

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica

Trabajo de Investigación

**Desarrollo de plan de mantenimiento en  
motores eléctricos**

José Antonio Pinto Ríos

Para optar el Grado Académico de  
Bachiller en Ingeniería Mecánica

Arequipa, 2019

Repositorio Institucional Continental  
Trabajo de investigación



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## **DEDICATORIA**

*Llegando a la finalización y la presentación de este trabajo, es para mí necesario dedicar y agradecer a todos aquellos quienes me mostraron todo su apoyo y comprensión para la entrega de este trabajo*

## **AGRADECIMIENTO**

*Mi profundo agradecimiento y la dedicación en fomentar y cultivar mi desarrollo en mis estudios profesionales, en especial a mi familia por su apoyo en el proceso de realización de este trabajo.*

## RESUMEN

Se conoce que el concepto de mantenimiento se define como todas las actividades y trabajos que se deben realizar para que un equipo este en buen estado o restaurado para que esté operando en condiciones normales este mantenimiento debe ser planificado elaborando acciones planeadas para garantizar el funcionamiento del equipo.

Estos equipos rotativos necesitan tener un plan de mantenimiento que pueda garantizar el funcionamiento correcto de los equipos rotativos dentro de su funcionamiento

Reconocer el mal funcionamiento o fallas que puedan presentarse. Para prevenir que las fallas que se presenten ya sean de mediano o alto grado de criticidad puedan manifestarse en el equipo en el momento menos esperado. Por lo cual debemos de tener consideración en los aspectos tales como el Mantenimiento preventivo, correctivo.

La eficiente operación de estos equipos y su mantenimiento son de importancia por lo cual se tiene que programar, ejecutar, inspeccionar, controlar su funcionamiento y las actividades de mantenimiento para que garantice las condiciones óptimas de funcionamiento.

Con el presente trabajo de investigación se analiza y da alcance del mantenimiento que se da a los motores eléctricos para poder alcanzar mantenimiento efectivo y confiable a fin de reducir los tiempos y costos

Se presenta también conceptos básicos además conceptos de Mantenimiento en motores eléctricos para el mejor entendimiento de los procesos descritos.

**Palabras clave**

Mantenimiento, vibración, termografía, ultrasonido, falla, desgaste, máquina.

## **ABSTRACT**

It is known that maintenance is defined as all the activities that must be carried out so that a team is in good condition or restored so that it is operating in normal conditions this maintenance must be planned elaborating continuous and planned actions to guarantee the efficient and reliable operation of the equipment .

All of these rotating equipment need to have a maintenance plan that guarantees the proper functioning of the equipment within its operation to recognize the malfunction or failures that may arise to prevent that medium or high degree of severity failures can manifest in the equipment in the least expected moment. Therefore we must take into consideration aspects such as preventive, corrective maintenance.

The efficient operation of these equipments and their maintenance are of importance for which it is necessary to program, execute, inspect, control their operation and maintenance activities to guarantee the optimal operating conditions.

With this research work, the scope of maintenance given to electric motors is analyzed and established to establish maintenance execution processes in order to reduce the time and costs in maintenance activities.

Basic concepts are also presented in addition to Maintenance Theory in electric motors for a better understanding of the processes described.

### **PALABRAS CLAVES:**

Maintenance, vibration, thermography, ultrasound, failure, wear, machine

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
RESUMEN .....	iv
ABSTRACT .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	xiv
INTRODUCCIÓN .....	xvi
CAPITULO I .....	1
1.1. Planteamiento del Problema .....	1
1.2. Objetivos .....	2
1.2.1. Objetivo general.....	2
1.2.2. Objetivos específicos.....	2
1.3. Justificación.....	2
CAPÍTULO II .....	4
2.1. Marco Teórico .....	4
2.1.1. Antecedentes del Problema.....	4
2.1.2. Definiciones .....	6
a) “Vibración:.....	6
b) “Frecuencia: .....	6
c) Espectro:.....	6
d) “Ultrasonido:.....	6
e) Arco Eléctrico:.....	6
f) Desgaste:.....	6

g) “Viscosidad: .....	6
h) Basicidad: .....	6
i) Constante Dieléctrica: .....	6
2.1.3. Mantenimiento Predictivo.....	7
2.1.4. Análisis de vibraciones .....	7
2.1.5. Clasificación de nivel de vibración de los equipos .....	9
2.1.6. Causas de vibración de una maquina.....	12
a) Diseño de la máquina. ....	12
b) Tecnología implementada en la producción.....	12
c) Producción de las piezas de equipo.....	12
d) Explotación del equipo. ....	12
2.1.7. Análisis de los resultados .....	13
a) Pico.....	14
b) Pico-Pico.....	14
c) RMS.....	14
2.1.8. Termografía .....	16
a) Energía térmica.....	17
b) Calor .....	17
c) Radiación térmica .....	17
d) Principio de termografía.....	18
e) Cámara termografía.....	18
2.1.9. Análisis de resultados .....	18
2.1.10. Aplicaciones.....	19
2.1.11. Análisis por ultrasonido.....	21

2.1.12. Aplicaciones.....	22
2.1.13. Análisis de aceite .....	22
2.2. Principales formas de lubricación.....	24
2.2.1. Lubricación hidrodinámica .....	24
2.2.2. Lubricación elasto-hidrodinámica (ehd).....	25
2.2.3. Lubricación límite .....	25
2.2.4. Contaminantes más comunes en el aceite .....	25
2.2.5. Contaminación por partículas .....	25
2.2.6. Contaminación por humedad.....	26
2.2.7. Contaminación por combustible.....	26
2.2.8. Contaminación por hollín .....	26
2.3. Motores Eléctricos.....	27
2.3.1. Motores de corriente continua .....	28
2.3.2. Motores de corriente alterna .....	28
2.3.3. Estator .....	29
2.3.4. El rotor .....	30
2.3.5. Carcasa .....	31
2.3.6. Cojinetes.....	32
a) Cojinetes de deslizamiento .....	32
b) Cojinetes de rodamiento. ....	32
CAPITULO III .....	33
3.1. Metodología aplicada para el desarrollo de la solución.....	33
3.1.1. Metodo y alcance de la investigación .....	33
3.1.2. Diseño de investigación .....	33

3.1.3. Poblacion y muestra .....	33
3.1.4. Muestra.....	34
a) Tecnicas e instrumentos de recoleccion de datos. ....	34
b) Test de observacion.....	34
c) Fichas .....	34
3.1.5. Calidad de energía.....	34
3.2. Variables .....	35
3.2.1. Aislamiento .....	36
3.2.2. Estator .....	36
3.2.3. Rotor.....	37
3.2.4. Entrehierro .....	39
CAPITULO IV .....	40
3.3. Identificación de Requerimientos .....	40
3.3.1. Monitoreo térmico de Componentes.....	40
3.4. Análisis de la potencia eléctrica de suministro .....	40
3.5. Análisis de corrientes de fase.....	41
3.5.1. Prueba de alta y baja resolución.....	42
3.5.2. Prueba de excentricidad .....	42
3.6. Diagnóstico fuera de línea en motores.....	42
3.6.1. Resistencia óhmica.....	43
3.6.2. Prueba de resistencia de aislamiento .....	44
3.6.3. Fatiga eléctrica.....	46
3.6.4. Fatiga mecánica.....	46
3.6.5. Ataque químico.....	46

3.6.6. Fatiga térmica .....	47
3.6.7. Contaminación ambiental .....	47
3.7. Prueba De Índice de Polarización y Absorción Dieléctrica.....	47
a) Si R1 es inferior al mínimo .....	48
b) El mínimo para R1 se corrige a 40oC. ....	49
3.7.1. Prueba de aislamiento por incremento de voltaje .....	50
3.7.2. Prueba de hi-pot .....	51
3.7.3. Prueba de impulso .....	52
3.8. Análisis de pruebas efectuadas a motores eléctricos.....	54
3.8.1. Pruebas de motor .....	54
3.8.2. Prueba de resistencia ohmica.....	55
3.8.3. Prueba de megado .....	55
3.8.4. Prueba hipot .....	55
3.8.5. Prueba de impulso (surge).....	55
3.8.6. Caso práctico 01 .....	57
a) Descripción: aislamiento en buen estado.....	57
b) Prueba de resistencia ohmica entre fases .....	57
c) Prueba de megado NORMA (ieee 43-2000, easa ar-100).....	58
d) Índice de polarización IP .....	59
e) Prueba de Hipot .....	59
f) Prueba de impulso .....	60
g) Conclusiones .....	61
CAPITULO V .....	62
CONCLUSIONES .....	62

