



**Educación**  
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO

MANTENIMIENTO A MOTORES ELÉCTRICOS MONOFÁSICOS Y  
REPARACIÓN A MOTORES ELÉCTRICOS BIFÁSICOS

TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIAS  
PROFESIONALES

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTA:

KEVIN YAIR ROMANO TRUJILLO

NOMBRE DEL ASESOR:

ING. JAIME ALBERTO ELIZALDE OLIN

APIZACO, TLAX ABRIL 2026





**Educación**  
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Apizaco  
Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Tzompantepec, Tlaxcala, 23/enero/2026  
Departamento: Ingeniería Eléctrica y Electrónica  
No. De oficio: I.E.E. /032/2026

Asunto: Liberación de Proyecto  
para la Titulación Integral

LIC. CECILIA YARELLY ARREGUÍN LARA  
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
PRESENTE

Por este medio le informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la Titulación Integral:

|                      |                                                                                                |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nombre del egresado: | KEVIN YAIR ROMANO TRUJILLO                                                                     |
| Carrera:             | INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA                                                                      |
| No. De Control:      | 17370515                                                                                       |
| Nombre del proyecto: | "MANTENIMIENTO A MOTORES ELÉCTRICOS MONOFÁSICOS Y REPARACIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS BIFÁSICOS". |
| Producto             | TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL                                          |

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

**ATENTAMENTE**  
*Excelencia en Educación Tecnológica*  
*Pensar para Servir, Servir para Triunfar®*



**MTRO. MARIO EDUARDO LEAL LÓPEZ**  
**JEFE DEL DEPTO. DE INGENIERÍA**  
**ELECTRICA Y ELECTRONICA**

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA  
TECNOLÓGICO NACIONAL  
DE MÉXICO  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO  
DEPARTAMENTO DE  
INGENIERÍA ELÉCTRICA  
Y ELECTRÓNICA

**ING. JAIME ALBERTO ELIZALDE OLIN**  
Nombre y firma del asesor



**2026**  
año de  
**Margarita**  
**Maza**





**Educación**  
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO



**Instituto Tecnológico de Apizaco**  
División de Estudios Profesionales

Tzompantepec, Tlaxcala, 06/Febrero/2026

**KEVIN YAIR ROMANO TRUJILLO**  
**EGRESADO(A) DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**  
**CON NÚMERO DE CONTROL 17370515.**  
**P R E S E N T E.**

Por este medio, me permito informar a usted que por aprobación de la comisión revisora asignada para valorar el trabajo que mediante la opción **TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL** y cuyo tema es: "**MANTENIMIENTO A MOTORES ELÉCTRICOS MONOFÁSICOS Y REPARACIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS BIFÁSICOS**", conforme a lo establecido en el procedimiento para la obtención del Título Profesional en el Instituto Tecnológico, la División de Estudios Profesionales a mi cargo le otorga la:

#### **AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN**

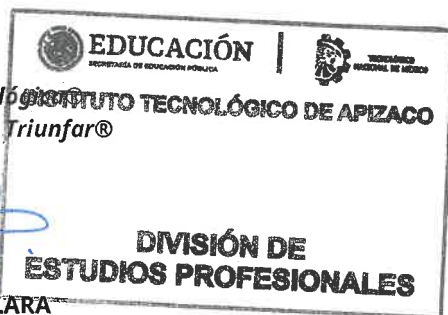
Debiendo entregar **1 USB** del mismo, apropiadamente empastados, a la brevedad, para presentar su Acto de Recepción Profesional.

Sin otro particular por el momento me despido.

**ATENTAMENTE**

*Excelencia en Educación Tecnológica*  
*Pensar para Servir, Servir para Triunfar®*

  
**CECILIA YARELLY ARREGUÍN LARA**  
**JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES**



ccp. Archivo  
CYAL/Gsc\*



**2026**  
año de  
**Margarita**  
**Maza**





## AGRADECIMIENTOS

Quiero aprovechar este apartado para agradecer a todas las personas que me han ayudado y me han apoyado a lo largo de este camino lleno de sabiduría y aprendizaje.

Agradezco primeramente a mi asesor externo Ing. Juan Antonio Ramos Tejada, por la atención y paciencia brindada para la realización de este proyecto, por proporcionarme nuevos conocimientos adquiridos en esta área, ayudándome a visualizar el contexto de un Ingeniero.

También agradezco al Instituto Tecnológico de Apizaco, por ofrecer docentes que garantizan el conocimiento necesario para formarnos como profesionistas, doy gracias a mi asesor interno el Ing. Jaime Alberto Elizalde Olin., que como docente a mi parecer es un docente de calidad, y en este caso como mi asesor, le doy gracias por el seguimiento de mis actividades durante el proyecto y sus consejos.

Pero principalmente quiero agradecer a mis padres por darme la oportunidad una vez más de concluir mis estudios, ya que mediante a sus esfuerzos y sacrificios, no hubiese sido posible este gran paso a mi formación profesional, y dando gracias a Dios por darme la salud y permitirme culminar con éxito los objetivos que me he planteado.



## INDICE

|                                                                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Introducción .....                                                                                                                                            | 6  |
| 2. Generalidades de la empresa.....                                                                                                                              | 8  |
| 2.1. Misión y Visión .....                                                                                                                                       | 8  |
| 2.2. Valores .....                                                                                                                                               | 8  |
| 2.3. Antecedentes históricos .....                                                                                                                               | 8  |
| 2.4. Especialidades Autorizadas .....                                                                                                                            | 9  |
| 2.5. Cobertura .....                                                                                                                                             | 13 |
| 2.6. Directorio .....                                                                                                                                            | 13 |
| 2.7. Ubicación .....                                                                                                                                             | 13 |
| 2.8. Organigrama general .....                                                                                                                                   | 15 |
| 3. Problemas para resolver .....                                                                                                                                 | 16 |
| 4. Objetivos .....                                                                                                                                               | 18 |
| 4.1. Objetivo general .....                                                                                                                                      | 18 |
| 4.2. Objetivos específicos .....                                                                                                                                 | 18 |
| 5. Justificación .....                                                                                                                                           | 18 |
| 6. Marco teórico: Los motores eléctricos .....                                                                                                                   | 20 |
| 6.1. Orígenes .....                                                                                                                                              | 20 |
| 6.2. ¿Cómo funciona un motor eléctrico? .....                                                                                                                    | 21 |
| 6.3. Tipos de motores .....                                                                                                                                      | 21 |
| 6.4. Partes de un motor eléctrico .....                                                                                                                          | 25 |
| 6.5. Aspectos técnicos .....                                                                                                                                     | 26 |
| 7. Elaboración de ensayo de identificación de requerimientos de mantenimiento a motores eléctricos monofásicos y reparación a motores eléctricos bifásicos ..... | 32 |
| 7.1. Monitoreo térmico de componentes .....                                                                                                                      | 32 |
| 7.2. Análisis de la potencia eléctrica de suministro .....                                                                                                       | 32 |
| 7.3. Análisis de corrientes de fase .....                                                                                                                        | 32 |
| 7.3.1. Prueba de alta y baja resolución .....                                                                                                                    | 33 |
| 7.3.2. Prueba de excentricidad .....                                                                                                                             | 33 |
| 7.4. Diagnostico fuera de línea en motores .....                                                                                                                 | 34 |
| 7.4.1. Resistencia óhmica.....                                                                                                                                   | 34 |
| 7.4.2. Prueba de resistencia de aislamiento .....                                                                                                                | 34 |
| 7.4.3. Fatiga eléctrica .....                                                                                                                                    | 35 |

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| 7.4.4. Fatiga mecánica .....                                        | 36 |
| 7.4.5. Ataque químico .....                                         | 36 |
| 7.4.6. Fatiga térmica .....                                         | 36 |
| 7.5. Prueba De Índice de Polarización y Absorción Dieléctrica ..... | 36 |
| 7.4.1. Prueba de aislamiento por incremento de voltaje .....        | 38 |
| 8. Claves para un correcto mantenimiento .....                      | 38 |
| 9. Placa de datos .....                                             | 41 |
| 10. Motor con fallo en el capacitor de arranque. ....               | 43 |
| 11. Limpieza a motor. ....                                          | 45 |
| 12. Cambio de bobinado en un motor. ....                            | 47 |
| 13. Reparaciones mecánicas que pueden afectar la eficiencia .....   | 55 |
| 13.1. Reparación de los núcleos .....                               | 55 |
| 13.1.2. Reparaciones del eje .....                                  | 55 |
| 13.1.3. Reparaciones de los alojamientos .....                      | 56 |
| 13.1.4. Rodamientos y sellos .....                                  | 56 |
| 13.1.5. Ventiladores y cubiertas de protección .....                | 56 |
| 13.2. Ensamble del motor .....                                      | 56 |
| 13.3. Consejos de reparación .....                                  | 57 |
| 13.3.1. Pérdidas del motor y eficiencia .....                       | 57 |
| 13.3.2. Pérdidas: Menos calor significa mayor eficiencia .....      | 58 |
| 13.3.3. Desglose: áreas críticas .....                              | 59 |
| 13.3.4. Confirmando la integridad de la reparación .....            | 63 |
| 14. Conclusiones .....                                              | 65 |
| 15. Competencias desarrolladas .....                                | 65 |
| 16. Fuentes de información .....                                    | 66 |
| 17. Anexos .....                                                    | 67 |

## RESUMEN

Este proyecto se realizó en Centro de Capacitación para el Trabajo Industrial (CECATI), institución dedicada a poner a disposición de los estudiantes una oferta educativa amplia e innovadora para promover la profesionalización y certificación de las personas e impulsar la productividad del país a través de: Cursos y Módulos presenciales, cursos en línea, cursos en modalidad mixta, talleres presenciales y en línea, especialidades, diplomados, certificación de competencias laborales Ubicada en Calle Av. Xicohtencatl Sur, Num.2701, Col. Fatima. Apizaco, Tlax. C.P. 90357.

Este proyecto realiza la implementación de procedimiento para la apertura de una nueva área que es “ Motores” ya que esta nueva área es la oportunidad para ampliar los servicios de la empresa y sobre todo poder brindar los mejores servicios a los clientes.

Se comenzó con la investigación de los procedimientos de acuerdo con las normas que se tienen para estos servicios ya que las normas tienen ciertas especificaciones para poder realizar los servicios, posteriormente se buscaron certificaciones para el personal ya que esto brindara conocimientos sobre el área y también se busca la especialización del personal en esta área. Se realizaron diversas herramientas para saber los costos aproximados de los materiales, certificaciones y todo lo que conlleva esta apertura del área de “Motores”.

Se obtuvo como resultado la realización de los procedimientos junto con un pequeño manual de capacitaciones para el personal y sobre todo para el área ya que la dicha área lleva muchos métodos, es por ello que la finalidad de este proyecto es aprender y saber realizar dichos métodos en los servicios de la institución.

## 1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de motores eléctricos es de vital importancia en cada proceso llevando a cabo usos industriales, así como domésticos, los motores eléctricos son los responsables de darle vida a muchos de los equipos que hoy en día consideramos imprescindibles. Se estima que a nivel mundial el consumo de energía en la industria por el uso de máquinas eléctricas se encuentra dentro del rango de 50 a 80% del total.

Los motores eléctricos son máquinas eléctricas que convierten la energía eléctrica en energía mecánica, pueden ser utilizados ampliamente en Bombas para Agua, Bombas Industriales, Mezcladoras, Molinos, Correas Transportadoras, Zarandas, Cortadoras, Ventiladores, Grúas, entre muchos otros más.

Para transformar la energía eléctrica en mecánica, y por lo tanto en movimiento, el motor eléctrico funciona básicamente haciendo uso de la energía generada al repeler dos imanes, uno natural y otro no natural (electroimán). Así, el campo magnético creado mueve una parte giratoria, el rotor.

El motor eléctrico puede funcionar con corriente alterna o continua. La distribución de la energía eléctrica se realiza normalmente en corriente alterna, por lo que es la más utilizada. El motor de corriente continua, por otro lado, necesita una fuente directa, es decir, un flujo ordenado de electrones siempre en la misma dirección, como las baterías.

Es por ello que este proyecto denominado Mantenimiento a motores eléctricos monofásicos y reparación de motores eléctricos bifásicos fijamos la importancia que tiene el manejo de estos mecanismos y así mismo las mejoras que se le puede dar a nivel industrial.

# **Capitulo I.- Centro de Capacitación para el Trabajo Industrial (CECATI)**

## 2. Generalidades de la empresa

### 2.1. Misión y Visión

**Misión:** Capacitar permanentemente a las personas para y en el trabajo a través de una estructura de servicios educativos flexible, equitativa, de calidad y pertinente, contribuyendo con su formación integral e inserción en el mercado laboral tanto nacional, como internacional.

**Visión:** Ser una institución reconocida a nivel mundial por la excelencia de sus servicios educativos. Contribuir con la transformación del país, propiciando una mejor sociedad y fortaleciendo su economía a través de la formación de personal calificado para el óptimo desempeño de funciones productivas, bajo principios de equidad, calidad y pertinencia.

### 2.2. Valores

**Excelencia:** Bueno no es suficiente. Combinamos el rigor y el emprendimiento para ofrecer soluciones integrales.

**Entendimiento:** En lo referente a la ética, ningún reto es demasiado grande ni pequeño si significa hacer las cosas bien.

**Comprensión:** Respetamos firmemente la variedad de opiniones e ideas y nos centramos en las necesidades de nuestros clientes.

### 2.3. Antecedentes históricos

Los CECATI fueron inaugurados en el año de 1963 bajo el liderazgo del entonces secretario de Educación Pública, Jaime Torres Bodet, y desde ese año su crecimiento fue enorme en un relativo poco tiempo, hasta llegar a los 199 planteles actuales.

A este impresionante crecimiento se le debe reconocer una visión inicial de escuelas con talleres bien equipados, que permitieran a los alumnos al egresar laborar de forma inmediata en la industria nacional. Talleres de maquinados, soldadura, mantenimiento automotriz, confección de ropa y electricidad, entre otros, fueron abiertos en los 199 planteles con la consecuente compra de equipamiento a gran escala, con la respectiva inversión de millones de pesos.

Este crecimiento e inversión económica fue posible gracias al auge petrolero de la época que permitió al Gobierno Federal, desarrollar un enorme crecimiento de infraestructura social en hospitales, escuelas y carreteras.

Sin embargo, durante la década de los 80's y 90's la descentralización del Gobierno Federal, que incluía la transferencia parcial de la operación de diversos servicios, como salud y educación, marcó la pauta de no abrir más CECATI bajo la tutela de la SEP, lo que llevó a la generación de acuerdos con los diversos Gobiernos Estatales para iniciar una nueva vertiente de crecimiento en la capacitación para el trabajo: Los planteles descentralizados.

Estos nuevos Institutos serían operados por los Estados bajo el apoyo financiero, técnico y operativo de la Federación, lo que permitió la segunda generación de planteles de capacitación para y en el trabajo, que conforman 24 institutos estatales y 195 planteles.

Los cuales operan bajo un régimen de toma de decisiones en cada estado – un modelo similar al de las universidades estatales – pero con un soporte dirigido desde la propia DGCFT.

Durante años se pensó que los CECATI también habrían de pasar a las filas estatales para completar la descentralización federal, pero la historia les permitió continuar dentro del mismo modelo centralizado.

Desde su inicio la Unidad de Centros de Capacitación –antecesor de la DGCFT -coordinó y supervisó de forma centralizada la operación de los planteles, sin embargo en la década de los 80's se inicia la conformación de nuevas unidades administrativas, denominadas Subdirección Estatales; unidades que deberían coordinar de manera regional o estatal, la operación, la actividad académica y administrativa, así como la planeación y la supervisión de los planteles; esto considerado como un esquema que diera más eficiencia operativa.

Por otro lado, con la intención de generar innovación, mejora y crecimiento tecnológico y por ende la mejora del servicio de capacitación, a finales del año de 1999, se inicia la construcción del Centro de Convenciones de la DGCFT y del Centro de Investigación y Desarrollo de la Formación para el Trabajo (CIDFORT), que impulsa desde su sede, la innovación en el desarrollo de materiales educativos, la actualización docente y la certificación de competencias en instructores, alumnos, directivos y personal de apoyo y asistencia a la educación; además de impulsar la investigación en los centros de capacitación.

En la actualidad la operación de los CECATI, los Institutos de Capacitación para el Trabajo (ICAT) y el CIDFORT, a través de la DGCFT, han conformado un robusto sistema escolar.

## **2.4. Especialidades Autorizadas**

### **Especialidad Asistencia Ejecutiva**

#### **Objetivo**

Aplicar la taquigrafía, mecanografía y las relaciones personales, con el fin de establecer comunicación con el cliente, conforme a las especificaciones técnicas y procedimientos establecidos para proporcionar un servicio de calidad.

#### **Enfoque educativo**

Modelo educativo basado en criterios de competencia ocupacional y modelo educativo basado en competencias.

#### **Especificación de cursos**

Esta especialidad oferta cursos regulares y módulos del componente de formación profesional.

#### **Certificación académica**

El diploma se obtiene cuando el alumno acredita en su totalidad los subobjetivos y/o submódulos que integran los cursos de la especialidad, ya sea por formación presencial, en línea o Reconocimiento Oficial de la Competencia Ocupacional (ROCO) y de acuerdo a los lineamientos establecidos en el Manual de Procedimientos de Control Escolar.

