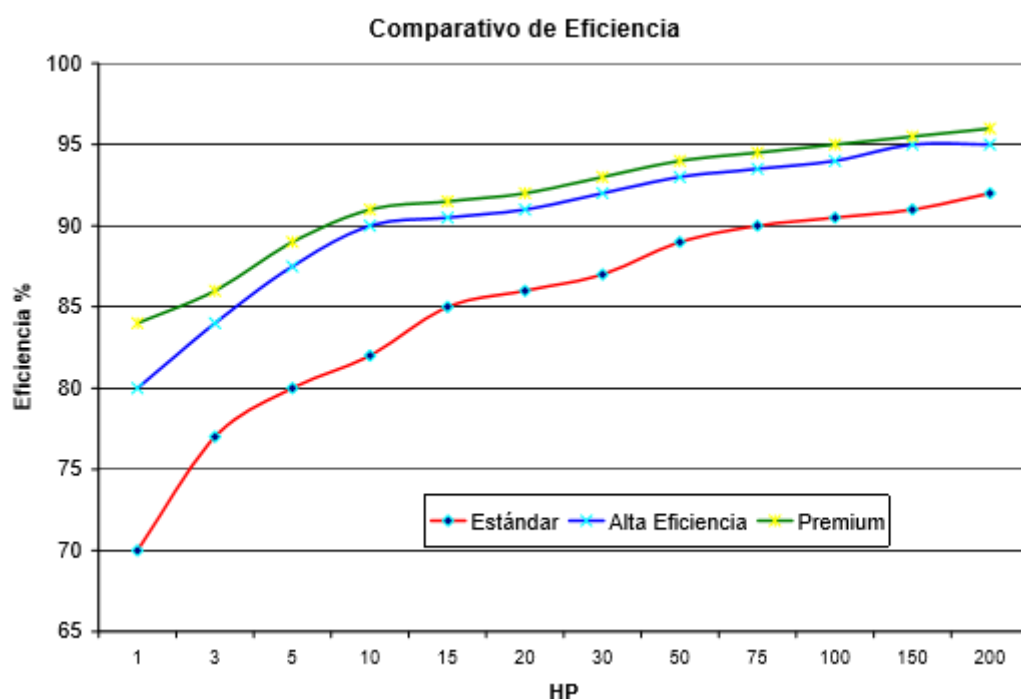


Figura 1. Comparación de eficiencias entre los diferentes tipos de motor, observando que los motores de eficiencia Premium son los que más se acercan al 100%³.

³Curso-taller de promotores de ahorro y eficiencia de energía eléctrica de Guatemala

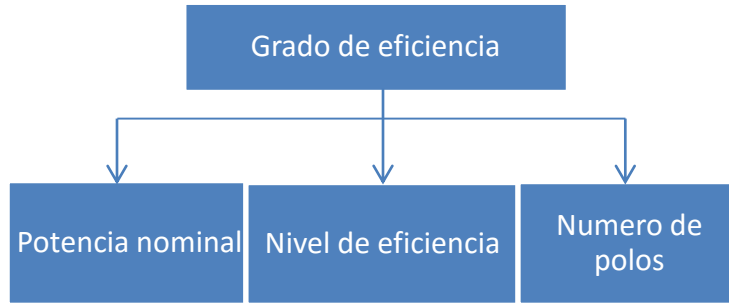


Figura 2. Características de un motor de acuerdo a su grado de eficiencia.

MOTORES DE INDUCCIÓN, EFICIENCIA SEGÚN SU TIPOLOGÍA.

Potencia [KW]	IE1 Eficiencia estándar			IE2 Alta eficiencia			IE3 Eficiencia Premium			IE4 Eficiencia Super Premium		
	2	4	6	2	4	6	2	4	6	2	4	6
0,75	72,1	72,1	70	77,4	79,6	75,9	80,7	82,5	78,9	84,9	85,6	83,1
1,1	75	75	72,9	79,6	81,4	78,1	82,7	84,1	81	86,7	87,4	84,1
1,5	77,2	77,2	75,2	81,3	82,8	79,8	84,2	85,3	82,5	87,5	88,1	86,2
2,2	79,7	79,7	77,7	83,2	84,3	81,8	85,9	86,7	84,3	89,1	89,7	87,1
3	81,5	81,5	79,7	84,6	85,5	83,3	87,1	87,7	85,6	89,7	90,3	88,7
4	83,1	83,1	81,4	85,8	86,6	84,6	88,1	88,6	86,8	90,3	90,9	89,5
5,5	84,7	84,7	83,1	87	87,7	86	89,2	89,6	88	91,5	92,1	90,2
7,5	86	86	84,7	88,1	88,7	87,2	90,1	90,4	89,1	92,1	92,6	91,5
11	87,6	87,6	86,4	89,4	89,8	88,7	91,2	91,4	90,3	93	93,6	92,5
15	88,7	88,7	87,7	90,3	90,6	89,7	91,9	92,1	91,2	93,4	94	93,1
18,5	89,3	89,3	88,6	90,9	91,2	90,4	92,4	92,6	91,7	93,8	94,3	93,5
22	89,9	89,9	89,2	91,3	91,6	90,9	92,7	93	92,2	94,2	94,7	93,9
30	90,7	90,7	90,2	92	92,3	91,7	93,3	93,6	92,9	94,5	95	94,3
37	91,2	91,2	90,8	92,5	92,7	92,2	93,7	93,9	93,3	94,8	95,3	94,6
45	91,7	91,7	91,4	92,9	93,1	92,7	94	94,2	93,7	95,1	95,6	94,9
55	92,1	92,1	91,9	93,2	93,5	93,1	94,3	94,6	94,1	95,4	95,8	95,2
75	92,7	92,7	92,6	93,8	94	93,7	94,7	95	94,6	95,6	96	95,4
90	93	93	92,9	94,1	94,2	94	95	95,2	94,9	95,8	96,2	95,6
110	93,3	93,3	93,3	94,3	94,5	94,3	95,2	95,4	95,1	96	96,4	95,6
132	93,5	93,5	93,5	94,6	94,7	94,6	95,4	95,6	95,4	96	96,5	95,8
160	93,7	93,8	93,8	94,8	94,9	94,8	95,6	95,8	95,6	96,2	96,5	96
200	94	94	94	95	95,1	95	95,8	96	95,8	96,3	96,6	96,1
250	94	94	94	95	95,1	95	95,8	96	95,8	96,4	96,7	96,1
315	94	94	94	95	95,1	95	95,8	96	95,8	96,5	96,8	96,1
355	94	94	94	95	95,1	95	95,8	96	95,8	96,6	96,8	96,1
375	94	94	94	95	95,1	95	95,8	96	95,8	96,6	96,8	96,8

Tabla 2. Comparación entre eficiencias de motores de inducción bajo la norma IEC y NEMA⁴.

⁴Artículo sobre Nuevos desarrollos y tecnologías ABB en eficiencia en motores

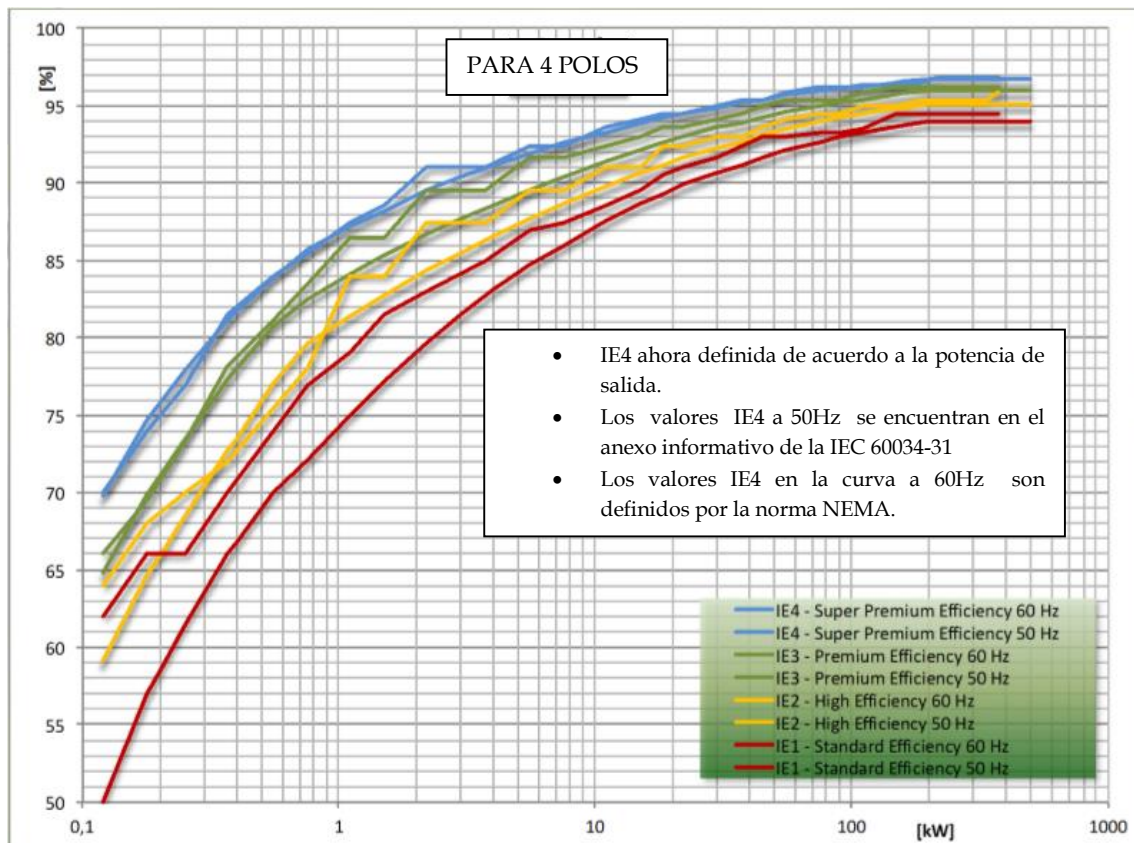


Figura 3. Clases de eficiencia energética para motores bajo la norma IEC-60034-30/IEC-60034-31 y NEMA⁵.

La clasificación del rendimiento definida en la norma IEC 60034-30:2008 se miden según los métodos especificados en la IEC 60034-2-1, mientras que la CEMEP emplea los métodos de la norma IEC 60034-2. Los niveles de clasificación son comparables pero no equivalentes.

⁵ EMSA Testing Centers Workshop MOTOR SUBMMIT 2012

Nivel de eficiencia	Nuevas clases internacionales de eficiencia (IE) (IEC)	Clases europeas de eficiencia (CEMEP)	Clases Americanas de eficiencia (NEMA)	Comparación de la clase IE Versus CEMEP y NEMA
Eficiencia Estándar	IE1 (aprox. 85% de eficiencia)	EFF1	Eficiencia estándar Si el motor iguala o excede los límites establecidos en la tabla NEMA 12-11. El motor puede ser denominado como: "ENERGY EFFICIENT"	Niveles de eficiencia comparables a la existente EFF2 en Europa
Alta eficiencia	IE2 (aprox 89% de eficiencia)	EFF2	EPact	Comparable a la existente EFF1 en Europa e idéntica al U.S. EPAct para 60Hz
Eficiencia Premium	IE3 (aprox 97% de eficiencia)	EFF3 no se ha fabricado	Eficiencia Premium(NEMA Premium) Tipos de embobinados: Por la construcción de las bobinas. a) Bobinado aleatorio (maneja menos 75 Hp) Se aplica la tabla NEMA 12-12. b) Devanado por grupos (mayor 75HP) Aplica la tabla NEMA 12-13.	Nueva clase de eficiencia en Europa e idéntica a NEMA Premium en los Estados Unidos para 60Hz
Eficiencia Súper Premium	IE4	----	----	----

Tabla 3. Comparación de eficiencias según diferentes estándares. CEMEP (European Committee of Manufacturers of Electrical Machines and Power Electronics). IEC (International Electrotechnical Commission). EPAct (Energy Policy Act)⁶.

⁶Artículo de CONSGRA soluciones globales para equipos rotativos y Efisolar (Publicación mensual de Efisolar ingeniería)

Para tener una mayor eficiencia física se hacen ciertas modificaciones físicas a los motores las cuales pueden ser:

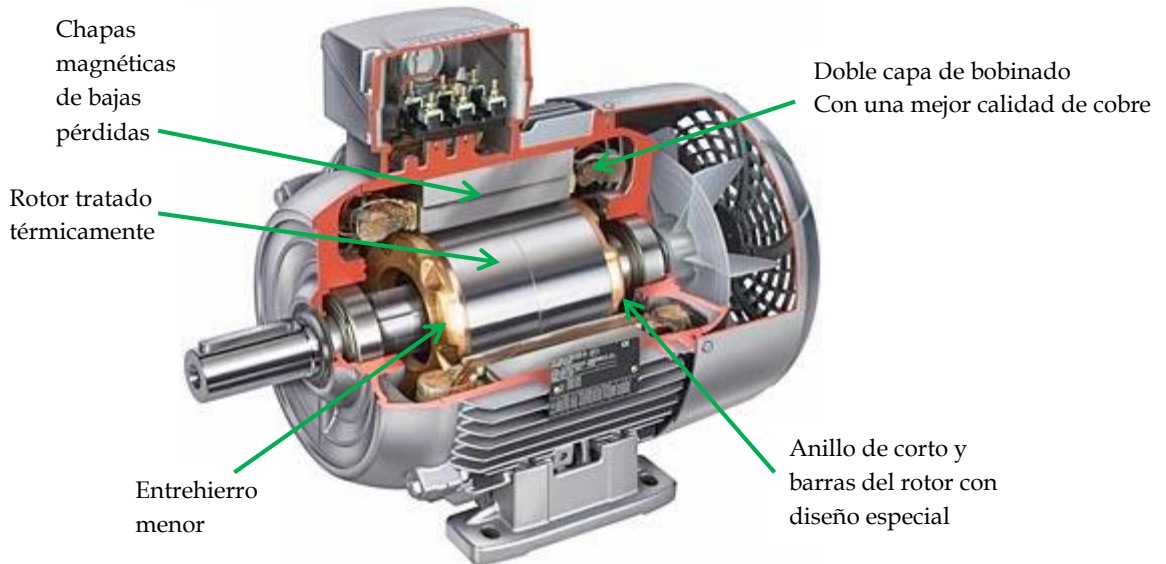


Figura 4. Descripción de componentes que influyen en la eficiencia de un motor.

2.2. TENDENCIAS ACTUALES EN MOTORES INDUSTRIALES.

La empresa WEG expuso las tendencias actuales en motores industriales en las Jornadas sobre tecnologías y soluciones para la automatización industrial; las cuales se muestran a continuación:

2.2.1. Reducción del ruido

Causas del ruido: Ventilador, Magnetismo de inducción, Rodamientos. La IEC 60034-9 define los niveles de presión sonora en dB(A) para motores desde 1 hasta 1,000kW, tanto en vacío como el aumento esperado trabajando con carga.

Soluciones en el ventilador:

- Reducción del número de aspas.
- Optimización de los diámetros del concentrador y de las aspas.
- Refuerzo de la estructura.

Lo cual genera:

- Reducción del ruido.
- Aumento del flujo de aire.
- Reducción de pérdidas mecánicas.
- Mayor rigidez del conjunto.

Las posibles fuentes de ruido en motores eléctricos se podrían clasificar en:

1. Causas mecánicas: Los procesos de fabricación provocan asimetrías, deformaciones y de alineaciones que producen ruidos, la mayor cantidad de este tipo de ruido se originan en fallos en el estator (parte fija de un motor) y en el rotor (parte móvil del motor).
2. Causas aerodinámicas: Se originan en la ventilación de los motores, en motores pequeños o medianos la potencia del ruido suele ser 1/5 de la potencia total del motor, este tipo de ruido es de banda ancha casi sin componentes en frecuencia.
3. Causas magnéticas: Se producen por causas excepcionales como podría ser la acumulación de cargas en las zonas de aire entre el rotor y el estator.

MÉTODOS PARA REDUCIR EL RUIDO:

- Colocar material absorbente del sonido delante del ventilador del motor a modo de silenciador.
- Uso de motor de imanes permanentes W22 integra una extraordinaria eficiencia en un tamaño compacto. Además de aumentar la eficiencia, WEG ha optimizado el rendimiento del motor para reducir los niveles de ruido y vibración. Otra característica son sus costes de mantenimiento muy bajos.
- Utilizar diseños en los que se ha optimizado para que los motores sean más compactos y más ligeros que sus antecesores, reduciendo a su vez el tamaño. Con una carcasa de hierro fundido, los motores se pueden utilizar en condiciones extremadamente adversas y aseguran bajos niveles de ruido y vibración.
- En motores que requieren poco espacio en bancada y son motores más pequeños de su categoría. Los niveles de ruido y vibración, son especialmente bajos gracias a la robustez de la construcción, deben de poseer una estructura y tapa protectora de hierro fundido de alta calidad, así como la rigidez del eje del motor, que elimina las vibraciones de flexión críticas por debajo de la velocidad nominal.

2.2.2. Aumento de rendimiento

Conseguido a través de:

- Motores con rotor inyectado en cobre:

Ventajas:

- Mejora el rendimiento del motor.
- Reducción del peso.

Desventajas:

- Alta temperatura de fundición del cobre.
- Fatiga térmica y choque térmico de los materiales de los moldes de inyección.



Figura 5. Rotor inyectado en cobre⁷.

- Motores híbridos LSPM (Line Start Permanent Magnet):
 - Con estator (Idéntico al motor asíncrono).
 - Rotor (mezcla de jaula de ardilla e imanes permanentes).
 - Se puede utilizar para en línea de partida (línea de arranque, de imán permanente, motores sincrónicos "LSPM"). Estos motores no necesitan necesariamente un convertidor de frecuencia para el funcionamiento. Sin embargo, su rendimiento de arranque es bastante pobre con la variación del par, el ruido y las restricciones considerables admisibles sobre el par de carga y la carga de inercia. Tienen que estar estrechamente adaptados a la aplicación y no pueden ser utilizados como máquinas de propósito general.



Bobinados distribuidos



Bobinados concentrados

Figura 6. Formas de los bobinados⁷.

⁷ Artículo de Nuevas tendencias en motores eléctricos, WEG Electric Corp (Una de las más grandes industrias manufactureras de motores eléctricos).

- Motores de imanes permanentes (Motores síncronos):
 - Rendimiento extra alto (economía de energía).
 - Volumen y peso reducido.
 - Más silenciosos.
 - Menor temperatura en los cojinetes (mayor vida útil).
 - Requieren de un variador de frecuencia.
 - Mayor intervalo de relubricación y un sensor de posición del motor (encoder).
 - No necesita ventilación forzada.
 - Excelente rendimiento a bajas velocidades.
 - Velocidad independiente de la carga.
 - Las pérdidas en el rotor están casi eliminadas mediante el uso de motores síncronos sin devanado de campo.
 - Pueden tener un factor de potencia más alto que un motor de inducción mejorando así la eficiencia en la red de distribución

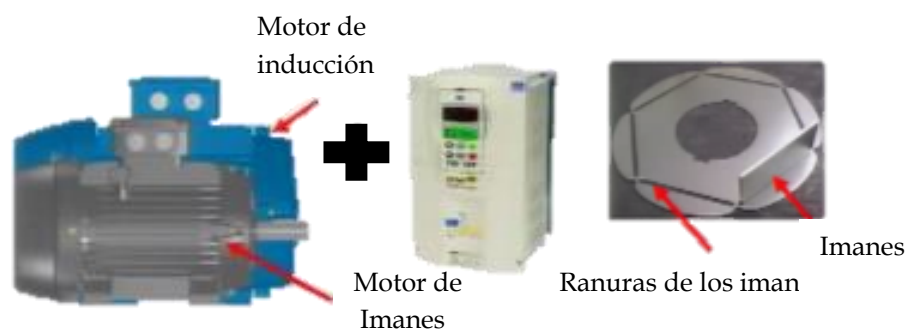


Figura 7. Ventajas del motor con imanes permanentes⁷.

2.2.3. Motores de alta velocidad

Características:

- Utilización en compresores de tornillo.
 - Velocidad tangencial de 100m/s.
 - Velocidad angular de 13,000rpm.
- Debido a la alta velocidad mecánicamente se vuelve un problema.

Estos parámetros conllevan múltiples limitaciones y problemas:

- En el equilibrado
- Velocidades críticas de flexión y torsión
- Fuerzas centrífugas que deforman el motor
- Sistemas de refrigeración que puede ser por aire o por agua.

2.2.4. Motor electrónico

Se utiliza electrónica para:

- Control de velocidades.
- Supervisión del motor:
 - Mantenimiento predictivo y preventivo.
 - Diagnostico (Sistema de aislamiento, vibraciones, ruido, excentricidades, Fallas en las barras y anillos de cortocircuito, etc).
 - Software para captura y análisis de datos para diagnóstico de “salud” del motor.

2.2.5. Nuevas tecnologías y prototipos

- **Motores de reluctancia conmutada**

Características:

- Construcción del rotor simplificada.
- Es necesario el control electrónico.
- Pequeño diámetro.
- Mayor ruido y vibraciones a bajas revoluciones.

Estator

Rotor



Figura 8. Estator y rotor de la tecnología de los motores con reluctancia conmutada.⁷

- **Motores IE4:**

Características:

- Motores híbridos: inducción más imanes permanentes.
- Arranque directo.
- Funcionamiento a velocidad síncrona como los imanes permanentes.
- Rendimiento equivalente al de los motores síncronos.



Figura 9. Motor IE4.

2.3. SITUACIÓN ACTUAL: DATOS ESTADÍSTICOS DE LAS IMPORTACIONES DE MOTORES ELÉCTRICOS EN EL SALVADOR.

Con datos obtenidos de El Banco Central de Reserva de El Salvador, en el mes de agosto del 2015; respecto a las importaciones, tanto la coyuntura económica producto de los bajos precios del crudo en el mercado internacional como las acciones que el Gobierno está realizando a través de la ejecución de la Política para la Transformación Productiva, ha permitido que algunos sectores estratégicos de la economía salvadoreña aumenten su inversión en bienes de capital, principalmente la industria manufacturera, la construcción y el comercio, quienes están potenciando sus empresas con maquinaria y equipo, motores, generadores, aparatos para corte, empalme de circuitos eléctricos y frigoríficos por un monto de casi US\$500 millones.

A continuación se muestran datos del mes de febrero del 2016, que permiten observar la composición de las importaciones por Rama de Actividad Económica en forma de un gráfico.

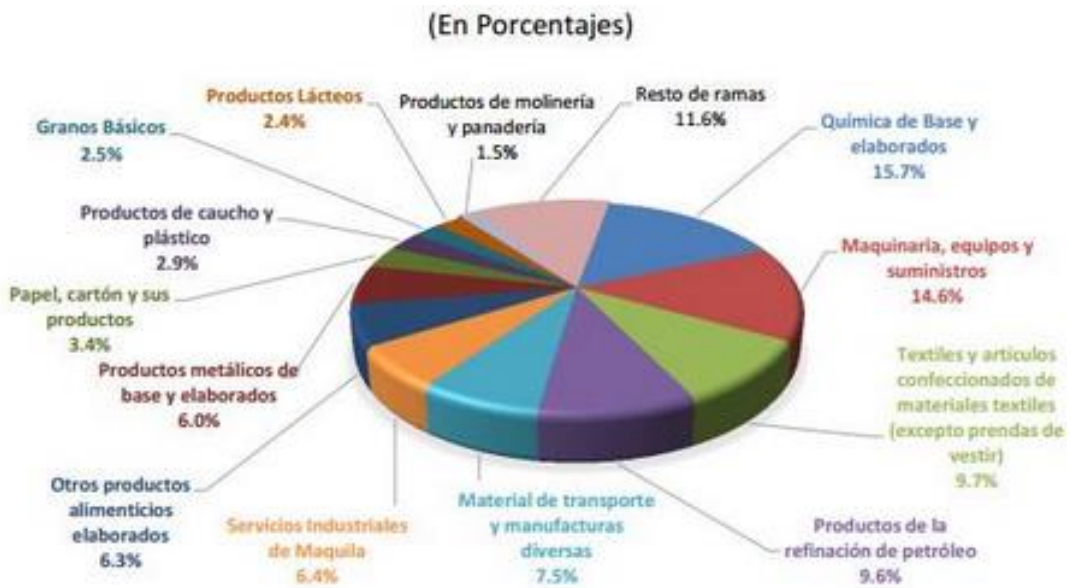


Figura 10. Composición de las importaciones por rama de Actividad Económica (CIU Rev.2). La porción de color rojo muestra las importaciones de maquinaria, equipos y suministros el cual consta de un 14.6%⁸.

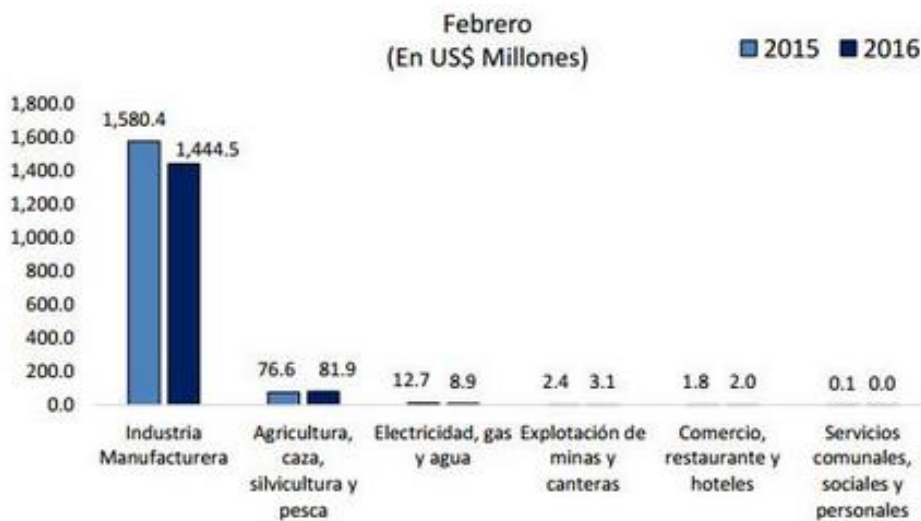


Figura 11. Importaciones por Sector Económico del año 2015 al 2016. Observándose que las importaciones se han reducido en el 2016⁸.

⁸ BCR con datos suministrados por la DGA con tratamiento según metodología de Balanza de pagos.