RECOMENDACIONES .....	64
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	65
ANEXOS .....	68

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Clasificación de máquinas por nivel .....	10
Tabla 2	Niveles de desbalance .....	11
Tabla 3	Variables .....	35
Tabla 4	Niveles de Voltajes de prueba de aislamiento .....	45
Tabla 5	Valores mínimos para la resistencia de aislamiento a 40oC .....	45
Tabla 6	Índice de Polarización a 40oC.....	49
Tabla 7	Interpretación de los resultados arrojados en las pruebas de PI y AD ....	50
Tabla 8	Voltajes de prueba recomendados.....	54
Tabla 9	Índice de polarización y absorción .....	56
Tabla 10	Datos del motor para pruebas .....	57
Tabla 11	Tabla de resistencia ohmica deacuredo a la temperatura .....	58
Tabla 12	Resistencia de megado a 25 y 40 grados celcius .....	58
Tabla 13	Resistencia de aislamiento a 10 minutos .....	59
Tabla 14	Prueba Hipot .....	60
Tabla 15	Variación porcentual de aislamiento.....	60

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1 Causas que provocan vibraciones en la máquina.....	13
Figura 2 Relación frecuencia amplitud .....	15
Figura 3 Análisis de vibraciones.....	15
Figura 4 Monitoreo de temperatura .....	17
Figura 5 Clasificación de falla eléctricas .....	18
Figura 6 Aplicaciones de termografía.....	20
Figura 7 Termografía.....	20
Figura 8 Límites de audibilidad.....	22
Figura 9 Análisis de muestra aceite .....	24
Figura 10 Partes de un Motor Eléctrico .....	27
Figura 11 Motores en la historia .....	29
Figura 12 Tipos de Estator .....	30
Figura 13 Tipos de Rotor.....	30
Figura 14 Carcasa de Motor.....	31
Figura 15 Rodamientos de Bolas .....	32
Figura 16 Bobinado del estator contaminado.....	36
Figura 17 Cruce directo entre espiras .....	37
Figura 18 prueba de rotor con growler .....	38
Figura 19 Perforación en barras del rotor.....	38
Figura 20 Falla por efecto del rozamiento entre rotor y estator .....	39
Figura 21 Megómetro .....	44
Figura 22 Ataque químico .....	47
Figura 23 Comportamiento del aislamiento.....	51

Figura 24 Baker AWA IV Hipot Test Visual Demostración .....	52
Figura 25 Diagrama de bloques de la prueba de impulso .....	53
Figura 26 Baker AWA.....	56

## INTRODUCCIÓN

El uso constante de motores eléctricos en la industria y minería y variedad de aplicaciones industriales ha generado la implementación de distintos tipos de actividades para conservar

y alargar la vida útil del motor y su buen funcionamiento. No obstante, estos equipos no están libres de sufrir de desperfectos averías por lo que la detección de fallas en estado inicial es importante para poder implementar un plan de mantenimiento de motores eléctricos y evitar paradas no programadas con pérdidas económicas y tiempos de no producción.

Los trabajos de mantenimiento tienen por objetivo conservar los activos físicos por eso se necesita el desarrollo de un plan de mantenimiento para diagnosticar la eficiencia de las maquinas tomando temas como el análisis de vibraciones, pruebas de ultrasonido, análisis de aceites y pruebas eléctricas en motores que son para mantenimiento nos ayudaran para mejorar y prolongar el buen funcionamiento de equipos rotativos.

## **CAPITULO I**

### **1.1. Planteamiento del Problema**

Dentro de cualquier fábrica o planta, encontraremos, motores eléctricos. Siendo estos importantes por su tamaño, funcionamiento rendimiento y al uso al que están destinados, estos motores los podemos encontrar en ventiladores bombas fajas transportadoras y diversas maquinas industriales. Por tal motivo un desperfecto o falla en uno de estos equipos podría detener una producción. Teniendo en cuenta su funcionamiento en ocasiones muy importante dentro de un proceso de la industria, es importante implementar un plan de mantenimiento en motores eléctricos que evite problemas de funcionamiento.

Desde su fabricación en el siglo XIX, el motor eléctrico a logrado un papel importante en la industria mundial. Esto debido a sus ventajas y propiedades de diseño: tamaños, versatilidad, la no emisión de contaminantes en el lugar de funcionamiento y los niveles de rendimiento.

Estos motores los podemos encontrar en aplicaciones diversas bombas, ventiladores, fajas transportadoras, entre muchas maquinas más. Por lo cual su mantenimiento es un tema importante para la continuidad operativa en la industria, todos sus componentes mecánicos y eléctricos sufren desgaste y con el paso del

tiempo sus partes se deterioran por el funcionamiento de estos, la experiencia y recurrencia de fallas nos indican que las principales causas de fallas un motor eléctrico se presentan en componentes mecánicos, como son los rodamientos la posible deflexión del eje, y componentes eléctricos como son el devanado del estator y en el bobinado.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general.**

Implementar un plan para el mantenimiento preventivo en máquinas rotativas, para aumentar la disponibilidad y eficiencia y minimizar las paradas imprevistas.

### **1.2.2. Objetivos específicos.**

Identificar un tipo de mantenimiento de los Motores Eléctricos teniendo en cuenta las causas con mayor continuidad (tipos de falla, apariencia e historial del mantenimiento del motor)

Establecer las causas o problemas con conllevan a las fallas eléctricas de los motores.

Establecer donde se origina las fallas en los sistemas de aislamiento y fallas recurrentes que conforman dicho sistema.

## **1.3. Justificación.**

En todo el sector industrial de producción, minería, fábricas utilizan en cada uno de la mayoría de sus procesos motores eléctricos en sus diferentes formas de uso o tipo de trabajo al cual sea destinado. Transporte de fajas, elevación, rotación etc.

Por ello la conservación y seguimiento de estos equipos garantizaran el funcionamiento correcto de una planta, una producción eficiente y segura.

El no contar con un buen mantenimiento traerá consigo paradas imprevistas condiciones de producción inseguras, los motores por ser maquinas rotativas y por regirse a un uso continuo tienden a presentar diferentes tipos de problemas por un inadecuado mantenimiento o por el tiempo en el que se encuentran en trabajo esto además del mantenimiento al cual se encuentra la implementación para desarrollar un plan de mantenimiento en motores eléctricos analizando las problemas más recurrentes en las maquinas rotativas influyen de manera muy importante ya que se minimizara las paradas imprevistas así como la respuesta más efectiva, las respuestas más acertadas a estos problemas reducirá considerablemente los tiempos, las paradas, y los costos de mantenimiento, así como el uso de personal para estas paradas imprevistas.

El mantenimiento y reparación de motores no está bien implementado por lo que es de importancia estandarizar los procesos para cada uno de los equipos desde el más básico hasta el más complejo.

Debemos tener en cuenta también que el implementar mantenimiento significa que se tiene que identificar todas las posibles fallas que llevaron al motor a fallar, por la falta de mantenimiento de estos y así implementar medidas preventivas que optimicen un buen funcionamiento de estos.

## **CAPÍTULO II**

### **2.1. Marco Teórico**

#### **2.1.1. Antecedentes del Problema**

Cuando un motor es ingresado para su reparación, el análisis de este debe ser bien detallado para detectar las causas que hicieron fallar a este.

Estas máquinas rotativas son importantes su funcionamiento correcto asegurar el funcionamiento correcto asegurando así el proceso continuo de producción para los que estén diseñadas. Por otro lado, la presencia o inicio de una avería en las mismas puede tener consecuencias importantes, como son en lo económico por paradas de producción o desarrollo de un proceso sino también por la seguridad la interrupción de un motor en determinadas zonas puede poner en peligro una determinada área, lo que puede afectar a servicios vitales. De aquí la importancia de predecir e identificar las fallas, por lo cual es necesario poder programar las medidas oportunas, reduciendo el coste de la reparación como el riesgo de que una avería afecte al funcionamiento de todo el sistema productivo.