### **Certificación laboral**

El certificado de competencia laboral se obtiene cuando el candidato acredita un estándar de competencias, a través de un proceso de evaluación con fines de certificación ante un Organismo Certificador, reconocido por el Consejo nacional de Normalización y Certificación de Competencia Laboral (CONOCER).

### **Especialidad Mantenimiento al Sistema Eléctrico Automotriz**

#### **Objetivo**

Ofrecer una red amplia y estructurada de servicios de formación para el trabajo en el campo de la Mantenimiento al Sistema Eléctrico Automotriz, para atender flexiblemente los intereses de la persona/estudiante, quien podrá estructurar rutas personales de formación para elegir uno o más trayectos formativos, diseñados con la finalidad de responder a las demandas del contexto económico, productivo, social y educativo, optimizando con ello la inserción de la persona/estudiante en dicho contexto.

#### **Enfoque educativo**

Enfoque de Competencias Integrales

#### **Especificación de cursos**

Esta especialidad oferta cursos regulares

#### **Certificación académica**

El diploma se obtiene cuando el estudiante acredita en su totalidad las competencias que integran los cursos de la especialidad, ya sea por formación presencial, en línea o Reconocimiento Oficial de la Competencia Ocupacional (ROCO) y de acuerdo con los lineamientos establecidos en el Manual de Procedimientos de Control Escolar.

#### **Certificación laboral**

El certificado de competencia laboral se obtiene cuando el candidato acredita un estándar de competencias, a través de un proceso de evaluación con fines de certificación ante un Organismo Certificador, reconocido por el Consejo Nacional de Normalización y Certificación de Competencias Laborales (CONOCER).

### **Especialidad Máquinas-Herramienta**

#### **Objetivo**

Desarrollar las competencias para la fabricación de piezas conforme a las especificaciones de máquinas-herramienta.

#### **Enfoque educativo**

Modelo educativo basado en competencias.

#### **Especificación de cursos**

Esta especialidad oferta cursos regulares, paquete polifuncional y módulos del componente de formación para el trabajo.

### **Certificación académica**

El diploma se obtiene cuando el alumno acredita en su totalidad los submódulos que integran los cursos de la especialidad, ya sea por formación presencial, en línea o Reconocimiento Oficial de la Competencia Ocupacional (ROCO) y de acuerdo a los lineamientos establecidos en el Manual de Procedimientos de Control Escolar.

### **Certificación laboral**

El certificado de competencia laboral se obtiene cuando el candidato acredita un estándar de competencias, a través de un proceso de evaluación con fines de certificación ante un Organismo Certificador, reconocido por el Consejo Nacional de Normalización y Certificación de Competencias Laborales (CONOCER).

## **Especialidad Soporte a Instalaciones Eléctricas y Motores Eléctricos**

### **Objetivo**

Ofrecer una red amplia y estructurada de servicios de formación para el trabajo en el campo del Soporte a Instalaciones Eléctricas y Motores Eléctricos, para atender flexiblemente los intereses de la persona/estudiante, quien podrá estructurar rutas personales de formación o elegir uno o más trayectos formativos, diseñados con la finalidad de responder a las demandas del contexto económico, productivo, social y educativo, optimizando con ello las posibilidades diferenciales de inserción de la persona/estudiante en dicho contexto.

### **Enfoque educativo**

Enfoque de competencias integrales.

### **Especificación de cursos**

Esta especialidad oferta cursos regulares en los niveles básico, medio y avanzado, así como módulos del componente de formación para el trabajo.

### **Certificación académica**

El diploma se obtiene cuando el estudiante acredita en su totalidad las competencias que integran los cursos de la especialidad, ya sea por formación presencial, en línea o Reconocimiento Oficial de la Competencia Ocupacional (ROCO) y de acuerdo a los lineamientos establecidos en el Manual de Procedimientos de Control Escolar.

### **Certificación laboral**

El certificado de competencia laboral se obtiene cuando el candidato acredita un estándar de competencias, a través de un proceso de evaluación con fines de certificación ante un Organismo Certificador, reconocido por el Consejo Nacional de Normalización y Certificación de Competencia Laboral (CONOCER).

## **Especialidad Soporte Técnico a Equipos y Sistemas Computacionales**

### **Objetivo**

Ofrecer una red amplia y estructurada de servicios de formación para el trabajo en el campo del Soporte Técnico a Equipos y Sistemas Computacionales, para atender flexiblemente los intereses de la persona/estudiante, quien podrá estructurar rutas personales de formación para elegir uno o más trayectos formativos, diseñados con la finalidad de responder a las demandas del contexto económico, productivo, social y educativo, optimizando con ello las posibilidades diferenciales de inserción de la persona/estudiante en dicho contexto.

**Enfoque educativo**

Enfoque de Competencias Integrales.

**Especificación de cursos**

Esta especialidad oferta cursos regulares en los niveles básico, medio y avanzado, así como módulos del componente de formación para el trabajo.

**Certificación académica**

El diploma se obtiene cuando el estudiante acredita en su totalidad las competencias que integran los cursos de la especialidad, ya sea por formación presencial, en línea o Reconocimiento Oficial de la Competencia Ocupacional (ROCO) y de acuerdo a los lineamientos establecidos en el Manual de Procedimientos de Control Escolar.

**Certificación laboral**

El certificado de competencia laboral se obtiene cuando el candidato acredita un estándar de competencias, a través de un proceso de evaluación con fines de certificación ante un Organismo Certificador, reconocido por el Consejo Nacional de Normalización y Certificación de Competencias Laborales (CONOCER).

**Especialidad Uso de la Lengua Inglesa en Diversos Contextos****Objetivo**

Ofrecer una red amplia y estructurada de servicios de formación para el trabajo en el campo del Uso de la Lengua Inglesa en Diversos Contextos, para atender flexiblemente los intereses de la persona/estudiante, quien podrá estructurar rutas personales de formación o elegir uno o más trayectos formativos, diseñados con la finalidad de responder a las demandas del contexto económico, productivo, social y educativo, optimizando con ello las posibilidades diferenciales de inserción de la persona/estudiante en dicho contexto.

**Enfoque educativo**

Enfoque de Competencias Integrales

**Especificación de cursos**

Esta especialidad oferta cursos regulares en los niveles básico, medio y avanzado, así como módulos del componente de formación para el trabajo.

**Certificación académica**

El diploma se obtiene cuando el estudiante acredita en su totalidad las competencias que integran los cursos de la especialidad, ya sea por formación presencial, en línea o Reconocimiento Oficial de la Competencia Ocupacional (ROCO) y de acuerdo a los lineamientos establecidos en el Manual de Procedimientos de Control Escolar.

**Certificación laboral**

El certificado de competencia laboral se obtiene cuando el candidato acredita un estándar de competencias, a través de un proceso de evaluación con fines de certificación ante un Organismo Certificador, reconocido por el Consejo Nacional de Normalización y Certificación de Competencias Laborales (CONOCER).

## 2.5. Cobertura

En todo el país existen 201 CECATI, un Centro de Investigación y Desarrollo de la Formación para el Trabajo, 55 Centros Evaluadores y 31 Institutos de Capacitación para el Trabajo (ICAT) en 30 Entidades Federativas, con una oferta de 473 servicios de carácter descentralizado: 297 Unidades de Capacitación (UC) y 176 Acciones Móviles (AM).

## 2.6. Directorio

Dirección CECATI 29

Titular: Oscar Huerta Gonzalez

Correo electrónico:

[cecati29.dir@dgcf.semss.gob.mx](mailto:cecati29.dir@dgcf.semss.gob.mx)

Jefatura de Capacitación del CECATI 29

Titular: Juan Antonio Ramos Tejeda

Correo electrónico:

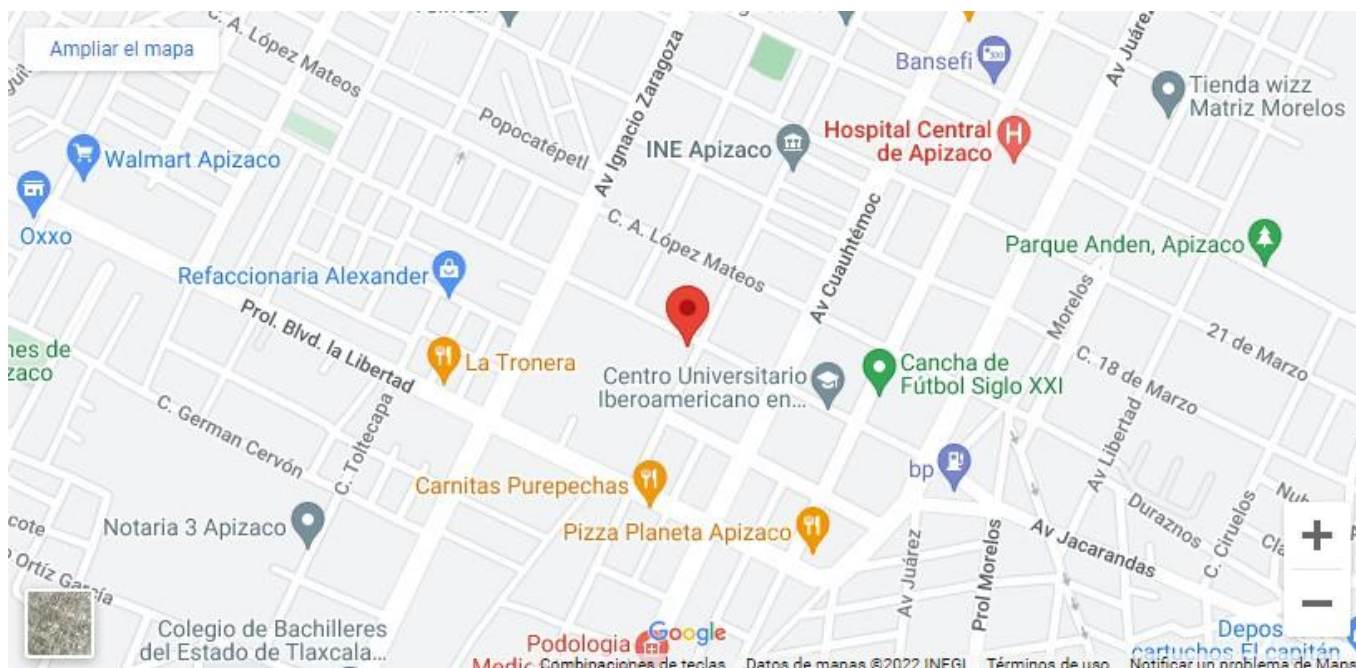
[cecati29.cap@dgcf.semss.gob.mx](mailto:cecati29.cap@dgcf.semss.gob.mx)

Jefatura de vinculación del CECATI 29

Correo electrónico:

Jefatura de servicios administrativos del CECATI 29

## 2.7. Ubicación



CCT: 29DBT0029S

Calle: Av. Xicoténcatl Sur No. 2701. Esq. Alejandro Guillot

Colonia: 0

Municipio: Apizaco

Estado: Tlaxcala

Región: Zona Centro

C.P.: 90300

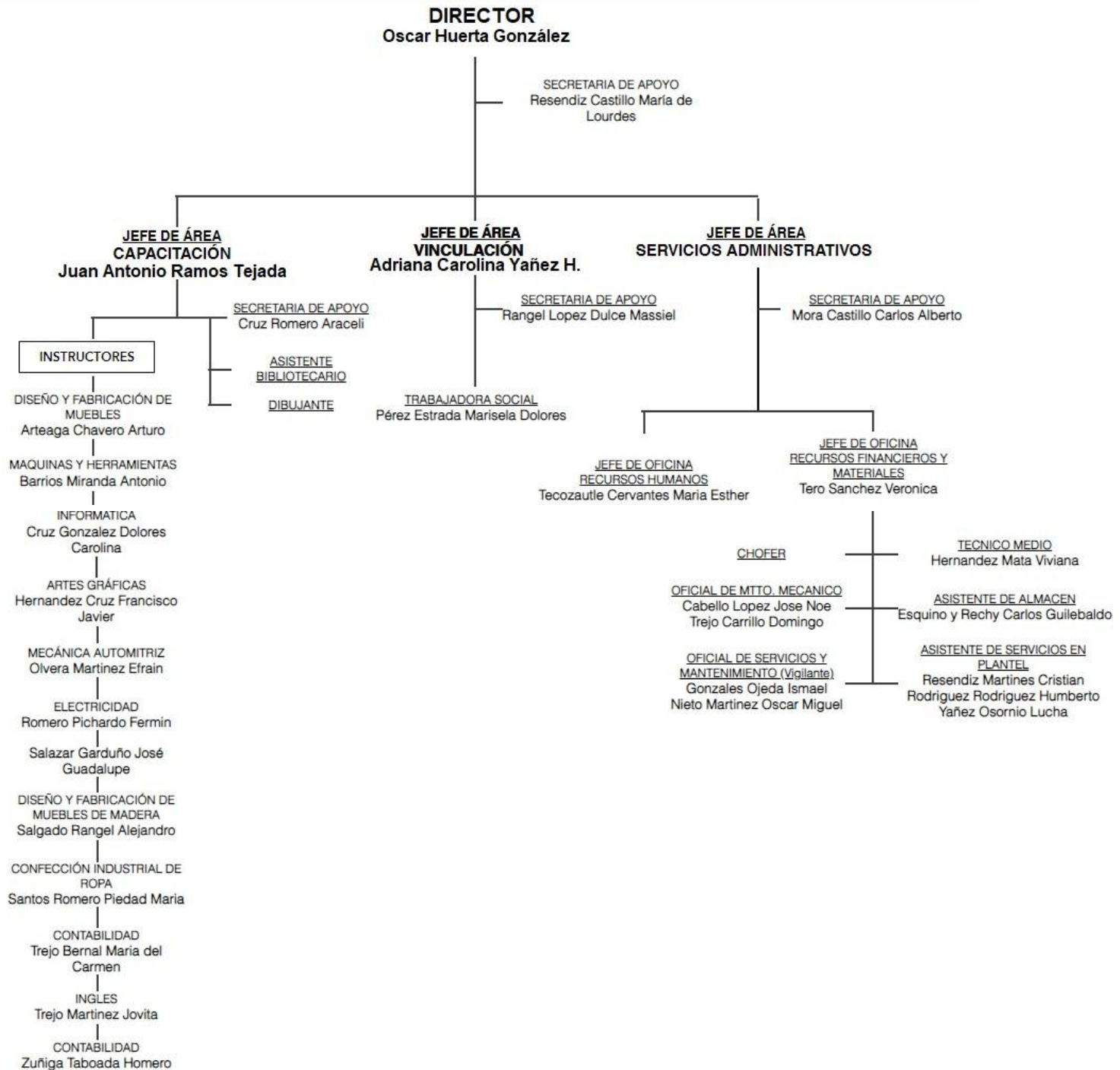
Teléfono: 241 417 0703

## 2.8. Organigrama general



**SEP**  
SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

CENTRO DE CAPACITACIÓN  
PARA EL TRABAJO INDUSTRIAL No. 29  
CECATI 29



### 3. Problemas para resolver

Todos los motores eléctricos tienen una vida útil predeterminada, que generalmente varía de 30,000 a 40,000 horas. Sin embargo, esto depende del mantenimiento adecuado que se realice, sin el cual es probable que se descompongan mucho más rápido, así que con el paso del tiempo el motor llega a presentar diferentes fallos y llega acudir de un manteamiento, es por ello por lo que los que daremos solución a diferentes problemas como son:

- Fusibles quemados.
- Chumaceras o cojines desgastados.
- Interrupción de alguna fase.
- Sobrecargas.
- Fases invertidas.
- Corto circuito.
- Conexiones internas erróneas.
- Contactos a tierra de los devanados.
- Cojines excesivamente apretados.
- Tapas mal montadas.
- Eje torcido.
- Barras del rotor flojas.
- Condensador defectuoso (en motores monofásicos con condensador).
- Interrupción en el devanado de arranque (en motores monofásicos).
- Interrupción en el devanado de trabajo (en motores monofásicos).

#### Sobrecarga eléctrica

La sobrecarga eléctrica es causada por un flujo de corriente excesivo dentro de los devanados del motor, que excede la corriente de diseño que el motor puede transportar de manera eficiente y segura. Esto puede ser causado por un bajo voltaje de suministro, lo que resulta en que el motor consuma más corriente en un intento de mantener su par. También puede ser el resultado de conductores en cortocircuito o un suministro de voltaje excesivo.

#### Baja resistencia

La causa más común de fallo de un motor eléctrico, y posiblemente la más difícil de superar, es la baja resistencia. La baja resistencia es causada por la degradación del aislamiento de los devanados debido a condiciones tales como sobrecalentamiento, corrosión o daños físicos. Esto conduce a un aislamiento insuficiente entre los conductores o los devanados del motor, lo que puede causar fugas y cortocircuitos, y eventualmente falla del motor.

Para evitar este tipo de fallos en motores eléctricos recomendamos que el aislamiento deba inspeccionarse periódicamente para detectar signos de desgaste y reemplazarse antes de que la baja resistencia pueda causar fallas.

#### Sobrecalentamiento

Alrededor del 55% de los fallos de aislamiento en los motores eléctricos ocurren debido al sobrecalentamiento. El sobrecalentamiento puede ser causado por una mala calidad de energía o un entorno operativo de alta temperatura. Por cada 10 °C que aumenta la temperatura de un motor, la vida útil del aislamiento se reduce en un 50%.