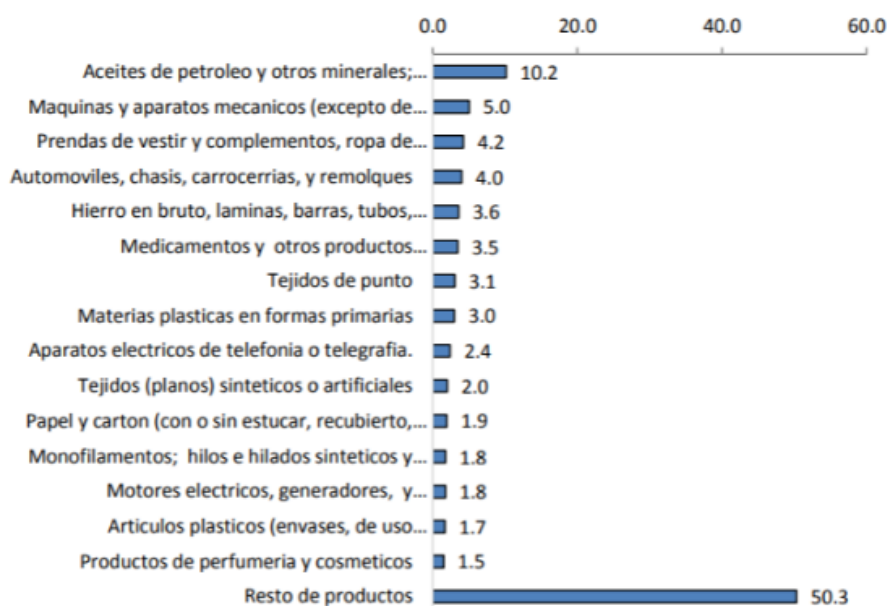


Figura 12. Importaciones de Motores y generadores eléctricos representa 1.8% de las importaciones.⁹

Los datos de las importaciones de motores eléctricos en El Salvador según estadísticas se encuentran en el Anexo A.

El Proyecto: “Programa de Eficiencia Energética” del Ministerio de Economía de la República de El Salvador y el Banco Interamericano de Desarrollo, sugiere las siguientes medidas de ahorro de energía en motores:

Área de Oportunidad	Medidas Típicas de Ahorros
Mejorar la eficiencia	<ul style="list-style-type: none"> -Sustituir motores viejos con su eficiencia depreciada por motores nuevos de alta eficiencia. -Sustituir motores sobredimensionados o subdimensionados, por motores de alta eficiencia que trabajen alrededor del 70% de carga. -Proporcionar mantenimiento preventivo al motor (mantener limpia la superficie de la carcasa de polvo y grasa, lubricar, reemplazar y mantener en buen estado los rodamientos).
Control de operación	<ul style="list-style-type: none"> -Instalar variadores de velocidad en equipos de bombeo para control de presión o caudal. -Instalar variadores de velocidad en ventiladores para control de caudal.

Tabla 4. Medidas de ahorro de energía¹⁰.

⁹ Banco Central de reserva de El Salvador, “Evaluación del comercio exterior de El Salvador, enero 2016”.

¹⁰El Proyecto: “Programa de Eficiencia Energética” del Ministerio de Economía de la República de El Salvador y el Banco Interamericano de Desarrollo CT No. ATN/OC

En el ANEXO B, A.B.1. Se muestra el formato de Registro de levantamiento de motores y en el A.B.2. El Registro de mediciones en motores; que maneja el proyecto: “Programa de Eficiencia Energética” del Ministerio de Economía de la República de El Salvador y el Banco Interamericano de Desarrollo CT No. ATN/OC.

2.4. CAUSAS MÁS COMUNES DE FALLA EN MOTORES ELÉCTRICOS.

Las fallas de los motores eléctricos son a menudo causadas por factores “en operación” tales como las actividades de producción y el entorno de la fábrica en la que operan. Otras fallas se deben a factores “fuera de operación”, incluidas las prácticas inadecuadas o deficientes de reparación de motores, y el envío inadecuado del motor, almacenamiento e instalación. En comparación con las fallas en operación, las causadas por factores fuera de línea son mucho más fáciles de erradicar y representan una oportunidad pasada por alto para mejorar la fiabilidad del motor eléctrico.

Un informe del Instituto de Investigación de Energía Eléctrica (EPRI) estudió las fallas de los motores eléctricos indicando que el 53% de los fallos de un motor eléctrico están relacionados con componentes mecánicos y 47% a fallos eléctricos. Las averías mecánicas se detectaron mediante el diagnóstico “en operación”, análisis de vibración y termografía infrarroja, mientras que los defectos eléctricos se detectaron con las pruebas “fuera de operación” de balanceo resistivo, pruebas de aislamiento, pruebas de alto potencial, pruebas de comparación de carga y pruebas de descargas parciales en motores de media tensión.

Al ingresar un motor a un taller, el ingeniero o técnico se pregunta cuál es la causa de la avería del motor; se hace una revisión en busca de la posible falla, cuestión que no es fácil de determinar en algunas ocasiones. Es por eso que se debe tener un conocimiento sobre las fallas más comunes en los motores eléctricos, las cuales se mencionaran y explicaran a continuación.

Los problemas en un motor suelen estar comprendidos entre los siguientes:

2.4.1. Condiciones ambientales adversas

Las temperaturas excesivas (la temperatura ambiente o la radiada por algún problema dentro del motor) son causadas por alguna falla en el motor. Los motores tienen un valor máximo de temperatura; indicado en su placa de identificación, el cual no se debe superar si se quiere mantener una larga vida útil. Este aumento se puede tener tanto en el embobinado como en los baleros, por la temperatura exterior y/o desgaste en los elementos rotatorios del motor causando un rozamiento fuera del diseñado. El aumento en la temperatura se

puede tener en lugares donde el clima es muy cálido, o el motor está cerca de equipo que genere calor, como puede ser un horno, o inyectora de plástico. Ya que por cada 10°C de aumento de la temperatura del motor, por encima de la nominal, la vida útil y por ende el aislamiento deterioran y se reduce a la mitad. Además es importante no dejar de lado la temperatura ambiente, esta debe ser la correcta y eliminar otras fuentes de aumento de temperatura, como la desalineación, sobrecarga, voltaje incorrecto, entre otras. Las condiciones ambientales perjudiciales suelen consistir en la presencia de vapores corrosivos, sal suspendida en el aire, y suciedad, polvo y otros contaminantes en exceso.

Dependiendo del entorno donde se tendrá el motor es necesaria que la carcasa sea especialmente diseñada, ya que estas pueden variar dependiendo si el motor está expuesto a humedad, polvos u otros objetos sólidos. Al tener humedad si esta se condensa en la superficie del aislamiento por cambios de temperatura o por contacto con agua, dicha superficie se volverá altamente conductora, se dañara y se producirá la falla inmediata del motor. Además es posible que el aislamiento absorba humedad con el paso del tiempo, hasta la resistencia dieléctrica.

Hay numerosos factores que pueden dañar un motor. Por ejemplo un ciclo severo de trabajo podría ocasionar una falla prematura del motor. La marcha irregular a tirones, el frenado en contramarcha (inversión) y un prolongado tiempo de aceleración hacen que los motores trabajen a velocidad más baja que la normal. Debido a que los motores sometidos a este ciclo de servicio toman corrientes muy intensas en el arranque, estas producen, a veces, calentamiento excesivo. Además debido a la baja velocidad del rotor, el enfriamiento normal disminuye mucho y empeora el problema de sobrecalentamiento.

Otra condición adversa es la altitud de la instalación ya que a grandes altitudes, el aire es menos denso y menos eficaz para el enfriamiento; esto permite lo cual hace que la temperatura aumente alrededor del 5% por cada 300m de altitud.

2.4.2. Selección o aplicación incorrectas

Como se dijo anteriormente la selección de la carcasa correcta es muy importante; las hay disponibles y normalizadas para casi cualquier clase de situación. De igual manera es importante dimensionarlo correctamente ya que un motor que opera abajo del 50% de la carga para la que fue diseñado se considera un motor ineficiente, el cual debe reemplazarse y dimensionarse correctamente.

2.4.3. Instalación inadecuada

Las deficiencias en el montaje del motor pueden ocasionar su falla. Los pernos deben de ser de la medida correcta, deben estar bien apretados de lo contrario

puede ocurrir una desalineación y vibraciones que ocasionaran daños en los cojinetes y el eje (flecha) y en un momento dado, la quemadura de los devanados. Las placas de base de acero, los cimientos deben de tener suficiente resistencia para soportar los paros y arranques. Los acoplamientos, bandas, poleas y cualesquiera otras conexiones entre el motor y la carga impulsada deben estar bien alineados para evitar la vibración excesiva, que es tan dañina para los motores.

2.4.4. Desperfectos mecánicos

Una carga excesiva puede dañar con rapidez un motor; este quizá haya sido al principio del tamaño apropiado para la carga, pero una variación en esta o en el mecanismo para la impulsión puede producir sobrecarga del motor. Los cojinetes empezaran a fallar, los engranes pueden trabarse o pueden presentarse otras causas de fricción o cargas extras, en este caso el motor consumirá más corriente y se incrementara su temperatura. Y si la corriente del motor excede de la corriente nominal a plena carga aunque sea por un tiempo breve, el rápido sobrecalentamiento reducirá la duración del motor. Y su contraparte el Trabajo sin carga (o en vacío), el motor comienza a aumentar su velocidad de rotación por la falta de carga, teniendo un sobrecalentamiento en los baleros y una daño en los mismos.

Las fallas en los cojinetes se encuentran entre las más comunes en cualquier motor, es necesario saber cuáles son las causas y los procedimientos correctos para su mantenimiento de manera que estas fallas no tengan lugar.

2.4.5. Fallas eléctricas

Aumento/Disminución de tensión, en el aumento de tensión se puede dañar el embobinado por el exceso de voltaje, para el que no fue diseñado. En la disminución de voltaje, se tiene un aumento en el consumo de corriente dañando el embobinado por una corriente alta. Un alto voltaje de alimentación para el motor reduce las perdidas en el cobre, pero el flujo magnético más intenso ocasiona mayores pérdidas en el hierro. Un pequeño incremento en el voltaje de suministro podría reducir el consumo de corriente; sin embargo, un aumento del orden del 10% o más respecto al valor de la placa producirá saturación del hierro y una intensificación considerable en la corriente con el consecuente sobrecalentamiento perjudicial del motor.

2.4.6. Desequilibrio de tensión

Según la norma IEEE STD. 112 el desbalance de tensión no debe exceder el 0.5% ya que pueden ocasionar una grave alteración en la corriente, que puede producir un rápido sobrecalentamiento del motor. Es necesario instalar una protección

contra este problema, para lo cual suelen ser adecuadas los relevadores de sobrecarga.

Ya se utilizan nuevos tipos de tales relevadores para proteger a un motor no solo contra voltajes desequilibrados, sino también contra la caída de fases o monofásico, que en realidad es la forma extrema del desbalance de la tensión aplicada.

2.4.7. Mantenimiento no apropiado

El mantenimiento y limpieza no apropiada puede provocar la acumulación de polvo y la suciedad en los motores, obstruye la ventilación y puede generar un sobrecalentamiento, aumentando la corriente, cojinetes ruidosos, humedad adentro y afuera de la máquina. No todos los motores necesitan mantenimiento preventivo en particular cuando el costo de este último puede ser mayor que el de reparar el motor. Si se aplica un plan de mantenimiento adecuado puede alargarse la vida útil del motor y los costos totales del motor pueden ser más bajos.

2.4.8. Falla por operación con una sola fase

El motor se debe proteger contra la operación monofásica accidental que puede producirse en motores trifásicos cuando uno de los tres hilos de fase del circuito se desenergiza al fundirse uno de los tres fusibles que protegen al circuito derivado o la línea alimentadora de tal circuito. Con tres relevadores de sobrecarga en el arrancador del motor este se encuentra protegido debido a que estos abren el arrancador en las condiciones de apertura de una sola fase, pero en realidad es que solo constituyen una protección parcial y en condiciones específicas de carga y aplicación del motor

2.4.9. La combinación de uno o más problemas anteriores.

Pero también existen otros factores que puede llevar a un daño en el motor, como son (para motores trifásicos):

- Pérdida de fase, dejando al motor operando con dos fases, y teniendo un aumento en el consumo de corriente de las otra dos.
- Desbalance de una fase, este es un considerable baja en la tensión de operación del motor en una de sus fase, teniendo el mismo resultado que en el punto anterior.
- Inversión de Fases, esta no es una falla del motor, pero puede causar daño en algunos procesos al tener un giro contrario al requerido en el proceso.

Desperfectos más frecuentes en los devanados:

1. Devanado con contacto a tierra.
2. Espiras en cortocircuito en una o más bobinas.
3. Bobinas en cortocircuito en sus extremos.
4. Bobinas con conexión invertida.
5. Grupos de bobinas invertidos, o toda una fase invertida.
6. Distribución incorrecta de las bobinas en rotor o estator.
7. Conexión del devanado para una tensión distinta de la de operación.
8. Conexión del devanado para un número de polos incorrecto.
9. Falta de continuidad en el circuito de alguna fase.
10. Bobinas desconectadas en el devanado.

Un artículo de WEG¹²muestra una serie de fotografías de los diferentes daños que pueden sufrir los bobinados, y una tabla donde se describen sus posibles causas; los cuales se muestran a continuación:



a) CORTO ENTRE ESPIRAS

b) BOBINA EN CORTOCIRCUITO



c) CORTO ENTRE FASES

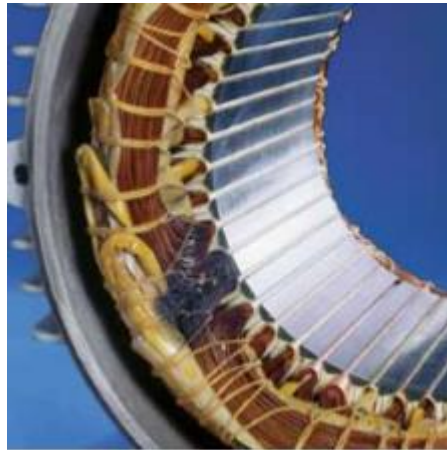
d) CORTO EN LA CONEXIÓN



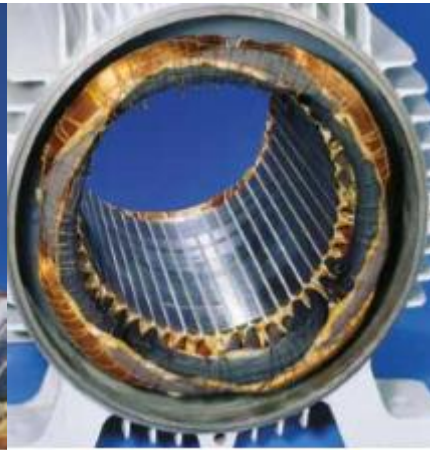
e) CORTO EN LA SALIDA DE LA RANURA



f) CORTO DENTRO DE LA RANURA



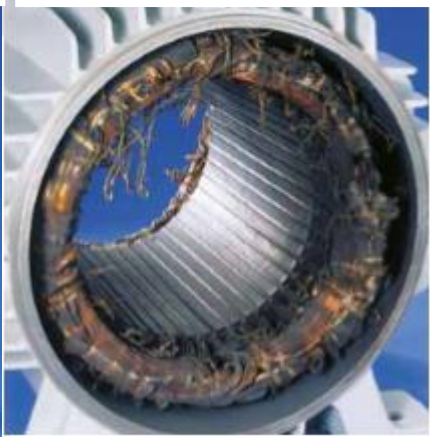
g) PICO DE TENSIÓN



h) DESEQUILIBRIO DE TENSIÓN



i) ROTOR BLOQUEADO



j) SOBRECALENTAMIENTO



k) FALLO DE FASE CONEXIÓN EN ESTRELLA

l) FALLO DE FASE CONEXIÓN EN DELTA

Figura 13. Fallas en los devanados de un motor eléctrico¹¹

¹¹ Artículo de WEG “Daños en los bobinados de motores trifásicos”.

Características del problema	Posibles causas
Corto entre espiras o bobina en corto circuito	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación interna del motor; • Falla del esmalte del aislamiento del hilo; • Fallo de barniz de impregnación; • Rápidas oscilaciones en la tensión de alimentación.
Corto entre fases	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación interna del motor; • Degradación del material aislante por resecado, ocasionada por exceso de temperatura.
Corto en la conexión	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación interna del motor; • Fallo del material aislante; • Sobre calentamiento de la conexión debido a un mal contacto.
Corto en la salida de la ranura o corto dentro de la ranura	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación interna del motor; • Degradación del material aislante por resecado, ocasionada por exceso de temperatura; • Falla del esmalte del aislamiento del hilo; • Fallo de barniz de impregnación; • Fallo del material aislante;
Pico de tensión	<ul style="list-style-type: none"> • Motor accionado por VFD con algunos parámetros incorrectos (amplitud del pulso de tensión, rise time, dV/dt, distancia entre pulsos, frecuencia de conmutación); • Oscilación violenta en la tensión de alimentación, por ejemplo, descargas atmosféricas.
Desequilibrio de tensión	<ul style="list-style-type: none"> • Desequilibrio de tensión y/o corriente entre las fases; • Fallo en banco de condensadores; • Mal contacto en las conexiones, interruptores, contactos, disyuntores, etc.
Rotor bloqueado	<ul style="list-style-type: none"> • Excesiva dificultad en el arranque del motor (elevada caída de tensión; inercia y /o para de la carga muy elevado); • Oscilación de tensión en las tres fases.
Sobrecalentamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Cables de alimentación muy largos y/o sección inferior a la necesaria; • Conexión incorrecta de los cables de alimentación del motor; • Exceso de carga en la punta del eje (permanente o eventual/periódico); • Sobretensión o subtensión en la red de alimentación (permanente o eventual/periodico); • Ventilación deficiente (tapa deflector dañada y obstruida, suciedad sobre la carcasa, temperatura ambiente elevada, etc.).
Fallo de fase: <ul style="list-style-type: none"> • Estrella (Y): quema de dos fases • Triángulo (Δ): quema de una fase 	<ul style="list-style-type: none"> • Mal contacto en el interruptor, contactor o disyuntor; • Mal contacto en las conexiones; • Mal contacto en los terminales de una fase del transformador; • Quema de una fase del transformador de alimentación; • Quema de un fusible; • Rotura de un cable de alimentación.

Tabla 5. Características de problemas en los enbobinados y sus posibles causas¹³.

2.5. CALIDAD DEL SUMINISTRO DE ENERGÍA.

La calidad del suministro de energía es un factor muy importante que influye en la correcta operación de un motor y los daños que este puede llegar a presentar, ya que sería inútil que se tengan todas las medidas preventivas y predictivas posibles, si el suministro de energía es deficiente. La calidad suministrada se establece mediante los siguientes criterios: Disponibilidad del suministro, tolerancias de tensión dentro de los límites permitidos y se debe presentar un perfil de onda senoidal libre de perturbaciones. El buen o mal funcionamiento de la carga eléctrica dependerá de las aplicaciones y del equipo que se tenga instalado. Cualquier desviación de los estándares de calidad que ocasione un mal funcionamiento y daño a los equipos eléctricos establece un suministro de mala Calidad de Energía. Las carencias en calidad de energía generan un creciente número de problemas, que se traducen en pérdidas económicas significativas a los propietarios de bienes de producción. El incremento de cargas no lineales genera disturbios que provocan una mala calidad de energía la cual debe ser analizada y adecuada para que los equipos que la utilicen puedan funcionar correctamente.

A nivel nacional el ente encargado de velar por la Calidad del suministro de energía es SIGET, el cual se guía por el Acuerdo No. 192-E-2004 que establece que la empresa distribuidora debe mantener sus niveles de tensión, dentro de los rangos permitidos de manera que los equipos eléctricos de los usuarios puedan operar eficientemente dentro de las tensiones normalizadas para el sistema de distribución eléctrica.

2.5.1. Indicadores Individuales

Los indicadores individuales o por usuario que se controlarán serán los mismos que los definidos como Índices Globales aplicados para cada usuario o cliente individual, índices que se detallan a continuación: Índice de frecuencia de interrupción por usuario (interrupciones /usuario /año) (SAIFI); Índice de duración de interrupción por usuario (horas /usuario /año) (SAIDI); Índices de frecuencia de interrupción promedio por usuario (interrupciones /usuarios afectados /año) CAIFI; Índice de duración de interrupción promedio por usuario (horas/ interrupción del usuario) CAIDI.

Los aspectos de interés para evaluar la calidad del suministro de energía (Indicadores individuales del producto técnico) son:

- **El período de medición:** Dentro del Período de control, el lapso mínimo para la medición de los parámetros de la Calidad del Producto será de siete días calendario, denominado Período de Medición.

- **Intervalo de Medición:** Dentro del Período de Medición, la medición de los parámetros de Regulación de Tensión y Desbalance de Tensión será en intervalos de quince minutos. Para el caso de Distorsión Armónica y Flicker será de diez minutos. A estos lapsos de tiempo se les denomina intervalos de medición (k).
- **Mediciones adicionales.** Cuando el caso lo requiera y/o a solicitud de SIGET, el Distribuidor deberá efectuar la medición de los parámetros correspondientes, en el punto de la red indicado.
- **Niveles de Tensión.** El Indicador de Calidad para evaluar la tensión de entrega en un intervalo de medición k, es la diferencia ΔV_k entre la media de los valores eficaces (RMS) instantáneos medidos en el punto de entrega V_k y el valor de la tensión nominal V_N del mismo punto. Este indicador está expresado como un porcentaje de la tensión nominal del punto:

$$\Delta V_k(\%) = \frac{V_k - V_N}{V_N} \times 100\% \quad (7)$$

- **Límites Admisibles.** Los niveles máximo y mínimo de tensión, según las zonas de servicio, en el punto de suministro o entrega al usuario, se indican en la tabla 6.

Nivel de Tensión	ΔV_k		
	Densidad de carga alta	Densidad de carga baja	Aislado
Baja Tensión ($\leq 600V$)	$\pm 7\%$	$\pm 8\%$	$\pm 8.5\%$
Media Tensión ($600V < V < 115kV$)	$\pm 6\%$	$\pm 7\%$	$\pm 8.5\%$

Tabla 6. Límites permisibles de Tensión¹².

Los niveles de tensión manejados por las distribuidoras salvadoreñas se muestran en la tabla siguiente:

Nivel de Tensión	Voltajes Manejados
Baja Tensión	240/120, 208/120, 480/270, 440 y 600V
Media Tensión	4.16/2.3, 13.2/7.6, 23/13.2, 35 y 46kV

Tabla 7. Niveles de tensión manejados en BT y MT en El Salvador¹³.

¹²Acuerdo No. 192-E-2004 , “Norma de calidad del Servicio de los Sistemas de Distribución SIGET”, capítulo II.

¹³ Trabajo de graduación, “Evaluación de las normas de calidad del servicio en los Sistemas de Distribución de SIGET”, 2008.

La regulación de tensión permitida para los niveles de voltaje manejados en el país se muestra en la tabla siguiente:

BT (V)	Urbano		Rural	
	-7%	7%	-8%	8%
110	102,30	117,70	101,20	118,80
120	11,60	128,40	110,40	129,60
208	193,44	222,56	191,36	224,64
240	223,20	256,80	220,80	259,20
270	252,10	288,90	248,40	291,60
440	409,20	470,80	404,80	475,20
480	446,40	513,60	441,60	518,40
600	558	642	552	648
MT (V)	-6%	6%	-7%	7%
2,3	2,16	2,44	2,14	2,46
4,16	3,91	4,41	3,87	4,45
7,6	7,14	8,06	7,07	8,13
13,2	12,41	13,99	12,28	14,12
23	21,62	24,38	21,39	24,61
35	32,90	37,10	32,55	37,45
46	43,24	48,76	42,78	49,22

Tabla 8. Regulación de tensión mínima y máxima permitida en BT Y MT¹⁴.

2.5.2. Comparación de los indicadores individuales de producto técnico.

Indicadores en BT Etapa de Régimen:

País	Nivel de Tensión		
	Urbano	Rural	Aislado
El Salvador	±7%	±8%	±8.5%
Guatemala	±8%	±6%	--
Panamá	±5%	±7.5%	±8%

Tabla 9. Comparación de los niveles de regulación de voltajes permitidos en BT¹⁴.

Indicadores en MT Etapa de Régimen:

País	Nivel de Tensión		
	Urbano	Rural	Aislado
El Salvador	±6%	±7%	±8.5%
Guatemala	±10%	±7%	--
Panamá	±5%	±7%	±8%

Tabla 10. Comparación de los niveles de regulación de voltajes permitidos en MT¹⁴.

De las comparaciones anteriores se puede observar que el indicador de regulación de voltaje mucho más estricto es el de la normativa de Panamá.

2.5.3. Incidencia del usuario en la calidad del producto

La incidencia del usuario en la calidad del producto se medirá a través del Índice de Calidad de la Distorsión Armónica de corriente de carga y por Índice de Flicker generado por el usuario. Una carga con características no lineales, se comporta como una fuente de corrientes armónicas¹⁴.

2.6. VARIACIÓN DEL VOLTAJE NOMINAL Y LA FRECUENCIA NOMINAL SEGÚN NEMA MG-1-2009.

Los motores AC deberán operar satisfactoriamente bajo condiciones de operación a una carga nominal con una variación en el voltaje o la frecuencia como se indica a continuación¹⁵:

- a) Más o menos 10% del voltaje nominal, con una frecuencia nominal para motores de inducción.
- b) Más o menos 6% del voltaje nominal, con una frecuencia nominal para motores universales.
- c) Más o menos 5% de la frecuencia nominal, con voltaje nominal.
- d) Una variación combinada en voltaje y frecuencia de 10% (Suma de los valores absolutos) de los valores nominales, la variación de frecuencia proporcionada no debe exceder más o menos el 5% de la frecuencia nominal, y la variación de voltaje de motores universales (Excepto los motores con ventilación) no deben exceder más o menos el 6% del voltaje nominal.

También permiten variaciones en el voltaje de utilización para motores.

- a) Tensión de utilización 5% abajo del voltaje del motor como máximo.
- b) Tensión de utilización 10% arriba del voltaje del motor como máximo.

¹⁴Acuerdo No. 192-E-2004 , “Norma de calidad del Servicio de los Sistemas de Distribución SIGET”, capítulo V.

¹⁵ Ver Tabla 6.6 de IEEE 739-1995: “Efectos de la variación de la tensión y la frecuencia en motores de inducción”.

2.6.1. Efectos de la variación de la tensión en la temperatura.

Con un aumento o una disminución del 10% en el voltaje del indicado en la placa de características, el calentamiento a la potencia nominal en hp puede aumentar. Dicha operación durante períodos prolongados de tiempo puede acelerar el deterioro del sistema de aislamiento.

2.6.2. Efecto de la variación en el voltaje en el factor de potencia.

En un motor de características normales a plena carga nominal en hp, un aumento del 10% de tensión por encima del indicado en la placa de especificación normalmente daría lugar a una disminución en el factor de potencia y viceversa.

2.6.3. Efecto de la variación de tensión en el par de arranque.

El par de rotura del rotor bloqueado será proporcional al cuadrado de la tensión aplicada.

2.6.4. Efecto de la variación de tensión en el deslizamiento.

Un aumento del 10% en el voltaje dará lugar a una disminución del deslizamiento de aproximadamente el 17%, mientras que una reducción del 10% dará lugar a un aumento del deslizamiento de aproximadamente el 21 %. Por lo tanto, si el deslizamiento a la tensión nominal era del 5%, se aumentaría a 6,05%, si la tensión se redujera un 10%.