La importancia en el mantenimiento de las maquinas rotativas (motores) radica en buen estado y continuamente.

En este campo existen dos procesos de mantenimiento:

El mantenimiento correctivo que se focaliza en el mantenimiento de los equipos justo en el momento en que se produce la falla, por otro lado, tenemos el mantenimiento preventivo el cual se encarga de identificar los problemas en los equipos antes de que presenten problemas en el proceso de producción.

Las empresas e industrias, sabiendo de las pérdidas que ocasiona un equipo al descomponerse ocasionando paradas en la producción, asignando presupuesto para el mantenimiento preventivo de estos equipos.

El mantenimiento predictivo es parte del mantenimiento preventivo el cual realiza un seguimiento detallado de cada una de las máquinas y sus variables para predecir sus posibles fallas más cotidianas y no cotidianas y tomar acciones apropiadas en el momento adecuado para dar una solución acertada.

Si bien el mantenimiento predictivo requiere un elevado costo por todos los procesos por los cuales está conformado en la actualidad este tipo de mantenimiento que implementan las empresas e industrias posee la ventaja de poder mostrarnos el estado de cada máquina su estado condición e historial de fallas para así tener un cuadro más acertado de cada problema que se nos presente.

### 2.1.2. Definiciones

A continuación, para la mejor comprensión del tema se definen algunos conceptos.

- a) **“Vibración:** Es la oscilación de un objeto con respecto a su posición de reposo” (CONSTRUSUR, 2010)
- b) **“Frecuencia:** Es el número de vibraciones que un cuerpo hace por segundo se denomina frecuencia y es comúnmente medida en Hertz” (STD, s.f.)
- c) **Espectro:** Es una gráfica que presentan curvas las cuales muestran los diferentes tipos de una vibración en función su frecuencia.
- d) **“Ultrasonido:** Son ondas de sonido con frecuencias por encima del límite audible humano, o en exceso de 20000 Hertz” (STD, s.f.)
- e) **Arco Eléctrico:** También conocido como arco voltaico es una descarga que se presenta entre dos puntos los cuales están sometidos a una diferencia de potencial.
- f) **Desgaste:** Se define desgaste al envejecimiento que se presentan diferentes zonas. Se da cuando existe deterioro de material en una o varias superficies que están encuentran a movimiento.
- g) **“Viscosidad:** Es la resistencia del fluido al flujo con respecto a la temperatura” (FISICAS, s.f.)” (VIBRATEC, s.f.).
- h) **Basicidad:** son el grupo de cualidades que caracterizan las propiedades a sustancias de ser una base química.
- i) **Constante Dieléctrica:** Es la propiedad macroscópica o la interacción entre el campo eléctrico y un material que no sea conductor.

### **2.1.3. Mantenimiento Predictivo**

El mantenimiento predictivo está conformado por una serie de ensayos no destructivos los cuales se realizan a los equipos para poder analizar y detectar signos que indiquen de algún equipo o parte de un equipo indicios de fallas o posibles daños generados por el funcionamiento y tiempo

Con este tipo de mantenimiento realizado a equipos que se encuentran en funcionamiento se puede intervenir de manera oportuna así como programar las respectivas reparaciones antes de que la falla se acentúe sin que esto detenga o interfiera con el proceso de trabajo de producción y prolongue el funcionamiento ininterrumpido del equipo además de alargar la vida útil de las máquinas.

Los ensayos que más utilizan son los siguientes:

### **2.1.4. Análisis de vibraciones**

El análisis de vibraciones se basa en el análisis de vibraciones de las máquinas rotativas a través de su comportamiento.

Las máquinas rotativas presentan en su funcionamiento niveles de vibración muy bajos, aunque su funcionamiento sea el que está dentro de los estándares permitidos, sin embargo, cuando empieza a presentarse alguna posible falla dada por vibraciones, estos niveles que son normales de vibración se muestran alterados, elevados o fuera de los parámetros es necesario la verificación e inspección del equipo

Para que la recopilación de datos de este proceso sea válido se tiene que tener en conocimiento los datos de la máquina o equipo a la cual se va intervenir como lo son: su placa de características donde podremos encontrar las RPM del motor, el tipo de rodamientos y modo de lubricación, tipo de trabajo al que está destinado, potencia del motor, estructura a la cual está fijada, tipo de refrigeración etc. También es necesario identificar los areas donde se tomarán las mediciones, tipos de mediciones para su interpretación y el equipo analizador de vibraciones más adecuado para su uso y modo de inspección.

El análisis de las vibraciones se basa en el análisis de la frecuencia pudiendo ser esta medida mediante su amplitud o descomponiéndola, así cuando el espectro de vibraciones muestra variaciones a lo largo de su periodo de funcionamiento significa que algo debe estar pasando y que el equipo requiere ser revisado para su inspección y reparación.

Mediante esta técnica análisis vibracional podemos detectar los siguientes problemas en máquinas rotativas.

- Desalinamiento
- Desbalance
- Resonancia magnética
- Solturas mecánicas en la estructura
- Rodamientos dañados (fallados, gastados)
- Problemas y fallas de bombas

- Anomalías y fallas en transmisiones de engranajes
- Problemas y fallas en motores eléctricos

Entonces podemos definir que los resultados del análisis de vibraciones nos pueden mostrar e indicar el estado y condición del motor siendo un buen indicador para establecer si la maquina va presentar fallas

La interpretación de los niveles de vibración nos mostrara la el , tipo y lugar donde se presenta la falla, teniendo en cuenta también los niveles dados por el fabricante o normas técnicas.

#### **2.1.5. Clasificación de nivel de vibración de los equipos**

La clasificación del análisis de vibraciones se debe de contar con un historial documentado que contenga la información necesaria para la evaluación con respecto a sus resultados, de igual modo se debe tener en cuenta dentro que nivel y clase se encuentra el equipo ya que dependiendo de esa información nos basaremos en las normas internacionales sobre vibraciones mecánicas.

Tabla 1

*Clasificación de máquinas por nivel*

---

<b>Clasificación de máquinas por nivel de vibración</b>	
<u>CLASES</u>	<u>POTENCIA</u>
Clase 1	Máquina con potencia hasta 15kW
Clase 2	Máquina con potencia entre (15-75)kW
Clase 3	Máquinas grandes en rotación con fundamentos rígidos mayores a 75kW
Clase 4	Máquinas grandes en rotación con fundamentos flexibles-Turbo maquinas

---

Fuente: Elaboración Propia

Dependiendo de la categoría de los equipos y el nivel de potencia los equipos deben ser identificados en alguna clase bajo la norma ISO 10816 donde se define la severidad de la vibración donde se puede definir desde si es bueno y/o aceptable hasta inaceptable.

Tabla 2

*Niveles de desbalance*

	Máquina		Case I	Case II	Case III	Case IV
	[pulg/s]	[mm/s]	Maquina pequeña	Maquina mediana	Maquina grande con fundación rígida	Maquina grande con fundación no rígida
Velocidad de la vibración V rms	0.01	0.28				
	0.02	0.45				
	0.03	0.71			<b>Bueno</b>	
	0.04	1.12				
	0.07	1.80				
	0.11	2.80		<b>Satisfactorio</b>		
	0.18	4.50				
	0.28	7.10		<b>Insatisfactorio</b>		
	0.44	11.2				
	0.70	18.0				
	0.71	28.0		<b>Inaceptable</b>		
	1.10	45.0				

- Clase I: motores eléctricos hasta 15 kW

- Clase II: motores eléctricos de 15 a 75 KW

- Clase III: grandes motores

- Clase IV: turbo máquinas

Fuente: (ELECTROMECHANICA, 2019)

### **2.1.6. Causas de vibración de una maquina**

Sabiendo que una maquina está conformada por varios componentes, desde su estructura y donde trabaja, la vibración que se produzca será entonces el conjunto de todas sus componentes que conforman la maquina.

Las causas por las cuales un equipo presenta niveles de vibración elevados son:

**a) *Diseño de la máquina.***

Puede presentar el desbalance y fuerzas desequilibradas permisibles y elevadas.

**b) *Tecnología implementada en la producción.***

Cambios en su estructura cristalina por cambios de temperatura y alteraciones como deformación, dislocación, generación de porosidad desgaste.