## **Contaminación**

La contaminación por polvo, suciedad y productos químicos es una de las principales causas de fallo del motor eléctrico. Los cuerpos extraños que se abren paso dentro del motor y pueden afectar a las pistas de rodadura y las bolas de los cojinetes, lo que genera altos niveles de vibración y desgaste. También puede bloquear el ventilador de enfriamiento, lo que limita la capacidad del motor para regular su temperatura y aumenta la probabilidad de sobrecalentamiento.

Recomendamos prevenir la contaminación, lo cual es relativamente fácil. Mantenga las áreas de trabajo, herramientas y accesorios lo más limpios posible para ayudar a eliminar la posibilidad de que la contaminación ingrese al motor. Además, al diseñar el espacio de trabajo, intente colocar los motores lejos de las máquinas rectificadoras que producen grandes cantidades de contaminantes.

## **Vibraciones en motores eléctricos**

La vibración puede conducir a muchos problemas con el motor, y eventualmente puede causar que el motor falle prematuramente. La vibración a menudo es causada por la posición del motor sobre una superficie irregular o inestable. Sin embargo, la vibración también puede ser el resultado de un problema subyacente con el motor, como cojinetes flojos, desalineación o corrosión.

Los motores deben revisarse regularmente para detectar vibraciones, utilizando una herramienta de análisis de vibraciones motores. Para reducir la vibración, asegúrese de que el motor esté colocado en una superficie plana y estable. Si aún se produce vibración, verifique si hay signos de desgaste, así como cojinetes flojos o desalineación. Considere contactar a un especialista si no se puede identificar la fuente de vibración.

## **4. Objetivos**

### **4.1. Objetivo general**

- Efectuar procedimientos a diversos motores eléctricos para prolongar su uso útil.

### **4.2. Objetivos específicos**

#### Sociales

- Dar a conocer tanto a industrial y a personas de hogar que los motores que utilizan pueden revertir su tiempo de durabilidad dando como resultado una prolongación de vida.
- Crear consciencia en la sociedad de la importancia de los motores eléctricos y sobre como dar un cuidado exacto.
- Dar a conocer al CECATI como un lugar para reparación y mantenimientos a sus artefactos electrónicos que el mismo lugar pueda dar solución.

#### Arquitectónicos

- Operacionalizar métodos de reparación a motores eléctricos para que estéticamente el motor tenga una formación correcta para su uso posterior.
- Crear un espacio de trabajo para una fácil operación dentro de la institución.

#### Sustentables

- Impedir una acumulación de desechos obligando al usuario a desechar un dispositivo.
- Reutilizar materiales que puedan sustituir a un motor dando una segunda vida a motores ya previamente obtenidos de otros trabajos.

## **5. Justificación**

El CECATI y todo el personal se determina bajo una filosofía de mejora continua, conocida como Lean, pretendiendo que siempre se puede mejorar una actividad o proceso, aun cuando está ya fue mejorada, obteniendo una mejora continua, ya que a través de esta filosofía podríamos eliminar aquellos procesos o actividades innecesarios que no agreguen valor, obteniendouna mejora en nuestros procesos garantizando la eficiencia y calidad del servicio al cliente.

## **Capitulo II.**

### **Marco teórico.**

## 6. Marco teórico: Los motores eléctricos

### 6.1. Orígenes

Los primeros motores eléctricos fueron simples dispositivos electrostáticos descritos en experimentos realizados por el monje benedictino escocés Andrew Gordon y el inventor estadounidense Benjamin Franklin en la década de 1740.

El principio teórico detrás de ellos, la Ley de Coulomb, fue descubierto por el inglés Henry Cavendish en 1771, aunque no fue publicado. Esta ley fue descubierta independientemente por el francés Charles-Augustin de Coulomb en 1785, quien sí la publicó.

La invención de la pila electroquímica por el italiano Alessandro Volta en 1799 hizo posible la producción de corrientes eléctricas persistentes. Después de que el danés Hans Christian Ørsted descubriera en 1820 la interacción entre tal corriente y un campo magnético (interacción electromagnética), pronto se hicieron muchos progresos.

El francés André-Marie Ampère tardó sólo unas semanas en desarrollar la primera formulación de la interacción electromagnética y presentar la Ley de Ampère, que describe la producción de fuerza mecánica por la interacción de una corriente eléctrica y un campo magnético.

La primera demostración del efecto con un movimiento rotativo fue realizada por el inglés Michael Faraday en 1821. Se sumergió un alambre colgante en mercurio, sobre el cual se colocó un imán permanente. Cuando una corriente pasaba a través del alambre, este giraba alrededor del imán, mostrando que la corriente daba lugar a un campo magnético circular cercana alrededor del mismo. Sin duda, un científico fundamental en la historia del motor eléctrico.

Este motor se muestra a menudo en experimentos físicos, sustituyendo el mercurio (tóxico) por salmuera. El inglés Peter Barlow se basó en esto en 1822 para su Rueda de Barlow, aunque estos y otros motores homopolares similares no pudieron ser utilizados para su aplicación práctica hasta finales de siglo.

En 1827, el físico húngaro Ányos Jedlik comenzó a experimentar con bobinas electromagnéticas. Después de que resolviera los problemas técnicos de rotación continua con la invención del conmutador, llamó a sus primeros dispositivos "auto-rotores electromagnéticos".

Aunque sólo se utilizaban para la enseñanza, en 1828 Jedlik mostró el primer dispositivo que contenía los tres componentes principales de los motores de corriente continua prácticos: el estator, el rotor y el conmutador. El dispositivo no empleaba imanes permanentes, ya que los campos magnéticos de los componentes estacionarios y giratorios eran producidos únicamente por las corrientes que fluyen a través de sus devanados.

<sup>1</sup>Gómez, V., Peña, R., & Hernández, C. (2012). *Historia del motor eléctrico - Hyundai Canarias*.

## 6.2. ¿Cómo funciona un motor eléctrico?

Los motores eléctricos están conformados por dos partes principales, i.e.: un estator fijo y un rotor móvil.

**Estator fijo.** Es la parte externa del motor que no gira, en el se encuentra la capacidad magnética del motor, está integrado por polos magnéticos (imanes) y un embobinado de alambres de cobre (Imagen 1). El motor eléctrico usa los polos magnéticos (que funcionan como imanes) para producir el movimiento del rotor. El accionar de los motores se basa en la ley fundamental de los imanes: cargas opuestas se atraen e iguales se repelen. Dentro de un motor eléctrico por el embobinado de cobre circula corriente eléctrica, que a su vez genera su campo magnético, asegurando con ello que los polos magnéticos del rotor siempre se encuentren en repulsión, huyendo del estator por la similitud de cargas. Entonces las fuerzas de atracción y repulsión producen el movimiento circular del rotor, expresada físicamente como una fuerza axial denominada torque, al cual se le agrega una extensión llamada flecha o eje, que luego es acoplada al equipo que aprovecha el movimiento que se está produciendo.

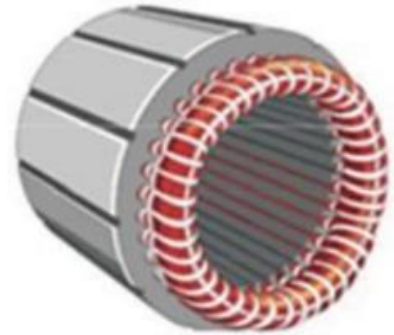


Imagen 1: Forma del estator de un motor eléctrico

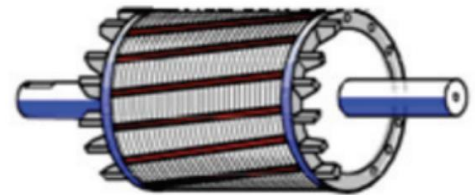


Imagen 2: Forma del rotor de un motor eléctrico

**Rotor móvil.** Es la parte del motor que gira a gran velocidad, debido a la acción de los campos magnéticos creados en el motor, su velocidad de rotación expresada en revoluciones por minuto (r.p.m.) depende del número de polos magnéticos del estator (Imagen 2). Esta parte se apoya en cojinetes de rozamiento también denominados baleros. El espacio comprendido entre el rotor y estator es constante y se denomina entrehierro.

## 6.3. Tipos de motores

La corriente eléctrica que distribuyen las empresas eléctricas es del tipo alterna, sin embargo, hay aplicaciones que utilizan también la corriente en forma directa, por ello los motores eléctricos pueden ser de corriente directa o de corriente alterna.

- **Motores de corriente directa (o continua)**

Los motores de corriente directa o continua, como también se les llama, presentan la ventaja de tener una gran capacidad para regular su velocidad de rotación, lo cual los hace necesarios en aquellas de aplicaciones en las cuales se precisa un ajuste fino de la velocidad y torque. En estos motores el estator está formado por polos principales activados por corrientes continuas. Suelen llevar además polos auxiliares y en grandes potencias polos de compensación. El rotor se alimenta con corriente continua a través del colector y las escobillas. Los devanados del estator pueden alimentarse de diferentes formas, dando lugar a motores de características distintas.

Derivación: El estator se alimenta con la misma tensión de alimentación que el inducido.  
Independiente: El estator se alimenta con una fuente de corriente continua independiente.

Serie: La intensidad que atraviesa los devanados del estator es la misma que alimenta el inducido.  
Compuesto: Es una combinación de las características Serie y Derivación.

No obstante, los motores de corriente directa necesitan una alimentación especial diferente a la que suministran las empresas eléctricas, por ello utilizan equipos adicionales como rectificadores de potencia, con los que la corriente alterna es convertida a directa; así como en ocasiones baterías de reserva lo cual incrementa los costos del mismo motor y la instalación complementaria. Por las grandes ventajas que tiene recibir la corriente alterna, la gran mayoría de los equipos que requieren de un motor eléctrico utilizan motores de corriente alterna, preferentemente en forma trifásica, aunque existen muchos motores de baja potencia que reciben sólo una fase eléctrica (monofásicos).

Actualmente, producto del alto desarrollo tecnológico, los motores de corriente alternan también pueden variar la velocidad y torque que entregan al equipo acoplado, para ello deben instalarse en combinación con un regulador electrónico de velocidad variable, conocidos en el lenguaje industrial como "Drivers", "Variadores de Frecuencia" ó "Convertidores de Frecuencia Variable", según se explica en la Sección VIII. Esta poderosa ventaja está haciendo que los motores de corriente directa sean paulatinamente reemplazados por motores de corriente alterna con variador de velocidad integrado. De hecho gran parte de la maquinaria nueva ya no incluye motores de corriente directa. Otra desventaja de los motores de corriente directa es que precisan un mantenimiento mayor que los motores de corriente alterna y cada mantenimiento es bastante costoso. El colector y las escobillas necesitan mucha atención y cuidados.

Los motores de corriente continua presentan la ventaja de una gran capacidad para la regulación de la velocidad, lo cual los hace necesarios en ciertos tipos de aplicaciones, en los cuales se precisa un ajuste fino de la velocidad y del torque del motor. Sin embargo, presentan los siguientes inconvenientes:

Alimentación: La generación y distribución de energía eléctrica se realiza en corriente alterna. Estos motores necesitan una alimentación especial, mediante equipos rectificadores de potencia, así como en ocasiones baterías de reserva, lo cual incrementa los costos de la instalación.

Mantenimiento: Precisan un mantenimiento mayor que los motores de corriente alterna y son bastante más costosos. El colector y las escobillas necesitan mucha atención y cuidados.

Los colectores deben tener una superficie lisa y girar de forma completamente circular. Debe evitarse la aparición de fuego o chispas debajo de las escobillas, que pueden ser ocasionadas por la marcha no circular del colector, vibraciones, escobillas gastadas, etc. El colector se debe torneear periódicamente y los granos de polvo pueden rayarlo. Estas circunstancias los hacen poco adecuados para trabajar en atmósferas sucias o ambientes explosivos.

- **Motores de corriente alterna: síncronos y asíncronos**

Los motores de corriente alterna son los más empleados, dada la gran ventaja de funcionar con la forma de corriente que suministran las empresas eléctricas, no requieren pasar la corriente alterna a corriente directa, por tanto son de menor costo. Se clasifican en motores asíncronos (o de inducción) y motores síncronos. En los síncronos el eje gira a la misma velocidad que lo hace el campo magnético, en los asíncronos el eje se revoluciona a una velocidad poco menor a la del campo magnético. Los motores asíncronos basan su funcionamiento en la creación de un campo magnético giratorio en el entrehierro, debido a la circulación de corriente alterna por los devanados trifásicos y la influencia de los polos magnéticos del estator. La velocidad de giro de este campo magnético en revoluciones por minuto (r.p.m.), es:

$$n_s = \frac{120 \times f}{p}$$

donde:

f= Frecuencia de alimentación  
 p= numero de polos del devanado por minuto  
 ns= velocidad de giro, en revoluciones por minuto

Por ejemplo, si se suministra energía eléctrica a un motor de 20 HP de dos polos a una frecuencia de 60 Hz, ¿cuál será la velocidad sincronía del motor?

$$n_s = \frac{120 \times f}{p} = \frac{120 \times 60}{2} = 3600 \text{ rpm}$$

La velocidad de giro de un motor eléctrico está determinada por el número de polos magnéticos, entre más polos el motor revolucionará más lentamente. La Tabla 1 indica la velocidad de giro del campo magnético en función del número de polos para una frecuencia de 60 Hz.

| No. de polos       | 2    | 4    | 6    | 8   | 10  | 12  |
|--------------------|------|------|------|-----|-----|-----|
| Velocidad de r.p.m | 3600 | 1800 | 1200 | 900 | 720 | 600 |

Tabla 1: Numero de polos y velocidades de sincronía de los motores

La razón para utilizar motores de menor velocidad es para incrementar el torque o par que puede entregar el motor. Este término se refiere al equivalente de fuerza por distancia que es capaz de ejercer un motor en cada giro.

El giro de un motor tiene dos características: el par motor y la velocidad de giro. El par motor se expresa y mide en Newton-metro (Nm); un par de 20 Nm, es igual al esfuerzo de tracción de 20 Newtones, aplicado a un radio de un metro.

Un ejemplo práctico para comprender la diferencia entre par y potencia se observa en los pedales de una bicicleta; en donde el motor sería la persona que pedalea, y el par motor, en ese caso, la presión o fuerza que ejerce sobre los pedales. Si la persona conduce su bicicleta a una determinada velocidad fija, por ejemplo, unos 15 km/h, con un engrane grande, dando 30 vueltas por minuto; estaría generando una potencia determinada; ahora sí reduce la velocidad de giro a 15 revoluciones por minuto, para generar la misma potencia tendría que emplear el doble de par; pues deberá hacer el doble de fuerza con cada pedaleada para mantener la velocidad de 15 km/h.

La potencia puede ser calculada si se conoce el torque requerido por el equipo, mediante la siguiente ecuación:

$$Potencia = \frac{Torque (Nm \text{ o } pie - libra) \times r.p.m}{k}$$

donde:

Potencia sera expresada en HP o kW, dependiendo de las unidades empleadas K es una constante, igual a 7,124 si T esta en Nm; y 5,250 si T esta pie.libra

Por ejemplo, si el torque requerido para un agitador es de 15 Nm, y se requiere una velocidad de 3,600 r.p.m, ¿cuál será la potencia nominal del motor para satisfacer esta carga?

$$HP = \frac{15Nm \times 3,600 r.p.m}{7,124} = 7.58 HP$$

En los motores eléctricos el par aumenta para mantener la velocidad cuando la resistencia al giro es mayor, esto se logra incrementado en número de polos; en operación sí el voltaje se mantiene constante, el aumento de par incrementa la corriente consumida.

- **Motor síncrono**

Los motores síncronos sustituyen a los motores asíncronos solamente en aplicaciones que requieren características especiales. Se utilizan en grandes industrias que cuentan con aplicaciones de velocidad baja además de constante y ser de alta potencia, como: molinos, mezcladoras, trituradoras. En la pequeña y mediana empresa son prácticamente innecesarios. Una de las ventajas más importantes de los motores síncronos es que su factor de potencia puede llegar a tener valores iguales a uno, e incluso se fabrican con “cos f” capacitivo, es decir, con la intensidad adelantada respecto de la tensión, pudiéndose utilizar por tanto como generadores de potencia reactiva, compensando así la instalación y evitando recargos por consumo de potencia reactiva, es decir, disminuyendo el costo de la facturación eléctrica. La eficiencia de los motores síncronos con cos f = 0.8 en adelante es entre 0.5 a 1 % más bajo que con un factor de potencia de la unidad.

<sup>2</sup>Montgomery, D. (2009). *Introducción al motor eléctrico*, 6 edición. Arizona: John Willey & Sons, Inc

## 6.4. Partes de un motor eléctrico

Las partes de un motor eléctrico funcionan a través de los principios del electromagnetismo. Si ejecuta la electricidad a través de un cable, crea un campo magnético. Si enrolla el cable alrededor de una varilla y hace pasar electricidad a través del cable, se crea un campo magnético alrededor de la barra. Un extremo de la barra tendrá un polo magnético norte y el otro tendrá un polo sur. Los motores eléctricos pueden ser alimentados por corriente alterna (AC) o corriente continua (DC). Los motores de corriente continua fueron desarrollados en primer lugar y tienen ciertas ventajas y desventajas.