2.6.5. Efectos de la variación en la frecuencia.

Una frecuencia más alta que la frecuencia nominal generalmente mejora el factor de potencia, pero disminuye el par bloqueado del rotor y aumenta la velocidad, la fricción y la pérdida del aire. A una frecuencia inferior a la frecuencia nominal, la velocidad disminuye, el par del rotor bloqueado aumenta y el factor de potencia disminuye. Para ciertos tipos de carga del motor, como en las fábricas textiles, la regulación de frecuencias de cierre es esencial.

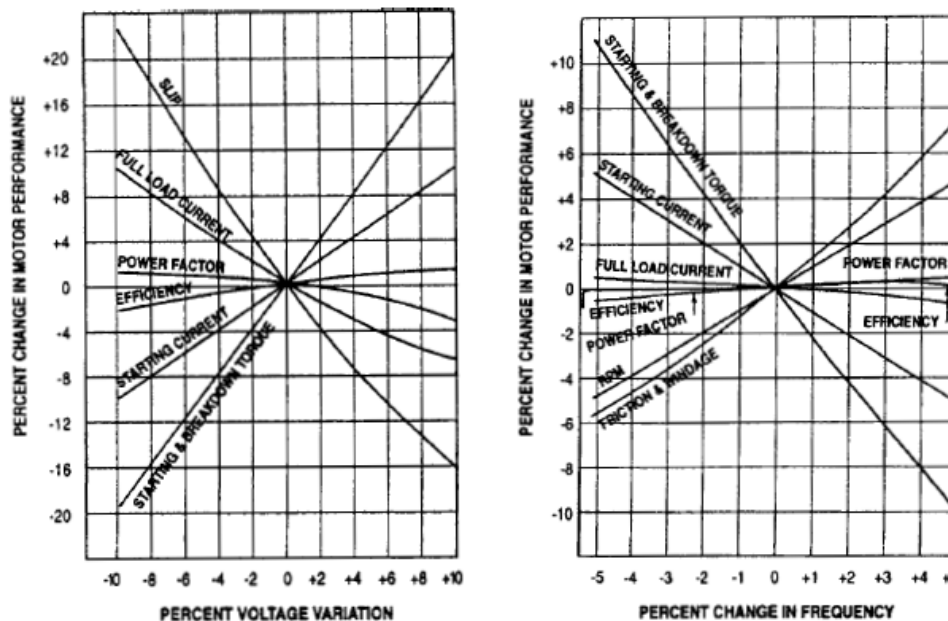


Figura 14. Características del motor y sus pérdidas versus la tensión aplicada y frecuencia. A la izquierda se muestra una gráfica que compara el porcentaje de cambio en el desempeño de un motor vrs el porcentaje de variación de tensión. A la derecha se muestra la comparación del porcentaje de cambio en el desempeño de un motor vrs el porcentaje de cambio en la frecuencia¹⁶.

2.6.6. Efectos del desequilibrio de tensión en el rendimiento de motores de inducción polifásicos.

Cuando las tensiones de línea aplicadas al motor de inducción polifásico no son iguales, se producirán corrientes desequilibradas en los devanados del estator. Un pequeño porcentaje de desequilibrio de voltaje resultará un desequilibrio de corriente de porcentaje mucho mayor. En consecuencia, el aumento de temperatura del motor que funcione a una carga particular y un desequilibrio de tensión porcentual será mayor que para el motor que funcione en las mismas condiciones con voltajes equilibrados.

Preferentemente, los voltajes deben equilibrarse de la manera más cercana que se pueda leer en un voltímetro. En caso de que los voltajes sean desequilibrados, la potencia nominal del motor se multiplicará por el factor que se muestra en la figura 15. Para reducir la posibilidad de daños al motor. No se recomienda el funcionamiento del motor por encima de una condición de desequilibrio de tensión del 5%. Cuando se aplica la curva de "Derating"¹⁷ de la Figura 15 para el funcionamiento en voltajes no balanceados, la selección y ajuste del dispositivo

¹⁶ General Electric Co. GET-6812B

¹⁷ Derating: Es el funcionamiento de un dispositivo abajo de su capacidad nominal máxima para prolongar su vida útil

de sobrecarga debe tener en cuenta la combinación del factor de reducción de potencia aplicado al motor y el aumento de la corriente resultante de los voltajes desequilibrados. Este es un problema complejo que implica la variación de la corriente del motor en función del desequilibrio de carga y de tensión, además de las características de los dispositivos de sobrecarga con relación a I_{max} o a I_{prom} . En ausencia de información específica, se recomienda que los dispositivos de sobrecarga sean seleccionados o ajustados, o ambos, al valor mínimo que no da lugar al disparo para el factor de derating y el desequilibrio de tensión que se aplica. Cuando se prevén tensiones desequilibradas, se recomienda que los dispositivos de sobrecarga se seleccionen de modo que respondan a I_{max} preferentemente a los dispositivos de sobrecarga que responden a I_{prom} .

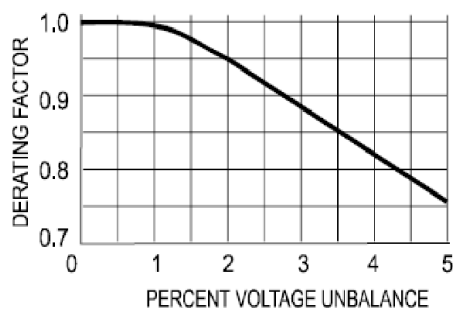


Figura 15. Factor medio de derating del motor debido a la tensión desequilibrada¹⁸.

2.6.7. Efecto en el rendimiento - general.

El efecto de voltajes desequilibrados en los motores de inducción polifásicos es equivalente a la inducción de una "tensión de secuencia negativa" que tiene una rotación opuesta a la que se produce con voltajes equilibrados. Esta tensión de secuencia negativa produce en el entrehierro un flujo que gira contra la rotación del rotor, tendiendo a producir corrientes altas. Un voltaje de secuencia negativo pequeño puede producir considerablemente en las corrientes de los devanados más que los presentes bajo condiciones de tensión equilibradas.

2.6.8. Desequilibrio definido

El desbalance de tensión puede ser definido como se muestra a continuación:

$$\text{Porcentaje de desbalance de tensión} = \frac{V_{MAXdesvi} - V_{PROM}}{V_{PROM}} \times 100\% \quad (8)$$

¹⁸ Nema MG-1-2009

2.6.9. Voltaje y armónicos

Los factores significativos atribuibles al voltaje del motor que tienen un efecto sobre la eficiencia son: Tensión de diseño, el voltaje de funcionamiento y los armónicos.¹⁹

Funcionamiento con tensión desequilibrada. Esta condición producirá corrientes de secuencia negativa que causan pérdidas extrañas y un incremento del calentamiento en el devanado (Ver figura 16).

Incremento en las pérdidas del motor %	Desbalance de tensión %
0	0
8	2
10	2.4
23	4
30	4.9
42	6
50	6.5
60	7.2
74	8
90	8.9

Tabla 11. Incremento en las pérdidas del motor en % vrs Desbalance de tensión en %¹⁷.

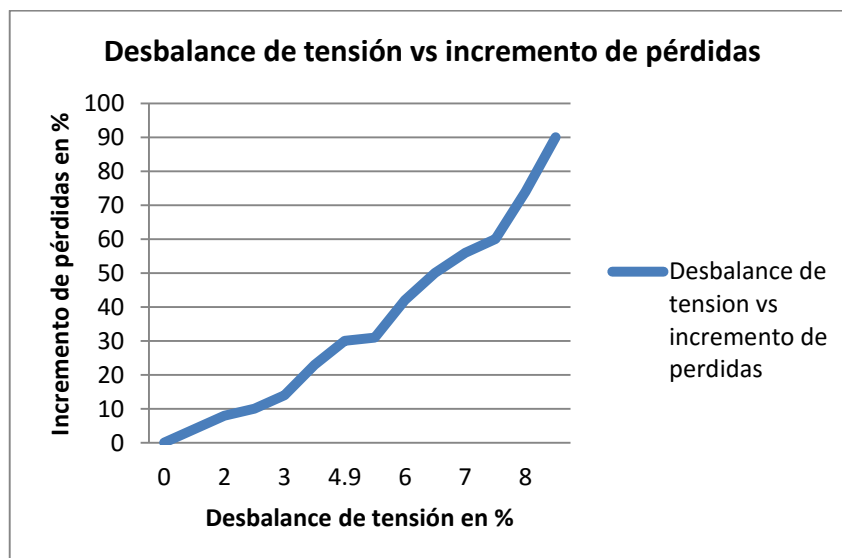


Figura 16. Desbalance de tensión vrs incremento de pérdidas en el motor.

¹⁹IEEE STD. 739-1995 "Recommended practice for energy management".

Operación de motores de velocidad constante en un bus sinusoidal con contenido de armónicos y motores de propósito general utilizados con controladores de frecuencia variable o tensión variable, o ambos. La eficiencia se reducirá cuando se accione un motor en un bus con contenido armónico: "La potencia nominal del motor debe multiplicarse por el factor que se muestra en la Figura 17 para reducir la posibilidad de daño al motor". "Cuando el motor funciona en sus condiciones nominales y la tensión aplicada al motor consiste en componentes distintos de la frecuencia nominal".

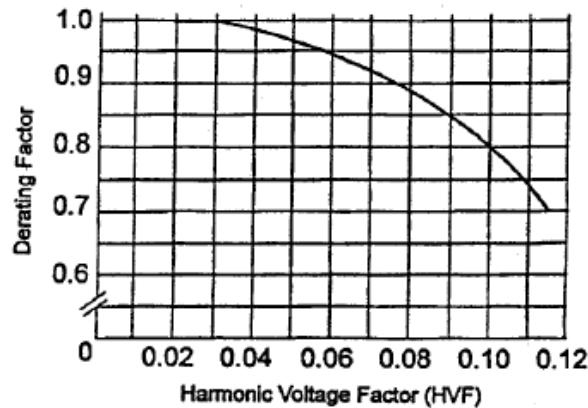


Figura 17. Curva propuesta del derating para los armónicos de tensión¹⁷.

El factor de armónicos de tensión (HVF) se define a continuación:

$$\sqrt{\sum_{n=5}^{n=\infty} \frac{(V_n)^2}{n}} \quad (9)$$

Donde:

n: Es el orden de armónicos impares, sin incluir aquellos divisibles por tres.

V_n : Es la magnitud por unidad del voltaje en el enésimo armónico de la frecuencia.

Por ejemplo: Con valores de tensión por unidad de 0.10, 0.07, 0.045, y 0.036 que ocurren en los armónicos 5, 7, 11 y 13 respectivamente, el valor de HVF es:

$$\sqrt{\frac{0.10^2}{5} + \frac{0.07^2}{7} + \frac{0.045^2}{11} + \frac{0.036^2}{13}} = 0.0546$$

2.7. DESLIZAMIENTO DE PLENA CARGA Y SU CORRECCIÓN DEBIDO A VARIACIONES EN LA TENSIÓN Y TEMPERATURA.

Con la variación de la tensión, también cambia el deslizamiento de plena carga, de igual manera debe corregirse si hay una variación de temperatura, el estándar IEEE STD. 739-1995 menciona como corregirlo.

La velocidad de funcionamiento real de un motor de inducción depende del diseño del motor y la carga en el eje de salida. La velocidad a plena carga se indica en la placa de características del motor. El deslizamiento calculado a partir de los datos de placa suele ser preciso dentro del $\pm 1\%$ debido a variaciones en los niveles de tensión y balance en los terminales del motor. El deslizamiento de carga completa rpm es la diferencia entre el rpm síncrono y el rpm de plena carga.

$$\text{Deslizamiento en rpm} = \text{rpm}(\text{síncrono}) - \text{rpm}(\text{de plena carga}) \quad (10)$$

$$\text{Deslizamiento de plena carga (datos de placa)} S_{PC} = \text{rpm}_{\text{síncrono}} - \text{rpm}_{\text{de placa}} \quad (11)$$

$$\text{Deslizamiento medido en operación } S_{op} = \text{rpm}_{\text{síncrono}} - \text{rpm}_{\text{medido}} \quad (12)$$

$$\% \text{ de carga del motor } S_C = \frac{S_{op}}{S_{PC}} \quad (13)$$

$$\text{Potencia de salida } P_O = \% \text{ de carga del motor } S_C \times HP_{\text{placa}} \quad (14)$$

Para motores de 4 polos con una velocidad de plena carga de $1700 \frac{r}{min}$ será:

$$1800-1700 = \text{Deslizamiento de } 100 \frac{r}{min} \quad (15)$$

Cuando el motor se encuentra trabajando fuera de una temperatura ambiente de 25°C , se debe hacer una corrección para determinar el deslizamiento de plena carga. El aumento en porcentaje del deslizamiento por el aumento de la temperatura en grado Celsius es el rango de 0.342 a 0.380 para motores 10hp y superiores.

Por ejemplo un motor que esté operando a una temperatura ambiente de 45°C incrementaría su deslizamiento de plena carga como se observa a continuación:

$$^{\circ}\text{C de Incremento} = 45 - 25 = 20^{\circ}\text{C}$$

$$\% \text{ incremento} = 20^{\circ}\text{C} \times 0.342 \frac{\%}{^{\circ}\text{C}} = 6.84\% \text{ de incremento.}$$

% Incremento del deslizamiento

de plena carga en relación al dato de placa = 106.84%

La medición del deslizamiento para determinar la carga del motor es una técnica útil cuando se trata de la típica auditoría energética en un número de motores debido a las variaciones en:

1. Los datos de la placa de características del motor,
2. Tensión de línea en el motor, y
3. La temperatura del estator del motor puede tender a promediar sobre una base estática.

La técnica de deslizamiento no es tan precisa ni útil cuando se evalúa la carga de un solo motor.

Es importante tener el conocimiento que al variar la tensión, esta afecta el deslizamiento de plena carga del motor. Cuando la tensión aumenta por arriba de su valor nominal el deslizamiento de plena carga disminuye y cuando la tensión se reduce por debajo de su valor nominal el deslizamiento de plena carga se incrementa. Por ejemplo:

Si un motor con una tensión de placa de 460V, opera a 437V (reducción de 5%), entonces:

$$\frac{1}{0.95^2} * 100 = 110.8\%$$

(El deslizamiento de plena carga se incrementa en 10.8%)

Siempre es deseable obtener lecturas de voltaje y corriente para cada arrancador de motor o motor desconectado cuando se realiza una inspección en el motor para poder hacer las correcciones correspondientes.

Como se detalla en la figura 18 la salida del motor se basa en el principio que el deslizamiento en $\frac{r}{min}$ es lineal desde 10% al 110% de la carga. Por ejemplo para un motor de 4 polos que opera a $1760 \frac{r}{min}$. Si su potencia de salida (de placa) es de 10hp. ¿Cuál es la potencia real de salida en ese instante?

$$\text{Deslizamiento de plena carga} = 1800 - 1700 = 100 \frac{r}{min} = 100\% \text{ de la carga}$$

$$\text{Deslizamiento de operación} = 1800 - 1760 = 40 \frac{r}{\text{min}}$$

$$\text{Carga real} = \frac{\text{Deslizamiento de operación}}{\text{Deslizamiento de plena carga}} = \frac{40}{100} = 0.4$$

$$\text{Carga de salida} = 0.4 \times 10 \text{ hp} = 4 \text{ hp}$$

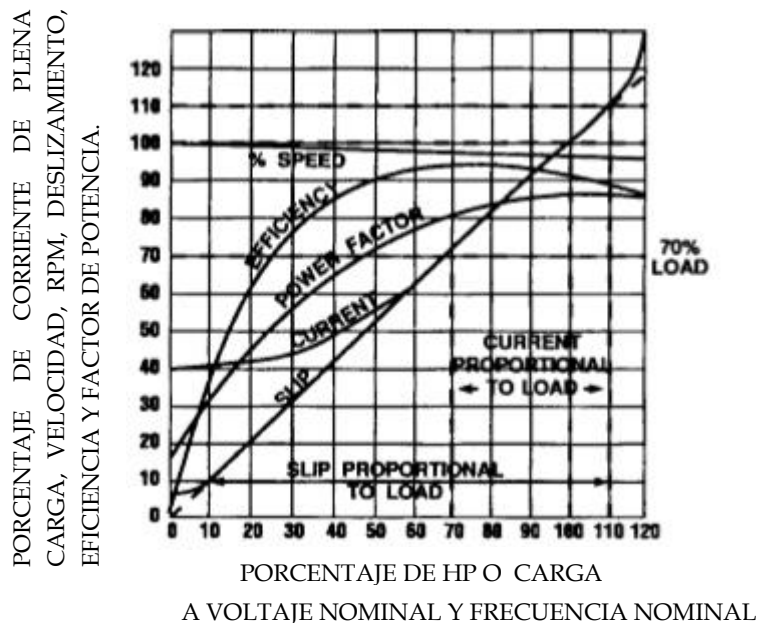


Figura 18. Curva de un motor de inducción para un diseño NEMA clase B²⁰.

Se puede observar que el porcentaje de deslizamiento es una función cuadrática inversa del voltaje. Es decir, con subtensión el porcentaje de deslizamiento de plena carga aumenta, y con sobretensión el porcentaje de deslizamiento de plena carga disminuye. Mientras el voltaje esté dentro de $\pm 5\%$ (506 a 437 en una base de 460V), este efecto en el deslizamiento es menor que el $\pm 10\%$ y normalmente se puede ignorar. El porcentaje del valor del deslizamiento de plena carga debe ser ajustado cuando la variación de tensión es mayor que $\pm 5\%$.

²⁰ IEEE STD. 739-1995.

2.8. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE AISLAMIENTO.

Un sistema de aislamiento es un conjunto de materiales aislantes en asociación con los conductores y las partes estructurales de soporte. Todos los componentes descritos a continuación que están asociados con el devanado estacionario constituyen un sistema de aislamiento y todos los componentes que están asociados con el devanado giratorio constituyen otro sistema de aislamiento.

2.8.1. Aislamiento de bobina con sus accesorios.

El aislamiento de la bobina comprende todos los materiales aislantes que envuelven y separan los conductores que transportan corriente y sus espiras y espiras componentes y forman el aislamiento entre ellos y la estructura de la máquina; incluyendo revestimientos de alambre, barniz, encapsulantes, aislamiento de ranuras, rellenos de ranuras, cintas, aislamiento de fase, aislamiento de cuerpo de polo y aislamiento de anillo de retención cuando están presentes.

2.8.2. Aislamiento de conexión y aislamiento de bobinado.

La conexión y el aislamiento de soporte para los devanados incluyen todos los materiales de aislamiento que envuelven las conexiones que transportan la corriente de bobina a bobina y de los terminales estacionarios o giratorios a los puntos de conexión del circuito externo; y el aislamiento de cualquier soporte metálico para el devanado.

2.8.3. Piezas estructurales asociadas.

Las partes estructurales asociadas del sistema de aislamiento incluyen elementos tales como cuñas de ranura, bloques espaciales y tirantes usados para posicionar los extremos y conexiones de la bobina, cualquier soporte no metálico para el devanado y las bridas de la bobina de campo. Los sistemas de aislamiento los cuales, por experiencia²¹ o prueba aceptada²², pueden demostrar tener una resistencia térmica adecuada cuando se opera a la temperatura límite según su Clase especificada en la norma de aumento de temperatura para la máquina considerada.

²¹ "Experiencia": funcionamiento exitoso durante mucho tiempo bajo condiciones reales de funcionamiento de máquinas diseñadas con aumento de temperatura en o cerca del límite de clasificación de temperatura.

²² "Prueba aceptada": una prueba en un sistema o modelo de sistema que simula las tensiones eléctricas, térmicas y mecánicas que ocurren en servicio. Cuando sea apropiado para la construcción, la prueba se realizará de acuerdo con los siguientes procedimientos de prueba IEEE aplicables: STD. 43, STD. 117, STD. 275 y STD. 304.

Los sistemas de aislamiento se dividen en clases según la resistencia térmica del sistema para fines de clasificación de la temperatura. Se utilizan cuatro clases de sistemas de aislamiento en motores y generadores, Clases A, B, F, y H. Estas clases se han establecido de acuerdo con IEEE STD. 1.

Clase de aislamiento	Temperatura máxima soportada (IEC 60034-1-1998)		Temperatura máxima soportada (NEMA MG-1-12.43)	
	°C	°F	°C	°F
A	105	221	105	221
E	120	248		
B	130	266	130	266
F	155	311	155	311
H	180	356	180	356
C	>180	356		

Tabla 12. Capacidad para soportar temperaturas.²³

La mayoría de los barnices modernos son Clase F o H. Para compensar los efectos de los puntos calientes y las condiciones inusuales de carga, es importante utilizar barnices al menos Clase F, aun si el motor tiene una clase de aislamiento inferior (Ej. Clase B).

2.9. IMPORTANCIA DE LOS RODAMIENTOS.

2.9.1. Medidas de los rodamientos, tipos y tolerancias

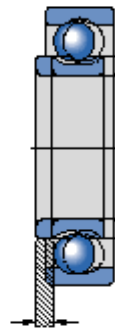
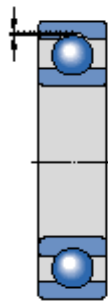
La mayoría de los motores instalados tienen rodamientos de bolas en cada uno de sus extremos. Algunos cuentan con rodamientos de rodillos en el lado del acoplamiento para incrementar la capacidad de carga radial, o con rodamientos axiales para soportar cargas axiales elevadas. Hay que instalar rodamientos nuevos siempre; y que sean del mismo tipo de los desmontados, excepto si se determina que estos están mal especificados para la aplicación. Los siguientes puntos se consideran de importancia crítica para la selección de los rodamientos:

- Tipo de protección.
- Ajuste y tolerancia.
- Clase de precisión.
- Tolerancia interna.
- Capacidad de carga.
- Tipo de lubricante.

²³EASA- AEMT-RewindStudy-1203-0316.

Los rodamientos más comúnmente utilizados en la mayoría de los motores eléctricos tienen juego interno C3. El juego interno del rodamiento se muestra en la figura 19 se define como la distancia total que se puede desplazar un aro con respecto a otro en dirección radial (juego radial interno) o en dirección axial (juego axial interno).

Espacio interno radial



Espacio interno axial

Figura 19. Juego interno del rodamiento²⁴.

Un rodamiento con sellos de contacto puede crear más fricción que uno abierto, con sellos sin contacto o con tapas de protección. El aumento de la fricción da como resultado una pequeña disminución de la eficiencia. Como buena política, para evitar reducir la eficiencia del motor, los fabricantes utilizan rodamientos abiertos.

Los intervalos de lubricación, la cantidad y la viscosidad de la grasa, también producen un impacto sobre la eficiencia de un motor eléctrico. Para mantener la eficiencia de cada motor hay que seguir las directrices de los fabricantes. El estudio realizado por EASA/AEMT determinó que lubricar en exceso los rodamientos, aun en pequeñas cantidades, incrementa las pérdidas por fricción cerca de 500W. La lubricación excesiva no solo causa la reducción de la eficiencia sino que también provoca recalentamiento local, lo cual puede reducir drásticamente la vida de los rodamientos.

Cuando el tipo de aplicación y el ambiente de trabajo del motor requieran la confiabilidad que ofrecen los rodamientos con tapas de protección, se espera un incremento de temperatura en los rodamientos con las respectivas pérdidas por fricción. Una mejor alternativa es la de instalar rodamientos con sellos sin contacto o aisladores, que evitan la contaminación sin causar fricción. Algunos

²⁴Artículo de SKF (proveedor de tecnología).

fabricantes de rodamientos también ofrecen rodamientos con tapas de protección sin contacto.

2.10. CONSIDERACIONES PARA REPARAR O REEMPLAZAR MOTORES.

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 recomiendan los siguientes criterios:

- La condición y la edad del motor. O si el tiempo de uso es mayor a 4000h por año.
- Historia de la operación del motor y los rebobinados.
- El tipo del motor y la aplicación.
- Si la potencia es menor a 40 hp.
- Si el costo del rebobinado excede el 65% del precio del motor nuevo.
- El potencial ahorro de energía que puede lograrse.

A continuación se muestran diagramas en las figuras 20 y 21 que podrían servir de guía para tomar una decisión entre la reparación o el reemplazo. Reemplazar un motor viejo por uno más eficiente tiene sentido para motores que funcionan de forma continua. Sin embargo en muchos casos la decisión es más compleja.

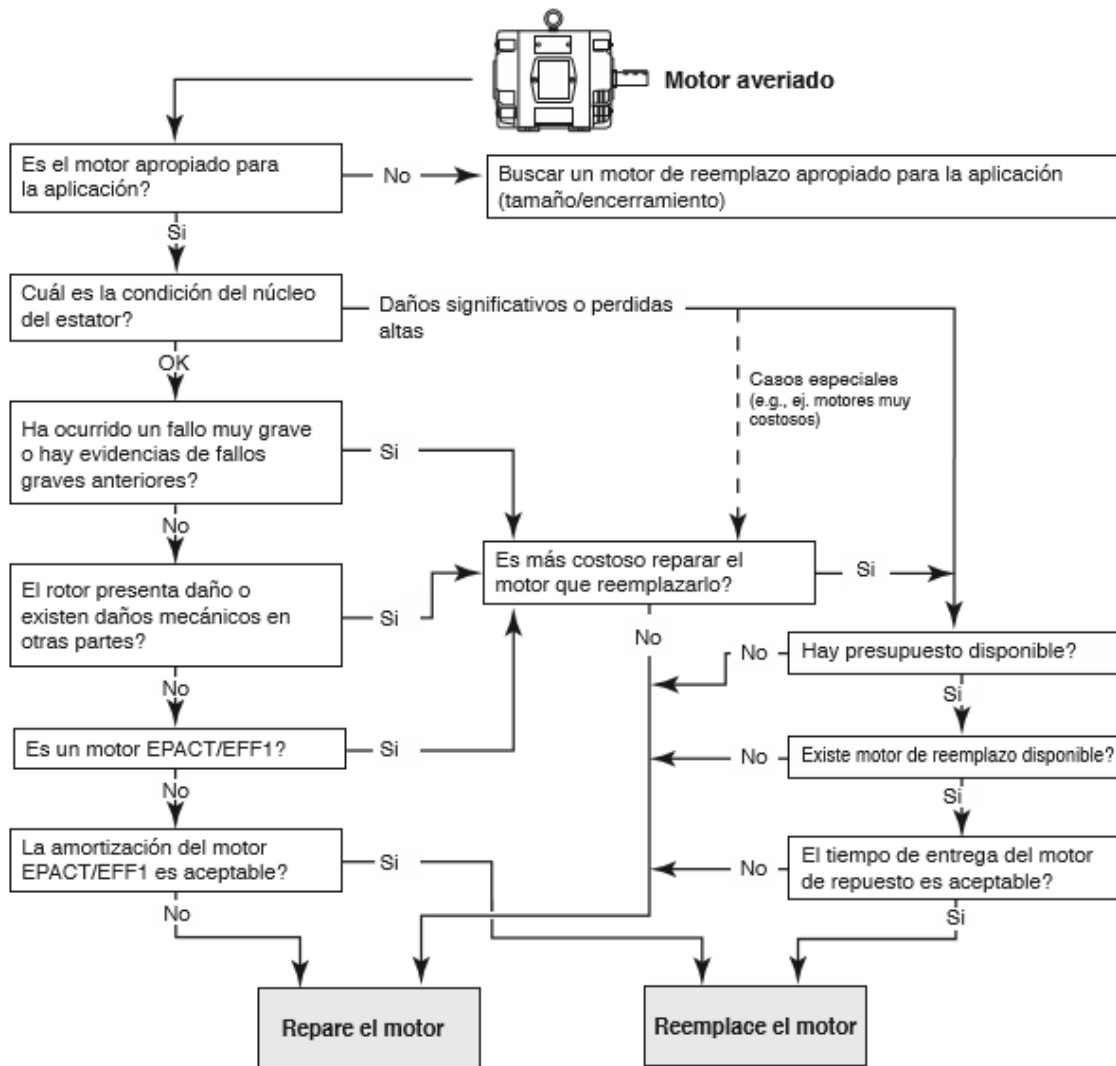


Figura 20. Proceso real para la toma de decisiones, ante la falla de un motor. *Otras consideraciones adicionales incluyen el aumento de confiabilidad, la expectativa de vida y los beneficios de las características especiales, mejoras o modificaciones²⁵.