**c) *Producción de las piezas de equipo.***

Mala calidad de ensamblaje, alteración en planos de fabricación y montaje.

**d) *Explotación del equipo.*** Des alineamiento del rotor, daños en los rodamientos

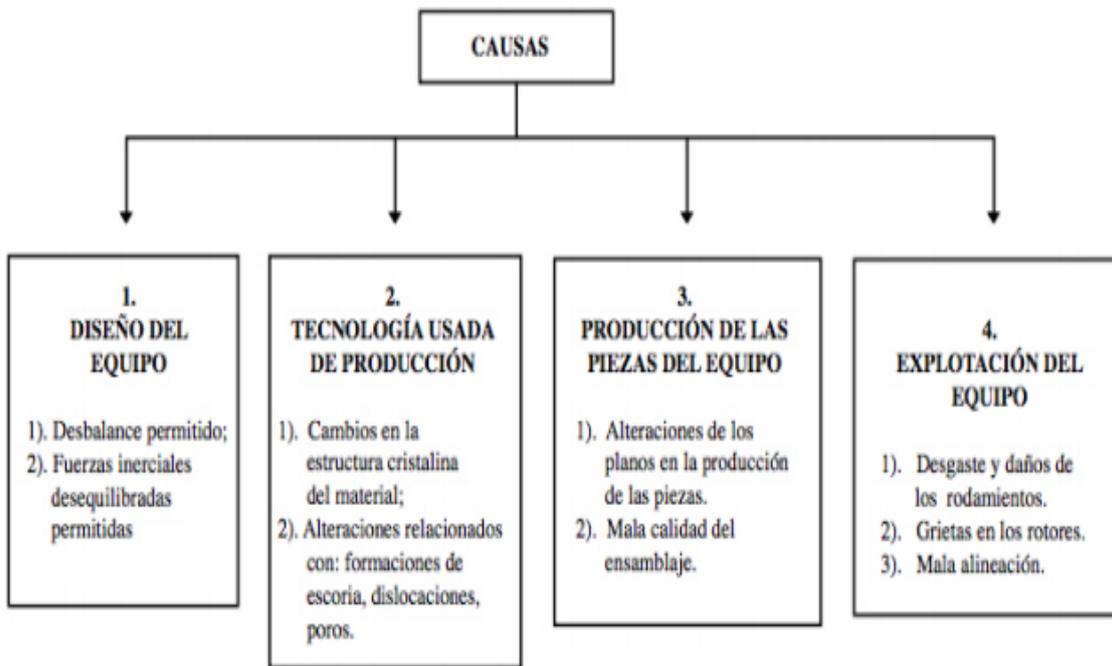


Figura 1 Causas que provocan vibraciones en la máquina

Fuente: (Embid, 2014)

### 2.1.7. Análisis de los resultados

La interpretación del análisis de vibraciones es importante ya que se obtendrá información que servirá para la obtención de indicios de fallas,

Se encuentran dos tipos de técnicas para la interpretación de estos resultados como son la frecuencia y el análisis de tiempo.

#### Análisis de frecuencia

La señal de vibración está conformada por dos ejes como son:

- Eje horizontal dado por la (frecuencia)
- Eje vertical dado por parámetro del cual se desea tener información en niveles de Desplazamiento, velocidad o aceleración
- En los motores eléctricos se asigna el eje vertical con la velocidad

- La frecuencia es el índice que produce la vibración.
- El índice de amplitud muestra la severidad de falla

Se debe tener consideración todos los factores de escala que se muestran, estas escalas están dadas por la norma ISO 10816 estas mediciones son:

- a) **Pico**. Representa la amplitud desde el valor cero de referencia al tope del valor máximo. La amplitud pico es usada para medir aceleración, habitualmente calculada a partir del valor RMS.
- b) **Pico-Pico**. Es la amplitud medida desde el tope positivo al tope negativo. El valor P-P resulta igual a 2 veces el valor Pico.
- c) **RMS**. En términos generales, el valor RMS (root mean square) es derivado a través de una conversión matemática que relaciona la energía de la c.c con la de la c.a. Es generalmente usado para medir la energía efectiva de la vibración conformada por múltiples señales de distintas frecuencias. Si se mide una onda senoidal pura, el valor RMS es 0.707 del valor Pico. (SALVADOR, Manual de aplicaciones de herramientas y técnicas del mantenimiento predictivo, s.f.)

Los componentes que se deben observar en primera instancia son la amplitud y frecuencia que indicaran los niveles de severidad de falla y la frecuencia en la cual se repite determinada falla.

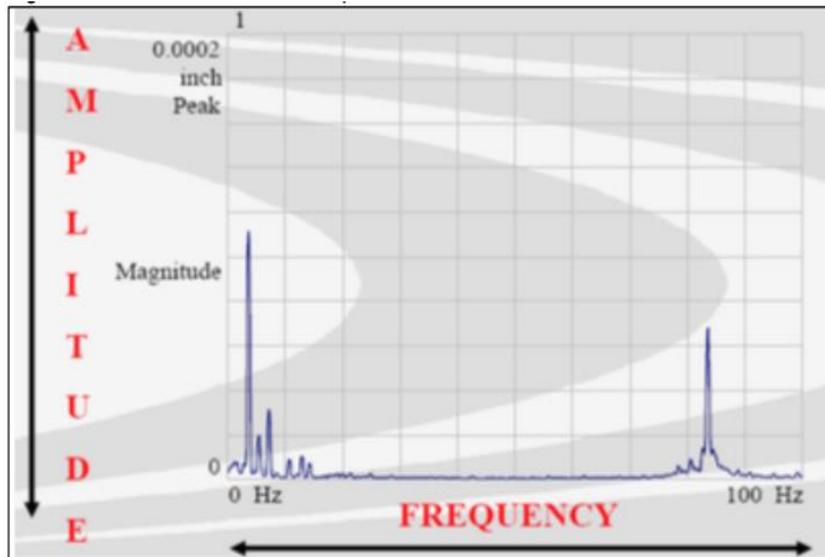


Figura 2 Relación frecuencia amplitud

Fuente: (Tomasov & Rodríguez, 2018)

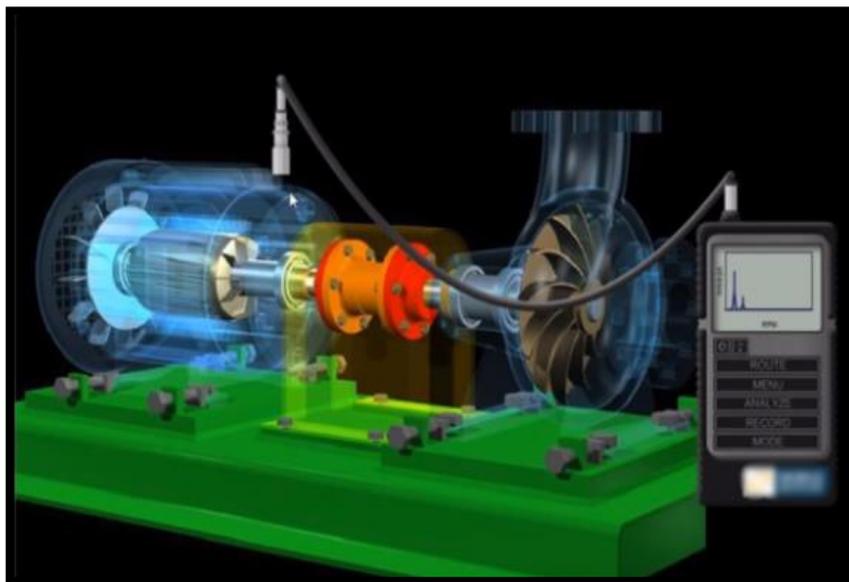


Figura 3 Análisis de vibraciones

Fuente: (Erbessd, 2018)

### **2.1.8. Termografía**

Es la técnica que se dedica al estudio y comportamiento de la temperatura de las maquinas en sus diferentes zonas de trabajo con esto se puede determinar el buen funcionamiento y la temperatura adecuada de un equipo de manera correcta.

Las maquinas rotativas en su funcionamiento generan trabajo y calor por lo cual debes estar bien refrigeradas o contar con un sistema de refrigeración, el mal funcionamiento de este sistema, la mala o falta de refrigeración producirán fallas que se irán acrecentando provocando el mal funcionamiento del equipo así como la avería o desperfecto de la máquina.