- **El rotor**  
En el estator se inserta el rotor, que suele consistir en alambre de cobre enrollado en una bobina alrededor de un eje. Cuando la corriente eléctrica fluye a través de la bobina, el campo magnético resultante empuja contra el campo creado por el estator y hace que el eje gire.
- **El estator**  
Aunque las configuraciones varían, el estator suele ser un imán permanente o una fila de imanes que recubren el borde de la carcasa del motor, que generalmente es un tambor de plástico redondo.
- **El conmutador**  
Componente importante del motor, el conmutador, que se encuentra en un extremo de la bobina. Es un anillo de metal dividido en dos mitades. Invierte la corriente eléctrica en la bobina cada vez que la bobina gira media vuelta. El conmutador invierte periódicamente la corriente entre el rotor y el circuito externo o la batería. Esto asegura que los extremos de las bobinas no se muevan en direcciones opuestas, y asegura que el eje gire en una dirección.
- **Polos Magnéticos**  
El conmutador es necesario porque el rotor giratorio obtiene su movimiento de la atracción y repulsión magnética entre el rotor y el estator. Para entender esto, imagina el motor girando en cámara lenta. Cuando el rotor se mantiene girando, el conmutador eléctrico invierte la polaridad del imán, de modo que el polo sur del rotor se convierte en el norte. El polo norte del rotor y el polo norte del estator se repelen entre sí, forzando al rotor a seguir girando.
- **Cepillos y Terminales**  
En las esquinas o extremos se encuentran los cepillos y los terminales. En donde esta es en las esquinas opuesto por donde el rotor sale de la carcasa del motor. Los cepillos envían corriente eléctrica al conmutador y normalmente están hechos de grafito. Los terminales son los lugares donde la batería se conecta al motor y envía la corriente para hacer girar el rotor.
- **Fuerza**  
La fuerza del motor (par) viene determinada por la tensión y la longitud del cable de un electroimán en el estator, cuanto más largo sea el cable (lo que significa más bobinas en el estator), más fuerte será el campo magnético. Esto significa más potencia para hacer girar

el rotor.

- Armadura

La parte giratoria del motor - que antes se llamaba rotor, soporta las bobinas de cobre giratorias.

- Estator

La carcasa y las bobinas que componen el exterior del motor. El estator crea un campo magnético estacionario.

## 6.5. Aspectos técnicos

La teoría de diseño y las características de operación de un motor eléctrico están determinadas por un amplio y variado conjunto de especificaciones técnicas. Se introducen dos aspectos críticos para entender el uso eficiente de la energía en los motores eléctricos, i.e.: pérdidas de energía y eficiencia en el uso de los motores.

### Pérdidas de energía

En la transformación de energía eléctrica en mecánica, que tiene lugar en los motores eléctricos, una parte de la energía eléctrica tomada de la red se convierte en calor, constituyendo las pérdidas del motor (Imagen 3). Las pérdidas de un motor de inducción pueden agruparse en dos bloques: las que dependen del índice de carga del motor, y las que son independientes de la carga. La magnitud de ambos tipos depende del diseño, construcción del motor, materiales y calidad del proceso de manufactura. Una distribución de las pérdidas en función de la potencia se muestra en la Tabla 2.

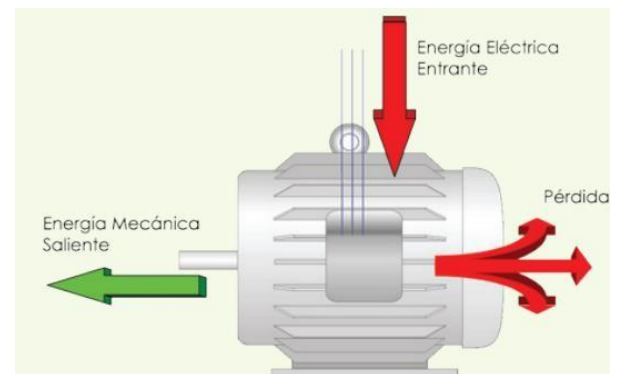


Imagen 3: Pérdidas de un motor eléctrico

| <b>Tipos de pérdidas</b>                  | <b>¿Dónde Ocurren?</b>                  | <b>¿Qué factores las determinan?</b>                                                                                                                                                         | <b>¿Cómo se disminuyen?</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Independientes del Índice de Carga</b> | Núcleo armazón, rodamientos, ventilador | 1. Tipo, calidad y cantidad del material magnético.<br>2. Capacidad de eliminar calor.<br>3. Fricción entre las partes rodantes<br>4. Tipo de material aislante                              | 1. Empleando acero de mejora calidad magnética como acero al silicio<br>2. Con una armadura diseñada para disipar mejor el calor<br>3. Utilizando un material aislante que resista mayor temperatura<br>4. Con un ventilador de enfriamiento de diseño aerodinámico<br>5. Utilizando baleros de antifricción |
| <b>Dependientes del índice de carga</b>   | Estator y Roto                          | 1. La potencia entregada por el motor reflejada por el índice de carga y la corriente eléctrica su magnitud es el cuadrado de la corriente por la resistencia eléctrica del conductor $I^2R$ | 1. Utilizando conductores de mejor calidad con menor resistencia<br>2. Con un diámetro adecuado y mayor cantidad del conductor eléctrico, más cobre<br>3. Mayor área de laminación<br>4. Espacio de entrehierro más estrecho                                                                                 |

Tabla 2: Tipos de pérdidas

## Eficiencia

La eficiencia de un motor es la relación entre la potencia mecánica de salida y la potencia eléctrica de entrada. 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:

$$Eficiencia = \frac{Potencia\ Mecanica\ de\ salida}{Potencia\ Electrica\ que\ entra}$$

$$Eficiencia = \frac{Potencia\ Mecanica\ que\ entra - Perdidas}{Potencia\ Electrica\ que\ entra}$$

El valor más alto de eficiencia es la unidad, en el caso ideal si las pérdidas fueran cero, como lo indica la segunda expresión. Los fabricantes de motores hacen innovaciones tecnológicas tendientes a disminuir las pérdidas al máximo posible empleando materiales de alta calidad y un proceso de mejora continua en la fabricación. Según la eficiencia, los motores eléctricos se clasifican en tres tipos:

1. Motores de eficiencia 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.
2. Motor de alta eficiencia: surge en la década de los años noventa, como consecuencia de contrarrestar los altos precios de la energía y por la necesidad evidente de hacer un uso eficiente y racional de la energía.
3. Motor Premium: La innovación de los motores premium se basa en elevar aún más la eficiencia de los motores eléctricos, para ello se ha perfeccionado su proceso de manufactura y se utilizan materiales de alta calidad, lo cual implica que su costo es también más elevado.

### **Tipos de carcasa**

La carcasa –o armazón- es la superficie envolvente del motor eléctrico, de la cual existen tipos diversos, donde los principales son:

**Abierto:** Una carcasa abierta con ventilador, la cual permite el paso del aire frío sobre y alrededor de los embobinados del motor, aunque este tipo se utiliza en pocas ocasiones.

**Abierto aprueba de goteo:** Es un motor abierto en el cual la ventilación impide la entrada de líquidos o sólidos al motor, en un ángulo menor a 15 grados con la vertical, ya sea en forma directa o por choque y flujo por una superficie horizontal o inclinada hacia adentro.

**Resguardado o protegido:** Es un motor abierto donde las aberturas conducen el aire de enfriamiento directamente a partes giratorias, exceptuando los ejes lisos del motor, tienen acceso limitado a sus partes mediante estructuras, parrillas o metal desplegado, etc. protegiendo el contacto accidental con partes giratorias o eléctricas.

**Aprueba de chorro y salpicaduras:** Este es un motor abierto en el cual la ventilación impide la entrada de líquidos o sólidos en cualquier ángulo menor de 100 grados de la vertical. **Abierta a prueba de lluvia:** Es abierta con conductos de ventilación diseñados para reducir al mínimo la entrada de lluvia y partículas suspendidas en el aire a las partes eléctricas del motor.

**A prueba de agua:** Es una carcasa totalmente cerrada para impedir que entre agua aplicada en forma de un chorro o manguera al recipiente de aceite y con medios para drenar agua al interior, como una válvula de retención o una abertura en la parte inferior del armazón, para conectar el drenado.

**Encapsulados:** Es un motor abierto en el cual el embobinado está cubierto con un revestimiento de material fuerte para proporcionar protección contra la humedad, suciedad y contra sustancias abrasivas.

## Aislamiento del motor

La temperatura ambiente juega un papel importante en la capacidad y selección del tamaño de un motor, ya que la temperatura ambiente influye en la elevación permisible de temperatura por sobre los 40° C normales, lo cual depende en gran medida en el tipo de aislamiento.

Por ejemplo un motor que trabaje a una temperatura ambiente de 75° C empleando aislamiento clase B tiene un aumento permisible de temperatura de 55° C. Si trabajara a su temperatura ambiente normal de 40 ° C, se podría permitir un aumento de temperatura de 90° C, sin dañar su aislamiento.

### Tipos de aislamiento

Los materiales empleados en aislamientos de motores y máquinas eléctricas pueden ser diferentes tipos, según se detallan en la Tabla 3

| Clase de Aislamiento | Productos empleados                                                                                                                  | Medio aglomerante o impregnante                                                                                   | Temperatura máxima de empleo (°C) |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| <b>A</b>             | Esmaltes de acetato de polivinilo, poliuretano. Aglomerado con celulosa                                                              | Melamina con fomaldehido, fenol con formaldehido                                                                  | 120                               |
| <b>B</b>             | Fibras de vidrio, productos de mica, esmaltes de politeraftalatos, films de policarbonato                                            | Goma, laca, compuestos asfálticos o bituminosos, resinas alkideas, resinas de poliéster, melamina y formaldehidos | 130                               |
| <b>F</b>             | Fibras de vidrio, amiato, productos de mica, fibras de poliamidas aromáticas, films de poliéster – imida                             | Resina epoxi Resinas de Poliuretano Resinas de silicona                                                           | 155                               |
| <b>H</b>             | Fibras de vidrio, amiato, productos de mica, fibras de poliamidas aromáticas y de poliamida, polietrafluoroetileno, cauchos silicona | Resinas de silicona                                                                                               | 180                               |
| <b>C</b>             | Porcelana, mica, cuarzo, vidrio u otro material cerámico, polietrafluoroetilino                                                      | Resinas de silicona                                                                                               | >180                              |

Tabla 3: Materiales aislantes

## Resistencia del aislamiento

Una vez instalado y montado el motor, debe medirse con un ohmiómetro el aislamiento a tierra y entre fases del motor. Esta prueba debe hacerse obligatoriamente cuando el motor haya permanecido mucho tiempo almacenado o fuera de servicio. Deben obtenerse como mínimo los valores siguientes:

- Motores de baja tensión

$$\text{Resistencia del aislamiento (ohmios)} = 1,000 \times \text{Tensión (Voltios)}$$

- Motores de alta tensión

$$\text{Resistencia del aislamiento (ohmios)} = \frac{1,000 \cdot \text{tension (Voltios)}}{\text{Diametro del rotor (metros)}}$$

## El par en motores de inducción

Según la aplicación mecánica que se dará al motor eléctrico, será necesario hacer corresponder el par o torque que se requiere, según se describen a continuación:

**Par a Plena Carga:** El par a plena carga es el necesario para producir la potencia de diseño a la velocidad de plena carga. El par a plena carga de un motor es a la vez base de referencia para indicar el par de arranque y el par máximo, que se expresan en un cierto porcentaje del par a plena carga.

**Par de Arranque:** El par de arranque -o a rotor bloqueado- es el torque que el motor desarrolla cuando deja la inercia.

**Par Máximo:** Es el máximo torque que desarrolla el motor, es cual se expresa como un porcentaje del torque a plena carga. El par máximo de los motores ordinarios varía entre 1.5 y 3 veces del par de plena c

# **Capitulo III.**

## **Desarrollo del proyecto**

## **7. Elaboración de ensayo de identificación de requerimientos de mantenimiento a motores eléctricos monofásicos y reparación a motores eléctricos bifásicos**

Como primera etapa de este proyecto es importante saber cuál es el problema para resolver, en caso especial los problemas que mayor destacan al hablar de motores son diversos al ser una máquina que tiene varios mecanismos que interfieren así mismo en el medio que se desempeña y su mantenimiento o cuidado que lo brindan depende mucho de qué tan dañada este la máquina.

Ese proyecto nace con la idea de solventar la cantidad de motores que son desechados o de dispositivos electrónicos que conllevan un motor. Así mismos impulsar a los procesos que llevan de por medio un motor eléctrico. Para este análisis de proyecto se definirán varios casos en el cual definiremos cual fue el error principal y si darle su solución desglosando uno a uno cuales son los errores y métodos que se utilizó para resolver dicho problema.

Y al mismo tiempo se dará explicación de los distintos cuidados que se debe de tener un motor eléctrico.

### **7.1. Monitoreo térmico de componentes**

Los motores eléctricos deben operar dentro de valores del tipo de aislamientos y condiciones para un buen funcionamiento del motor. Se recomienda que por cada  $10^{\circ}\text{C}$  que el motor trabaje por encima de su temperatura útil la vida de su aislamiento en el bobinado disminuye a la mitad por lo cual es necesario controlar el monitoreo de los equipos y partes principales del motor (rodamientos, terminales, conexiones, otros), esto permitirá determinar el incremento y falla de componentes y detectar los puntos de calor, la finalidad es obtener un mapa de zonas externas del motor donde se incrementa la temperatura y poder determinar sus posibles causas.

### **7.2 Análisis de la potencia eléctrica de suministro**

Se basa en el análisis de medición entre señales de voltaje y corriente de alimentación al motor, se puede identificar picos de voltaje, desbalances de voltaje, distorsión armónica y presencia de fallas en el devanado del estator.

Las pruebas van enfocadas en la medición y el análisis de voltaje de fases donde se puede graficar ondas en un mismo espectro para visualizar e interpretar su visualización

La eficiencia del motor, la potencia entregada por el motor es un dato importante ya que se conocerán las características del motor, así como determinar si el motor esta sobrecargado.

### **7.3. Análisis de corrientes de fase**

Este análisis se basa en la comparación de fases de los espectros en frecuencia de la corriente del motor trabajando en condiciones con carga nominal.

En este ensayo se mide simultáneamente las tres fases del motor esto permite detectar diferentes fallas en motores eléctricos.

- Fractura entre barras del rotor.
- Ruptura en anillos de la jaula de ardilla del estator y/o armadura
- Presencia de contactos fallidos entre la jaula.
- Presencia de desbalance de corriente estáticas y dinámicas del entrehierro.
- Desbalances eléctricos
- Cavitaciones en la fundición del motor

Otro factor que permite identificar la presencia de fallas en este tipo de análisis de corriente de fallas es la detección de barras rotas en el rotor la detección mediante este método se basa en el espectro de las corrientes entre fase este análisis detecta los armónicos para detectar as barras rotas, anillos fisurados, ejes de rotores torcidos, falla de rodamientos

Las pruebas que pueden realizarse cuando el motor está en trabajo en condiciones normales de funcionamiento son:

- Prueba de potencia
- Línea a línea, línea a neutro
- Desbalance del voltaje
- Corrientes de línea,
- Desbalance de corrientes de línea
- Desbalance de impedancia
- Corrientes y voltajes de secuencia positiva
- Potencia activaFactor de potencia, eficiencia

#### **7.3.1. Prueba de alta y baja resolución**

El comportamiento del campo magnético del motor puede ser una condición integral del rotor lo cual se puede evaluar mediante sus condiciones mecánicas externas del motor.

#### **7.3.2. Prueba de excentricidad**

La evaluación de condiciones de excentricidad dinámica del motor puede ser por deformación del rotor falla de rodamientos, desbalance en su estructura condiciones mecánicas irregulares en su funcionamiento, etc.

## **7.4. Diagnostico fuera de línea en motores**

En este tipo de pruebas el motor tiene que estar fuera de servicio y des energizado. Se realizaran pruebas eléctricas induciendo tenciones al motor generando distintas parámetros que permitirán emitir tendencias. Con este seguimiento el mantenimiento predictivo y preventivo permitirá alargar la vida útil del rotor reduciendo los costos de mantenimiento aumentando su fiabilidad. A continuación, se muestran las ensayos más importantes para el diagnóstico del sistema de aislamiento y variación del motor.

### **7.4.1. Resistencia óhmica**

Esta prueba inyecta corriente continua en su bobinado con tensiones bajas en los bornes. Calculando la resistencia del bobinado del estator usando a la ley de OHM.

La temperatura es un factor importante para la medición de por lo que se recomienda que la temperatura adecuad comúnmente sea de 25°C antes de comparar las diferentes medidas entre fases.

Si existe un corto entre bobinas las lecturas de resistencia serán diferentes entre sus lecturas al igual que los datos de la placa del motor.

Los problemas más comunes que pueden darse son:

- A. Empalmes con presencia de óxido o sueltos.
- B. Medida incorrecta de caja de conexiones
- C. Uniones de soldadura en mal estado entre fases.
- D. Bobinas/fases conectadas incorrectamente o dañadas

### **7.4.2. Prueba de resistencia de aislamiento**

Este ensayo mide la resistencia del aislamiento eléctrico entre las bobinas del estator y el núcleo del estator.