Cuando se compara el coste de reemplazar o reparar un motor eléctrico, la ecuación no solo debe incluir los costes operacionales y el retorno de la inversión sino también los tiempos muertos y los factores asociados con la depreciación del capital y las pérdidas por producción. Un motor de reemplazo inadecuado para la aplicación, que falle en uno o dos años, puede tener costes más significativos que los derivados por una reparación que optimice el motor para su aplicación única. Los considerables ahorros anuales de energía desaparecen rápidamente por una parada de producción no programada causada por el fallo inesperado de un motor.

2.10.1. Factor de rebobinado

Cuando un motor se rebobina, se produce una disminución en la eficiencia del motor, ya sea que sus elementos se ven sometidos a sobre calentamiento, golpes, sobre esfuerzos mecánicos, mala calidad de las refacciones, etc. Se puede asegurar que cuando un motor se repara en un taller adecuado, su eficiencia disminuye hasta el 2%, mientras que si se realiza en un taller de mala calidad, puede disminuir hasta un 6%, sin embargo, es común que se considere un 1.5% de disminución de eficiencia por cada rebobinado realizado al motor.

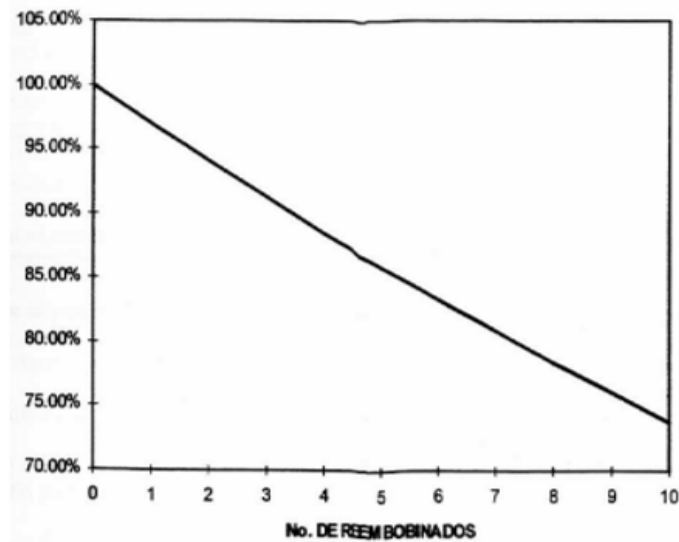


Figura 21. Reducción de la eficiencia por cada rebobinado en el motor²⁵

2.11. EFECTOS DE REPARAR Y REBOBINAR EN LA EFICIENCIA

Se recomiendan los siguientes puntos para la efectiva administración de un motor:

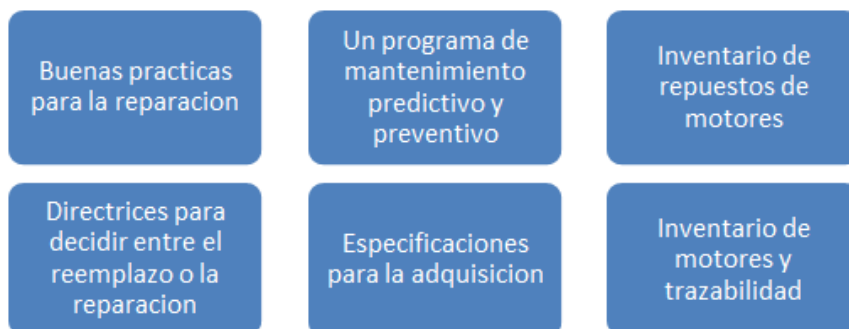


Figura 22. Elementos para una efectiva administración de motores²⁶.

²⁵Fideicomiso Para el Ahorro de Energía Eléctrica. FIDE.

²⁶EASA (Electrical Apparatus Service Association, Inc.)

2.12. ESTÁNDARES Y MÉTODOS DE MEDICIÓN DE EFICIENCIA

Para la determinación de la eficiencia en los motores, se deben consultar las siguientes normas y artículos:

- IEEE STD. 112-2004 Estándar Procedimiento De Medición para Motores Polifásicos de Inducción y Generadores.
- IEEE STD. 1068-1996 Práctica recomendada para la reparación y Rebobinado de motores para la Industria Petrolera y Química.
- Libro de Bronce IEEE 739-1995.
- EASA-AEMT-RewindStudy-1203-0316.
- IEC-60034-2, “Rotating electrical machines”, 2009.

Se recomienda utilizar el método de prueba B de la norma IEEE STD.-112-2004: Entrada- salida con segregación de pérdidas. Se selecciona este procedimiento de prueba, ya que con el, se mide la eficiencia de un motor de forma más precisa que con el método de la IEC 60034-2.

IEEE 112-2004 B	IEC 60034-2
Entrada-salida	Prueba de frenado
Entrada-salida con segregación de pérdidas. Medición indirecta de las pérdidas adicionales con carga.	-
Maquinas idénticas	Accionamiento mecánico externo
Mediciones de potencia eléctrica bajo carga con segregación de perdidas Medición directa de las pérdidas adicionales con carga- punto de carga calibrado. Valor asumido de las pérdidas adicionales con carga- punto de carga calibrado.	Sumatoria de perdidas máquina de accionamiento calibrada
Circuito equivalente Medición directa de las pérdidas adicionales con carga- punto de carga calibrado. Valor asumido de las pérdidas adicionales con carga- punto de carga calibrado.	-
-	Accionamiento eléctrico externo

Tabla 13. Métodos de medición de eficiencia.

Otro método recomendado es el método del deslizamiento descrito en IEEE STD. 739, es un procedimiento mediante el cual es posible la evaluación del parámetro eficiencia de un motor de una manera rápida y con una aceptable aproximación,

recomendado cuando no es factible desmontar el motor, ya que implicaría que se dejaría de prestar algún servicio o se tendrían pérdidas económicas de producción, debido al tiempo de suspensión que conlleva la evaluación si se efectúa con otros métodos, como los que se describen en IEEE STD. 112-2004.

El Proyecto: “Programa de Eficiencia Energética” Ministerio de Economía de la República de El Salvador Banco Interamericano de Desarrollo CT No. ATN/OC-11265- Propone un formulario para recabar datos de Mediciones de motores en su Formato E2 el cual se muestra en el ANEXO B.

2.13. NORMAS RELATIVAS A EFICIENCIA EN MOTORES ELÉCTRICOS EN 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”.

La cual solamente regula requisitos relativos al aspecto físico del motor, datos de placa, eficiencia mínima, pruebas y condiciones de las pruebas, pérdidas, corrección de pérdidas y cálculo de eficiencia que el motor tiene que cumplir para ingresar al país. Sin embargo en comparación con países industrializados, el país se encuentra muy atrasado en este aspecto, ya que no hay ley que regule el ingreso de motores standard los cuales en otros países son considerados actualmente como de baja eficiencia. Por otra parte en cuanto a procedimientos de reparación no se menciona nada.

Una norma que garantice la Eficiencia en la reparación y rebobinado para Motores eléctricos debería de regular los siguientes aspectos principales:

- Aspectos básicos de eficiencia en motores (indicadores de eficiencia), medición, desempeño y mantenimiento.
- No permitir el ingreso al país, de motores de bajo rendimiento.
- Regulación de calidad de los motores que se ingresan, que cumplan las especificaciones de placa.
- Restringir ingreso de motores de segunda mano.
- Prácticas de reparación y rebobinado eficientes.
- Aspectos que regulen la calidad de los talleres que rebobinan y reparan motores.
- Aspectos relacionados a la preparación técnica del personal que realiza las reparaciones.
- Aspectos que afectan la eficiencia de un motor.
- Prácticas no permitidas ya que dañan el funcionamiento del motor.

2.14. FAMILIA DE NORMAS 50000 PARA SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA

- ISO 50001: Requisitos con orientación para su uso.
- ISO/DIS 50002: Auditorías energéticas.
- ISO/DIS 50003: Requerimientos para las organizaciones que proporcionan auditorías de certificación de gestión de energía y competencia de auditor.
- ISO/DIS 50004: Guía para implementación, mantenimiento y mejoramiento de un Sistema de Gestión de Energía.
- ISO/DIS 50006: Líneas base energéticas e indicadores de desempeño- Principios generales y directrices.
- ISO/DIS 50015: Medición y verificación del desempeño energético de una organización-Principios generales y directrices.

CAPÍTULO 3: INVESTIGACIÓN DE CAMPO

Se realizaron tres encuestas las cuales fueron dirigidas a talleres de Reparación y Rebobinado de motores, empresas y otra a instituciones educativas, las cuales tienen un enfoque distinto, pero el factor común es diagnosticar el estado actual del sector Rebobinado y reparación de motores en el país.

3.1. ENCUESTA A TALLERES DE REPARACIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS.

En cuanto a la encuesta dirigida a talleres de Rebobinado y Reparación de motores, fue un poco más difícil el recabar la información, ya que por ser negocios pequeños la ubicación de ellos no siempre era en zonas accesibles debido a la delincuencia que asedia a nuestro país, otros talleres se negaron a responder la encuesta manifestando falta de tiempo o desconfianza en brindar información. Otro problema detectado fue que muchos de los talleres actualmente ya no operan, lo cual puede ser por diversos factores: ya sea por quiebre, delincuencia, escasez de mano de obra calificada, competencia, entre otros.

En el Anexo C se muestra una serie de fotografías de uno de los talleres encuestados.

3.1.1. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN DE CAMPO

De los talleres de un total de 16, solamente el 21% de ellos brindaron respuesta a la encuesta, del resto se pueden observar que se tienen diversos problemas, la gráfica T1 permite tener una idea clara sobre ello, en la gráfica se observan diversos casos, en los cuales destacan lugares donde no es posible entrar a los zonas donde están ubicados dichos talleres, por ser sitios de alta peligrosidad y los talleres que han cerrado sus operaciones por la inseguridad imperante en nuestro país, mientras que algunos talleres es posible hayan cerrado por falta de crecimiento en sus negocios.

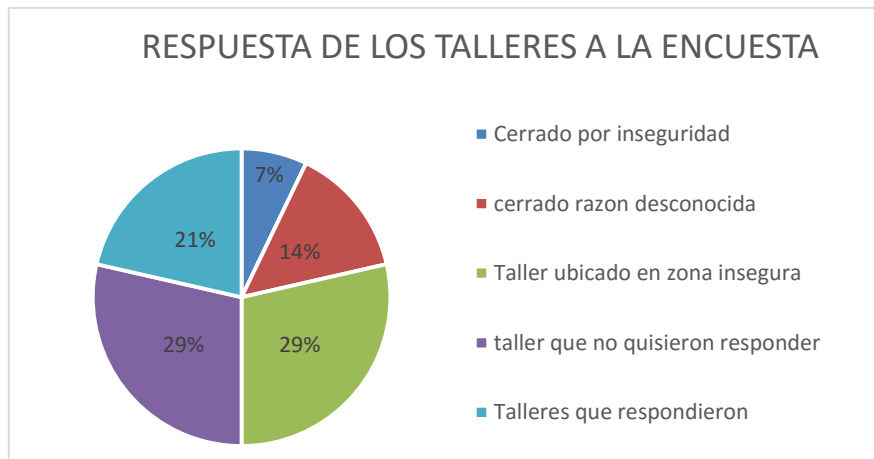


Figura 23. Respuestas de los talleres que se buscaba encuestar.

Los talleres que se escogieron se seleccionaron de la forma en que un usuario (cliente) de los mismos lo haría normalmente buscando en los medios de comunicación que se encuentran más a la mano, tal como se observa en la Figura 24, los medios en los que se publicitan los talleres son:

- Internet
- Guía telefónica
- Anuncios publicitarios de la calle
- Anuncios en periódicos.

De esto último se observa que un 7% de estos no cuentan con publicidad en redes sociales e internet, únicamente poseen rótulos en la calle, esto debido al tamaño de sus negocios que regularmente se encuentran en lugares pequeños y donde circula gran cantidad de personas, algunos poseen pequeños anuncios en internet en páginas gratuitas siendo el 93% de estos los que poseen sus anuncios en dichas páginas, como se muestra en la Figura 24.

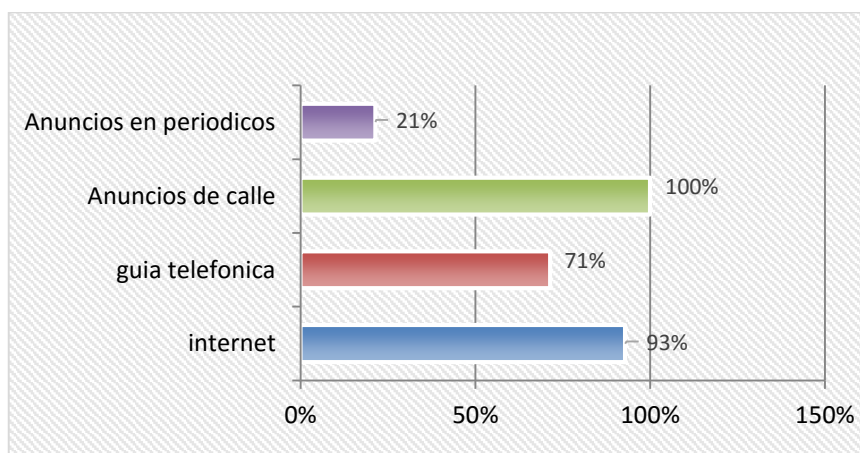


Figura 24. Medios de publicidad que utilizan los talleres para darse a conocer.

Es bueno dar importancia a la publicidad de los talleres, ya que a través de ella se logra captar un mayor número de clientes, pero los talleres que no invierten en ella usualmente desaparecen.

Tiempo que posee de existir el taller:

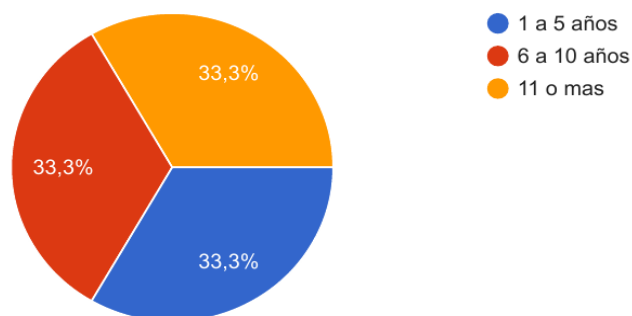


Figura 25. Tiempo de existir de los talleres.

1. ¿Qué rango de capacidad (potencia) de motores se reparan?

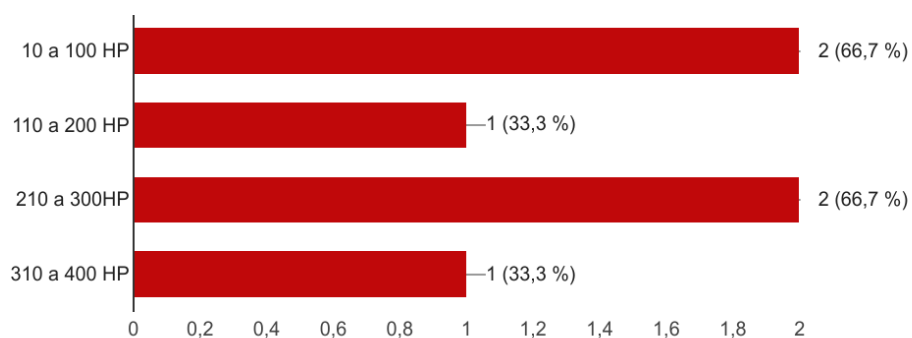


Figura 26. Tamaño de motores reparados usualmente según su potencia.

2. ¿Cuál es la categoría de eficiencia más común en los motores que se reciben y bajo qué norma?

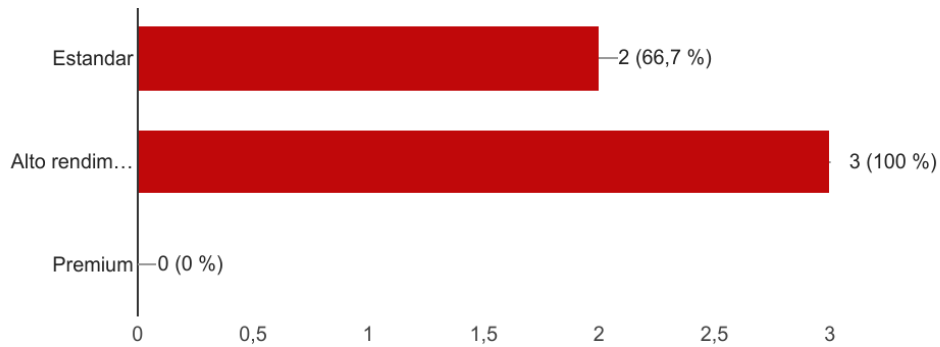


Figura 27. Motores según Norma, que se reciben en los talleres.

3. ¿Cuáles son las causas más comunes de daño en los motores que ustedes reciben?

Los más comunes son:

1. Rodamientos defectuosos.
2. Ajustes de alojamiento de rodamientos.
3. Funcionamiento de voltajes incorrectos.
4. Fatiga del aislamiento por altas temperaturas de operación.
5. Fallo de las fases (motores trifásicos).
6. Fallo en el platino (motores monofásicos).
7. Fallo de los cojinetes.
8. Bobina quemada.

9. ¿Se utilizan altas temperaturas para quitar las bobinas?

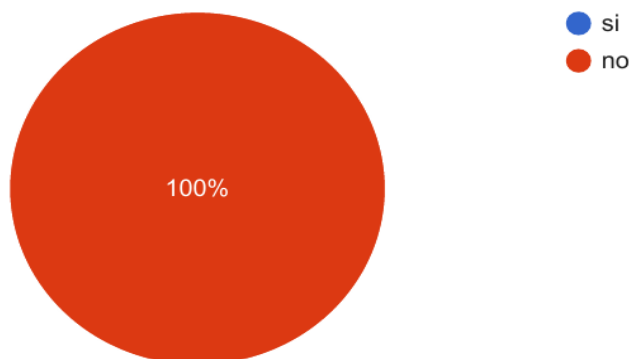


Figura 28. Uso de altas temperaturas para extraer la bobina.

13. ¿Al realizar una modificación mecánica, consultan la aprobación del cliente?

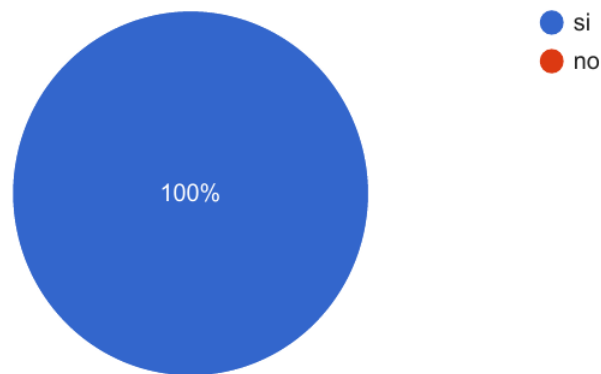


Figura 29. Modificaciones mecánicas que se realizan a los motores.

14. ¿Cuentan con programas de calibración que aseguren la exactitud de todos los equipos de medición y pruebas?

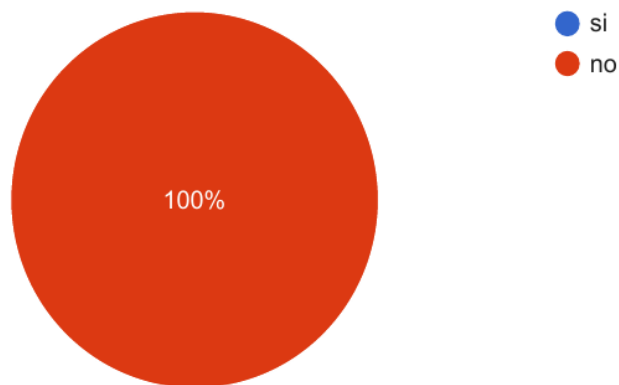


Figura 30. Posesión de equipos especializados.

15. ¿Se tiene un registro o historial del número de rebobinados o reparaciones que se le hacen a los motores eléctricos?

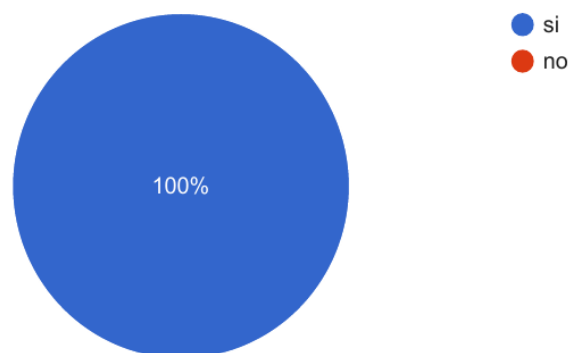


Figura 31. Posesión de equipos especializados.

16. ¿Realizan inversiones periódicamente para la mejora de los equipos utilizados?

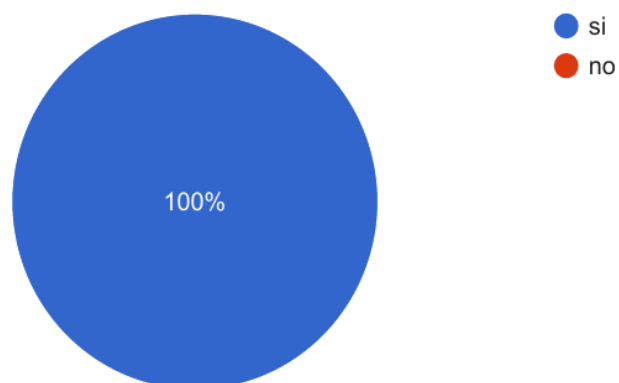


Figura 32. Inversión en equipo.

17. ¿El personal que realiza las reparaciones tiene formación técnica o profesional?

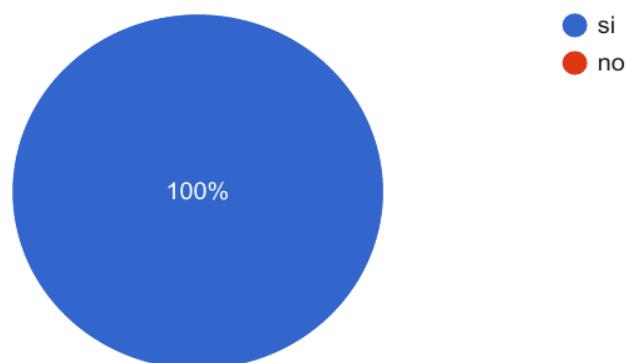


Figura 33. Formación del personal técnico.

18. ¿El personal técnico recibe algún tipo de capacitación?

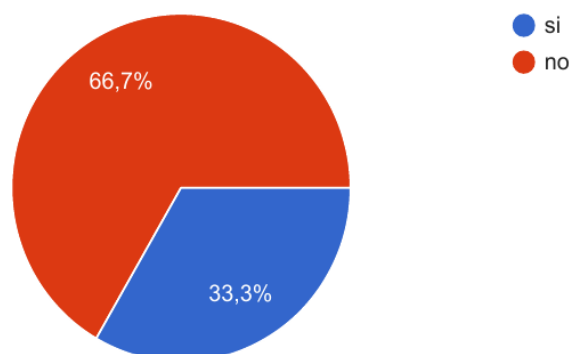


Figura 34. Capacitaciones para el equipo técnico.

19. ¿Qué institución brinda estas capacitaciones?

- ITCA
- Instituto Técnico Ricaldone.
- Superior Essex, a través de ERA y RELMO. NOTA: ERA Y RELMO son importadores y distribuidores de fábrica, de productos industriales, los cuales ofrecen asesoría y capacitaciones.

20. ¿Conocen de líneas de crédito que puedan incentivar a los talleres para poder invertir?

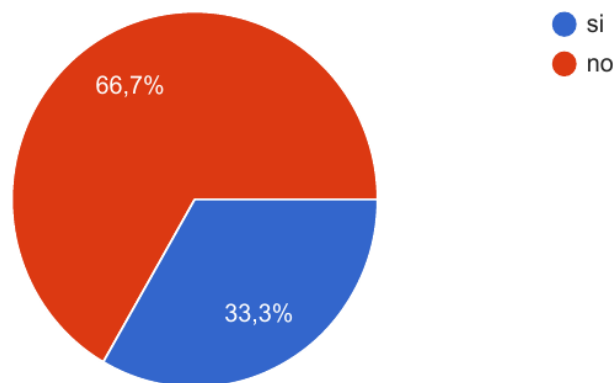


Figura 35. Conocimiento de las líneas de crédito.

3.2. ENCUESTA A EMPRESAS

Durante el proceso de la investigación de campo se encuestaron un total de 20 empresas, algunas empresas no quisieron llenar la encuesta debido a privacidad de la información.

3.2.1. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN DE CAMPO

A continuación se muestra la tabulación y los gráficos de los resultados obtenidos en las encuestas para empresas:

Tiempo que posee de existir la empresa:

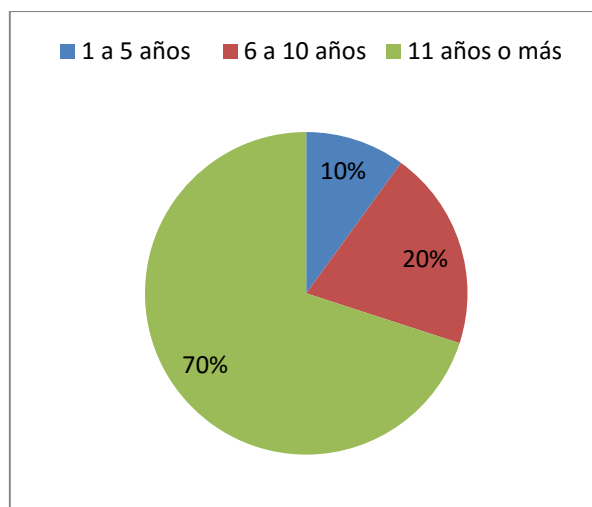


Figura 36. Tiempo de existencia de la empresa.

1. ¿Qué rango de capacidad (potencia) poseen para operar?