Los equipos de termografía están diseñados para brindarnos análisis termográficos de determinadas áreas, equipos, zonas; las cuales pueden ser analizados mediante los cambios que sufra un determinado equipo o área en temperatura.

El aumento de esta variable por lo general nos indica un problema tipo electromecánico en alguna zona del equipo o máquina.



Figura 4 Monitoreo de temperatura

Fuente: (González & Nuñez, 2012)

**a) Energía térmica**

Es la energía que es transmitida a través de la calor ya sea por combustión de algún cuerpo o materia (petróleo, gas etc.) a través de la energía eléctrica por rozamiento, por procesos químicos o mecánicos.

**b) Calor**

Se da cuando la energía térmica se desplaza de un cuerpo a otro este proceso es considerado como una energía de tránsito.

**c) Radiación térmica**

“Según Olarte, es la transferencia de energía generada por los cuerpos cuando poseen una temperatura superior al cero absoluto (0 K o - 273 °C), la cual se propaga en forma de ondas electromagnéticas.” (REDALYC, 2019)

#### **d) Principio de termografía**

“Todos los cuerpos cuya temperatura excede el cero absoluto (0 K o - 273 °C) emiten una radiación térmica que el ojo humano no alcanza a percibir. La magnitud de dicha radiación está relacionada directamente con la temperatura del objeto y se puede calcular por medio de la siguiente ecuación” (REDALYC, 2019)

#### **e) Cámara termografía**

Son cámaras que miden la radiación térmica y la transforma en una imagen de varios tonos de colores las cuales están establecidas por su temperatura, estos equipos nos muestran dos tipos de medidas: cuantitativas y cualitativas.

Nivel	$\Delta$ Temperatura	Clasificación	Acción
1	1°C-10°C O/A ó 1°C a 3°C O/S	Relevancia LEVE	Ver en próximo mantenimiento
2	11°C-20°C O/A ó 4°C a 15°C O/S	Relevancia GRAVE	Darle seguimiento a falla
3	21°C-40°C O/A ó > 15°C O/S	Relevancia CRITICA	Reparar tan pronto como sea posible
4	>40°C O/A ó > 15°C O/S	Relevancia MUY CRITICA	REPARAR INMEDIATAMENTE

Figura 5 Clasificación de falla eléctricas

Fuente: (Gómez, Peña, & Hernández, 2012)

#### **2.1.9. Análisis de resultados**

Las cámaras termo graficas emiten información que se conoce con el nombre de termo grama que es fácil de reconocer la relación que existen entre la energía y la temperatura es directamente proporcional, a mayor energía infrarroja emitida mayor temperatura presentara el equipo, el incremento de temperatura en este proceso se ve relacionado como un problema tipo electromecánico.

Los equipos termo graficas son más utilizadas en equipos eléctricas, y partes mecánicas, estructuras refractarias, instalaciones eléctricas.

La variación de temperatura muestra el comportamiento de equipos en el cual se puede observar el inicio y/o presencia de mal funcionamiento de estos equipos totativos.

Dicha temperatura provoca, como ya se ha dicho, una radiación, y los sistemas de termografía infrarroja son capaces de captar dicha radiación y de convertirla en una imagen que representa la distribución de temperatura superficial del objeto observado” (ELECTROMECHANICA, 2019)

#### **2.1.10. Aplicaciones**

Las aplicaciones que se pueden realizar con este método de análisis de termografía se da en el sector eléctrico, sistemas mecánicos, aplicaciones de procesos.

Todos estos procesos tienden a trabajar en condiciones estandarizadas, como son la temperatura, la presencia de cambios de temperatura son indicadores de un funcionamiento irregular del equipo,

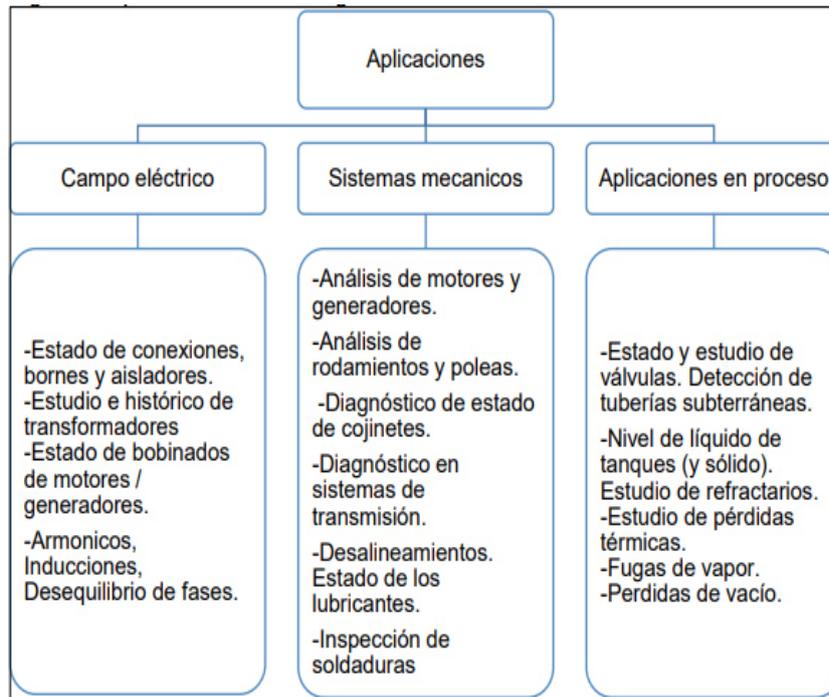


Figura 6 Aplicaciones de termografía

Fuente: (Olarte, Botero, & Cañón Zabaleta, 2011)

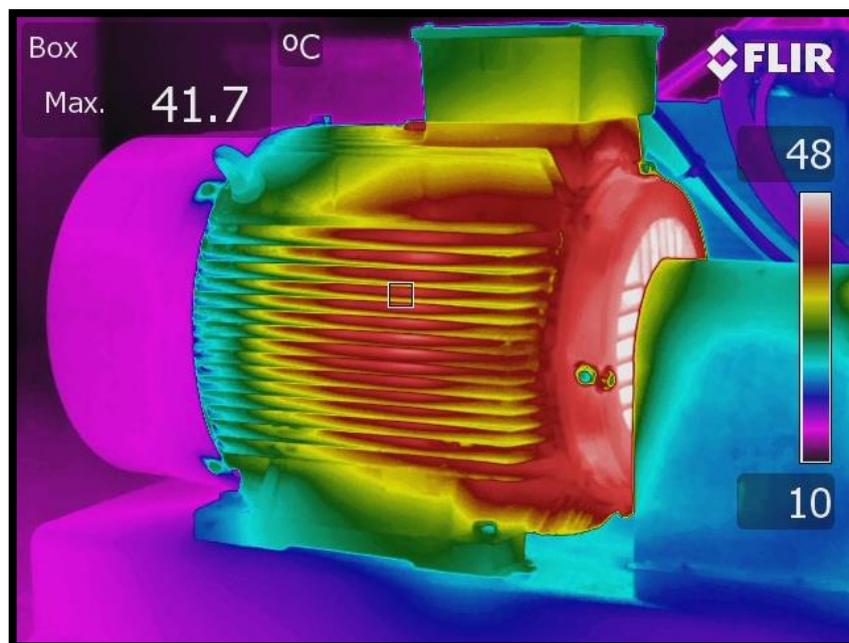


Figura 7 Termografía

Fuente: (OVACEN, 2019)

### **2.1.11. Análisis por ultrasonido**

Este análisis está basado en el análisis y estudio de las ondas de sonido de alta frecuencia los cuales son emitidas por los equipos cuando presentan algún problema.

Por ejemplo nuestro oído humano es capaz de percibir cualquier tipo de sonido siempre que su frecuencia se encuentre entre los 20 Hz y 20 kHz, en cambio el sonido que es producido por un componente de una maquina cuando empieza a presentar fallas no podrá ser captado, por el oído humano ya que su frecuencia es mayor a los 20 kHz.

Las ondas de ultrasonido disminuyen muy rápido debido a su pequeña longitud, sin embargo esto hace fácil la detección de la fuente de donde son emitidas a pesar de estar en un ambiente con demasiado ruido.