Consiste en aplicar corriente directa a los devanados del motor cuanto menor sea el aislamiento del motor, mayor es la probabilidad de que se manifieste un problema

El voltaje de pruebas se basa directamente en la norma IEEE std 43-2000. Esta prueba es tomada primero en 60 segundos, luego se da de minuto a minuto hasta llegar a 10 minutos, por lo general se recomienda hacerlo directamente en el punto de masa tierra y el conexionado del motor.

| <b>Voltaje nominal del motor</b> | <b>Voltaje de prueba</b> |
|----------------------------------|--------------------------|
| <b>&lt;1000 V CA</b>             | <b>500 V DC</b>          |
| <b>1000-2500 V CA</b>            | <b>500-1000 V DC</b>     |
| <b>2501-5000 VCA</b>             | <b>1000-2500 VDC</b>     |
| <b>5001-12000 VCA</b>            | <b>2500-5000 VDC</b>     |
| <b>&gt;12000 V CA</b>            | <b>5000-10000 VDC</b>    |

Tabla 4: Niveles de voltaje de prueba de aislamiento

| <b>Resistencia de aislación mínima</b> | <b>Máquina bajo ensayo</b>                                                                           |
|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>R1 min =kV+I</b>                    | La mayoría de bobinados fabricados antes de 1970, bobinados de campo y otros no descriptos más abajo |
| <b>R1 min = 100</b>                    | Para bobinados fabricados posteriormente a 1970                                                      |
| <b>R1 min = 5</b>                      | Para bobinados con tensión nominal inferior a 1 kV                                                   |

Tabla 5: valores mínimos para la resistencia de aislamiento de 40°C

La resistencia de aislamiento puede estar afectada por variables como condiciones físicas del aislamiento, humedad, temperatura, contaminación, degradación del aislamiento etc.

Calculo La resistencia de aislamiento usando la ley de ohm.

$$R_{\text{aislamiento}} = \frac{-b \pm V_{\text{prueba}}}{1}$$

V= Voltaje de prueba

I= Corriente

R= Resistencia de aislamiento

### 7.4.3. Fatiga eléctrica

Las caídas o sobre voltajes ocasionaran fatigas anormales que afectaran el aislamiento, el bobinado creando agrietamiento o deterioro del aislamiento.

#### 7.4.4. Fatiga mecánica

El aislamiento puede ser afectado por daños mecánicos vibraciones golpes externos etc.

#### 7.4.5. Ataque químico

El ambiente en el que están estos equipos puede ser un agente que dañe el aislamiento como son la humedad, la corrosión los vapores y suciedades como aceites o líquidos degradantes.

#### 7.4.6. Fatiga térmica

Abarca una serie de factores y agentes desde la humedad el medio ambiente los cambios bruscos de temperatura. Un motor en condiciones normales puede tener un tiempo de funcionamiento aceptable.

### 7.5. Prueba De Índice de Polarización y Absorción Dieléctrica

El índice de polarización (IP) puede determinar el estado de aislamiento de un motor.

Mide el tiempo que las moléculas del aislamiento necesitan para alinearse (polarizarse) y poder resistir el flujo de corriente.

La prueba de índice de absorción se da juntamente con la prueba de aislamiento. El índice de polarización se puede calcular mediante la fórmula:

$$PI = \frac{IR(10min.)}{IR(1 min.)}$$

- PI = Índice de polarización
- IR = Resistencia de aislamiento al cabo de 10 minutos
- IR = Resistencia de aislamiento al cabo de 1 minuto

El índice de polaridad realiza la interpretación de la temperatura más independiente de otras pruebas por lo cual el IP es indiferente de la temperatura

La prueba de índice de absorción nos permite usar la corriente de absorción como medida para el exceso de corrientes de fuga y conducción. Si estas corrientes son mayores que las corrientes de absorción su índice será cercano a uno si esto sucede es muy probable que haya posibilidades de descarga superficiales por otro lado si son bajas con respecto a su absorción en un minuto el IP será mayor que 2 y es posible que exista un tracking.

Si existe un decaimiento en la corriente en un intervalo de 10 minutos esto es por la corriente de

absorción y la conducción son menores.

Maneras de interpretación de valores de resistencia de índice de polarización

a) Si R1 es inferior al mínimo

No se debe realizar ensayos de alta tensión o mandarlo al servicio al estator bobinado ya que puede empezar a presentar fallas.

b) El mínimo para R1 se corrige a 40oC.

No es válida una corrección mayor que 10 – 20 °C.

Para motores actuales, si se mide una R1 muy alta (más de 5 Gohm), el IP no aportará ningún dato acerca del estado de la aislación.

Si la resistencia de aislación o el IP están por debajo del mínimo en un estator es posible que haya contaminación o humedad excesiva.

| Clase de<br>aislamiento | Grado<br>Protección | Temp.<br>Amb. | Incremento<br>de<br>temperatura | Tolerancia<br>de punto<br>caliente | Temp. Total<br>Sistema |
|-------------------------|---------------------|---------------|---------------------------------|------------------------------------|------------------------|
| <b>A</b>                | ABIERTO             | 40°C          | 50°C                            | 15°C                               | 105°C                  |
|                         | CERRADO             | 40°C          | 55°C                            | 10°C                               | 105°C                  |
| <b>B</b>                | ABIERTO             | 40°C          | 70°C                            | 20°C                               | 130°C                  |
|                         | CERRADO             | 40°C          | 75°C                            | 15°C                               | 130°C                  |
| <b>C</b>                | ABIERTO             | 40°C          | 90°C                            | 25°C                               | 155°C                  |
|                         | CERRADO             | 40°C          | 95°C                            | 20°C                               | 155°C                  |
| <b>H</b>                | ABIERTO             | 40°C          | 110°C                           | 30°C                               | 180°C                  |
|                         | CERRADO             | 40°C          | 115°C                           | 25°C                               | 180°C                  |

Tabla 6: Índice de Polarización a 40Oc

La prueba de absorción dieléctrica (AD) permite detectar humedad dentro del motor mostrar la condición de humedad dentro del mismo.

La realización esta prueba se puede reducir su tiempo de prueba de 10 minuto a 3 minutos para la prueba PI.

Los niveles de índice de polarización y absorción dieléctica obtenidos y el voltaje de que se aplicara dependerán del tipo y clase de aislamiento que presente el motor así como la temperatura y voltaje que se apliquen en prueba.

| <b>Índices de polarización (PI)</b> |           | <b>Absorción dieléctrica (AD)</b> |            |
|-------------------------------------|-----------|-----------------------------------|------------|
| <b>Peligro</b>                      | <1.0      | <b>Peligro</b>                    | <1.1       |
| <b>Pobre</b>                        | 1.0 a 1.4 | <b>Pobre</b>                      | 1.1 a 1.24 |
| <b>Cuestionable</b>                 | 1.5 a 1.9 | <b>Cuestionable</b>               | 1.25 a 1.3 |
| <b>Mínimo aceptable</b>             | 2.0 a 2.9 | <b>Mínimo aceptable</b>           | 1.4 a 1.6  |
| <b>Bueno</b>                        | 3.0 a 4.0 |                                   |            |
| <b>Excelente</b>                    | >4.0      | <b>Excelente</b>                  | >1.7       |

Tabla 7: Interpretación de los resultados arrojados en las pruebas de PI y AD

#### 7.4.1. Prueba de aislamiento por incremento de voltaje

Se basa en incrementar el voltaje de prueba para someter la resistencia de aislamiento a fases de tensión y compáralo en cada nivel su comportamiento para verificar que la resistencia de aislamiento este constante. El principio de esta prueba en mostrar comportamientos similares de resistencia en diferentes tensiones resistencia mientras que un mal estado de aislamiento se mostrara caídas en el valor de su aislamiento cuando la tensión se incremente Se suele hacer el aislamiento en cinco saltos de tensión por lapsos de un minuto.

### 8. Claves para un correcto mantenimiento

Los motores eléctricos como se ha recalcado antes son parte importante del equipamiento de una empresa. Sin importar la industria, este tipo de propulsores juega un papel clave para la productividad, así como su mantenimiento.

En su afán de mantener su operatividad sin interrupciones, el mantenimiento debe realizarse constantemente y de manera planificada para evitar problemas futuros. Aunque se puede interpretar que el funcionamiento de un motor eléctrico puede ser tan o más sencillo que uno de combustión interna, un mantenimiento deficiente es una condena para ese tipo de motores, ya que difícilmente pueden volver a su estado original, a menos que se reemplacen casi todos sus componentes internos, lo que fácilmente nos lleva a concluir que el costo de una avería no es algo menor. Por eso, la clave es buscar que los motores eléctricos entreguen su máximo potencial, por el mayor tiempo posible. Y para eso se plantea realizar una planificación estratégica del mantenimiento.

## **¿Qué mantenimiento realizar?**

Existen dos caminos a la hora de optar por el mantenimiento de cualquier motor eléctrico. Sea preventivo o correctivo, ambos buscan garantizar un correcto funcionamiento, evitando o reparando averías y extendiendo al máximo su vida útil. Sin embargo, existen diferencias entre uno y otro.

El mantenimiento preventivo, como su nombre lo indica, se realiza de manera periódica y su objetivo es prevenir averías que interrumpen la operación del motor. Se debe realizar de manera planificada, verificando el funcionamiento y realizando procedimientos de ajustes, lubricación, revisión y reposición de piezas, siguiendo las recomendaciones del fabricante en función de la carga de trabajo del motor.

La opción del mantenimiento correctivo entra en acción cuando se produce una falla en el motor que interrumpe su funcionamiento o provoca daños que impiden su plena operatividad. Dada su naturaleza impredecible, es importante minimizar su efecto. Para lograrlo, es fundamental contar con los repuestos necesarios para su reparación y tener personal calificado para ejecutar el trabajo en el menor tiempo posible.

Cuando se trata de motores eléctricos, es recomendable priorizar el mantenimiento predictivo por sobre el correctivo. Primero porque al realizar revisiones periódicas se reduce el margen de posibles fallas y se asegura que funcionen siempre al máximo de sus capacidades. Y por último, porque cuando un motor eléctrico comienza a fallar, es demasiado tarde.

## **Pauta para mantenimiento efectivo de un motor eléctrico**

Posteriormente se da una serie de consejos que se deben seguir para realizar el mantenimiento de un motor eléctrico de una manera efectiva y que compartimos a continuación:

- **Revisión visual cada componente**

Un simple recorrido visual por un motor eléctrico basta para identificar detalles importantes que requieran mantenimiento.

La observación ocular permite descubrir indicios de sobrecalentamiento y otras condiciones que inducen a fallas. Sin embargo, los otros sentidos también juegan un rol clave, detectando olores, ruidos excesivos, vibraciones, entre otros signos.

- **Detección de vibraciones**

Las piezas en movimiento que componen un motor eléctrico pueden generar ruidos y vibraciones nocivas que afectan su óptimo funcionamiento.

Por lo general, las vibraciones se producen en las partes mecánicas de estos propulsores y no son fáciles de detectar. Una forma de identificarlas es haciendo funcionar el motor desconectado de las piezas que le corresponde mover y realizar algunas pruebas con instrumentos que ayuden a identificar qué provoca la vibración.

- **Funcionamiento de rodamientos**

Los rodamientos son responsables del movimiento de alguna pieza, por lo que si presentan ruidos o vibraciones pueden estar indicando potenciales problemas.

Mala lubricación, acumulación de polvo y desgaste son algunas de las causas más comunes, así como el sobrecalentamiento de la carcasa de un rodamiento.

En algunos casos, una simple limpieza y engrase o lubricación puede resolver el problema, pero muchas veces hará falta el cambio de rodamientos para realizar el mantenimiento, por lo que se recomienda conocer los requisitos de cada tipo de rodamiento para ejecutar el trabajo correspondiente.

- **Limpieza y lubricación periódica**

La temperatura es clave para el funcionamiento de un motor. Y cuanto mayor sea el calor que se genere, mayor riesgo de problemas. El polvo además es un enemigo de los motores eléctricos, ya que funciona como aislante y provoca el aumento de la temperatura y esto provoca mayor desgaste de los rodamientos. Junto con el óxido, afecta también los relés y contactos, por lo que hay que limpiarlos muy bien.

La corrosión también es un factor de riesgo que hay que evitar, por lo que se necesita lubricar cada componente para protegerlo. Sin embargo, el exceso de lubricación afecta los bobinados, por lo que el lubricante debe ser aplicado en su justa medida.

- **Prueba el bobinado del motor**

El sobrecalentamiento de un bobinado es un riesgo de daños graves. Para probar un bobinado es necesario desmontar el motor. Así se pueden detectar averías o fallas en los devanados.

La recomendación aquí consiste en rebobinar el motor. Probar el aislamiento revela información sobre el nivel de resistencia.

## **Software de mantenimiento: Un aliado imprescindible**

Al igual que en otros equipos, el trabajo de mantenimiento de un motor eléctrico es vital para la productividad de una empresa y requiere de atención especializada para una gestión eficiente.

Dadas las grandes cargas de trabajo y el volumen de información que debe manejarse en la gestión de mantenimiento de un motor eléctrico, contar con un software para apoyar el trabajo humano es clave.

Al contar con este tipo de apoyo digital, existe una serie de funciones que se pueden realizar con mayor rapidez y precisión:

- Respaldo el estado actual de cada motor
- Generar un registro de trabajos de mantenimiento
- Recopilar informes de fallas
- Planificar y programar el mantenimiento
- Generar órdenes de trabajo automáticas
- Controlar y medir el trabajo de cada profesional encargado de estas tareas
- Administrar inventario de repuestos

La ventaja de contar con un software para el mantenimiento de un motor eléctrico permite organizar, planificar, medir y corregir el trabajo de una forma más rápida y eficiente, optimizando los recursos humanos y técnicos de una empresa.

Debido a multiplicidad de opciones, es importante evaluar el tipo de solución que se necesita, considerando que existe la posibilidad de customizar un software para atender a los requisitos específicos de una empresa.

Debido a la facilidad de manejo y la rapidez en el procesamiento de la información, el apoyo de un programa digital es de gran ayuda cuando se trata de evitar fallas inesperadas que pueden poner en jaque toda la operación de una empresa, simplemente porque se produjo una falla en un

rodamiento u otra pieza de un motor eléctrico.

Mantener este tipo de equipos, así como otros que inciden en la productividad de una organización, resulta ser una decisión estratégica fundamental. Por lo tanto, tener un plan para llevar a cabo este trabajo debe ser un pilar entre las decisiones de los ejecutivos para evitar sorpresas desagradables.

## 9. Placa de datos

La placa de identificación de motores eléctricos, su DNI. Todo motor eléctrico trae una placa metálica con mucha información sobre las características específicas del motor, compuesta de códigos y números, que no siempre son fáciles de entender. El entender la información de esa placa nos permite conocer las prestaciones del motor eléctrico y evaluar si encaja o no con nuestras necesidades.

La placa de identificación de motores eléctricos

En la imagen 4 se puede ver una placa de identificación de motores eléctricos, con los distintos información que suele mostrar.