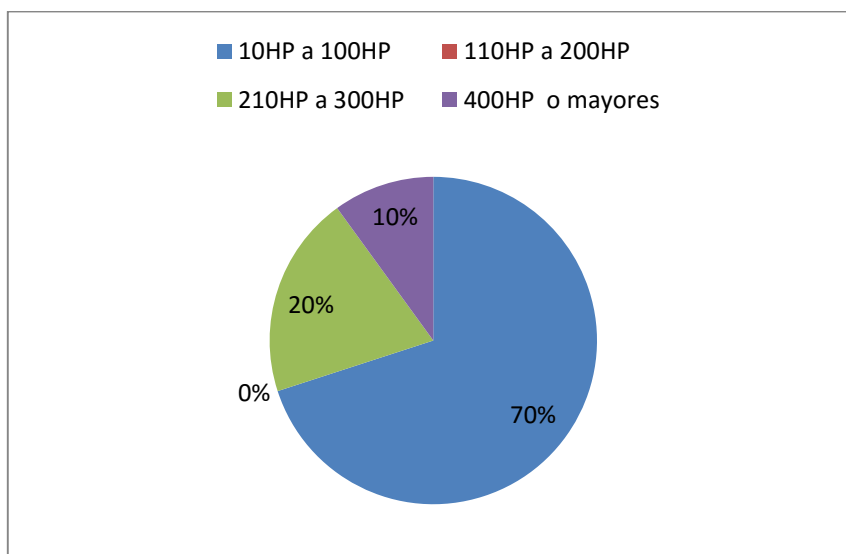


Figura 37. Rango de capacidad en la que operan los motores en empresas encuestadas.

2. ¿Es más costoso reparar un motor que reemplazarlo?

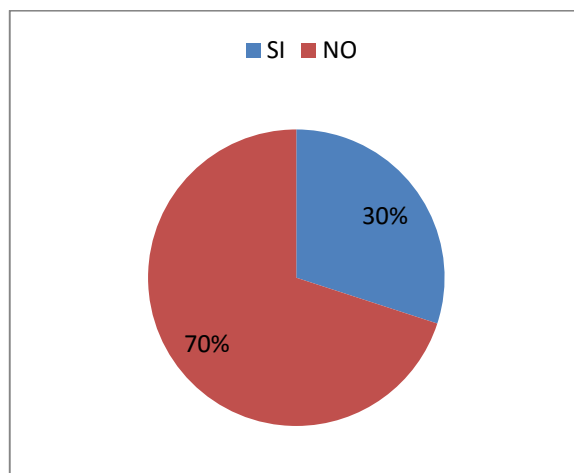


Figura 38. Comparación de economía de las empresa (Reparar vrs Reemplazar).

3. ¿A qué porcentaje de carga operan sus motores eléctricos?

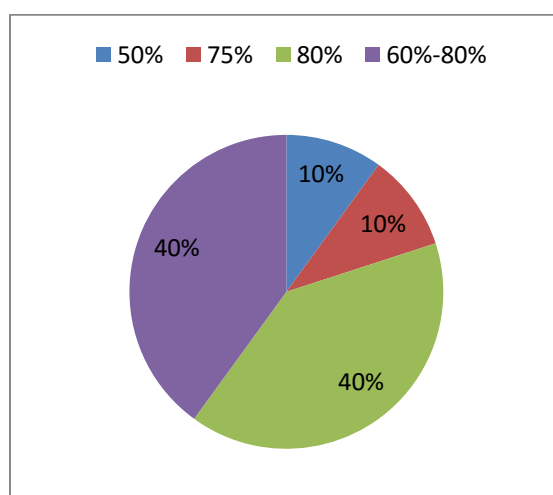


Figura 39. Porcentaje de carga al que operan los motores en empresas encuestadas.

4. ¿Se lleva un registro de valores de tensión y frecuencia en la instalación de la empresa?

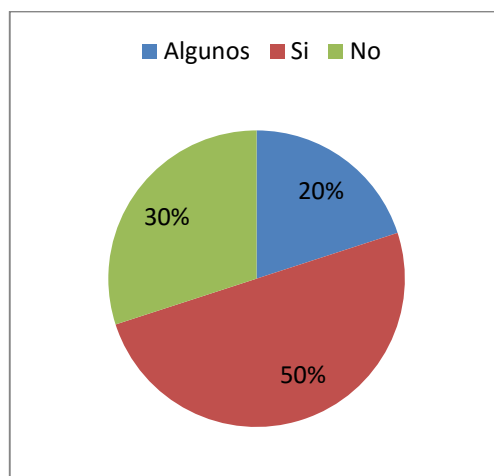


Figura 40. Porcentaje de registro de valores de tensión y frecuencia en empresas encuestadas.

5. ¿Se cuenta con un registro del historial de mantenimiento de motores?

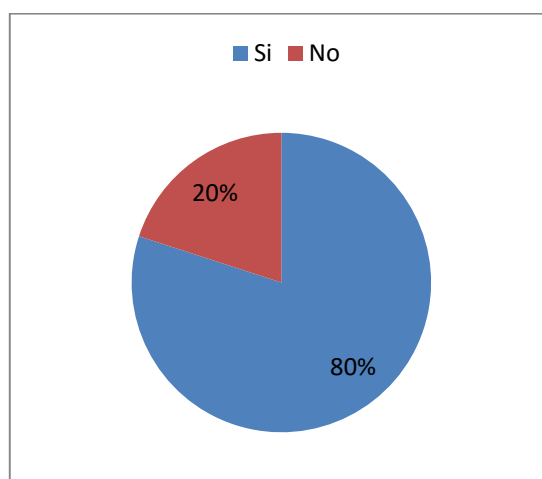


Figura 41. Porcentaje de registro de historial de motores en las empresas encuestadas.

6. ¿Poseen un programa de mantenimiento?

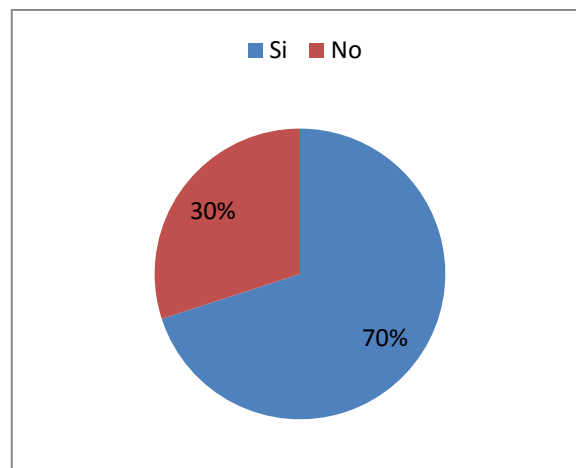


Figura 42. En esta grafica se muestra el porcentaje de empresas encuestadas que cuentan con un programa de mantenimiento de sus motores.

9. ¿Cuándo falla un motor optan por repararlo en lugar de adquirir nuevo?

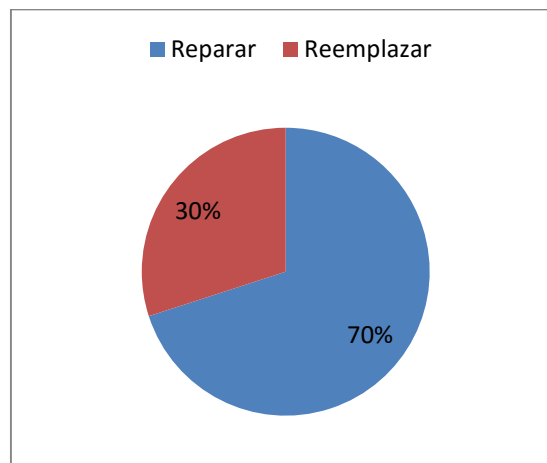


Figura 43. Preferencia de empresas encuestadas (Reparación vrs reemplazo).

10. ¿Posee la empresa taller propio de reparación y rebobinado de motores?

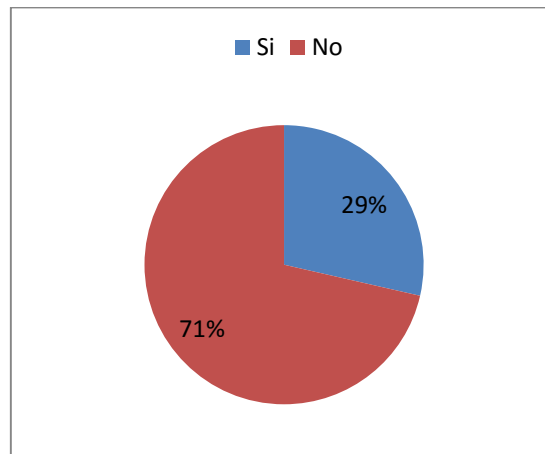


Figura 44. Porcentaje de empresas que cuentan o no con taller de reparación de motores.

11. ¿Realizan inversiones periódicamente para la mejora de los equipos utilizados?

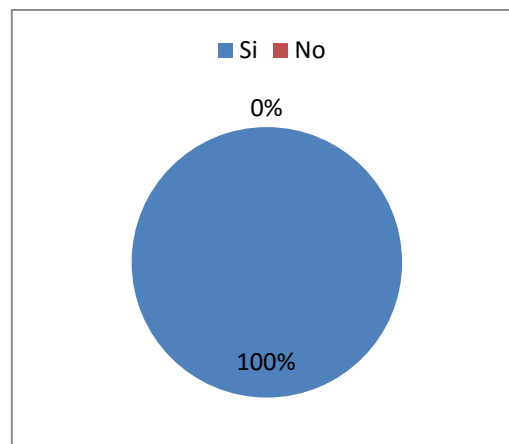


Figura 45. Porcentaje de empresas encuestadas que realizan mejoras periódicas de los equipos utilizados.

12. ¿El personal que realiza las reparaciones posee formación técnica?

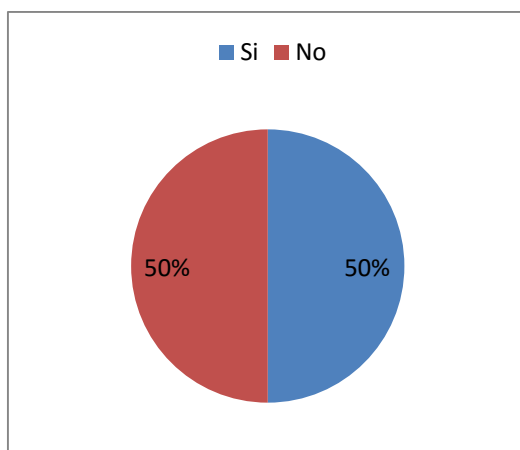


Figura 46. Porcentaje de empresas encuestadas en las que el personal que realiza reparaciones posee formación técnica.

13. ¿El personal técnico recibe algún tipo de capacitación?

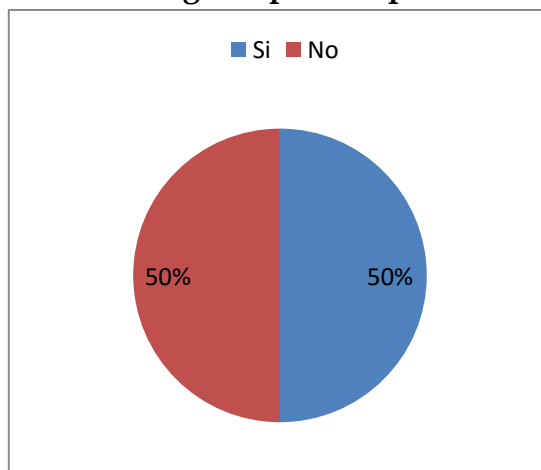


Figura 47. Porcentaje de empresas encuestadas donde su personal recibe capacitación técnica.

14. ¿Se tiene el interés de los trabajadores en seguirse formando o capacitando?

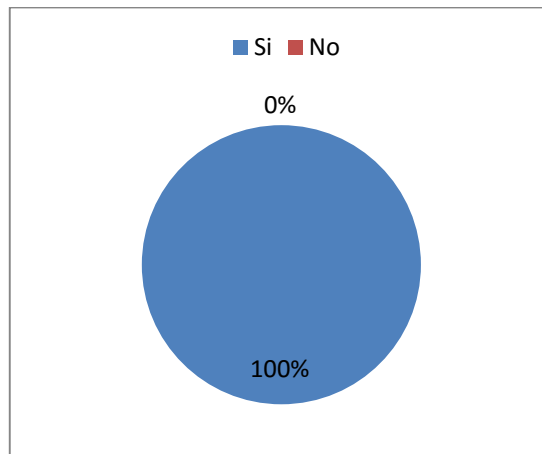


Figura 48. Porcentaje de empresas donde el personal tiene interés de seguirse capacitando.

15. ¿Qué clase de verificación?

La verificación de parámetros consiste en: El cambio de baleros, corriente en vacío, corrientes con carga, y los parámetros básicos que se indican en la placa del motor.

16. ¿Cree usted que vale la pena invertir en el Sector reparación y rebobinado de motores?

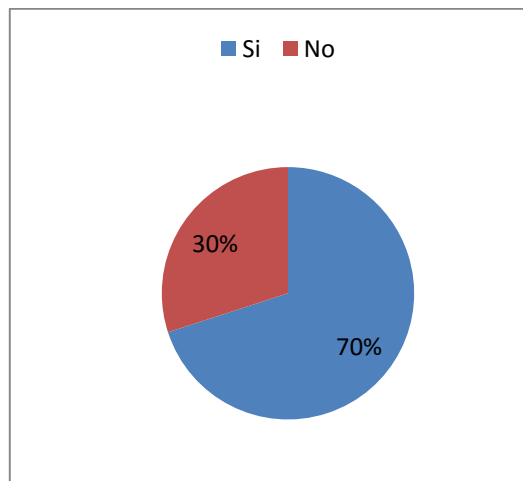


Figura 49. Opinión de empresas encuestadas en relación a la propuesta de invertir en el sector reparación y rebobinado.

17. ¿Conocen de líneas de crédito que puedan incentivar a los talleres para poder invertir?

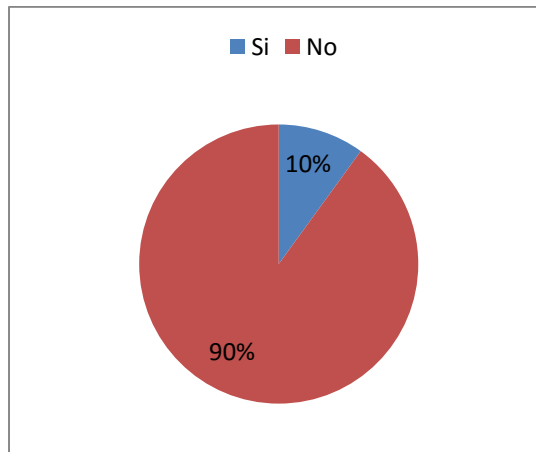


Figura 50. Porcentaje de empresas encuestadas que demuestran conocimiento de líneas de crédito para inversión en el sector de reparación y rebobinado.

3.3. ENCUESTA A INSTITUCIONES EDUCATIVAS

Durante el proceso de la investigación de campo se encuestaron 7 instituciones, algunas instituciones no quisieron contestar la encuesta debido a privacidad de la información. Las instituciones educativas encuestadas fueron las siguientes:



Figura 51. Porcentaje de respuesta a encuestas dirigidas a instituciones educativas.

El 14% de las instituciones educativas no respondieron la encuesta debido a la privacidad de la información.

3.3.1. RESULTADOS DE LA RECOLECCIÓN DE DATOS

A continuación se muestra la tabulación y los gráficos de los resultados obtenidos en las encuestas para instituciones educativas:

1. ¿Dentro de la oferta académica se imparten temas relativos a la reparación y rebobinado de motores?

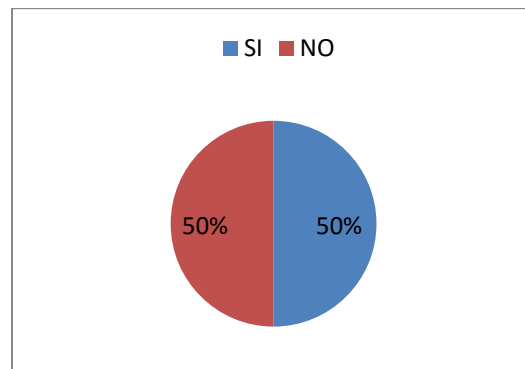


Figura 52. Porcentaje de instituciones educativas que imparten temas relativos a la reparación y rebobinado de motores.

2. ¿Posee la Institución talleres para prácticas de medición de parámetros en motores eléctricos?

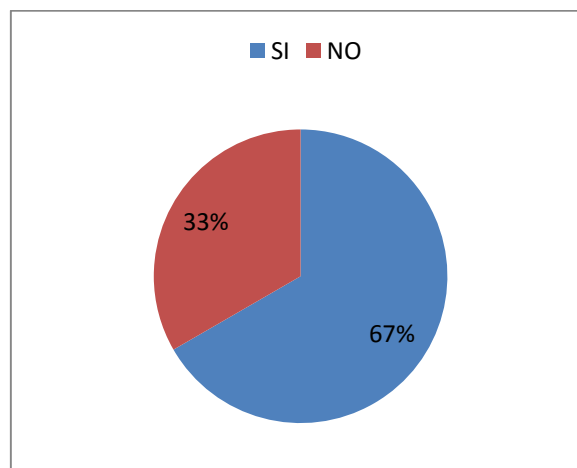


Figura 53. Porcentaje de instituciones educativas que cuentan con talleres para prácticas de medición en motores eléctricos.

3. ¿Realizan inversiones periódicamente para la mejora de los equipos utilizados para las prácticas?

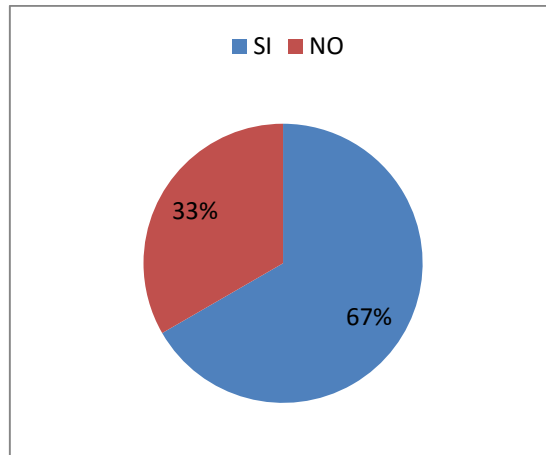


Figura 54. Porcentaje de instituciones educativas que realizan inversiones periódicas para la mejora de equipos.

4. ¿El personal docente recibe algún tipo de capacitación?

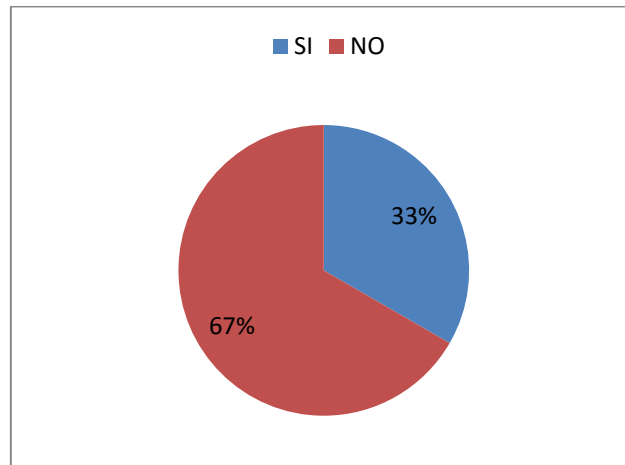


Figura 55. Porcentaje de instituciones educativas donde los docentes reciben capacitación.

5. ¿Cree usted que es más costoso reparar un motor que reemplazarlo?

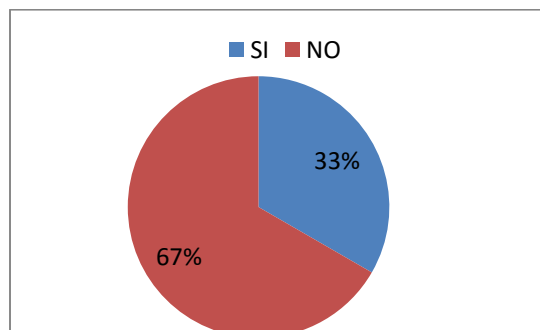


Figura 56. Porcentaje de preferencia (Reparar vrs reemplazar) en opinión de docentes de instituciones educativas.

6. ¿Implementan enseñanzas de programas de mantenimiento de motores?

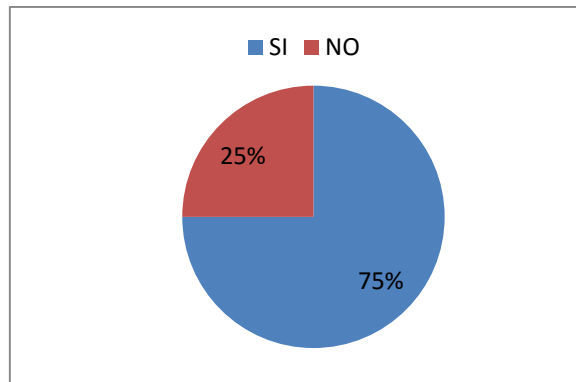


Figura 57. Porcentaje de instituciones educativas que imparten conocimientos sobre programas de mantenimiento de motores eléctricos.

7. ¿Cree que es importante para el país generar técnicos capacitados en el área de la Reparación y rebobinado de motores?

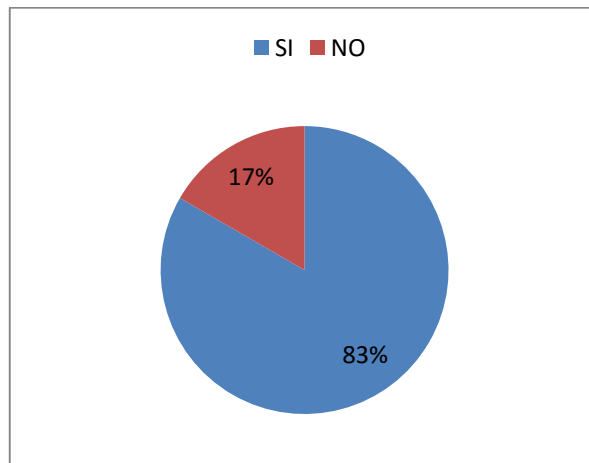


Figura 58. Opinión de docentes acerca de si es importante la capacitación de los técnicos en el área de reparaciones.

8. ¿Cree usted que vale la pena invertir en el Sector reparación y rebobinado de motores?

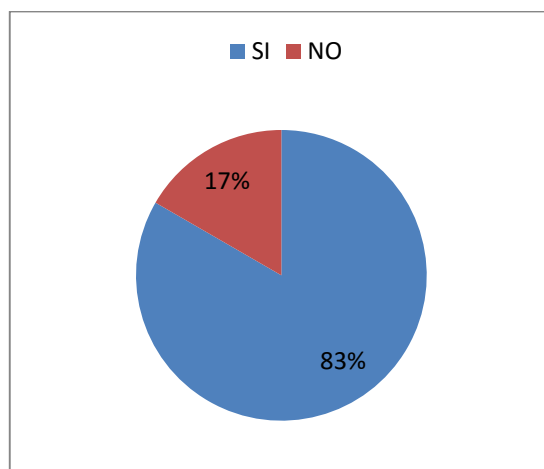


Figura 59. Opinión de docentes acerca de la importancia de invertir en el sector reparaciones de motores eléctricos.

3.4. DIAGNÓSTICO DE LA INVESTIGACIÓN DE CAMPO.

3.4.1. SECTOR TALLERES.

- No se sigue una normativa que estandarice el trabajo realizado por los talleres.
- No se cuenta con el equipo necesario para realizar trabajos que posean una mayor calidad.
- Existe la necesidad de crear un ente que certifique a los talleres, además de observar que se cumplan las condiciones acordadas por el proveedor y el cliente.
- Se necesita tener un ente que garantice la calidad de las reparaciones y se pueda brindar garantía de estas.
- Se vuelve necesario agregar una unidad temática donde se brinden estos temas en las instituciones educativas que capacitan a los técnicos.
- Los talleres desconocen de líneas de financiamiento que sean de utilidad para mejorar sus servicios.
- Se debe promover líneas de crédito que permitan fortalecer el trabajo de los talleres mejorando infraestructura y herramientas.
- Los talleres necesitan formalizarse como negocios para poder ser reconocidos formalmente por la banca privada y/o por otras instituciones financieras.

3.4.2. SECTOR EMPRESAS.

- El 70% de empresas encuestadas optan por reparar sus motores antes que reemplazarlos. No obstante se hace una evaluación para cada caso, dependiendo del tipo de falla y las veces que haya sido rebobinado el motor se decide si reparar o reemplazar.
- El 40% de las empresas operan sus motores al 80% y otro 40% operan de 60%-80%, en algunos casos operan estos motores a baja carga porque fueron mal dimensionados para la aplicación, en estos casos la solución podría ser redimensionarlos u optar por la instalación de VFD dependiendo la aplicación.
- Tan sólo el 50% de empresas encuestadas llevan el historial de los valores de tensión y frecuencia. El mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo y llevar el historial de estos, los cuales deben ser aplicados por las empresas para identificar fallas y tener una base para saber cuándo,

porque se dio la falla y de corregir estas fallas; de esta manera se preserva la vida útil del motor. Sin embargo el 80% lleva un historial de los mantenimientos y el 70% tiene programas de mantenimiento ya sea correctivo y preventivo, el resto solo realiza correctivos al darse la falla ya sean sustitución de piezas, limpieza o simplemente no se lleva un historial. Es esencial antes de realizar un mantenimiento a un motor, asegurarse que se tenga la temperatura adecuada, libre de polvo, vibraciones, un ambiente limpio y seco.

- Es importante que las empresas busquen la capacitación continua del personal técnico ya que de esta manera el mismo personal puede impulsar la innovación tecnológica en los procesos de la empresa y con mejor mantenimiento y reparaciones puede influir en un futuro en la mejora de la eficiencia de los motores y por consiguiente un ahorro de energía y costos considerable. Aplicando prácticas basadas en normas internacionales puede asegurarse una mejora en la calidad de las reparaciones, pero para ellos el personal debe capacitarse en las mismas. Solamente el 50% resulto tener acceso a capacitaciones internas y estas con temas no relativos a reparaciones.
- La mayoría de empresas demostró apoyar al Sector de Reparación y Rebobinado de motores sin embargo se expresó desconocimiento de parte de los ingenieros y técnicos sobre las líneas de crédito que podrían apoyar al sector. Es importante que se dé a conocer esta necesidad a los administrativos de las empresas y se les explique con números, los beneficios que traería económicamente para sus empresas la inversión en el sector. Encargados técnicos afirmaron que optarían por reparar como primera opción, si el sector se mejorara en cuanto a prácticas que no deterioren la eficiencia del motor, ya que para las empresas es más económica una reparación que un reemplazo de equipo.