Para estas ondas de ultrasonido existen instrumentos especiales encargados de transformar las ondas de ultrasonido en ondas audibles estos equipos pueden ser Medidores de Ultrasonido o Detectores Ultrasónicos. Mediante estos equipos las señales ultrasónicas modificadas pueden ser detectadas por medio de audífonos como también se pueden ver en una pantalla mediante ondas las cuales pueden ser la representación de determinados factores.

<b>Rango</b>	<b>Limites</b>
Subsónico	Frecuencias menores a 16 Hz, no se escucha ningún tono no es percibido por el oído humano.
Sonido audible	Este rango va a partir de los 16Hz hasta los 20 Hz, el oído humano percibe todo sonido dentro de este rango.
Ultrasonido	Son frecuencias mayores a 20Hz, se encuentra por encima del sonido audible humano.

Figura 8 Límites de audibilidad

Fuente: (Zapata, 2017)

### 2.1.12. Aplicaciones

Las aplicaciones del ultrasonido abarcan desde las industrias metalúrgicas, equipos rotativos sector de aeronáuticas, etc. Entre las diferentes aplicaciones donde podemos emplear el ultrasonido para la detección de irregularidades en equipos podemos mencionar:

- Detectar desgaste y fricción en máquinas o equipos rotativos.
- Localizar anomalías y/o fugas en válvulas
- Revelar fugas en líquidos y fluidos.
- Localizar pérdidas de vacío.
- Detectar problemas de arco eléctrico.
- Verificar de juntas y su integridad.

### 2.1.13. Análisis de aceite

El análisis de aceites determina el estado y diagnóstico de operación de equipos que en su interior, o funcionamiento están compuestos con aceite ya sea por lubricación o refrigeración, a partir del estudio de su aceite.

El aceite cumple una función muy importante en el funcionamiento de equipos ya que protege el desgaste, regula la temperatura y elimina las impurezas. Cuando los niveles de aceite presentan contaminación (suciedad, cambio de color) y/o degradación en sus niveles de viscosidad no cumple con las funciones de protección, lubricación la maquina comenzara a presentar fallas.

El análisis de aceite permite mostrar el nivel de contaminación que presenta el aceite y su desgaste mediante pruebas que se lleva a cabo en laboratorios las muestras se obtiene de las maquinas cuando estas están operativas o cuando acaban de ser detenida.

El nivel de contaminación del aceite se relaciona directamente con la presencia de partículas y sustancias extrañas, siendo esté un indicador del estado de la máquina. El grado dela degradación del aceite es un factor para mostrar la perdida de propiedades de lubricar.

Los factores que interviene en la contaminación del aceite se determinan por:

- Partículas metálicas
- Líquidos
- Materias carbonosas
- Sustancias insolubles.

Los factores de desgaste en una muestra de aceite se determina por las siguientes propiedades:

- Viscosidad
- Basicidad

- Propiedades dieléctricas de aceites.
- Detergencia



Figura 9 Análisis de muestra aceite

Fuente propia

Con esta información que podemos obtener de un análisis de aceite por medio de pruebas de laboratorio se permite puede tomar un plan de lubricación y un determinado plan de mantenimiento de una máquina que este lubricada con aceite.

## **2.2. Principales formas de lubricación**

### **2.2.1. Lubricación hidrodinámica**

Con este tipo de lubricación las partes móviles están separado por una película de aceite que se da hidrodinamicamente,

La conformación de esta película depende de la superficie de contacto entre los componentes de la máquina, la velocidad, la viscosidad de aceite.

Este tipo de lubricación se pierde en el momento del arranque y parada del equipo

### **2.2.2. Lubricación elasto-hidrodinámica (ehd)**

“Durante el período de alta presión transitoria, el aceite cambia momentáneamente de líquido a sólido. Una vez que la presión es liberada, el aceite regresa ileso a su estado líquido. Las presiones locales extremas en los contactos de rodamientos, incrementan la importancia de una lubricación efectiva” (SALVADOR, Manual de aplicaciones de herramientas y técnicas del mantenimiento predictivo, s.f.)

### **2.2.3. Lubricación límite**

El rozamiento depende de las cualidades químicas del lubricante.

Donde la condición de la superficie opuesta que tienen contacto directo, y la viscosidad no es un factor para crear la película de lubricación que los separe.

### **2.2.4. Contaminantes más comunes en el aceite**

La contaminación del aceite provocara el mal funcionamiento de equipos, existen diferentes formas más comunes de contaminación

### **2.2.5. Contaminación por partículas**

Las partículas que contamina el aceite generan desgaste provocando fallas mecánicas en los componentes que está en contacto rozamiento, estas partículas pueden ser de diferentes tamaños, dureza y tienen un impacto

importante en las maquinarias por lo que el control es importante ya que se considera un proceso crítico.

Las formas de contaminación por partículas ingresan a la máquina de diferentes fuentes así como por ventillas y respiradores, sellos gastados o dañados, contaminación por aceite nuevo o filtros.

#### **2.2.6. Contaminación por humedad**

Es una contaminación muy crítica ya que las partículas que ingresan por humedad se relacionan principalmente por el medio ambiente con el que interactúan los equipos como son la atmosfera, condensación, fuga de refrigerante.

#### **2.2.7. Contaminación por combustible**

Esta contaminación se da principalmente en motores automotrices, donde el aceite acumula combustible en cierto porcentaje en sus procesos de mantenimiento.

El combustible reduce el grado de viscosidad aumenta la contaminación y oxidación además de la acumulación de aditivos y azufre.

#### **2.2.8. Contaminación por hollín**

El hollín se origina en la combustión, la acumulación de hollín tiende a provocar efectos dañinos al lubricante y equipos. Deteriora el aceite obstruye conductos de lubricación genera capas en las superficies de rozamiento.

### 2.3. Motores Eléctricos

Un motor eléctrico es una maquina rotativa que transforma la energía eléctrica en energía mecánica a través de bobinas las cuales generan campos de magnetismo que produce la fuerza de giro o fuerza que realiza el trabajo mecánico continuo el cual es aprovechado en distintas actividades que requieren este movimiento.

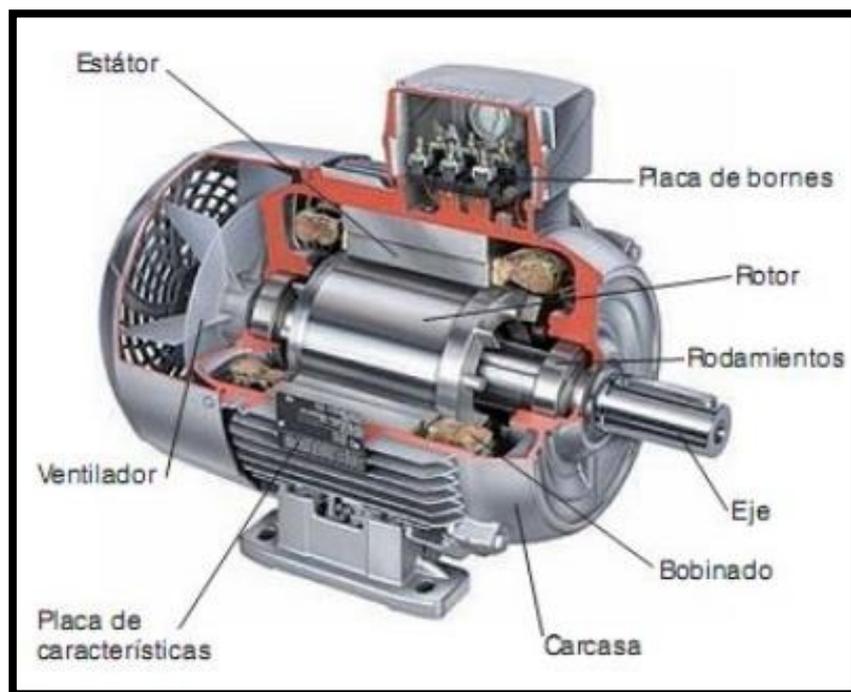


Figura 10 Partes de un Motor Eléctrico

Fuente: (Lopez, 2017)

Los motores electricos desarrollan campos magneticos opuestos entre si, lo que origina el movimiento en la parte (rotor). El rotor cuenta esta conformado por una bobina que genera un campo magnetico opuesto a las bobinas del estator los cuales generan polos opuestos que se repelen haciendo que el rotor giren en el estator.