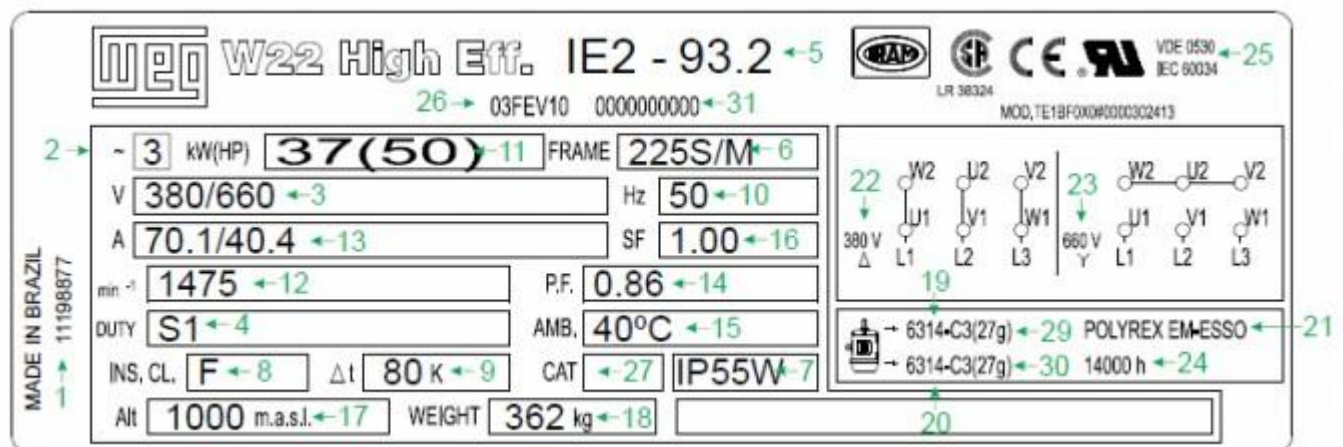


Imagen 4: Placa de identificación de motores eléctricos

- 1- Código de motor
- 2- Número de fases
- 3- Tensión nominal de operación
- 4- Régimen de servicio
- 5- Eficacia
- 6- Tamaño de la carcasa

- 7- Grado de protección
- 8- Clase de aislamiento
- 9- Temperatura de la clase de aislamiento
- 10- Frecuencia
- 11- Potencia nominal del motor
- 12- Velocidad nominal del motor en RPM
- 13- Corriente nominal de operación
- 14- Factor de potencia
- 15- Temperatura ambiente máxima
- 16- Factor de servicio
- 17- Altitud
- 18- Peso del motor
- 19- Especificación del rodamiento delantero
- 20- Especificaciones del rodamiento trasero
- 21- Tipos de cargas de los rodamientos
- 22- Diagrama de conexión para tensión nominal
- 23- Diagrama de conexión para tensión de arranque
- 24- Intervalo de lubricación en horas
- 25- Certificaciones
- 26- Fecha de fabricación
- 27- Categoría de par
- 28- Número de serie
- 29- Cantidad de grasa en el rodamiento delantero
- 30- Cantidad de grasa en el rodamiento trasero

## 10. Motor con fallo en el capacitor de arranque.

Para esta reparación de motor de un monofásico tenemos las siguientes especificaciones donde en la imagen 5 muestra la placa de datos:



Imagen 5: Placa de datos de un motor de C.A

**Motor de C.A**

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| <b>Modelo</b>             | CGP-112    |
| <b>Potencia</b>           | .746kw/1cp |
| <b>Volts</b>              | 127        |
| <b>Continuos</b>          | SI         |
| <b>Amp C.N</b>            | 14         |
| <b>Amp F.S</b>            | 16/7.6     |
| <b>FS</b>                 | 12         |
| <b>R.P.M</b>              | 3450       |
| <b>Fases</b>              | 1          |
| <b>Amb max</b>            | 40°C       |
| <b>Protección técnica</b> | SI         |
| <b>No. De serie</b>       | 281        |

Tabla 8: especificaciones del motor

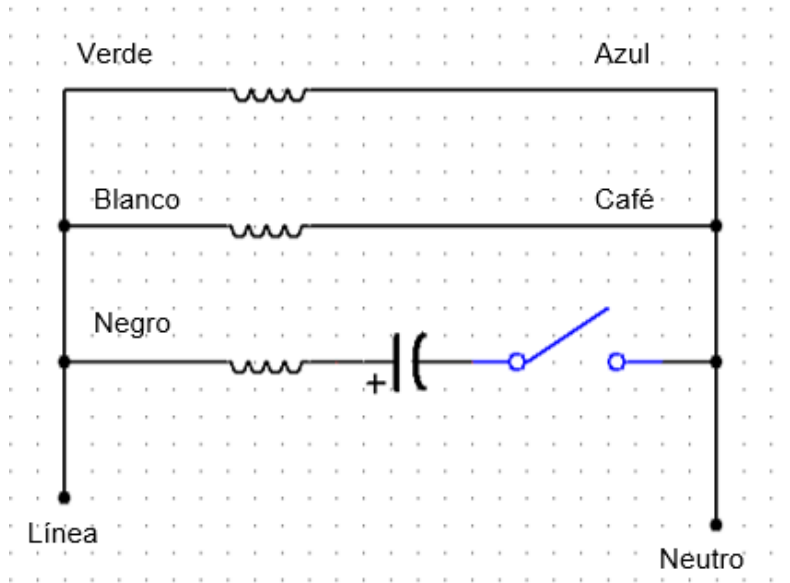


Imagen 6: Diagrama de conexión para el motor



Imagen 7: Colocación del capacitor de arranque al motor C.A

## 11. Limpieza a motor.

Para este caso se nos presenta un caso en el cual un motor proveniente de una fábrica textilera presenta acumulación de borra y suciedad en los devanados del motor (Imagen 8). Al ingresar un motor a con un uso de utilidad amplio se recomienda unos puntos clave antes para determinar si aun es viable para el cliente seguirlo utilizando y si así ampliamos mas su vida útil, o si es recomendable la adquisición de otro motor.

### Puntos clave

- Realizar todas las pruebas usando el mismo probador.
- Asegurar que las pruebas se realizan de forma adecuada y dentro de los rangos de operación recomendados por el fabricante del equipo de pruebas que se está usando.
- Realizar pruebas:
  - Antes del quemado.
  - Después de limpiar el núcleo y antes del bobinado.
- Recordar que los resultados obtenidos son para comparar y no corresponden con las pérdidas reales.
- Si las pérdidas en el núcleo aumentan más de un 20%:
  - Asegurarse que los ajustes del probador de núcleos no han sido modificados y repita la prueba.
  - Si la nueva prueba confirma que las pérdidas son elevadas, reparar el núcleo o considerar su reemplazo.



Imagen 8: Motor con necesidad de mantenimiento

Para lo consecuente se hizo una limpieza quitando todo el exceso de suciedad con cepillos y pinzas e ir puliendo exceso de grasa que se encontraba en los devanados. Fue cosa de horas para que el motor quedara limpio (Imagen 9 y 10).



Imagen 9: Finalización de limpieza de motor



Imagen 10: Finalización de limpieza de motor.

## 12. Cambio de bobinado en un motor.

Para este caso se nos pide la reparación de un motor que en donde se debe de hacer el cambio de bobina debido a que hubo un corto provocando el quemado de sus devanados. En este ejemplo desglosaremos mas a detalle los pasos que a seguir debido a que es un problema mas serio y del cual podemos sacar mas provecho definir a profundidad la composición de un motor.

### Toma de datos del bobinado

Es importante tomar nota de forma precisa y permanente de todos los detalles del antiguo bobinado. También es buena idea comparar todos los datos del bobinado con los almacenados a través del tiempo en un banco de datos. Es indispensable rellenar de forma correcta los datos para asegurar que el bobinador pueda duplicar el bobinado y los ingenieros puedan comprobar si los datos tomados son los apropiados. Nota: Si el motor ha sido anteriormente bobinado, es posible que los datos del devanado no sean los originales y que estos no sean correctos para el motor. Por esto, se debe tratar de verificar los datos tomados con otras fuentes (p. ej. su propio banco de datos, la base de datos de EASA o con el mismo fabricante del motor).



Imagen 11: Placa de datos del motor A.C

### Datos del bobinado

|                             |                   |
|-----------------------------|-------------------|
| Tipo de bobinado            | Capa sencilla     |
| Numero de ranuras           | 36                |
| Numero de polos de arranque | 2                 |
| Numero de polos de trabajo  | 2                 |
| Calibre de cable (Arranque) | #18               |
| Calibre de cable (Trabajo)  | #20               |
| Espiras                     | 20C/u             |
| Pasos                       | 1-3<br>1-6<br>1-9 |

Tabla 9: Datos específicos del bobinado a realizar

## **Métodos para retirar el aislamiento de las ranuras**

Existen varios métodos para retirar el aislamiento de las ranuras después de realizar el quemado del núcleo.

- Raspado cuidadoso, usando un cuchillo afilado para separar los aislamientos que permanecen adheridos en las ranuras del núcleo.
- Lavado con alta presión, usando una máquina lavadora de alta presión de uso comercial o doméstico.
- Limpieza abrasiva, utilizando materiales medianamente abrasivos como cáscaras de nuez, mazorca triturada o gránulos plásticos. Realizar la limpieza con materiales más abrasivos como arena, piedra triturada, gránulos de cerámica o aún gránulos de vidrio pueden causar cortos en la superficie de las láminas, lo que incrementará las pérdidas en el núcleo y las pérdidas adicionales.
- Con cepillo metálico, usando un cepillo de alambre mediano/suave.

Al mismo tiempo se tiene que hacer limpieza en el núcleo y el estator para que no quede ningún residuo libre que pueda obstruir el funcionamiento.

## **Puntos clave en la limpieza del núcleo del estator**

Los métodos más adecuados para realizar la limpieza de las ranuras del estator incluyen:

- Raspado cuidadoso utilizando un cuchillo afilado.
- Lavado con alta presión.
- Limpieza con un material medianamente abrasivo.
- Cepillado con un cepillo de alambre medio/suave.
- Después de limpiar las ranuras:
- Reposicionar los dientes dañados.
- Reparar los daños menores de las superficies de los entrehierros.
- Si ha ocurrido un daño severo, reemplace o re-aísle re-apile los núcleos.

## **Método para sacar medidas de los aislantes**

Para conseguir la medida exacta se sacarán medidas de los espacios de las ranuras, en este caso son:

$L_x$  = Longitud de la ranura +2cm

$H_{x1}$  = Altura de la ranura

$H_{x2}$  = Altura de la ranura 2

$b_x$  = Longitud de base de la ranura.

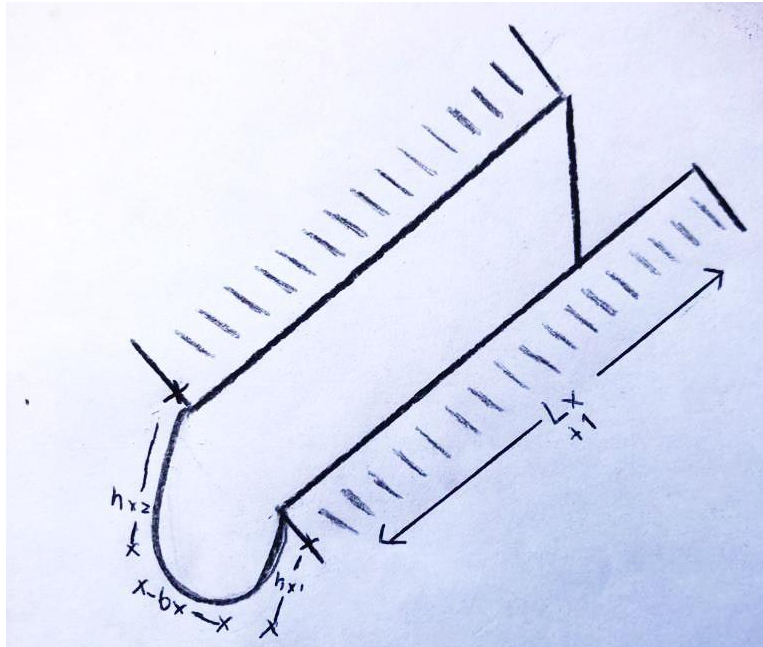


Imagen 12: Representación de una ranura de un motor

Nota: En el caso de la longitud de la ranura se le aumentara 2cm a la longitud total ya que esta misma al final de cada borde lleva una pestaña para que el aislante se sujete.  
 En la imagen 12 se extrajeron los aislantes y se sacaron moldes para verificar que sea la correcta medida y posteriormente y sacando los moldes con el papel aislante.



Imagen 13: Colocación de aislantes de ranuras

## Rebobinado del motor

Para reparar un motor se muestran dos opciones para realizar el nuevo bobinado:

- Copiar (duplicar) el bobinado existente en el motor (siempre que este sea el original).
- Escoger otro tipo de bobinado que funcione igual o mejor que el original.

La mayoría de los reparadores tiene la habilidad para rediseñar los bobinados de los motores y hacerlos más eficientes. No obstante, la mayoría de las veces, lo mejor para mantener la eficiencia del motor es duplicar el bobinado original, incrementando tanto como sea posible la sección de los alambres, y manteniendo las cabezas del bobinado lo más cortas posible (desde luego, no más largas que las originales). No obstante, hay que tener en cuenta que en algunos diseños la longitud de las cabezas del bobinado es crítica para realizar la disipación del calor; si estas cabezas son muy cortas, la temperatura del bobinado puede incrementarse, con el correspondiente aumento de las pérdidas  $I^2R$ .

Cuando el volumen de producción justifica los costos, los fabricantes de motores utilizan bobinadoras y máquinas de inserción automáticas para producir motores con bobinas concéntricas. A menudo, los reparadores encuentran que los devanados excéntricos/imbricados son más fáciles de hacer y más rápidos de instalar.

### Puntos clave para copiar el bobinado

- Verificar que el antiguo bobinado es original.
- Usar la misma configuración del bobinado.
- Mantener la longitud de las cabezas de bobina tan cortas como sea práctico.
- Utilizar bobinas con cabezas de la misma longitud (preferiblemente menor).
- Usar el mismo paso (o pasos).
- Utilizar las mismas espiras/bobina.
- Usar alambres con la misma sección (preferiblemente aumentar la sección total transversal de la espira).
- Utilizar bobinas de igual LME o más cortas.
- Verificar que la resistencia (corregida por temperatura) del nuevo bobinado es igual o menor a la del antiguo bobinado.

### Realizar el molde de la nueva bobina

Antes de sacar las bobinas del estator, es necesario hacer el molde para las nuevas bobinas; sacando provecho de las bobinas quemadas que están elaboradas y metidas en las ranuras. Para este proceso se toma un pedazo de alambre y poniéndolo encima de alguna bobina, se le va dando la forma de la bobina como se muestra en la figura<sup>13</sup>

Se debe realizar un molde para cada bobina del grupo, ya que no serán del mismo tamaño. Se pueden tomar datos faltantes de grupos. números y paso de bobina.



Imagen 14: Molde de los 3 pasos de bobinas

Para hacer los bobinados usamos un método convencional, (Imagen 14) con la ayuda de un soporte colocamos nuestro alambre de molde y vamos dando los giros ocupados para cada bobinado, y para hacer el cambio de bobinado dejamos de espacio 2 dedos, que es el promedio de espacio que lleva entre pasos de bobina así hasta a completar el número de vueltas de cada bobina.

Recordar que para el numero de pasos de este bobinado es 1-3,1-6,1-9. Es por eso que tenemos 3 moldes a seguir dando el primer molde de la imagen 13 de izquierda a derecha siendo el paso 1-3, el consecuente de 1-6 y el ultimo de 1-9. Cada una con 20 vueltas. Esas serán las instrucciones a seguir en el proceso de bobinado.



Imagen 15: Realización de las bobinas

Una vez teniendo todos los bobinados con sus pasos número de vueltas correctas pasaremos a la colocación en el estator del motor.

Teniendo en cuenta que para este motor hay que colocar las bobinas de arranque de trabajo siendo así primero colocar la de arranque y posteriormente la de trabajo y tener cuidado que los principios y final de bobina los identifiquemos es recomendable colocar una etiqueta para que a la hora de hacer las conexiones tengamos en cuenta a que bobinado pertenece.

En la imagen 14 podemos apreciar la colocación de las bobinas con su número de pasos respectivos, es importante acomodar y darles forma a las bobinas para que después a la hora de amarrarlos tengan una forma uniforme.



Imagen 16: Colocación de las bobinas en el estator.



Imagen 17: Etiquetar los principios y finales de bobinas

Para posteriormente tener pasar a una técnica de amarre para sujetar las bobinas de arranque y trabajo y que estas mismas no pierdan su posición y evitar algún enredo a la hora de accionar el motor el trabajo realizado se muestra en la imagen 16.



Imagen 18: Amarado de bobinas.

## **Barnizar**

Esta es la etapa final del proceso, para barnizar se puede hacer uso de un inyector, se deben barnizar todas las bobinas por todas las partes incluso los lados de bobina que van por dentro de las ranuras. Después de haber barnizado, se deja que el barniz se seque y luego se procede a ponerle las tapas procurando colocarlas en el mismo orden que tenían al principio (tener en cuenta las marcas realizadas en las tapas y la carcasa del estator), y también tener precaución de apretar los tornillos en cruz para que la tapa del motor vaya ajustando igual por todas las partes, y no quede un lado más ajustado que otro.

## **Consideraciones a tener en cuenta**

- Cuando se está introduciendo las bobinas en las ranuras del estator, se debe tener cuidado de no pelar el esmalte del alambre de cobre con las esquinas de las ranuras.
- También se debe tener cuidado cuando se esté cuñando las bobinas, ya que las cuñas se pueden pelar con las esquinas de las ranuras, y después de haber cuñado se debe revisar que no hayan quedado alambres por fuera, es decir sin cuñar.

- Para empalmar se debe pelar el esmalte que recubre al alambre de cobre, lo anterior se hace quemando el esmalte y lijándolo, antes de unirlos alambres que se empalman se le mete un tubo protector (espagueti) a uno de ellos para después cubrir el empalme.
- En la mayoría de los casos es necesario cambiar los rodamientos del motor para que quede con un mejor desempeño, aun así los rodamientos parezcan buenos es conveniente cambiarlos y garantizar la eficiencia del motor.
- Conocida la metodología utilizada en este proceso de rebobinado, se puede ver con claridad que no se necesita un gran taller ni maquinaria para realizar el rebobinado de un motor, solo se necesitan los materiales fundamentales.
- Se aprende una metodología que no es mostrada de manera específica y concreta en los libros si no que es aprendida de forma empírica de personas que han trabajado mucho tiempo en el rebobinado de motores.
- Se obtienen más ventajas rebobinando un motor que cambiarlo en su totalidad, ya que se pueden hacer modificaciones que el cliente o el usuario requieran y además solo se invierte en la parte del rebobinado.
- El trabajo de rebobinado es algo muy rentable debido a que muy pocas personas lo hacen, lo que es bueno para la generación de empleo.

### **13. Reparaciones mecánicas que pueden afectar la eficiencia**

#### **13.1. Reparación de los núcleos**

##### **a) Estator**

- Esmerilados que causan daños en las superficies del núcleo.
- Esmerilado excesivo del núcleo.
- Uso de fuerza desmedida para reparar los dientes deformados.
- Reducción del número de láminas del núcleo.
- Reapilamiento incorrecto.