3.4.3. SECTOR INSTITUCIONES EDUCATIVAS.

- A pesar de que el 100% de las instituciones educativas encuestadas poseen un bachillerato técnico afín, solo el 50% imparten temas relativos a la reparación y rebobinado los cuales desarrollados de forma básica y con técnicas no adecuadas en algunos caso debido a la falta de equipo en los talleres escolares.
- Hay que evaluar los recursos con los que cuentan las instituciones que cuentan con talleres de prácticas de reparación y rebobinado de motores para mejorar la calidad de enseñanza de los jóvenes ya que emplear los

conocimientos mediante prácticas es un pilar fundamental para el aprendizaje. Así mismo no se especificó si estos están correctamente equipados o el estado de estos equipos.

- Se determinó que los docentes son preparados técnicamente o profesional sin embargo también han sido formados en temas de reparación con conocimientos básicos, y no reciben capacitaciones que desarrollen estos conocimientos; ya sea por el poco interés en esta área, o porque muestran interés en otras áreas. En algunos casos se tiene el interés de capacitarse en este sector pero no se posee la oportunidad y apoyo de parte del Centro Educativo para optar a estas capacitaciones. El interés de los directivos de estas instituciones es la capacitación en prácticas de docencia, y pocas veces es orientada a formación técnica. Actualmente las instituciones que proporcionan estas capacitaciones de mano con los centros educativos son INSAFORP y el Ministerio de Educación.
- Entre los temas impartidos se demostró que el mantenimiento de los motores es uno de ellos sin embargo no en todas instituciones se da a conocer que hay que realizar la verificación de parámetros posterior a las reparaciones.
- Se debe reformular el programa de enseñanza en las Instituciones Educativas, creando un programa integral que involucre teoría y práctica acerca de las Reparaciones y Rebobinado de motores eléctricos. La mala calidad de la enseñanza es proporcional a los malos resultados en el sector.

3.5. PROBLEMÁTICA EN LA ADMINISTRACIÓN Y FINANZAS DE LOS TALLERES.

El Sector reparación y rebobinado de motores actualmente es un está desfasado es por eso que es necesaria la inversión en equipos de medición de calidad e instrumentos que permitan realizar estas tareas de la forma adecuada, de igual manera la inversión en capital humano, capacitándolo.

3.5.1. Publicidad y promoción

En los talleres no se tiene un plan de marketing y publicidad que pueda dar a conocer a las empresas los servicios que ofrecen. La publicidad manejada es a pequeña escala contando solamente con tarjetas de presentación, banners, portafolios de servicios y publicación de número telefónico en el Directorio.

A continuación se muestra un cuadro comparativo entre las Oportunidades de mejora que tiene el sector reparación de motores eléctricos a nivel Nacional y los

obstáculos que se tendrían que vencer para poder consolidarse mejor en el mercado.

Oportunidad de mejora	Obstáculos a vencer
<ul style="list-style-type: none"> • Estado de confort en cuanto a búsqueda de otros mercados, mejora de organización y administración. • Clientes exigentes que buscan empresas bien organizadas. • Constante cambio y nuevas tendencias tecnológicas • Existencia de instituciones que pueden brindar información y también capacitaciones acerca de planes estratégicos de marketing, administración y tecnificación. • Oportunidad de usar el Internet como una herramienta para llegar a otros mercados, nacionales e internacionales. • Poder acceder a créditos, y poder gestionar un convenio para poder fortalecer, hacer crecer el sector y acceder a otros mercados. • Asistencia a ferias técnicas para poder darse a conocer con clientes potenciales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Competencia desleal • Inestabilidad, cambio frecuente y ausencia de una norma nacional que regule las prácticas de reparación y rebobinado de motores eléctricos. • Ausencia de un programa de acreditación que garantice que los talleres realizan prácticas de calidad. • Escasez de mano de obra calificada en las prácticas de reparación. • Que la competencia dedicada a distribuir motores reduzca sus precios de venta y que afecte al sector reparación. • Ubicación de los talleres en zonas inseguras.

Tabla 14. Oportunidades de mejora vrs Obstáculos a vencer en relación al aspecto administrativo y financiero.

3.5.2. Obstáculos que se enfrentan en las inversiones en Eficiencia Energética

- Falta de financiamiento para proyectos de Eficiencia energética.
- Mercado no acostumbrado a negociar en proyectos de Eficiencia energética. Poca experiencia de proveedores en vender Eficiencia energética.
- Falta de confianza entre proveedor y cliente y percepción de alto riesgo en desempeño.
- Inversión en Eficiencia energética no prioritaria para Cliente, siempre se busca la economía inmediata sobre el ahorro energético a costa de una alta inversión inicial.

CAPÍTULO 4: PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

4.1. PROPUESTA: MANUAL DE BUENAS PRÁCTICAS DE REBOBINADO Y REPARACIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS EN EL SALVADOR.



En base a las normas IEEE STD 1068-1996, EASA ART-100-2015 y EASA-AEMT-Rewind study, las cuales son guías que recomiendan prácticas que deberían realizarse en todo taller de reparación de motores y en base a los resultados obtenidos en la investigación de campo realizada a talleres; a continuación se presentan una serie de recomendaciones para el proceso de Reparación y Rebobinado que deben seguir los talleres en El Salvador para garantizar una reparación que cumpla con las expectativas del cliente y que reduzca al mínimo las pérdidas y la disminución de la eficiencia. Del estudio se deben retomar los problemas más comunes que se tienen en los motores. De las encuestas se observa que los problemas principales en los motores son:

- Rebobinado de motores sin utilizar controles específicos durante los procedimientos de rebobinado y desmantelado de los bobinados.
- Exceso de lubricación.
- Influencia de las diferentes temperaturas de quemado a las pérdidas del núcleo del estator.
- Motores que han sido rebobinados varias veces.
- Rebobinado de motores de baja tensión vs motores de media tensión.
- Usar distintas configuraciones de bobinados y diferentes tipos de alambre para rebobinar.
- Daño físico del núcleo del estator (mecánico).

Además se determinó por medio de las encuestas a los talleres, que se realizan procedimientos que degradan la eficiencia de los motores, pero que aun así son realizados con normalidad, algunos de mayor o menor manera.

- Calentar los motores para poder remover el núcleo.
- Golpear con un cincel la parte del núcleo para poder retirarlo

- Condiciones de los talleres que pueden permitir humedad.
- No verificación de los valores de eficiencia del motor.

En el Anexo D, se muestra la terminología que se usará en este manual para referirse a motores de AC verticales y horizontales.

PROCESO A SEGUIR

1. Responsabilidades y actividades de pre -reparación

Antes de la reparación se deben documentar varias etapas, realizando actividades de precalificación antes de determinar la falla o antes del proceso de traslado al taller de reparación algunas de estas actividades deben ser responsabilidad del usuario, mientras que otras recaen en la responsabilidad del taller.

Responsabilidad de los usuarios: Es muy recomendable que el usuario propietario mantenga en su propiedad datos de placa y un historial de todos los cambios, reparaciones, fallas, mediciones y pruebas que se le hayan realizado a su equipo, esto facilita el proceso de reparación ya que se poseerá información previa del estado del motor. Es importante que el usuario se asegure de limpiar la superficie del motor para evitar contaminar partes durante el traslado.

Traslado del motor al taller: Puede ser responsabilidad del usuario o del taller, depende de la modalidad de trabajo del taller, el motor debe ir en una posición de forma que no se dañe durante el traslado.

Responsabilidades del taller: Recepción del motor, Llenado de ficha de recepción.

2. Inspección inicial

Antes de desmontar la máquina y previo envío, se debe de inspeccionar el motor por ambas partes (propietario y reparador) por posibles daños en el traslado del mismo, si no por el mismo propietario, para conocer cómo se encuentra el motor antes de ser entregado al taller y por posibles daños causados en el traslado.

Luego se completa un informe de recepción que incluye:

- Partes dañadas y/o ausentes.
- Toma de fotografías del motor
- Identificación del motor

- Información de placa: Ver formulario de recepción de motores en Anexo E.
 1. Tipo de motor
 2. Fabricante
 3. Modelo
 4. Número de serie
 5. HP/kVA/kW/factor de potencia
 6. Rpm
 7. Numero de fases
 8. Frecuencia
 9. Tensión
 10. Corriente a plena carga
 11. Incremento de temperatura/ clase de aislamiento /temperatura ambiente base
 12. Tipo de baleros y fabricante
 13. Código o amperios a rotor bloqueado
 14. Factor de servicio
 15. Tipo de encapsulado

- Tipo de: Levantamiento de las características del motor como son: corriente directa o alterna, vertical u horizontal, abierto o cerrado, acoplamiento y carga.
- Operación: Información sobre el motor: horas al año de operación, número de rebobinados, técnica de rebobinado y antigüedad.
- Apertura de historial de reparación: Si no se posee se abre un historial de reparaciones para el motor y se guarda en el archivo al menos por los siguientes 3 años. Se deben detallar sus especificaciones de placa, así como los datos del cliente, fotografías aclaratorias de la condición del motor. Este historial de reparaciones debe estar disponible para el cliente, si este solicita su revisión.
- Observaciones: Información adicional no contemplada en los rubros anteriores. (Ej. Velocidad, número de polos y si la carga es esencial, intermitente o de respaldo) Las secciones 4.2.3.1 a 4.2.7 de la IEEE STD-1068-1996 mencionan otros aspectos necesarios de inspeccionar.

Consultar al cliente acerca de información sobre:

- Las condiciones de operación, temperatura, vibración, etc.
- El tipo de máquina o equipo impulsado por el motor.
- El tiempo de operación del motor en horas/días.

- La carga aproximada del motor.
- La frecuencia de los arranques.
- El tipo de arrancador (método de arranque).
- Donde se ha reparado/bobinado el motor antes.
- Cuánto tiempo trabajo el motor desde nuevo (o desde su reparación/bobinado).
- Situaciones inusuales. Ejemplo: apagones, descargas atmosféricas, daños por agua, problemas con el equipo o máquina impulsada, etc.
- Alimentación eléctrica y método de arranque: Directo, suave, devanado partido, inversor/variador de frecuencia, Estrella-delta o delta-estrella.

3. Desmontaje

Es esencial que el motor sea desensamblado de forma cuidadosa, como también es importante conservar adecuadamente los registros para asegurar que de realizar su reparación, el motor pueda ser ensamblado de nuevo correctamente. Colocar todas las partes que no serán reparadas en una caja o bandeja identificada con el número de serie del motor o con el número de registro que fue ingresado el motor al taller. A continuación se detallan una serie de aspectos a tomar en cuenta:

- **Llevar a cabo una prueba de núcleo del estator antes y después de que este se desmonte:** Registrar el "antes" y "después" de lecturas de pruebas del núcleo y conservarlos como prueba al cliente de no haber dañado el núcleo. Para la prueba de pérdidas en el núcleo mediante este método, Se debe conectar un vatímetro de una sola fase en el circuito. También debe ajustar el voltaje inducido al valor utilizado en sus cálculos. También es importante asegurarse de que la bobina duplicada que se utiliza para la prueba en el "después" sea lo más cercana posible a la utilizada para la prueba "antes de".

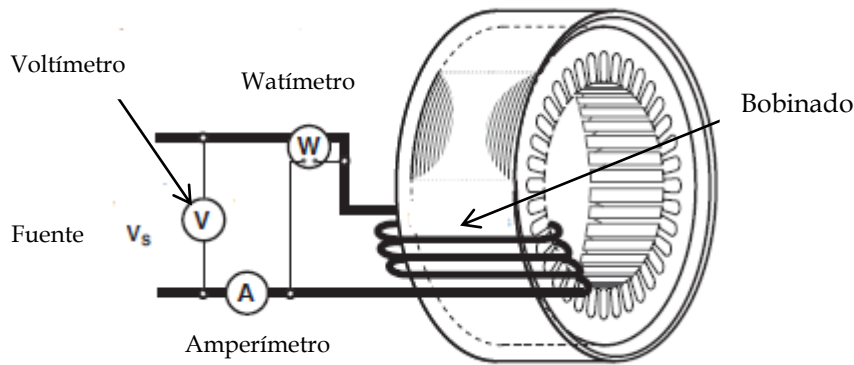


Figura 60. Las pruebas en el núcleo del estator antes y después de que se remueven los devanados, usando un multímetro comercial o el método señalado en el manual técnico de EASA. Se le debe dar una copia impresa de las pruebas de registros al usuario para asegurar que no se ha dañado núcleo²⁷.

- Antes de comenzar a desensamblar el motor, se deben marcar las partes (soportes, bastidor, tapas y porta escobillas).
- De ser posible limpiar las superficies externas para evitar contaminar las partes internas del motor al desensamblar. Todos los devanados y partes deben limpiarse. Se debe eliminar la suciedad, residuos de grasa, grasa, aceite y detergente. Las piezas que no requieren de inmediato trabajo, deben estar claramente etiquetadas con el número de cliente o de trabajo y almacenados para daños, contaminación o corrosión.
- Los soportes y cojinetes deben identificarse como pares.
- Los dispositivos montados en el bastidor deben ser identificados y registrados.
- El cableado debe ser marcado antes de desconectarse.
- Revisar las cuchillas del ventilador para ver si están dañadas y las grietas, usando un sistema penetrante de tinte.
- A medida que se retiran las piezas, registrar todos los daños notados o marcas especiales o señales de uso indebido.
- El aislamiento debe ser revisado por cualquier degradación o daño que pueda encontrarse como: hinchazón, agrietamiento, separación o decoloración como indicación del envejecimiento térmico, contaminación de las bobinas y conexiones superficiales, abrasión y estrés mecánico, evidencia de descargas parciales (efecto corona), Cuñas sueltas, fillers, cintas, bandas o anillos, desgaste en soportes, refuerzos o cruces (indica de flojedad o movimiento)²⁸.

²⁷ Guidelines for maintaining motor efficiency during rebuilding, EASA.

²⁸ IEEE STD. 432, sección 5.

- Comprobar la extensión del eje con las especificaciones originales del motor.
- Comprobar visualmente si hay evidencia de frotamiento en diámetros exteriores (ventilador, carcasas, anillos de extremo, laminados de armadura, etc.).
- Si es posible, comprobar la firmeza del núcleo en su eje. Inspeccionar visualmente los signos de movimiento axial y radial.
- Comprobar visualmente los componentes giratorios para el calentamiento excesivo y otras anomalías.
- Posición de la caja de conexiones, esquema y conexiones. Tomar nota de marcas en los cables, posición de puentes existentes entre los terminales, tomar nota de calibres, tamaños y modelos, si hay indicio de sobrecalentamiento o cables quebradizos u otra anomalía.
- Posición de las tapas o escudos y tapas cubre-grasa para colocarlas como deben ir originalmente.
- Medidas de los rodamientos, tipos y tolerancias.
- Posición axial del rotor en relación con el estator (lado del acoplamiento o lado opuesto al acoplamiento).
- Extraer con cuidado el rotor para prevenir daños en las superficies de los entre hierros o en los devanados.
- Inspección interna. Si hay ingreso de agua o suciedad, estado de los núcleos (estator y rotor), estado del bobinado, decoloración, tipos de fallo, recalentamiento.
- Motores contaminados. Si el motor está muy lleno de contaminantes puede que el encerramiento no sea el adecuado.

4. Toma de datos, remoción del antiguo rebobinado y limpieza del núcleo.

Para la toma de datos del bobinado se puede hacer uso de fichas u hojas apropiadas como el que se muestra en el Anexo E. Luego de la toma de datos es preciso realizar pruebas de pérdidas en el núcleo para poder saber si durante el proceso del bobinado las pérdidas en el núcleo del estator han aumentado o no, también hay que determinar si existen puntos calientes en los núcleos del estator y armadura. Hay que realizar todas las pruebas con el mismo probador, y estas deben de realizarse antes del quemado, después de limpiar el núcleo y antes del bobinado. Si las pérdidas aumentan en más del 20% hay que revisar si el probador ha sido modificado o repetir la prueba, si se confirma que las pérdidas son elevadas se debe reparar el núcleo o considerar su reemplazo.

Para la remoción del antiguo bobinado hay que tener mucho cuidado al cortar las bobinas para no dañar el núcleo, de ser posible usar una máquina para este fin, de igual manera tener cuidado de no dañar las láminas. Hay que deshacerse del barniz y los aislamientos antes de retirar el bobinado para el cual hay que realizar un quemado a la temperatura adecuada. El aislamiento debe aplicarse de manera que le permita al barniz penetrar.

La temperatura del núcleo debe controlarse para evitar la degradación del aislamiento interlaminar y distorsión de cualquier parte. La temperatura no debe exceder 370 °C (700 °F) para núcleos orgánicos y 400°C (750 ° F) para inorgánicos. Si se utiliza un horno, este debe tener un sistema de supresión de agua. Todas las partes se deben orientar y estar soportadas adecuadamente en el horno para evitar la distorsión de las piezas. Después de que el devanado es removido se deben inspeccionar las ranuras de núcleo para asegurar que estén libres de bordes afilados y materiales extraños. En la limpieza del núcleo del estator es necesario asegurarse que no queden restos de aislamiento u otros residuos luego de retirar el bobinado. Los métodos seguros para retirar el aislamiento de las ranuras son mencionados en la sección 3.4.1 del EASA-AEMT-Rewindstudy; si se causan daños al limpiar las ranuras hay que reponerlas, o reparar los daños, re aislar.

Conductores terminales:

Todos los aparatos equipados con cable conductor deben asegurarse que sea conductor aislado que cumpla o exceda la corriente nominal del motor, la clase de aislamiento y tensión. El grado de temperatura soportado debe ser apropiado para cualquier proceso de endurecimiento del horno, y permitir la transferencia de calor a los terminales. Todos los cables deben estar marcados adecuadamente donde sea necesario para indicar la conexión correcta. Las marcas deben ajustarse al fabricante original NEMA-STD-MG-1 o IEC-STD-60034-8, según sea aplicable. Los conductores y marcas deben soportar el ambiente del entorno.

El método recomendado para conectar el terminal conector al alambre de plomo es por prensado o crimpado, usando una Crimpadora dimensionada para adaptarse a los cables de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. Las patillas dañadas o faltantes deben ser reparadas o reemplazado.

5. Reparaciones mecánicas que pueden afectar la eficiencia.

- **Grasas y lubricantes:** Los cojinetes deben estar limpios y se deben lubricar adecuadamente con grasa y esta debe ser compatible con la del fabricante; en ausencia de instrucciones del fabricante el depósito de grasa debe llenarse a 1/3 de su capacidad. El lubricante debe ser compatible con el indicado por el fabricante incluyendo el aceite que se utilice para las pruebas de operación del motor. Debe haber un indicador de nivel de aceite. Se debe revisar que no haya fugas de aceite u otro problema.
- **Equilibrado:** El balanceo debe ser al nivel especificado por el cliente. En ausencia de un nivel especificado, se toma el grado de calidad de balance G2.5 (ISO1940/1) para máquinas que operan a 2500 rpm o más lento, y al nivel de grado G1.0 para máquinas clasificadas por encima de 2500 rpm se debe permitir que la máquina alcance la vibración final.
- Los porta brocas y los puentes deben ser probados a alto potencial al bastidor de la máquina a la tensión de prueba especificado para el circuito de devanado correspondiente.
- El entrehierro de la máquina debe ser uniforme (más o menos el 10% del promedio), o según el fabricante.
- Los condensadores deben ser probados para la capacitancia nominal y sometidos a una prueba de alto potencial. Los condensadores deben ser reemplazados si están dañados.
- Los calentadores de espacio deben ser probados a voltaje de funcionamiento para la corriente o potencia nominal y Prueba de alto potencial. Se deben reemplazar si están dañados.
- Los sensores o protectores térmicos de rodamientos y bobinados deben ser idénticos o equivalentes a los dispositivos originales en características eléctricas y térmicas.
- En la norma EASA STD ART-100-2015, las tablas 2-1 a 2-14 denotan las tolerancias permitidas para algunos accesorios para motores NEMA; diámetros de extensiones de eje, tolerancias de montaje superficial, excentricidad, tolerancias de ajuste radial e bolas de los rodamientos, tolerancias de rodamiento de rodillo cilíndrico, entre otros.
- Medir y registrar la resistencia del devanado y la temperatura de la habitación o lugar donde se instale el motor ya que la resistencia se ve afectada por la temperatura, hay que medir y registrar tanto la resistencia como la temperatura del devanado.

No realizar las siguientes prácticas:

- **Estator:** Esmerilados que causan daños en las superficies del núcleo, esmerilado excesivo del núcleo, utilizar fuerza desmedida para reponer los dientes deformados, reducir el número de láminas del núcleo, re-apilado incorrecto.
- **Rotor:** Esmerilado de su superficie, mecanizado del rotor con una herramienta sin filo o a una velocidad superficial incorrecta, entre hierro excesivo, equivocarse en el diagnóstico de falla o al realizar reparaciones de las barras rotas o anillo de la jaula.
- **Reparaciones en el eje:** Fallos al mecanizar los ajustes de los asientos de los rodamientos, fabricar un eje nuevo con materiales que tienen propiedades magnéticas diferentes.
- **Reparaciones de los alojamientos:** Reparaciones de ajuste de la carcasa, errores al mecanizar los ajustes correctos en alojamientos de rodamientos que han sido reconstruidos, instalar una carcasa que tenga demasiado ajuste de interferencia con el núcleo del estator (incrementa las pérdidas rotacionales en el núcleo), errores al limpiar los conductos de aire, errores al reparar o reemplazar las aletas de refrigeración rotas.
- **Rodamientos y sellos:** Mala selección de los rodamientos, mala instalación de los rodamientos, problemas al lubricar rodamientos, instalar el tipo de sello incorrecto, ajuste incorrecto de sellos, fallos al lubricar sellos o poca lubricación.
- **Ventiladores y cubiertas de protección:** Instalar un ventilador inadecuado o la tapa de protección en la posición incorrecta, no reemplazar un ventilador dañado, instalar la tapa de ventilador inadecuada, no asegurarse que la entrada del ventilador esté libre de cualquier suciedad.
- **No recalentar el núcleo del estator:** Los efectos de una sobre temperatura dependen del tipo de aislamiento de las laminaciones.
- **No usar una llama abierta para el desmontaje:** El uso de calor incontrolado degrada y deforma los núcleos.
- **No arenar²⁹el núcleo de hierro:** Puede causar cortocircuitos entre laminaciones si estas son golpeadas en ciertos ángulos. Las laminaciones en cortocircuito aumentan las pérdidas en el núcleo.
- **No poner en cortocircuito las laminaciones cuando se rectifica o lima:** Este procedimiento, si se hace de forma inadecuada, puede causar

²⁹Sand Blasting: es la operación de propulsar a alta presión un fluido, que puede ser arena, agua o aire, o una Fuerza centrífuga con fuerza abrasiva, contra una superficie para alisarla o eliminar materiales contaminantes

cortocircuitos entre láminas, aumentando de este modo pérdidas en el núcleo. Al retirar el barniz del interior del estator después de la cocción, tener cuidado de evitar la ampliación del diámetro del orificio o provocar cortocircuitos en las laminaciones.

- **No aumente el tamaño del entrehierro:** Agrandar el diámetro del interior del estator o tomar un punto de corte del rotor aumenta el tamaño del entrehierro. Esto produce una magnetización más alta (sin carga) actual y puede afectar negativamente a las pérdidas.
- **No aumente la resistencia de los devanados del estator:** Mida el tamaño del cable con cuidado con un micrómetro después de retirar la primera capa de barniz. Dado que muchos fabricantes de motores hoy en día usan la mitad de tamaño o alambre métrico, no hay que utilizar un calibre del cable para determinar el tamaño del cable. El área total de cmil los conductores no debe reducirse. Ningún cambio se debe hacer que cambia las vueltas efectivas de los devanados. El exceso de tensión puede estirar el alambre, disminuyendo de ese modo su diámetro, aumentando la resistencia del estator y pérdidas en el cobre.
- **No crear protuberancias o crestas en la superficie metálica, suavizar a golpe de martillo o pintar los rodamientos:** debido a que podrían aflojarse en el servicio. El hecho que se aflojen los rodamientos y que pierdan su buen ajuste aumenta las pérdidas por fricción y puede provocar una falla prematura de los rodamientos.
- **No hacer modificaciones mecánicas sin la aprobación al cliente:** Cambios hechos en el ventilador pueden generar efectos adversos en el sistema de enfriamiento del motor y posiblemente aumentar su temperatura. Realizar cambios mecánicos en los rodamientos y las juntas pueden afectar las pérdidas por fricción. La alteración del material del eje también pueden afectar las pérdidas en el rotor de núcleo. El resultado en cada caso podría disminuir la eficiencia.

6. Rebobinado.

La sección 4.2.4 de IEEE STD-1068-1996, indica como remover las bobinas de campo en motores síncronos, teniendo cuidado de hacer diagramas, tomar nota de la orientación de los polos de campo, y que sean marcados de acuerdo a la carcasa o la localización de motor.

Para realizar el nuevo bobinado se puede: Copiar (duplicar el bobinado; en la cual para aumentar la eficiencia se puede recortar las cabezas de las bobinas siempre y cuando se conserve la longitud dentro de las dimensiones del

bobinado original y no se incremente el aislamiento y aumente la sección de los alambres de cada bobina teniendo las consideraciones necesarias), se debe reemplazar el bobinado existente en el motor siempre que sea igual al original o se puede escoger otro tipo de bobinado que funcione igual o mejor al original. Una forma de reconocer si un bobinado es original o no es observando que se tiende a usar alambres más gruesos y una mayor cantidad de amarres y mayor aislamiento entre las fases. Luego de rebobinar hay que impregnar el bobinado con barniz y posteriormente secarlo con aire o en el horno. Finalmente hay que realizar pruebas de resistencia y equilibrio de fases en el bobinado.

Cuando se va a rebobinar un motor, el objetivo básico consiste en reproducir el funcionamiento original, por lo que es necesario partir de un núcleo que tenga las mismas características que cuando la máquina fue construida originalmente.

En la sección 6.1.3 de IEEE STD-1068-1996 describe el proceso de reemplazo de las bobinas: después de remover las bobinas viejas, hay que limpiar, reparar o sustituir las laminaciones, se recomiendan los revestimientos de las ranuras, se indica que los empalmes deben evitarse en las bobinas individuales.

Revisión y Reparación de los núcleos de las laminaciones

El tipo de acero eléctrico y de aislamiento inter-laminar de las laminaciones del rotor y estator, son factores decisivos en la eficiencia y funcionamiento del motor. Así que los procesos de reparaciones que se realicen inadecuadamente pueden alterar la calidad del acero del núcleo y su aislamiento inter-laminar.

Las láminas delgadas o laminaciones de acero especial utilizadas para fabricar el núcleo magnético de un motor deben satisfacer ciertos requisitos mínimos, como son:

- Espesor dentro de límites prefijados.
- Resistencia interlaminar aceptable.
- Pérdidas magnéticas por debajo de cierto valor.
- Características mecánicas aceptables.
- Ausencia de rebabas.
- Dimensiones dentro de tolerancias.

Reparar o reemplazar todas las laminaciones defectuosas: Separar todas las laminaciones en cortocircuito. Cuando se vuelva a montar un núcleo, se debe utilizar un barniz en un lado de las laminaciones, curar el barniz a la temperatura

recomendada, y apilar el lado sin pintar contra el lado pintado que este seco. Si es necesario cortar la nueva laminación, enviar una muestra al proveedor. Asegurarse de especificar que las pérdidas en las nuevas laminaciones deben ser iguales a o menores que los de las laminaciones originales. Quitar las rebabas de todas las laminaciones nuevas o las láminas remontadas.