Deacuerdo al tipo de alimentacion de corriente se clacifican en:

### **2.3.1. Motores de corriente continua**

- De excitación dependiente
- De excitación serie
- De excitación o derivación
- De excitación compuesta

### **2.3.2. Motores de corriente alterna**

- Motores sincrónicos
- Motores asíncronos o monofásicos estos se subdividen en:
  - De bobinado auxiliar
  - De espiras en cortocircuito
  - Universal o trifásicos

Los motores de corriente continua, sincrónicos de corriente alterna su uso y aplicación son en casos bien específicos que requieran ese tipo de cualidades.

Por otro lado los motores de corriente alterna asíncronos, monofásico y trifásicos

Tiene un uso más generalizado por su sencillez poco mantenimiento y bajo costo.

Partes de un motor eléctrico

Las partes más básicas de un motor debido a la función que desempeña son:

- La carcasa
- El estator
- La base
- El rotor

- Caja de conexionado
- Tapas
- Rodamientos o cojinetes



Figura 11 Motores en la historia

Fuente: (Lopez, 2017)

### 2.3.3. Estator

Es la parte principal de un motor donde se produce el flujo magnético que permite el movimiento del estator

El estator está conformado por un conjunto de láminas de silicio, que junto con los devanados producen los polos magnéticos al motor.

La secuencia de polos magnéticos está dada en secuencia par siendo el mínimo de polos dos (norte sur) el estator puede presentarte en dos formas:

- Estator de polos salientes
- Estator ranurado

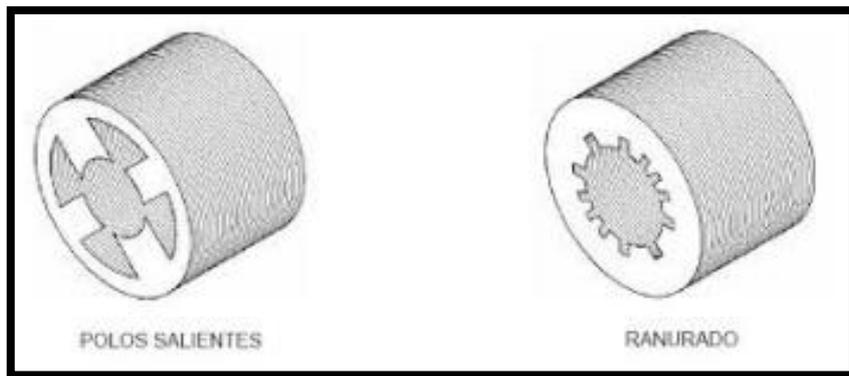


Figura 12 Tipos de Estator

Fuente: (Matienzo, 2019)

### 2.3.4. El rotor

Es parte del motor donde se da la conversión de energía a mecánica.

Igual que los estatores están conformados por láminas de acero al silicio y podemos encontrar tres tipos de rotores.

- Eje con rotor ranurado
- Eje con rotor con polos salientes
- Eje con rotor de jaula de ardilla

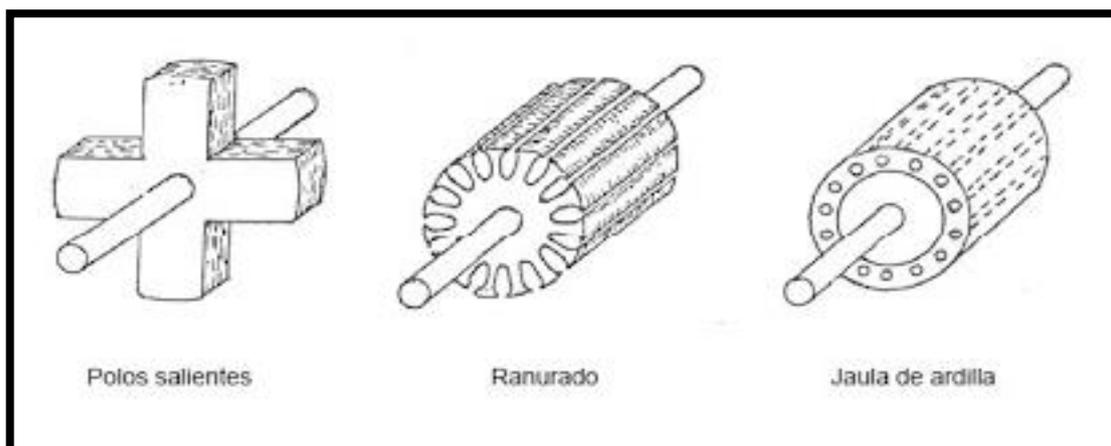


Figura 13 Tipos de Rotor

Fuente: (Matienzo, 2019)

### 2.3.5. Carcasa

Lo conforma la parte robusta que protege a todo el motor el material y modelo de fabricación están relacionados con el tipo motor como su aplicación o modo de funcionamiento con estas características las carcasas pueden variar de acuerdo a:

- Carcasas cerradas
- Carcasa Abierta
- Carcasa a prueba de goteo
- Carcasa a prueba de explosiones
- Carcasa del tipo sumergible



Figura 14 Carcasa de Motor

Fuente: (Matienzo, 2019)

### 2.3.6. Cojinetes

Son las partes móviles que fijan la posición del eje del rotor asiendo su desplazamiento más fácil y uniforme.

Existen dos tipos de cojinetes:

- a) **Cojinetes de deslizamiento** Son de material que soporte el rozamiento y temperatura y menos resistente al eje de rotor trabajan con una película de aceite donde se desliza el eje evitando la fricción.
- b) **Cojinetes de rodamiento.** Son los más utilizados en vez de los cojinetes por varias razones:

- Menor fricción entre sus partes.
- Diseño compacto
- Precisión de operación
- Mayor durabilidad
- Tienen gran facilidad de mantenimiento (cambio)



Figura 15 Rodamientos de Bolas

Fuente: (FAG, 2017)

## **CAPITULO III**

### **3.1. Metodología aplicada para el desarrollo de la solución**

Los motores de electricos siendo equipos de mayor aplicación e importancia es necesario asefurar su operación continua por que es importante detectar lo antes posible causas de falla para la intrvencion programada del mantenimiento.

Para ello es importante recalcar que dentro de las posibles zonas de falla, las cuales son:

#### **3.1.1. Metodo y alcance de la investigacion**

Este trabajo de investigacion es de tipo tecnologico, descriptivo cuantitativo puesto que se tien un problema recurente al cual se le pretende dar solucion.

#### **3.1.2. Diseño de investigacion**

El diseño de investigacion elaborado en este trabajo es del tipo observacional.

#### **3.1.3. Poblacion y muestra**

La poblacion esta conformada por equipos rotativos de margen geerico por lo que se encuentran en una minera.

### **3.1.4. Muestra**

La muestra esta conformada por maquinas rotativas

#### ***a) Tecnicas e instrumentos de recoleccion de datos.***

Los metodos de recoleccion de datos se aplicara:

#### ***b) Test de observacion***

Se aplicara este test en el cual se puede medir parametros de mejora por medio de observacion y recoleccion de datos por medio de pruebas especificas.

#### ***c) Fichas***

Se recolectar los datos con preguntas referentes al estado y funcionamiento de las maquinas rotativas. Para luego aplicar equipos para la deteccion exacta de paoblemas mas recurrentes en motores.

### **3.1.5. Calidad de energía**

Los motores electricos que estan expuestos en instalaciones de energia de mala calidad estan expuestos a llevar temperaturas severeas. Las zonas de altos valores armonicos producen problemas eb el sistema como:

- Distorsión del voltaje
- Corrientes de neutro excesivas
- Sobre calentamiento

### 3.2. Variables

Tabla 3

*Variables*

VARIABLES	CONCEPTUALIZACIÓN	INDICADORES
<p><b>Variable independiente:</b></p> <p>Plan de mantenimiento en motores eléctricos</p>	<p>Identificar los problemas en motores antes de que estos presenten fallas</p> <p>Encontrar. El mantenimiento adecuado para asegurar el correcto funcionamiento de, máquinas, equipos, vehículos, etc.</p>	<p>Planificación para un plan de mantenimiento.</p> <p>Equipo, herramientas y repuestos adecuados.</p>
<p><b>Variable dependiente:</b></p> <p>Paradas imprevistas de maquinarias y equipos</p>	<p>EL mantenimiento poco efectivo provoca un mal uso de las maquinarias, provocando las paradas continuas de las mismas.</p>	<p>Planificación</p> <p>Estandarización de tiempos de ejecución de mantenimiento.</p>

Fuente: Elaboración Propia

### 3.2.1. Aislamiento

Se evalúa el sistema de aislamiento a tierra del equipo, evaluación del índice de polarización, coeficiente de absorción eléctrica, nivel de capacitancia a tierra, todos estos evaluación van sujetos a la norma eléctrica IEEE 43-2000.