##### **b) Rotor**

- Esmerilado de su superficie.
- Mecanizado del rotor con una herramienta sin filo o a una velocidad superficial incorrecta (p. ej. fricción de las láminas entre sí).
- Entrehierro excesivo.
- Realización de un diagnóstico equivocado de fallas o realizar reparaciones de las barras rotas o anillos de la jaula.

#### **13.1.2. Reparaciones del eje**

- Fallas al mecanizar los ajustes de los asientos de los rodamientos.
- Fabricación de un eje nuevo con materiales que tienen propiedades magnéticas diferentes.

### **13.1.3. Reparaciones de los alojamientos**

- Reparaciones de las superficies de ajuste o encaje de la carcasa con las tapas o de los anillos de ajuste de las tapas con la carcasa, que presenten errores de concentricidad.
- Errores al mecanizar los ajustes correctos en alojamientos de rodamientos que han sido reconstruidos.
- Instalación de una nueva carcasa que tenga demasiado ajuste de interferencia con el núcleo del estator (incrementa las pérdidas rotacionales en el núcleo). La norma empírica dice que el ajuste de apriete debe estar ente 0.10-0.15 mm (0.004 y 0.006 pulgadas). Para mayor referencia, ver la EASA Standard AR100-2015, Ver 9.4). Si hay poco ajuste, se anula la transferencia de calor con el núcleo y las pérdidas del devanado del estator se elevarán.
- Errores al limpiar los conductos de aire o ductos de ventilación obstruidos. Errores al reparar o reemplazar las aletas de refrigeración rotas o faltantes.

### **13.1.4. Rodamientos y sellos**

- Mala selección de los rodamientos.
- Mala instalación de los rodamientos.
- Problemas al lubricar los rodamientos (grasa equivocada, mezcla de grasas o usar mucha grasa).
- Instalación de un tipo de sello incorrecto.
- Ajuste incorrecto de los sellos.

### **13.1.5. Ventiladores y cubiertas de protección**

- Instalación de un ventilador inadecuado o instalar el ventilador o la cubierta/tapa de protección en la posición incorrecta (la distancia entre el ventilador y la cubierta/tapa de protección no es la apropiada).
- No reemplazo de un ventilador dañado (p. ej. que le falten aletas o que estén rotas).
- Instalación de una tapa/cubierta de ventilador inadecuada.
- No asegurarse que la entrada al ventilador está libre de polvo u otro material que puede reducir el flujo de aire.

## **13.2. Ensamble del motor**

Ciertos pasos del proceso de ensamble pueden causar impacto sobre la eficiencia al probar el motor.

- Lubricación de los rodamientos. Durante este paso crítico, lo más importante es determinar la cantidad de grasa a utilizar para llenar la cavidad del rodamiento. El estudio realizado por EASA/AEMT determinó que el exceso de grasa puede incrementar las pérdidas por fricción en el orden de 500 Watts. El motor debe funcionar 8 horas o más para purgar la cantidad de grasa necesaria para reducir estas pérdidas. Todos, tanto el diseño de la cavidad, las tolerancias de montaje con el eje y la viscosidad de la grasa, afectan la capacidad del motor para purgar la grasa. Por lo tanto, no es posible predecir el tiempo requerido por un determinado motor para normalizar las pérdidas por fricción.

- Arandelas de presión/onduladas. Durante el proceso de ensamble, particularmente en los casos en los que el rodamiento se encuentra muy ajustado dentro del alojamiento, el rodamiento podría pre-cargarse, incrementando así las pérdidas por fricción hasta que el motor haya alcanzado su ciclo térmico varias veces. Hacer funcionar el motor sin carga durante largos períodos no dará solución a esta condición, ya que la expansión térmica del eje es mínima, hasta que el motor alcance la temperatura aproximada de operación a plena carga. Por esto, es necesario asegurarse que la arandela de presión se encuentra correctamente instalada.
- Ventiladores y deflectores (tolva) de aire. La posición de montaje de los ventiladores externos (en los motores TEFC/IP 54, IP 55), puede afectar la efectividad de la refrigeración y, por consiguiente, la resistencia del bobinado. En los motores ODP (IP 11, IP12), es también probable que las posiciones relativas de las aletas de ventilación del rotor y de los deflectores de aire afecten la temperatura del bobinado. El no realizar el montaje de los deflectores de aire puede provocar efectos significativos sobre el sistema de enfriamiento. Por supuesto, los ventiladores de diseño unidireccional deben ser montados adecuadamente teniendo en cuenta la dirección de rotación del motor.
- Manipulación. Los daños físicos provocados en las superficies de los entrehierros del rotor y del estator pueden incrementar las pérdidas adicionales con carga y una manipulación brusca del motor puede dañar las superficies de los entrehierros, lo que puede elevar las respectivas pérdidas en el núcleo.
- Pintura. Finalmente, se tiene que verificar que, al pintar el motor, los orificios de ventilación no quedan obstruidos. No obstante, este es un punto de poca importancia, dado que particularmente esto solo es posible cuando se instalan rejillas anti roedores en los orificios.

### **13.3. Consejos de reparación**

Para la comodidad del personal del centro de servicio, la mayoría de la información contenida en esta sección ha sido extraída de otras partes de esta guía. El material referente a “Verificación de la confiabilidad de la reparación” resulta especialmente beneficioso cuando las circunstancias no permiten realizar un procedimiento de pruebas más completo.

#### **13.3.1. Pérdidas del motor y eficiencia**

Es importante entender por qué algunos procesos de reparación pueden afectar la eficiencia de un motor y cómo las buenas prácticas la pueden conservar o aun mejorar. Aunque, lo primero es que sirve de ayuda recordar que la eficiencia es la medida de la cantidad de energía de entrada (electricidad) que el motor convierte en trabajo útil vs. la cantidad de energía que desperdicia (en calor). La energía desperdiciada, mucha de ella en forma de calor (llamada pérdidas), tiene varios componentes: pérdidas en el bobinado del estator, pérdidas en el núcleo del estator, pérdidas en el rotor, pérdidas adicionales.

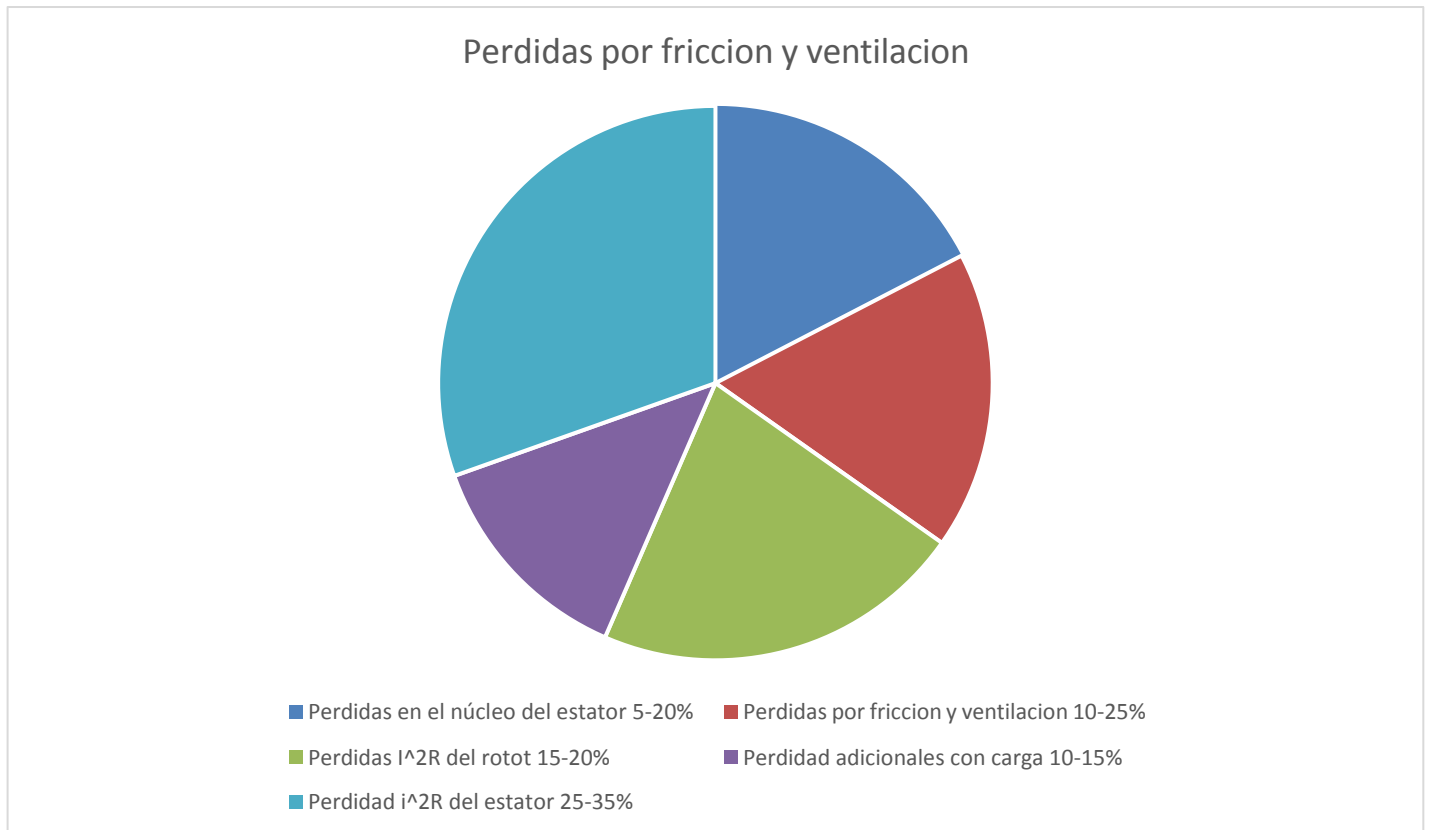


Diagrama 1: En los motores del estudio realizado las pérdidas en el núcleo laminado, en el rotor y en los devanados ascienden a más del 75% de las pérdidas totales.

### 13.3.2. Pérdidas: Menos calor significa mayor eficiencia

En el diseño de los motores de alta eficiencia, los fabricantes tratan de reducir las pérdidas (energía desperdiciada en forma de calor). Por consiguiente, su objetivo es el de producir un motor que opere con un mínimo incremento de temperatura.

Para lograrlo, los fabricantes se concentran en las zonas del motor donde la potencia se pierde en forma de calor, fricción o ventilación. Por ejemplo, para reducir las pérdidas en el núcleo, los fabricantes diseñan estatores con núcleos de mayor longitud, con sus correspondientes rotores más largos, o usan núcleos con láminas fabricadas con aceros eléctricos de un mejor grado. Para reducir las pérdidas en el cobre, los fabricantes también aumentan la sección de los alambres del bobinado (lo que incrementa el llenado de la ranura).

Estos cambios ayudan a bajar la temperatura de los bobinados, lo que permite utilizar ventiladores más pequeños. Esto posibilita aumentar la eficiencia del motor minimizando la potencia empleada para su refrigeración. Como ejemplo, se tiene que, para realizar su trabajo, la mayoría de los ventiladores externos de los motores de alta eficiencia totalmente cerrados enfriados con ventilador (TEFC), ahora son lo más pequeños posible.

La lección para los centros de servicios es que utilizar estas prácticas de reparación no incrementará las pérdidas totales, pero sí ayudará a reducirlas. En algunos casos, los reparadores pueden aplicar los mismos principios utilizados por los diseñadores de los motores para reducir las pérdidas y aumentar la eficiencia.

### **13.3.3. Desglose: áreas críticas**

Hablando en términos de conservar o mejorar la eficiencia del motor, algunos procesos de reparación tienen una importancia crítica. Estos incluyen: El proceso de quemado, la remoción de las bobinas y la preparación del núcleo, tamaño/calibre del alambre, longitud media de la espira, la resistencia del bobinado, los rodamientos y la ventilación.

#### **13.3.3.1. Proceso de quemado**

Para reducir las corrientes parásitas en el núcleo, el estator está fabricado con láminas -piezas delgadas de acero—impregnadas con aislamiento. Asumiendo que no hay láminas fundidas entre sí o que no se haya producido una explosión dentro del núcleo (con su correspondiente reducción de masa), el siguiente paso es el realizar el quemado de los bobinados a una temperatura apropiada.

El aislamiento inter-laminar puede ser del tipo orgánico, químico o por oxidación. En los motores modernos, es posible encontrar aislamiento inter-laminar tipo C-5 (inorgánico), que puede soportar temperaturas más altas que los motores antiguos.

En algunos procesos utilizados para aplicar aislamiento inter-laminar en los núcleos fabricados con aceros de grado bajo, es posible que las láminas del núcleo no sean aptas para ser quemadas y se requiera tomar precauciones extremas. Estos procesos pueden incluir: coloración por vapor de óxido, algunos barnices a base de agua y algunos barnices orgánicos de bajo grado.

El horno de quemado debe estar equipado con un registrador para documentar que el proceso de quemado de cada estator es realizado a una temperatura segura. Durante el proceso de quemado, la sonda de medición de temperatura debe permanecer fija al núcleo del estator.

#### **13.3.3.2. Prueba del núcleo**

La forma más segura de evitar problemas relacionados con el quemado del núcleo, es realizando una prueba antes del quemado y otra después de que el núcleo haya sido desmantelado y limpiado. Para simplificar este proceso, se pueden usar probadores de núcleo de uso comercial o realizar una prueba de inducción (loop test) o de “toroide”.

#### **13.3.3.3. Remoción de las bobinas**

Desmantelar los devanados afecta directamente la eficiencia del motor. Si durante el proceso de extracción del bobinado, se causan daños en las láminas del estator (p. ej. dientes doblados hacia fuera y hacia dentro, láminas externas torcidas debido a excesiva fuerza o mucho calor, etc.), las pérdidas en el núcleo y las pérdidas adicionales con carga aumentarán. Para evitar esto, realice el quemado del núcleo a una temperatura que permita deshacer completamente el aislamiento del bobinado, de esta forma las bobinas podrán ser retiradas sin necesidad de aplicar mucha fuerza.

Para evitar que durante la remoción de las bobinas los alambres se enganchen y que las láminas del núcleo se doblen o tuerzan, tire de las bobinas lejos del diámetro interior del estator y utilizando un ángulo muy pequeño. En los casos en que la bobina sea de difícil remoción, aplique presión uniforme para reducir la posibilidad de causar daños debido a la elongación del diente. (Recordar: dientes separados o sueltos incrementan las pérdidas adicionales con carga).

A menudo, el quemado del núcleo a temperaturas muy bajas eleva las pérdidas adicionales con carga debido al daño físico causado al núcleo durante la remoción de las bobinas. Para evitar esto realice el quemado del estator a una temperatura adecuada. Asimismo, el uso de temperaturas de quemado seguras no causa daños en el aislamiento inter-laminar y por ende las pérdidas por corrientes parásitas no se incrementan.

#### **13.3.3.4. Preparación del núcleo**

Durante la reparación de las zonas dañadas del núcleo, realizar los mínimos trabajos de limado o esmerilado. Las pérdidas en el núcleo aumentarán al quitar láminas o al cortocircuitarlas. A menos que sean reparados, los daños graves causados en el núcleo debido a las fallas presentadas en el motor (p. ej. rozamiento con el rotor por la falla de un rodamiento) harán bajar la eficiencia. Esto debe ser cuidadosamente evaluado contra la necesidad que tiene el cliente de poner de nuevo el motor en servicio, ya que, en algunos casos, la reparación es la solución provisional hasta que se cuente con un motor de repuesto.

#### **13.3.3.5. Tamaño/Calibre del alambre**

Cuando una corriente atraviesa un conductor se producen pérdidas  $I^2 R$  en forma de calor. Para una determinada corriente, un conductor más grueso se calentará menos que uno más delgado. El área/sección de los alambres en paralelo determina la cantidad de cobre del motor. Tomando como base la densidad de corriente, expresada en amperes por mm<sup>2</sup>, entre menor sea la densidad de corriente, tendremos menos pérdidas  $I^2 R$ . Cuando sea posible, lo mejor es formar un conductor con pocos alambres gruesos y no con muchos alambres delgados, aun si los dos conductores tienen la misma sección.

#### **13.3.3.6. Longitud media de la espira (LME)**

Es importante que la LME del nuevo bobinado no exceda (preferiblemente sea menor) a la LME del antiguo bobinado. De otra forma, el nuevo bobinado tendrá una resistencia más alta que el original y por consiguiente las pérdidas  $I^2 R$  serán más altas. (Ver la figura 5)

#### **13.3.3.7. Resistencia del bobinado**

A menudo, haciendo un ajuste cuidadoso de los datos del bobinado, es posible obtener un bobinado con resistencia menor a la original. Las resistencias más bajas reducen las pérdidas  $I^2 R$ , haciendo más eficiente el motor. Si todo lo demás se mantiene igual, un bobinado cuyos datos han sido cuidadosamente ajustados, puede ser más eficiente que uno original. Como regla general, el centro de servicios bobina el estator realizan 2do una copia exacta o un duplicado del antiguo bobinado. Esto significa que usa los mismos calibres de alambres, el mismo tipo de bobinado, la misma cantidad espiras, el mismo paso y conserva la misma longitud en las cabezas de bobina.

Se debe tener cuidado de no incrementar la longitud de las cabezas de bobina para facilitar la instalación del bobinado ya que eso aumentará la resistencia total del bobinado. Cuando la eficiencia sea lo primordial, no deben convertirse bobinados concéntricos en excéntricos/imbricados, sin antes calcular la LME de ambos bobinados y teniendo en cuenta que la resistencia total sea menor.