Rebobinado: Examen de las laminaciones.

Cuando se va a rebobinar un motor, se debe reproducir el funcionamiento original, por lo que es necesario partir de un núcleo que tenga las mismas características que cuando el motor fue construido. Si no se tiene la precaución de verificar el estado del núcleo antes de iniciar el rebobinado, puede encontrarse al terminar dicho trabajo que ocurren calentamientos locales en partes en que se ha perdido la resistencia interlaminar, lo cual podría estropear el más cuidadoso trabajo de rebobinado. Lo menos que podría pasar en cualquier caso es que el motor operará con menor eficiencia debido al incremento de las pérdidas por corrientes parásitas, y podría también ocurrir disminución del flujo magnético si hubiera un daño que afectara considerablemente el volumen de hierro.

Cuando se dañan las laminaciones, por ejemplo por la falla a tierra en una bobina, la solución más correcta sería sustituir las laminaciones averiadas por piezas nuevas de idénticas características, lo cual no siempre es posible. La alternativa consiste en desensamblar el paquete de laminaciones, re aislar las láminas dañadas y rehacer el paquete acomodando las hojas de forma que las porciones faltantes queden uniformemente distribuidas en el paquete, a fin de evitar hasta donde sea posible que se produzcan calentamientos locales, y obtener así una distribución más homogénea del flujo magnético. Cuando no es factible la operación de desensamblar el paquete de laminaciones, en algunos talleres se moldea la parte faltante del núcleo con una mezcla de resina epóxica cargada con limaduras de hierro, lo cual si bien no constituye una solución completamente satisfactoria, puede aminorar el problema y permitir la puesta en operación del motor en un tiempo relativamente corto.

Es importante tener en cuenta que:

- Las láminas con dientes estrechos o sin soporte, son más susceptibles a sufrir distorsión en el diente.
- Cuando la eficiencia sea el factor más importante, es posible que los núcleos con láminas muy dañadas o con muchos puntos calientes no se consideren buenos candidatos para ser bobinados.

BOBINAS DE CAMPO

Bobinas estacionarias: El tratamiento de barniz para bobinas de derivación, serie e interpolos es aceptable para bobinas originalmente fabricadas por este método; de lo contrario, la impregnación en vacío puede utilizarse cuando un enlace completo entre el aislamiento y los conductores. El aislamiento de la capa exterior de la bobina debe ser suficiente para soportar sobretensiones o picos de voltaje inductivo.

Bobinas giratorias: La alta rigidez y adherencia de todos los componentes es necesaria para soportar fuerzas centrífugas. Se debe usar una resina tixotrópica de alta resistencia e impregnación.

Conexiones de las bobinas: Para las conexiones que se realizan por prensado o soldadura se debe usar materiales que tengan conductividad adecuada y que sean mecánicamente fuerte para soportar condiciones normales de operación. Cuando se empleen materiales tales como pasta de soldadura, fundentes, inhibidores y compuestos, deben ser neutralizados después de usar.

Bandas para de rotores y Armaduras: Se puede aplicar bandas de vidrio rellenas con resina directamente al devanado. Se debe aplicar en la tensión y método de curado recomendado por el fabricante. Las bandas deben ser de espesor suficiente y el ancho para retener firmes las bobinas durante el funcionamiento normal operación. Cuando se utilicen bandas de alambre, se debe aplicar al devanado encima el aislamiento de la banda. Las bandas deben coincidir con el original en la ubicación, el material (Magnético o no magnético), tamaño y número de vueltas del alambre. El cable debe ser aplicado con suficiente tensión para mantener las bobinas en su sitio sin distorsionarlas. Reemplazar la banda de alambre con bandas de vidrio rellenas con resina puede cambiar la configuración del circuito magnético, afectando así la conmutación y la operación térmica del devanado. Efectos similares pueden obtenerse al reemplazar las bandas de vidrio con bandas de alambre.

7. Pruebas

Es necesario llevar un control de las pruebas realizadas al motor es por eso que en el Anexo F, se muestra un formulario propuesto para reportar las pruebas realizadas en el motor.

Aislamiento: Se deben realizar pruebas para indicar la el estado del aislamiento para el funcionamiento continuo. Las pruebas de resistencia de aislamiento (IR) deben realizarse con resultados aceptables antes de realizar las pruebas de alto

potencial. La tensión de prueba debe aplicarse durante un minuto³⁰. En el Anexo G se muestra un formulario de historial y prueba de aislamiento propuesto por IEEE STD. 1068-1996

Prueba del Índice de Polarización: El ensayo de índice de polarización debe realizarse a la misma tensión que la prueba de resistencia de aislamiento durante diez minutos. El valor mínimo recomendado del índice de polarización para los devanados Clase B y superiores es 2.0³¹. Si la resistencia de aislamiento de un minuto está por encima 5000 MΩ, el índice de polarización calculado puede no ser significativo. En tales casos la prueba puede ser despreciada como una medida de la condición del devanado³².

Pruebas del factor de potencia de aislamiento: Factor de potencia de aislamiento, factor de disipación y se pueden realizar pruebas de punta en máquinas grandes. La interpretación de los resultados es por comparación con los resultados de las pruebas en máquinas similares³³.

Prueba de giro a giro: Métodos aceptados de ensayo de aislamiento de giro a giro varían ampliamente. No hay procedimiento estándar único. Se aplica, aunque varias normas pueden ser de apoyo³⁴.

Prueba de sobretensión de bobinado: La prueba de sobretensión de bobinado se aplica para completar devanados nuevos o usados utilizando un voltaje de prueba del doble de la capacidad del circuito más 1000 voltios.

Ensayo de aislamiento interlaminar: Las pruebas de los núcleos de corriente alterna son realizados con un probador de pérdida de núcleo o mediante el método de la prueba de bucle. El flujo magnético para la prueba después de la eliminación de bobinado debe estar dentro del 5% del valor antes eliminación de bobinado anterior. El aumento de las pérdidas o puntos calientes debe ser investigado; y las laminaciones dañadas deben ser reparadas o reemplazadas.

Prueba de aislamiento de los rodamientos: Las pruebas de resistencia de aislamiento (IR) deben ser de 1MΩ o superior para motores que funcionan desde una fuente de AC o DC.

Prueba de equilibrio de fase: La prueba de equilibrio de fase aplica tensión trifásica al estator y se mide la corriente para comprobar el equilibrio.

Prueba de polaridad: La prueba de polaridad aplica corriente directa, generalmente a una sola fase, y se comprueba la polaridad magnética de los grupos de bobinas.

³⁰IEEE STD. 43, Sec. 5.4 y 12.2.; Tabla 1: Tensiones de DC que deben aplicarse durante la prueba de resistencia de aislamiento, Tabla 3: Aislamiento mínimo recomendado para valores de resistencia a 40°C.

³¹IEEE STD. 43, Sec.12.2; y IEEE STD. 432, Ap. A2.

³²IEEE STD. 43, Sec. 12.2.2.

³³IEEE STD. 432, sec. 8.1.

³⁴IEEE STD. 432, 522 y 792 y NEMA STD. MG-1, 12,5.

Prueba del rotor artificial: Se utiliza un rotor artificial como un rotor pequeño con un ajuste suelto en un eje. Se suministra una tensión trifásica reducida al estator y el rotor se mueve circunferencialmente a lo largo del agujero para comprobar la rotación continua del rotor.

Prueba de impedancia: La prueba de impedancia aplica una tensión AC a dos conductores de una bobina; midiendo posteriormente el voltaje y la corriente. Usando la Ley de Ohm se calcula la impedancia. La impedancia de las bobinas individuales es entonces comparada con la igualdad relativa entre bobinas destinadas a tener cualidades electromagnéticas iguales.

Pruebas de devanado recomendadas

Los devanados deben probarse para asegurar que no haya fallas a tierra, cortocircuitos, circuitos abiertos, conexiones incorrectas o conexiones de alta resistencia.

- **Bobinas del estator y de daños en el rotor:** Deben realizarse las pruebas de IR, resistencia de bobinado y sobretensión bobinado. Además, deben realizarse una o más de las siguientes pruebas:
 1. Prueba de equilibrio de fase.
 2. Prueba de polaridad.
 3. Prueba de rotor artificial (baja tensión energización).
 4. Prueba del índice de polarización o absorción dieléctrica prueba.
 5. Disipación de aislamiento o prueba del factor de potencia.
 6. Prueba de giro a giro.
 7. Ensayo de descarga parcial para el inicio y niveles de tensión de extinción.
- **Bobinados de jaula de ardilla:** Una o ambas pruebas deben realizarse: Prueba del Growler, Ensayo monofásico.
- **Bobinados de armadura:** Debe realizarse una prueba de resistencia de aislamiento. Además, una o más de las siguientes pruebas debe realizarse: Prueba del Growler, Prueba de sobretensión de bobinado, Prueba de resistencia de barra a barra.
- **Bobinados de rotor síncrono, Derivación, Serie, Interpolo Compensación:** Debe realizarse una prueba de resistencia de aislamiento. Además, una o más de las siguientes pruebas debe realizarse: Prueba de resistencia de bobinado, Prueba de sobretensión de bobinado, Prueba de caída de tensión de AC, Prueba de impedancia.
- **Interconexión de bobinados:** Los bobinados del rotor síncrono, Derivación, serie, interpolo y compensación deben probarse para verificar que las polaridades y conexiones sean correctas.

Pruebas de alto potencial

Las pruebas de alto potencial deben realizarse en los devanados y ciertos accesorios de máquinas eléctricas a una tensión específica. Para evitar tensiones excesivas del aislamiento, la aplicación repetida del voltaje de prueba de alto potencial no es recomendable. Los motores a probar deben estar limpios y secos. Las Pruebas de resistencia de aislamiento y las inspecciones deben tener resultados aceptables antes de realizarse las Pruebas de alto potencial. Las pruebas de resistencia de aislamiento deben repetirse al terminar las pruebas de alto potencial. Cuando se realiza una prueba de alto potencial en un excitador sin escobillas y en un motor síncrono de devanado de campo, los componentes de circuito sin escobillas (diodos, Tiristores, etc.); deben estar cortocircuitados durante la prueba. Las pruebas de alto potencial deberían aplicarse sucesivamente entre cada bobinado o circuito eléctrico bajo prueba y la conexión a tierra de armazón (o núcleo) del motor. Todos los demás devanados o circuitos eléctricos que no estén bajo prueba deben conectarse a la conexión a tierra del armazón (o núcleo). Los capacitores de los motores de tipo capacitor deben dejarse conectados al devanado de la manera normal para el funcionamiento del motor (funcionamiento o arranque).

Las motores eléctricos pueden ser probados usando Equipo de prueba de alto potencial AC o DC. La tensión de prueba de DC debe ser 1,7 veces la tensión de AC especificada. Una falla bajo prueba puede ser menos perjudicial para el devanado si se utiliza una tensión de DC. Las pruebas de alto potencial de AC deben realizar aplicando tensión especificada a 50-60 Hz continuamente durante un minuto. Las pruebas de alto potencial de DC deben realizarse aplicando tensión especificada para una duración de una minuto después de alcanzar el voltaje de prueba. El potencial DC debe incrementarse gradualmente hasta alcanzar la tensión de prueba para limitar la corriente de carga.

Precaución: Después de la finalización de una prueba de alto potencial DC, se debe realizar una conexión a tierra del devanado al armazón o el núcleo hasta que la carga se haya decaído hasta cero³⁵.

Arollamientos

- **Nuevos bobinados:** Las pruebas de alto potencial deben aplicarse según se especifica la Tabla 4-1 para la tensión de AC y Tabla 4-2 para tensión DC, de EASA ART-100-2015). Para evitar un desgaste excesivo del

³⁵IEEE STD. 4 y 95; y NEMA STD. MG-1, 3.1.1.

aislamiento, no es recomendable repetir la aplicación del voltaje de la prueba de alto potencial. Inmediatamente después del rebobinado, cuando el equipo esté instalado o ensamblado y una prueba de alto potencial de todo el conjunto sea necesaria, se recomienda que la tensión de prueba no exceda el 80% de la tensión de prueba original. Las pruebas deben aplicarse una sola vez a la tensión especificada³⁶.

- **Bobinados reacondicionados:** Las pruebas de alto potencial para bobinados reacondicionados deben realizarse al 65% del nuevo valor de prueba del bobinado.
- **Enrollamientos no reacondicionados:** Los motores con devanados no reacondicionados deben tener una prueba de resistencia de aislamiento en lugar de una prueba alto potencial.

ACCESORIOS

- **Accesorios nuevos:** Accesorios como capacitores de sobretensión, descargadores de relámpagos, transformadores de corriente, etc., que tienen cables conectados a los terminales del motor los cuales deben desconectarse durante la prueba, con los cables conectados entre sí y a la carcasa o núcleo con conexión a tierra. Estos accesorios deben haber ser sometidos a la prueba de alto potencial aplicable a la clase de motor en su punto de fabricación. Los capacitores de los motores de tipo condensador deben estar conectados al embobinado de la manera normal para el funcionamiento del motor (En operación o en arranque). Los dispositivos y sus circuitos, como calentadores y sensores de temperatura en contacto con el devanado (termostatos, termopares, termistores, detectores de resistencia de temperatura, etc.), conectados a otra parte distinta al circuito de línea, deben conectarse al armazón o núcleo y estar puestos a tierra durante las pruebas de alto potencial de bobinado del motor.

Cada uno de estos circuitos de dispositivos, con conductores conectados entre sí, deben ser probados aplicando un voltaje entre el circuito y la o núcleo puesto a tierra. Las pruebas de alto potencial deben aplicarse como se especifica en la Tabla 4-3 para tensión AC y la Tabla 4-4 para DC de EASA ART-100-2015. Durante cada prueba del circuito de los dispositivos, todos los demás devanados del motor y los componentes deben estar conectados entre sí y al armazón o núcleo puesto a tierra³⁷.

³⁶NEMA STD. MG-1, 12.3.

³⁷NEMA STD. MG 1, 3.1.8.

- **Accesorios de máquinas con bobinados Reacondicionados:** La prueba de alto potencial para circuitos accesorios de motores reacondicionados deben realizarse al 65% del nuevo valor de prueba del dispositivo.
- **Accesorios de máquinas con bobinados no reacondicionados:** Circuitos con accesorios de motores que no tienen bobinados reacondicionados deben tener una prueba de resistencia de aislamiento con un megohmetro de 500V. La resistencia de aislamiento debe ser de $1M\Omega$ o mayor.

PRUEBAS SIN CARGA: Después de montar un motor, este debe operar en condiciones de vacío para garantizar su funcionamiento satisfactorio. Para prepararse para esto, el motor debe estar montado de forma segura sobre una placa base o una almohadilla elástica y energizado. Se debe instalar una llave media asegurada en el asiento de la llave (chavetero).

- **Velocidad:** Para motores AC, las pruebas de operación deben ser realizadas al voltaje nominal y la frecuencia nominal. La velocidad debe ser medida y comparada con velocidad de la placa de características. Para motores de corriente alterna alimentados por VFD que funcionan por encima de la base de velocidad, se les deben realizar pruebas adicionales a la máxima frecuencia nominal del motor. Motores DC de derivación y de bobina compuesta deben funcionar con la tensión nominal aplicada a la armadura y la corriente nominal aplicada a la derivación campo. La velocidad debe ser medida y comparada con la velocidad indicada en la placa de identificación y debe estar dentro del 1% para ambas direcciones. Si el motor está clasificado para velocidades por encima de la velocidad de base, la potencia de campo se debe variar hasta alcanzar la máxima velocidad nominal. Se debe tomar nota del campo actual a la velocidad máxima. Los motores bobinados serie deben excitarse por separado cuando se prueban debido al peligro de fugas. Los generadores de DC deben ser arrancados a velocidad nominal aplicando la corriente nominal al campo de derivación. El voltaje de salida debe medirse y compararse con el voltaje nominal.
- **Corriente:** Las corrientes sin carga deben ser registradas.
- **Sistema de enfriamiento:** El sistema de refrigeración debe ser verificado como funcional.
- **Nivel de sonido:** Pueden realizarse pruebas de nivel sonoro para determinar si hay una falla o como un daño causado por el entorno del motor³⁸.

³⁸NEMA STD. MG 1, Parte 9.

- **Temperatura de los rodamientos:** Las temperaturas de las carcasas y la temperatura ambiente debe medirse periódicamente hasta que estas se hayan estabilizado.
- **Pruebas de Vibración:** Las pruebas de vibración deben ajustarse a la norma NEMA STD. MG 1, 7 para motores estándar, según lo dispuesto con el cliente, o según sea necesario por las características de funcionamiento del motor. Cuando hay requisitos especiales, es decir, más bajos que niveles estándar de vibración del motor, para máquinas especiales se recomienda (NEMASTD. MG 1, 7). Los límites de vibración no filtrados para motores estándar montados firmemente (sin vibraciones), basados en la velocidad de rotación, se muestran en la Tabla 4-5 de EASA ART-100-2015. Los niveles de vibración para velocidades por encima de 1200 rpm se basan a un equivalente a la velocidad máxima del desplazamiento de pico a pico 0,0025pulg (0,0635mm).
- **Para máquinas con montaje, multiplicar los valores límite por 0,8. Nota:** Las normas internacionales especifican la velocidad de vibración como rms en mm/s. Para obtener un equivalente métrico rms, se debe multiplicar el pico de vibración en pulg/s por 18³⁹.

PRUEBAS CON CARGA: Las pruebas con carga se pueden hacer según lo dispuesto con el cliente o según sea necesario para comprobar las características del motor⁴⁰.

Medir y registrar la corriente y la tensión durante la prueba final: Medir y registrar la corriente y la tensión en todas las fases. Las tensiones en las líneas de potencia de la red cambian con la carga, por lo que no se debe suponer que se tiene una tensión en particular. Una alta tensión hará que se incremente la corriente sin carga. Las tensiones desbalanceadas generan corrientes desbalanceadas en un porcentaje mucho mayor a la tensión desbalanceada. Si las corrientes están desbalanceadas, se intercambian los tres conductores de una manera tal que la dirección de giro de motor no cambie. Luego debe volverse a probar el motor, observando si el tramo actual de alta se queda con el cable de alimentación, el motor está bien. Si no, puede haber un problema con el motor. Se debe asegurar que se registren y conserven todas las lecturas.

³⁹NEMA STD. MG 1, 7.8.

⁴⁰IEEE STD. 112 y 115 y NEMA STD. MG - 1.

Calibración de los instrumentos: Se recomienda la calibración en cada instrumento de medición y prueba, al menos una vez cada año, para esto es necesario que los talleres acudan a una Institución Nacional de Estándares y tecnología⁴¹. Para las pruebas del núcleo, utilizar instrumentos que lean los valores "rms verdaderos" porque la prueba de tensión y corrientes en el núcleo pueden contener armónicos.

8. Montaje del motor.

Lubricación de los rodamientos: hay que tener sumo cuidado ya que el exceso de grasa puede incrementar las pérdidas por fricción.

Arandelas de presión/onduladas: hay que instalarlas correctamente.

Ventiladores/deflectores de aire: la posición de las aletas de la ventilación del rotor y de los deflectores de aire pueden afectar la temperatura del bobinado.

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 del núcleo.

Pintura: verificar no obstruir orificios.

9. Actividades Post reparación

Al finalizar las reparaciones del motor, la instalación de reparación debe presentar un informe escrito que incluya lo siguiente:

- a. Estado del motor al recibirlo.
- b. Mediciones: Brindar al cliente un formulario con los datos las pruebas realizadas y una descripción del trabajo realizado; demostrando que el motor fue reparado apropiadamente.
- c. Estado del motor cuando se devuelve. Se entregan los formularios llenados (recepción, pruebas, prueba de aislamiento y reporte de reparación).
- d. Fotografías que se consideren necesarias para mayor claridad.

El informe de reparación del motor: (Anexo H) tiene por objeto demostrar la información que debe suministrarse como mínimo y también debe brindársele al cliente un informe de las pruebas realizadas al motor. Estos informes deben estar protegido por un sobre resistente al agua, unido al motor cuando se devuelve.

⁴¹ANSI / NCSL Z540-1 e ISO 10012

Entrega del motor: El motor debe ser embalado de manera adecuada para su posterior transporte. El embalaje y transporte debe ser según lo dispuesto con el cliente. Es recomendable el bloqueo del eje, dependiendo del tipo de motor, el tipo de transporte y la distancia que recorrerá al ser trasladado. Cuando se utilice un bloqueo, este debe ser claramente identificado. Los motores lubricados con aceite deben ser enviados sin aceite e indicarle al cliente esta condición.

Garantías: Brindar garantía en cuanto a la calidad de los materiales utilizados para la reparación del motor. Así como también dar garantía que se han seguido procedimientos de reparación apegados a normas internacionales con el objetivo de no afectar la eficiencia post reparación.

10. Formación y Seguridad del personal

Formación: Los empleados deben ser entrenados y calificados en la operación segura de todo el equipo eléctrico bajo su responsabilidad. La capacitación debe ser proporcionada mediante el uso de manuales de operación de equipos relevantes, capacitación práctica y otros métodos multimedia. Continúa capacitación con el objetivo de mejorar las prácticas realizadas en los talleres. Los empleados deben ser informados de las normas de seguridad pertinentes, y los empleadores deben asegurar el cumplimiento de las mismas.

Equipos de protección personal y equipos de seguridad: La ropa debe ser adecuada para el trabajo a realizar, uso de gafas de seguridad y zapatos de seguridad aislantes en todo momento. Se recomienda el uso de materiales con resistencia al arco. La joyería expuesta no debe ser usada. Tomar precaución al utilizar el horno de quemado. Al pintar una carcasa de un motor, utilizar mascarilla. Se deben tener accesibles extintores y el equipo de primeros auxilios y se debe capacitar al personal en su uso. Cuando se trabaje en o cerca de conductores eléctricos o partes de circuitos energizados, el personal debe cumplir con las prácticas de trabajo seguras como se describe en NFPA 70E (Norma para seguridad eléctrica en el lugar de trabajo).

Supervisión: Los empleados deben trabajar dentro del área de prueba bajo la dirección de una persona experimentada y calificada. Al menos dos personas calificadas deben estar dentro del área de prueba en todo momento. Se recomienda tener un programa de aseguramiento de la calidad.

Primeros auxilios y RCP: El personal debe ser entrenado en los procedimientos de primeros auxilios, resucitación cardiopulmonar (RCP), y la obtención de ayuda médica de emergencia.

Señalización de Área de prueba: debe estar correctamente señalizada e iluminada, se pueden colocar luces rojas o amarillas como advertencia.

Puesta a tierra, Interruptores, Protecciones de sobrecorriente y sobretensión: Se deben tener conexión a tierra todos equipos sometidos a prueba y paneles de prueba. La construcción debe ser del tipo "frente muerto". Las protecciones de disparos instantáneos para sobre intensidad o fusibles deben limitar las corrientes de falla en la fuente de alimentación. A la capacidad del panel de prueba. Se debe contar con un medio para desconectar la fuente de alimentación del lado de la línea al panel de prueba debe estar visto desde el panel de prueba. Se debe tener un interruptor de emergencia para desactivar la fuente de energía localizada en el área de prueba también se recomienda un interruptor de emergencia remoto.

Conductores: Los conductores de prueba y los ganchos aislados deben ser adecuados a la clase de amperaje y voltaje para la máquina a ser probada.

Base: Las unidades sometidas a prueba deben fijarse para que durante las pruebas se muevan de su posición.

Prueba de tierra de alto potencial (Tierra): La corriente de prueba de alto potencial de AC o DC debe limitarse por la impedancia o las interrupciones instantáneos cuando se produce una falla.

OTRAS CONSIDERACIONES:

Calibración de los instrumentos:

Como en El Salvador actualmente no se regula la calibración de los instrumentos y equipos con fines para la reparación de motores, la solución planteada es formar un convenio para que los talleres puedan acudir al Centro de investigación de metrología (CIM), ubicado en La Universidad de El Salvador, para la calibración de sus equipos. Actualmente solo se calibran instrumentos de medición fundamentales y se tiene un control de mediciones del consumo energético y no se calibran de instrumentos especiales para talleres de reparación y rebobinado de motores. Sin embargo, como una nueva iniciativa podría mejorarse el servicio que brinda esta Institución para poder brindar este servicio de calibración a los talleres, para esto en conjunto con OSA (Órgano Salvadoreño de Acreditación), debe comprobar la competencia técnica del CIM para realizar dichas calibraciones.

Certificación del trabajo:

Actualmente no existe un ente que se encargue de certificar los trabajos realizados por los talleres, como solución a esta problemática se propone lo siguiente:

- Por medio de OSN (Organismo Salvadoreño de Normalización), se establezca como una Norma técnica, el Manual de Buenas Prácticas de Rebobinado y Reparación de Motores Eléctricos propuesto en este Diagnóstico, la cual muestra las condiciones mínimas necesarias que se deben cumplir para ofrecer un servicio de Reparaciones y Rebobinado de Motores Eléctricos.
- Por medio de OSN y su servicio de certificación, se encargue de verificar que los talleres cumplan las disposiciones expuestas en el Manual de Buenas Prácticas de Rebobinado y Reparación de Motores Eléctricos.

Sustitución de motores estándar por motores Premium o mayores:

Partiendo de que los Motores Premium en promedio son un 20% más costosos que los Motores Estándar. Se podría tener una gran mejora en el ahorro de energía, tomando el ejemplo los programas existentes en algunos países de Europa Estados Unidos y aplicándolos en el país; en los cuales se subsidia la compra de Motores Premium para reducir el impacto de la inversión inicial y estimular el proceso de cambio. El gobierno de nuestro país entraría a formar parte de este cambio fomentando esta iniciativa en conjunto con la empresa privada.

Punto de vista económico (Reparar vs Reemplazar), en El Salvador:

Aunque la calidad de la reparación y la eficiencia resultan ser factores de peso en el momento de decidir si se repara un motor o se compra uno nuevo es importante para la empresa el considerar los costos de obtener uno nuevo contra lo que se puede ahorrar al reparar el que ya se posee, algunos aspectos que son importantes a considerar al comprar un motor nuevo son la mejora de la eficiencia por tanto un ahorro en energía que podría llegar a compensar el costo de la compra de un motor nuevo, mientras que actualmente según los resultados de la investigación de campo, los motores reparados solo pueden competir por su precio.

En la siguiente tabla se puede comparar la diferencia de precio en el mercado entre motores nuevos y costos de reparación de un motor antiguo según su potencia en hp, los precios son aproximados, ya que varían de tienda en tienda y en los diferentes talleres.

Potencia	Reparación	Motor nuevo
10 hp	\$90 - \$100	\$100 - \$125
20 hp	\$200	\$100 - \$175
100 hp	\$1500	\$10000
500 hp	\$3500	\$60000

Tabla 15. Precios aproximados de motores en el mercado. Se observa que para motores pequeños la reparación resulta ser más cara que en el caso de los motores más grandes, en los cuales el costo es mucho inferior al precio de un motor nuevo.