Cuando se comparen bobinados concéntricos y excéntricos/ imbricados, debe tenerse en cuenta la forma en la que cada bobina está expuesta a las corrientes de aire que enfrían el devanado. En los bobinados excéntricos/imbricados, cada una de las bobinas está expuesta al mismo flujo de aire, mientras que la capacidad de disipación de calor en los bobinados concéntricos por capas es variable.

### 13.3.3.8. Tipo de bobinado

Asumiendo que no hay daños en el rotor y que los circular amper/mm<sup>2</sup> no se han reducido, la potencial eficiencia del motor debe permanecer constante durante el proceso de reparación. Por tanto, la siguiente consideración es el tipo de bobinado. Cuando el volumen de producción y el aspecto económico lo justifican, los fabricantes prefieren los bobinados concéntricos (Ver la figura 35), que requieren menos mano de obra y pueden ser realizados de forma automática. Esto beneficia a los consumidores, ya que el precio de los motores se mantiene económico. El inconveniente es que las espiras en cada bobina de los bobinados concéntricos no tienen la misma efectividad.

Los centros de servicio, que generalmente bobinan de forma manual, encuentran más fácil utilizar bobinados excéntricos/ imbricados debido a que todas sus bobinas son iguales. (El bobinador utiliza sólo un poco más de tiempo que el necesario para insertar manualmente un bobinado concéntrico de dos capas y casi el mismo tiempo para un bobinado concéntrico de tres capas).

Mediante el uso de algunas reglas simples, es posible remplazar un bobinado concéntrico por uno excéntrico/imbricado (y esto puede aún mejorar el funcionamiento del motor).

Visto desde la parte exterior de las ranuras, un bobinado concéntrico puede tener bobinas con 2, 3 o pasos diferentes (algunas veces más). Cada paso tiene un ángulo distinto (expresado como Factor de Cuerda), que determina la efectividad de las espiras de cada bobina. Dependiendo del factor de cuerda, una bobina con X espiras y paso 1-9 no tendrá la misma fuerza que la misma bobina de X espiras, fabricada con paso 1-8 o 1-10.

El cálculo del factor de cuerda ( $k_p$ ) se hace con la fórmula:

- $k_p = \text{Seno } (90 \times \text{dientes expandidos/ranuras por polo})$  o
- $k_p = \text{Coseno } [((\text{paso polar} - \text{paso de bobina}) \times 90) / \text{paso polar}]$

El siguiente ejemplo ayuda a ilustrar el punto anteriormente descrito. Para algunos diseños de bobinados concéntricos, su conversión a excéntrico/imbricado ofrece mayores mejoramientos sustanciales que para otros diseños.

Ejemplo: Conversión Concéntrico a Excéntrico/Imbricado

Una posible conversión a bobinado excéntrico/imbricado de un diseño típico de un bobinado concéntrico, 36 ranuras, 24 espiras, 4 polos con paso 1-8, 10, 12 (como el de la figura 35), sería:

Para 24 espiras por bobina. Paso 1-8, 10, 12 el cálculo de los respectivos factores de cuerda es 0.940, 1.0 y 0.940.

$$24 (.940) + 24 (1.0) + 24 (0.940) = 69.12 \text{ espiras efectivas}$$

Si seleccionamos un paso 1-9 para la conversión a excéntrico/ imbricado:

$$69.12/3 = 23.04 \text{ espiras efectivas por bobina.}$$

Las nuevas espiras por bobina se calculan dividiendo las espiras efectivas por bobina por (kpx kd)

$$23.04/ (.985 \times 0.960) = 24.37 \text{ espiras por bobina}$$

Redondeando a 24 espiras obtendremos un incremento del flujo del 1 %.

Cuando un bobinado concéntrico tiene un solo lado de bobina por ranura y el bobinado imbricado que lo reemplaza tiene dos lados de bobina por ranura, divide las espiras por ranura entre dos para obtener las espiras por bobina. Dependiendo del paso escogido, las espiras por ranura para el bobinado excéntrico/imbricado pueden ser menores, iguales o mayores que el número de espiras por ranura del bobinado concéntrico original.

La distancia alrededor de las bobinas también cambia con el paso. Un paso más amplio requiere un conductor más largo la longitud adicional multiplicada por las espiras por bobina. Un conductor más largo tiene mayor resistencia, por lo que la resistencia total del bobinado depende en parte del paso(s) de bobina escogido.

La longitud de la cabeza –la distancia que sobresale la bobina al final del núcleo- también afecta la longitud del conductor. La longitud media de la espira (LME) puede ser controlada realizando una fabricación cuidadosa de las bobinas. Entre más corta la longitud, menor es la resistencia total del bobinado, lo que a su vez incrementa la eficiencia.

Al realizar un control cuidadoso, una bobina en forma de diamante requiere menor LME que otra con punta redonda. Aunque sea una diferencia de longitud pequeña (cerca del 3 al 7% menos en el área final de la bobina), cualquier reducción de la resistencia es beneficiosa.

Como ya se mencionó, otra de las ventajas de los bobinados excéntricos/imbricados es que todas las bobinas tienen el mismo paso, con lo cual cada bobina tiene la misma efectividad.

### **13.3.3.9. Rodamientos**

Los rodamientos más comúnmente utilizados en la mayoría de los motores eléctricos tienen juego interno C3. 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 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, deben seguirse 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 500 Watts. 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 de la confiabilidad que ofrecen los rodamientos con tapas de protección, espere 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 fabricantes de rodamientos también ofrecen rodamientos con tapas de protección sin contacto.

#### **13.3.3.10. Ventilación**

Los ventiladores externos son otra fuente potencial de pérdida de eficiencia. La ventilación varía de acuerdo con el diseño del ventilador y depende de factores como el diámetro, número y tamaño de las aspas, materiales y acabado de la superficie. No obstante, la variable más importante es el diámetro del ventilador.

Todo esto equivale a que un ventilador con un diámetro más pequeño mueva considerablemente menos aire  $[(D2/D1)^5]$  que uno de mayor diámetro. Esto significa que se requiere más energía para impulsar un ventilador con mayor diámetro.

Como ejemplo, se requeriría un 16% más de potencia (hp) para impulsar un ventilador de iguales características, pero con un diámetro más grande que el original. Estos hp invertidos se convierten en una pérdida de potencia, que reduce la eficiencia del motor (Ver la figura 37).

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

Por estas razones, se considera como buena práctica usar un ventilador de recambio idéntico al que se ha dañado. Reemplazarlo por uno diferente puede cambiar la eficiencia del motor. Por supuesto, si los procesos químicos u otro tipo de consideraciones hacen impráctico copiar el diseño original del ventilador, se recomienda discutir con el fabricante las alternativas disponibles para evitar causar efectos adversos que afecten la eficiencia.

#### **13.3.4. Confirmando la integridad de la reparación**

Las pruebas con carga no siempre son prácticas, considerando el tiempo de preparación necesario para ellas, el tiempo utilizado para realizarlas y el consumo de potencia generado. Afortunadamente, es relativamente fácil confirmar la integridad de la reparación verificando si se han presentado cambios en las componentes principales -pérdidas en el núcleo, pérdidas en el cobre y pérdidas en el rotor.

- La comparación de las pruebas del núcleo antes y después del quemado determina si las pérdidas en el núcleo han cambiado o no. Un incremento de más de un 20 % sería causa de preocupación.
- La medida precisa de la resistencia verifica cualquier cambio en las pérdidas en el cobre.
- Las pérdidas en el rotor permanecen invariables a menos que el rotor se haya dañado durante la falla o que su diámetro haya sido mecanizado.

El mecanizado del diámetro del rotor para aumentar el entrehierro puede reducir las pérdidas, pero a costa del factor de potencia; sin embargo, un gran incremento en el entrehierro elevará las pérdidas. Los centros de servicio usan este procedimiento solo si conocen la medida de diseño del entrehierro. (Si un rotor es mecanizado varias veces después de cada una de las reparaciones, tarde o temprano, el entrehierro será un problema. Debido a que la historia de reparación de los motores raramente es conocida, los centros de servicio evitan mecanizar el diámetro del rotor.)

Esto nos deja las pérdidas por ventilación, fricción y pérdidas adicionales con carga. La ventilación no varía, a menos que el ventilador se modifique o se cambie. Eso es fácil de evitar. La fricción no cambia si se usan rodamientos idénticos (y sellos adecuados), con los ajustes correctos. Reemplazar rodamientos abiertos por rodamientos sellados incrementa la fricción. Debido a esto mismo, se debe evitar la lubricación en exceso de los rodamientos.

Es difícil cuantificar las pérdidas adicionales con carga, pero una de las actividades del proceso de reparación que puede causarles impacto es la remoción de las bobinas. Los dientes del núcleo con láminas dobladas o torcidas hacia delante y hacia atrás incrementarán las pérdidas adicionales con carga. Entre más fuerza se aplique para la remoción de las bobinas existen más probabilidades de doblar o torcer los dientes del núcleo. Para evitar esto, se deben los estatores a la temperatura adecuada que permita deshacer los aislamientos y una fácil remoción de las bobinas.

## **14. Conclusiones**

Las fallas a las que están expuestos los motores eléctricos tienden más a ser por condiciones de operación y mal seguimiento las cuales pueden ser prevenibles la necesidad de la mejora continua y el desarrollo de un plan de mantenimiento y una adaptación de los mismos para así lograr una mayor fiabilidad en estos.

Es de importancia definir todos los objetivos que pretendemos alcanzar e implementar un plan de mantenimiento de motores.

El personal con el que se cuenta para desarrollar este plan de mantenimiento, así como su entrenamiento para tal fin, estas actividades afectaran directamente el desempeño y los tiempos de mantenimiento por lo cual para hacer los tiempos más eficientes se debe considerar la capacitación y entrenamiento para el personal de mantenimiento.

Este plan de mantenimiento repercute directamente en la planta en que se establezca, tomar criterios como el análisis de criticidad para poner más atención en equipo de mayor importancia para que su intervención sea la más eficiente en tiempo.

Para que un plan de mantenimiento sea efectivo en una planta tiene que ser enfocado en el análisis de fallo para personalizar a cada equipo las pruebas que se le harán para así recopilar los resultados que garanticen su buen funcionamiento.

El análisis de fallas de motores eléctricos debe sustentarse con documentación y teniendo los principios de funcionamiento a través de las pruebas y ensayos antes y después de su puesta en marcha.

## **15. Competencias desarrolladas**

Durante la estancia en el Centro de Capacitación para el Trabajo Industrial (CECATI) y la realización del proyecto se utilizaron y desarrollaron las siguientes competencias:

### **Instrumentales**

- Capacidad de análisis y síntesis.
- Capacidad de organizar y planificar.
- Conocimientos generales básicos.
- Conocimientos básicos de la carrera.
- Comunicación oral y escrita en su propia lengua.
- Habilidades básicas de manejo de la computadora.
- Habilidades de gestión de información (habilidad para buscar y analizar información proveniente de fuentes diversas.
- Solución de problemas.
- Toma de decisiones.

### **Interpersonales**

- Capacidad crítica y autocrítica.
- Trabajo en equipo.
- Habilidades interpersonales.
- Capacidad de trabajar en equipo interdisciplinario.
- Capacidad de comunicarse con profesionales de otras áreas.
- Habilidad para trabajar en un ambiente laboral.
- Compromiso ético.

## Competencias sistémicas

- Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica.
- Habilidades de investigación.
- Capacidad de aprender.
- Capacidad de adaptarse a nuevas situaciones.
- Capacidad de generar nuevas ideas (creatividad).
- Liderazgo.
- Habilidad para trabajar en forma autónoma.
- Capacidad para diseñar y gestionar proyectos.

## 16. Fuentes de información

- Gómez, V., Peña, R., & Hernández, C. (2012). Historia del motor eléctrico - Hyundai Canarias.
- Montgomery, D. (2009). Introducción al motor eléctrico, 6 edición. Arizona: John Willey & Sons, Inc
- EASA – Principios de motores C.A. medianos y grandes. Segunda edición 2000-2015. (Versión 0815\_0119). Basado en las normas de diseño de motores NEMA.
- Guía de Buenas Prácticas Para Conservar La Eficiencia del Motor. Electrical Apparatus Service Association, Inc. (EASA) & Association of Electrical and Mechanical Trades (AEMT Ltd)

## 17. Anexos

### MOTORES TRIFÁSICOS, BIFÁSICOS Y MONOFÁSICOS

- Motor trifásico jaula de ardilla
- Motor trifásico de anillo
- Motor monofásico
- 

¿Cómo accionar un motor monofásico?

Motor de dos fases

Los motores eléctricos- monofásico y trifásico - tienen una tarea simple. Convierten la energía eléctrica en energía mecánica en forma de rotación del eje. Esto es posible gracias al uso de un campo magnético. Obviamente, dependiendo de la aplicación, se debe utilizar una solución diferente para generar tráfico.

En la industria, los motores trifásicos asíncronos, de jaula de ardilla o de anillo son los más comunes. Esto se debe principalmente a su estructura simple, fácil operación y la posibilidad de lograr una potencia mucho mayor que los motores monofásicos. Se utilizan en compresores, tornos, fresadoras y muchos otros dispositivos.

### MOTOR TRIFÁSICO JAULA DE ARDILLA

El motor de jaula de ardilla trifásico consta de un rotor y un estator con ranuras. Los devanados se colocan en ellos. En el caso de un rotor, se trata de barras de aluminio o cobre que conectan dos anillos entre sí. Forman así algo parecido a una jaula. Las barras que construyen la jaula se colocan oblicuamente, lo que permite una rotación uniforme. Este motor también se llama compacto. Esto se debe al hecho de que el circuito eléctrico del rotor en este tipo de accionamiento siempre está cortocircuitado.

Motores trifásicos en la oferta de TME

La principal desventaja de los motores asíncronos de jaula de ardilla son las altas corrientes de arranque con un par de arranque bajo. Los motores de cortocircuito consumen una corriente de cinco a ocho veces la corriente nominal. Esto hace que los devanados se calienten, lo cual es una desventaja. Además, un consumo de corriente tan elevado puede provocar fluctuaciones de tensión en la red. Por este motivo, los motores con una capacidad superior a 4kW ni siquiera deben conectarse directamente a la red. Por lo tanto, se proporcionan algunas soluciones específicas para la puesta en servicio.

Uno de ellos es el uso del sistema estrella-triángulo. Esto significa que durante el arranque, el motor funciona con menos par durante un cierto período de tiempo y el voltaje en cada devanado es igual al voltaje de fase. Después de la aceleración parcial del motor, el interruptor estrella-triángulo cambia las conexiones del devanado a una en la que el comienzo de un devanado se conecta al final del otro, no se usa el cable neutro y el motor funciona a potencia nominal.

La segunda forma de arrancar de forma segura un motor de jaula de ardilla es utilizar un dispositivo llamado "arranque suave". Es un sistema electrónico hecho de tiristores y triacs, que está diseñado para aumentar suavemente el voltaje aplicado a los devanados. En la mayoría de los proyectos contemporáneos, es más probable que se elija esta solución que el clásico interruptor estrella-triángulo.

## MOTOR TRIFÁSICO DE ANILLO

Un motor de anillo es el segundo tipo más popular de variador trifásico. Su construcción es más complicada, lo que se traduce en mayores costos asociados a la compra y uso de este tipo de motor. En este caso, hay un devanado conectado en estrella de tres partes en las ranuras, es decir, los extremos de cada uno de ellos (generalmente marcados con las letras U, V, W) están conectados en un punto común. Los otros tres extremos (K, L, M) están conectados a los anillos colectores sobre los que descansan las escobillas. Los extremos de estos devanados son conducidos hacia afuera, lo que permite conectar circuitos adicionales a los devanados, lo que permite, por ejemplo, un arranque suave.

El arranque de los motores de anillo se puede solucionar con el uso de resistencias adicionales en el circuito del rotor. Permiten reducir la corriente del rotor y, por tanto, también la corriente extraída de la red. Esta solución se usa cada vez menos debido a los altos costos y la estructura compleja.

Otra solución es utilizar un inversor. Esta solución tampoco es barata, aunque ofrece grandes oportunidades. Permite un control preciso de la velocidad del motor. Los inversores también se utilizan en conjunto con los motores de jaula de ardilla, lo que significa que en la industria se encuentran cada vez menos motores de anillo cada vez más caros.

Para hacer que el motor se mueva, es necesario crear un campo magnético giratorio. En el caso de motores trifásicos es autogenerado. Esto es posible gracias a un cambio de fase de 120 grados entre sí. La situación es diferente en el caso de los motores monofásicos. Allí tienes que inducir tú mismo el cambio de fase.

## MOTOR MONOFÁSICO

Los motores monofásicos rara vez se utilizan en la industria, pero se encuentran comúnmente en los hogares, por ejemplo, en electrodomésticos o herramientas eléctricas. Esto se debe a que la mayoría de estos dispositivos no necesitan demasiada energía y deben ser fáciles de usar. Por lo tanto, deben funcionar cuando están enchufados a una toma de corriente ordinaria, sin necesidad de tener una instalación trifásica en el apartamento. Los motores monofásicos suelen proporcionar una potencia de hasta aproximadamente 2 kW, que es suficiente para la mayoría de los artículos domésticos.