4.2. PROPUESTA DE FINANCIAMIENTO PARA EL SECTOR DE TALLERES DE REBOBINADO Y REPARACIÓN DE MOTORES.

Objetivos

Brindar a los talleres una forma de obtener créditos que permitan la actualización de sus equipos y mejoramiento de las condiciones de los lugares en los cuales desarrollan sus labores, por medio del financiamiento con bajo interés en la cual la banca estatal será la principal responsable.

Desarrollar alternativas por medio de las cuales los talleres puedan formalizar sus negocios, logrando así que estos negocios se vuelvan productivas económicamente para el país.

Dirigido a:

Los mecanismos de financiación y fomento disponibles están dirigidos a los siguientes tipos de proyectos:

- Compra de equipo nuevo para medición. (Megaóhmetro, growler, etc.)
- Compra de equipo nuevo para trabajo de rebobinado. (bobinadora, horno, etc.)
- Compra de equipo nuevo para limpieza de metales (esmeriles, lijadoras, etc)
- Mejoramiento y/o adecuamiento de las instalaciones y locales de talleres.

Requisitos para acceder al financiamiento.

- Ser persona natural o jurídica.
- Ser salvadoreño o extranjero con residencia definitiva en el país.
- Tener condiciones socioeconómicas que justifiquen el otorgamiento del beneficio. (Existe seguridad que el préstamo pueda ser pagado).
- Estar registrado formalmente como empresa en CNR, Alcaldía, ministerio de hacienda.
- Existencia de contabilidad de la empresa al menos de 6 meses anteriores.
- Cumplir con el pago de renta al menos de 1 año.
- Desempeñarse en el mercado de talleres de rebobinado de motores durante al menos 3 años.
- Monto máximo del financiamiento es de \$50000.

Características generales

- Es indispensable tener historial crediticio Excelente.

- Es una Línea de Crédito Decreciente, El monto se entrega en un solo desembolso al momento de la contratación y su cuota mensual será la misma durante el periodo de vigencia del crédito.
- No será requerido fiador, únicamente se requiere garantía hipotecaria o de cuentas personales.
- Plazo hasta 12 años.
- Tasas de interés desde el 15% según ingresos.
- La cuota mensual incluye: Capital, Intereses, seguro de Deuda/Vida.

Fases en las que se debe ejecutar el proyecto de mejora

Estructuración: Se brinda una propuesta técnica y económica y se realiza la gestión con la entidad financiera. Este proceso se da en un período menos a 2 meses.

Ejecución: Recepción de ubicación, se inicia la instalación de equipos, en este periodo es posible que el taller no reciba ingresos. Este proceso tiene una duración de 3 a 6 meses.

Operación: Inicia el trabajo del taller de forma que este pueda iniciar a efectuar los pagos, inicia justo al terminar el proceso de ejecución. Esta etapa termina cuando se ha terminado de pagar el préstamo.

El financiamiento se da en las etapas Ejecución y Operación. Posteriormente a la finalización del periodo de Operación, se da la Entrega y Finiquito, en donde el cliente es dueño de la totalidad del equipo adquirido.

4.3. PROPUESTA DE TEMATICAS SOBRE REBOBINADO Y REPARACIÓN DE MOTORES ORIENTADAS A INSTITUCIONES EDUCATIVAS DE ENSEÑANZA TÉCNICA.

Objetivos del curso

Brindar conocimientos acerca de prácticas de Reparación y Rebobinado de motores eléctricos, además de los procedimientos para desarrollar actividades de diagnóstico y mantenimiento, para asegurar soluciones seguras y el correcto funcionamiento del motor.

Programa de estudio

Unidad 1: “Introducción y generalidades”.

- Herramientas e instrumentos de medición.
- Prácticas de medición.

Unidad 2: “Tipos de motores”

- Motor monofásico a inducción DC Y AC.
- Motor trifásico a inducción AC.

Unidad 3: “Bobinado de motores eléctricos”

- Tipos de Bobinado.
- Bobinado de motor monofásico.
- Bobinado de motor trifásico.

Unidad 4: “Reparación y bobinados de motores eléctricos”

- Fallas más comunes en motores eléctricos.
- Localización de averías en Motores DC y AC.
- Mediciones pre-reparación para determinar el estado del motor.
- Materiales empleados en la ejecución de devanados eléctricos.
- Cálculos y ejecución de devanados de DC.
- Cálculo y ejecución de devanados de AC.
- Ejecución práctica y barnizado de motores eléctricos.
- Modificación de devanados eléctricos de AC.
- Esquemas de devanados.
- Mediciones necesarias post reparación.
- Medidas de seguridad industrial.

4.4. CONCLUSIONES

CONCLUSIONES DEL DIAGNÓSTICO DE TALLERES

- 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.
- La reparación de un motor resulta ser una medida únicamente paliativa, aspectos como el no cumplimiento de un proceso estandarizado, no permite que la reparación de motores se convierta en una opción.
- 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 cuando estos son reparados.
- Los resultados obtenidos del estudio realizado en este documento muestran que aspectos tales como la inseguridad y la falta de financiamiento provocan que muchos talleres lleguen a ser insostenibles y deban cerrar.
- La mayoría de los talleres no funcionan como empresas formales, sino más bien como negocios familiares o bien negocios informales, por ello se vuelve difícil encontrar financiamiento en la banca tradicional.
- 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.
- El costo de los equipos es alto y esto dificulta para los talleres el poder brindar un mejor servicio, ya que se vuelve una imposible el poder verificar que la reparación mantiene valores similares a los originales de fábrica.

CONCLUSIONES DEL DIAGNÓSTICO DE EMPRESAS.

- Al tomar en cuenta los diversos factores para la decisión de reemplazar o reparar un motor eléctrico, se observa que en la actualidad, en la mayoría de los casos resulta más factible el comprar un motor nuevo de mayor eficiencia que reparar el existente.
- Cuando se compara el coste de reemplazar o reparar un motor eléctrico, no solo debe incluir los costes operacionales y el retorno de la inversión sino también los tiempos muertos y los factores asociados con la depreciación del capital y las pérdidas por producción.
- 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.
- Una parte de las empresas no llevan registro de las fallas que se dan en sus instalaciones, lo cual impide conocer si las causas de los problemas en los motores que poseen son de la alimentación o por causas propias de uso.

CONCLUSIONES DEL DIAGNÓSTICO DE CENTROS EDUCATIVOS

- 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.

4.5. RECOMENDACIONES

- Implementar una normativa a nivel nacional que permita estandarizar el proceso de reparación de motores eléctricos, esta deberá ser verificada, en el presente diagnóstico se propone un Manual de buenas prácticas, que puede ser implementado.
- Se vuelve necesario que exista una entidad que pueda certificar el trabajo realizado por los talleres, que posea el equipo necesario para realizar las pruebas correspondientes, por lo cual se propone a la Universidad de El Salvador, como ente, aunque para ello será necesario que las autoridades correspondientes brinden un mayor apoyo, tanto económico como técnico para que la Universidad pueda equiparse como corresponda.
- Se propone un modelo de financiamiento que permita a los talleres mejorar su equipo e instalaciones, pero para ello se vuelve necesario que los talleres se formalicen como empresas y así puedan obtener diferentes beneficios.
- Se sugiere mejorar la publicidad de los talleres, ya que es un factor que no es considerado actualmente y aunque no es decisivo permitiría que los talleres sean conocidos incluso cuando no estén en zonas de fácil acceso, y poder mejorar su posicionamiento en el mercado.
- Se propone una unidad temática, que puede ser utilizada en las instituciones de educación media o técnica y que permitirá a quienes se convertirán en los futuros técnicos poseer un conocimiento adecuado sobre reparación y rebobinado de motores.
- Deben adoptarse nuevas tecnologías en términos de motores de alta eficiencia, y disminuir o erradicar el uso de motores de eficiencia estándar; para lo cual el gobierno del país puede contribuir facilitando subsidios para la compra de estos, y de esta manera volver atractiva su adquisición; para los usuarios.
- Es necesario adoptar nuevas normas y reglamentaciones técnicas con alcance nacional y regional, trámite en el cual la ingeniería nacional está llamada a participar con criterio. Solamente estudios de esta naturaleza permitirán asumir con criterio esta responsabilidad.
- Se deben dimensionar adecuadamente los motores para que sean capaces de operar con una carga y eficiencia según la aplicación requerida.

4.6. BIBLIOGRAFÍA

- IEEE STD 739-1995, "Recommended practice for Energy Management in Industrial and Commercial facilities".
- "La eficiencia de los motores" Informe especial URE; URL: "www.mundoelectrico.com".
- Curso-taller de promotores de ahorro y eficiencia de energía eléctrica de Guatemala.
- Artículo sobre Nuevos desarrollos y tecnologías ABB en eficiencia en motores.
- EMSA Testing Centres Workshop MOTOR SUBMMIT 2012.
- Artículo de CONSGRA soluciones globales para equipos rotativos y Efisolar (Publicación mensual de Efisolar ingeniería).
- Artículo de Nuevas tendencias en motores eléctricos, WEG Electric Corp.
- BCR con datos suministrados por la DGA con tratamiento según metodología de Balanza de pagos, URL: "<http://www.bcr.gob.sv/>".
- BCR, "Evaluación del comercio exterior de El Salvador, enero 2016".
- "Programa de Eficiencia Energética" del Ministerio de Economía de la República de El Salvador y el Banco Interamericano de Desarrollo CT No. ATN/OC.
- URL: "[Instalacionesyeficienciaenergetica.com](http://instalacionesyeficienciaenergetica.com)".
- The Best Applications for VFDs, URL: "<http://todoproductividad.blogspot.com/2011/01/las-mejores-aplicaciones-de-los.html>".
- IEEE STD. 112 "Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators (2004)".
- Trabajo de graduación: "Evaluación del impacto sobre el parámetro eficiencia eléctrica en motores eléctricos rebobinados de bajo voltaje", 2009.
- Artículo de WEG: Daños en los bobinados de motores trifásicos.
- Acuerdo No. 192-E-2004, "Norma de calidad del Servicio de los Sistemas de Distribución SIGET".
- Trabajo de graduación, "Evaluación de las normas de calidad del servicio en los Sistemas de Distribución de SIGET", 2008.
- Nema MG-1-2009.
- General Electric Co. GET-6812B.
- IEEE STD. 1
- EASA AEMT-RewindStudy-1203-0316.

- Artículo de SKF (proveedor de tecnología), URL: "<http://www.skf.com/co/products/bearingsunitshousings/rollerbearings/principles/bearing-data-general/bearing-internal-clearance/index.html>".
- IEC 60034-2-1 "Rotating electrical machines", 2009.
- Fideicomiso Para el Ahorro de Energía Eléctrica. FIDE.
- IEEE STD. 1068-1996 Práctica recomendada para la reparación y Rebobinado de motores para la Industria Petrolera y Química.
- 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".
- Norma Internacional ISO 50001
- URL: "<https://www.conamype.gob.sv>".
- URL: "<https://www.integral.com.sv/productos-y-servicios>".
- Fomento a la innovación tecnológica, BANDESAL; URL: <http://www.bandesal.gob.sv/servicios/lineas-de-credito-directo/>.
- Estudio de demanda, "Oportunidades de Negocios en el financiamiento de Proyectos Energéticos para Empresas en El Salvador 2014".
- Indicadores de desempeño para asegurar inversiones energéticas y modelo financiero para sustitución de equipos de BANDESAL; Christophe Hoor (consultor de energía y ambiente sostenible).
- UN COMTRADE; Trade statistics for international business development.
- EASA-Motor Management Truths and Consequences.
- EASA STD. AR100-2015 (Recommended practice for the repair of electrical apparatus).
- Guidelines for maintaining motor efficiency during rebuilding, EASA.

4.7. ANEXOS

ANEXO A. Lista de los mercados proveedores para un producto importado por El Salvador.

Motores eléctricos y generadores (excluyendo conjunto de equipos para la generación)

Fuente: Cálculos del CCI basados en estadísticas de UN COMTRADE. Trade statistics for international business development

Unidades: miles de dólares Americanos.

Puede observarse que el país con mayor cantidad de exportaciones es Estados Unidos, en segundo lugar Brasil y en tercer lugar Alemania, habría que evaluar cuál de estos países posee mayor calidad en la fabricación de motores eléctricos. Aunque en el año 2015 se disminuyeron las importaciones de Estados Unidos.

Exportadores	Valor importada en 2011	Valor importada en 2012	Valor importada en 2013	Valor importada en 2014	Valor importada en 2015
Mundo	9.700	9.535	12.990	15.004	25.966
Brasil	1.664	644	2.795	901	12.999
Estados Unidos de América	4.579	4.251	5.468	4.750	4.906
España	37	60	142	44	2.285
China	355	392	1.063	2.599	1.224
Finlandia	3	65	25	17	1.160
Alemania	624	1.526	804	701	658
México	759	618	705	569	610
Panamá	16	31	96	3.610	428
Honduras	115	96	130	305	388
Italia	166	850	372	391	290
Taipei Chino	248	273	574	342	189
Singapur	0	1	0	11	137
India	0	0	9	13	134

ANEXO B. Formatos usados por “Programa de Eficiencia Energética” del Ministerio de Economía de la República de El Salvador y el Banco Interamericano de Desarrollo CT No. ATN/OC.

**FORMATO C3
REGISTRO DE LEVANTAMIENTO DE MOTORES**

EMPRESA: _____	HOJA: _____
ELABORÓ: _____	FECHA: _____ FIRMA: _____
REVISÓ: _____	FECHA: _____ FIRMA: _____

DESCRIPCIÓN	TIPO DE:					DATOS DE PLACA							OPERACIÓN					
	CD/CA	V/H	A/C	ACORLAMENTO	CARGA	MARCA	HP	V	I	RPM	Almacen	No. Catalo.	F.S.	Eficiencia (η)	horas/año	No. De Rebobinados	Técnica de Rebobinado	Antigüedad

A.B.1.Registro de levantamiento de motores, Formato C3 de El Proyecto de Eficiencia Energética.



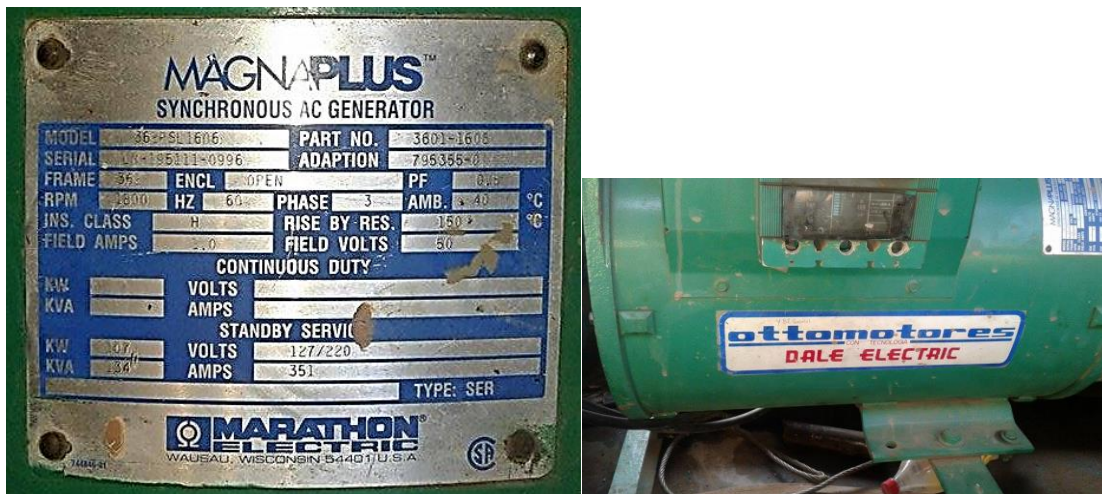
FORMATO E2
REGISTRÓ DE MEDICIONES EN MOTORES

EMPRESA _____	HOJA: _____
ELABORÓ _____	FECHA: _____ FIRMA: _____
REVISÓ: _____	FECHA: _____ FIRMA: _____

IDENTIFICACIÓN	VOLTAJE			CORRIENTE			POTENCIA			FACTOR DE POTENCIA			OBSERVACIONES
	B-C	A-C	A-B	A	B	C	B-C	A-C	A-B	A	B	C	

A.B.2. Registro de mediciones en motores, Formato E2 El Proyecto de Eficiencia Energética.

ANEXO C. Fotografías en uno de los talleres encuestados.



a)

b)



c) Generador a ser reparado.

A.C.1. a) Placa de características de un generador síncrono AC. b) Detalle del generador. c) Detalle del generador completo.



A.C.2. Bobinado de un generador, desgastado por uso



A.C.3. Generador Diesel con problemas mecánicos.



A.C.4. Generador Diésel, ya reparado.



A.C.5. Generador Diésel en fase de prueba.

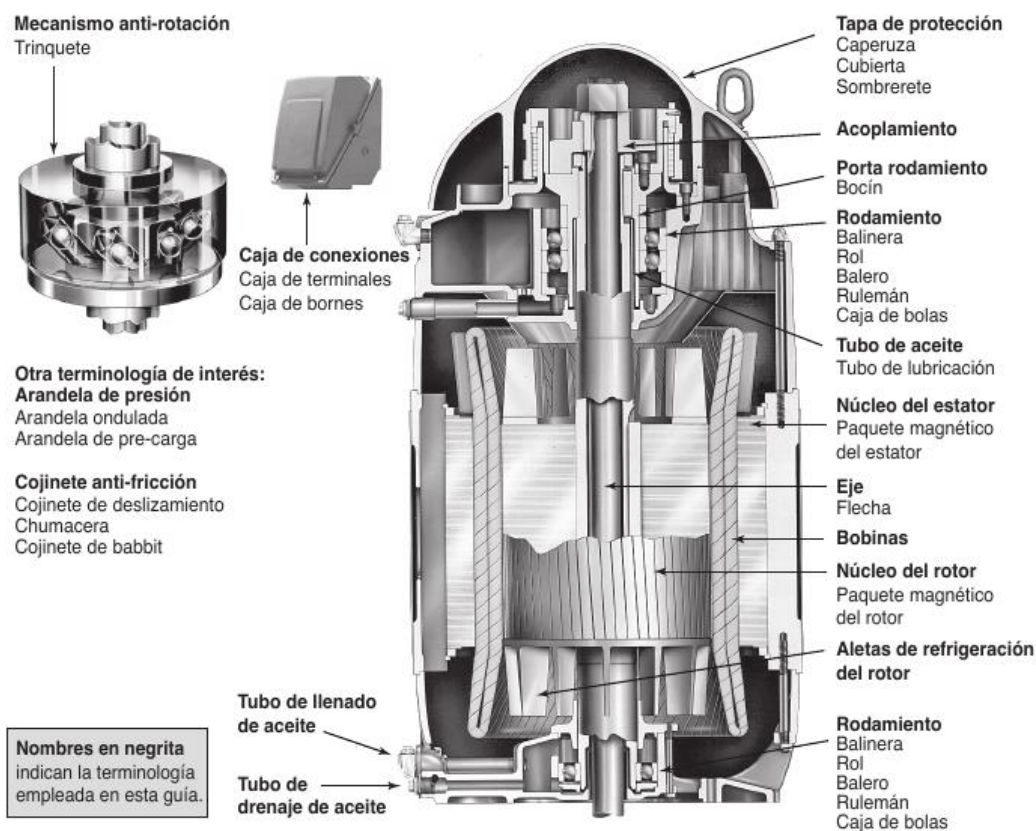


A.C.6. Fotografía de uno de los motores en reparación. Se puede observar las condiciones de suciedad que se tienen en la zona de trabajo del taller.

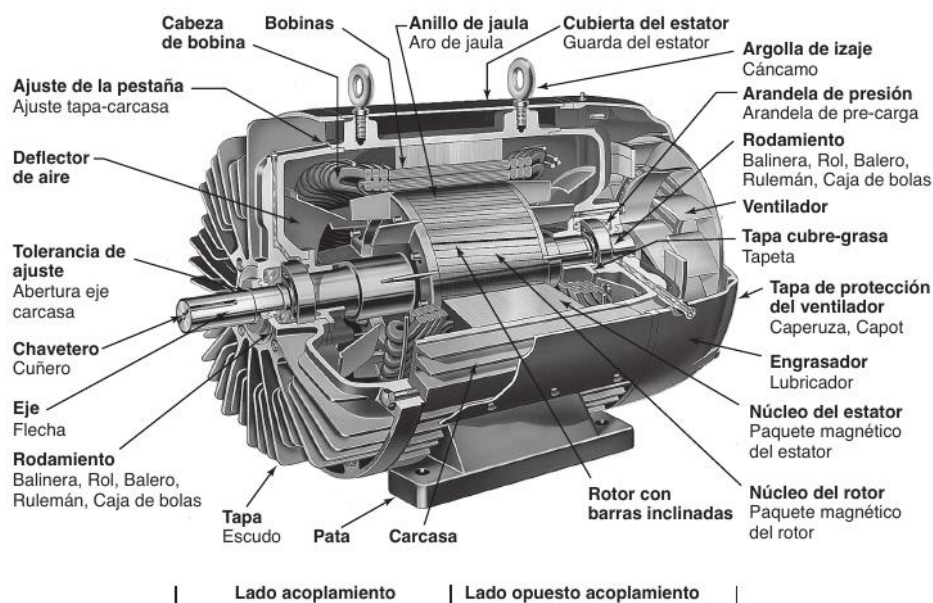


A.C.7. Uno de los equipos de prueba. También se puede apreciar en esta fotografía las condiciones de abandono y suciedad no adecuadas.

ANEXO D. Terminología utilizada por EASA/EAMT para el Manual de Buenas prácticas, para motores verticales AC.



A.D.1 Terminología utilizada para motores verticales AC basada el Manual de Buenas prácticas de EASA/AEMT.



A.D.2 Terminología utilizada para motores horizontal AC basada el Manual de Buenas prácticas de EASA/AEMT.

ANEXO E. Formulario propuesto para la recepción de motores en talleres de reparación y rebobinado.

FORMULARIO PARA RECEPCIÓN DE MOTORES				
Cliente			No. De reporte	
Fecha de ingreso			Fabricante	
Código		hp/kW		N° polos
N° ranuras		Tipo de motor		Tensión nominal
N° bobinas		Modelo		Corriente a plena carga
Agrupación de bobina		Dispositivo auxiliar		Corriente de rotor bloqueado
N° bobina/vuelta		Longitud de alambre		Fases
Calibre de alambre		N° serie		Frecuencia
Conexión		Tipo de eje (Vertical u Horizontal)		Armazón
Longitud del núcleo		Temperatura máxima		Tipo de carcasa
Jumper		Temperatura nominal		Potencia aparente
ID del núcleo		Entorno de operación		Factor de potencia
Entrehierro		Clase de aislamiento		Factor de servicio
Profundidad de ranura		Ancho de la horquilla		RPM
Norma de fabricación		N° de rebobinados		Tipo de cojinete
Observaciones				
ENTREGÓ: _____ FIRMA: _____				
RECIBIÓ: _____ FIRMA: _____				

ANEXO F. Formato para reporte de pruebas realizadas sugerido por EASA.

Características del Bobinado de CA

Cliente: _____

Marca: _____

Nº de Serie: _____ Modelo: _____ Encerramiento: _____

HP/kW V A RPM

Datos	Estator	Rotor	Verificado por	PRUEBAS ANTES DEL BARNIZADO		
	Existente	Nuevo		RESISTENCIA DE AISLAMIENTO A TIERRA		
Tipo de bobinado				RESISTENCIA DE AISLAMIENTO A TIERRA		
Longitud de la cabeza de bobina en lado conexiones						
Longitud de la cabeza de bobina en lado opuesto a conexiones						
Largo del núcleo				RESISTENCIA ÓHMICA POR FASE		
Diámetro interior del núcleo						
Nº ranuras						
Nº ranuras/polo/fase				HIPOT A TIERRA		
Paso						
Nº grupos						
Nº bobinas/grupo				HIPOT ENTRE FASES		
Nº de circuitos en paralelo						
Conexiones						
Alambres en paralelo				EQUILIBRIO DE FASES VOLTIOS: Y/Δ:		
Espiras/bobina						
Sección/calibre del alambre				Amps	Amps	Amps
Profundidad de ranura				PRUEBA DE POLARIDAD		
Ancho del diente						
Largo del yugo/corona						
Peso de la bobina				OTRAS PRUEBAS		
Clase de aislamiento						
Sección/calibre del cable						
ESQUEMA Y OTROS DETALLES				DATOS TOMADOS POR:		
				VERIFICADO Y APROBADO POR:		
				FECHA:		

ANEXO G. Hoja para prueba e Historial de datos de la resistencia de aislamiento⁴².

Motor data Insulation resistance record

Motor Number _____ Date received _____
 Serial Number _____ Shop ID number _____
 Temperature _____ Humidity _____
 Surge test _____ passed _____ failed _____

	Before	After
Voltage		
Megohms		
Microamperes		

	Before	After
Series field		
Shunt field		
Armature field		

Bearings

	Drive-end bearing	
	Found	Left
Bearing size		
Shaft size		

	Opposite drive-end bearing	
	Found	Left

Rotor air gap

	Before	
	Opp. Drive end	Drive end
Vertical		
Horizontal		
Diagonal		

	After	
	Opp. drive end	Drive end

Vibration analysis

Location	Opposite Drive-end bearing housing			Shaft V H	Drive-end bearing housing			Shaft V H
	V	H	A		V	H	A	
Units								
(Mils)								
(IPS)								

Note— Values entered shall include initials of tester.

Cause of Failure/Notes/Comments: _____

⁴²IEEE STD 1068-1996, Anexo A.

ANEXO H. Formulario propuesto para reportes de informe post reparación.

REPORTE DE REPARACIÓN					
Cliente			No. de reporte de recepción		
Fecha					
Indicación: Seleccionar el ítem correspondiente con los procedimiento realizado.					
ESTATOR	Rebobinado	Retratado	Limpiado y pintado		
ESTATOR: HIERRO CORTOCIRCUITADO	Sí	No			
Acción tomada de encontrarse cortocircuitado:					
PRUEBA DE ROTOR MONOFÁSICO	Bien	Mal			
Acción tomada de encontrarse mal:					
ROTOR	Reconstruido	Rebobinado	Tratado	Limpiado y pintado	
CAMPOS O ARMADURAS		Rebobinado	Tratado	Limpiado y pintado	
CONDUCTORES	Reparados	Reemplazados	Sellados		
HOLDERS DE CEPILLOS	Reaislado	Reparado	Reemplazado	Limpiado	
CONMUTADOR	Reparado	Reconstruido	Reemplazado	Girado	Recortado
TRABAJO METÁLICO	Carcasa	Muñón	Otros:		
RODAMIENTOS ANTIFRICCIÓN (Indicar el tipo)		Sellados	Blindado	Abiertos	
RODAMIENTOS LISOS	Reconstruido	Reemplazados	Raspado	Reaislado	
RODAMIENTOS SELLADOS	Reconstruido	Reemplazados	Chatarra	Reseteado	
LLAMA SELLADA	Reconstruido	Reemplazados	Chatarra	Reseteado	