Figura 16 Bobinado del estator contaminado

Fuente: (Zegal & Muñoz, 2019)

### 3.2.2. Estator

En esta zona se puede presentar desbalance inductivo donde se puede indicar la calidad del estator bobinado y sus fallas, pueden incluir contacto directo entre fases, vueltas de bobinado es necesario determinar que el sistema de bobinado del estator no presente fases o espiras unidas.

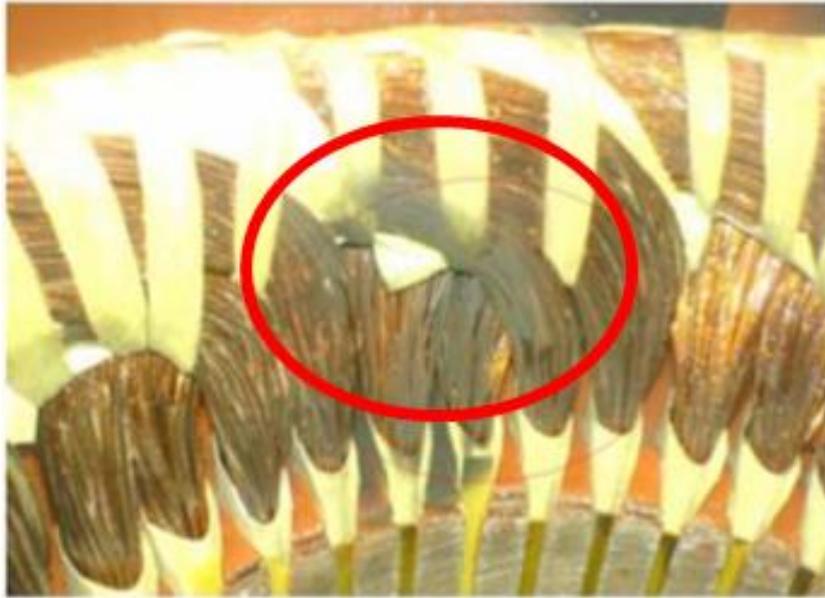


Figura 17 Cruce directo entre espiras

Fuente: (Zegal & Muñoz, 2019)

### **3.2.3. Rotor**

Dentro de las fallas que podemos detectar visualmente estas las fisuras entre barras del rotor además se le puede realizar pruebas de growler para determinar las condiciones eléctricas del rotor además de realizar metrología y revisión de alineamiento del eje y balanceo.



Figura 18 prueba de rotor con growler

Fuente: (Zegal & Muñoz, 2019)

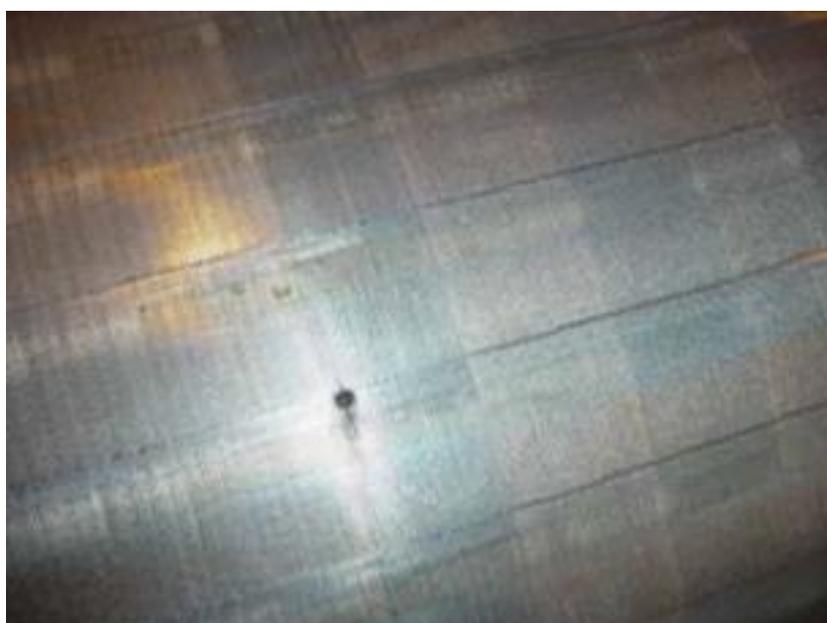


Figura 19 Perforación en barras del rotor

Fuente: (Zegal & Muñoz, 2019)

### 3.2.4. Entrehierro

Su uniformidad en todo su sector debe ser regular y uniforme en el estator para no producir campos magnéticos irregulares, vibraciones y rozamiento entre rotor y estator.



Figura 20 Falla por efecto del rozamiento entre rotor y estator

Fuente: (Zegal & Muñoz, 2019)

## **CAPITULO IV**

### **3.3. Identificación de Requerimientos**

#### **3.3.1. Monitoreo térmico de Componentes**

Los motores eléctricos deben operar dentro de valores del tipo de aislamientos y condiciones para un buen funcionamiento del motor. NEMA recomienda que por cada 10°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.

#### **3.4. 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 está sobrecargado.

### **3.5. 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 esta 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 activa Factor de potencia, eficiencia

#### **3.5.1. 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.

#### **3.5.2. 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.

### **3.6. Diagnóstico fuera de línea en motores**

En este tipo de pruebas el motor tiene que estar fuera de servicio y desenergizado.

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.

### **3.6.1. Resistencia óhmica**

Esta prueba inyecta corriente continua en su bobinado con tensiones bajas en los bornes

Calculando la resistencia del bobinado del estator usando al 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 los 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.
- c) Medida incorrecta de caja de conexiones
- d) uniones de soldadura en mal estado entre fases.
- e) bobinas/fases conectados incorrectamente o dañadas



Figura 21 Megómetro

Fuente: (Gómez, Peña, & Hernández, 2012)

### 3.6.2. 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.

Tabla 4

*Niveles de Voltajes de prueba de aislamiento*

<b>Voltaje nominal del motor</b>	<b>Voltaje de Prueba</b>
<1000 V CA	500 V DC
1000-2500 V CA	500-1000 V DC
2501-5000 VCA	1000-2500 VDC
5001-12000 VCA	2500-5000 VDC
>12000 V CA	5000-10000 VDC

Fuente: (EASA, 2015)

Tabla 5

*Valores mínimos para la resistencia de aislamiento a 40oC*

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

Fuente: (EASA, 2015)

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

$$R \text{ aislamiento} = \frac{-b \pm V_{prueba}}{I}$$

- V=Voltaje de prueba
- I= Corriente
- R= Resistencia de aislamiento
- Causas que degradan el aislamiento

### **3.6.3. Fatiga eléctrica**

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

### **3.6.4. Fatiga mecánica**

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

### **3.6.5. 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.

El efecto de vapores corrosivos, polvo, aceites (Grasas), agua, puede ser determinante para la vida del aislamiento.



Figura 22 Ataque químico

Fuente: (González & Nuñez, 2012)

### **3.6.6. Fatiga térmica**

La temperatura ocasionan expansión o contracción en diferentes zonas del equipo estas pueden afectar el aislamiento generando grietas o fallas

### **3.6.7. Contaminación ambiental**

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

## **3.7. 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 conjuntamente con la prueba de aislamiento. El índice de polarización se puede calcular mediante la fórmula:

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

- 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.

Tabla 6

*Índice de Polarización a 40oC*

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

Fuente: (EASA, 2015)

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 dieléctrica 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

Tabla 7

*Interpretación de los resultados arrojados en las pruebas de PI y AD*

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

Fuente: (EASA, 2015)

### **3.7.1. 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.

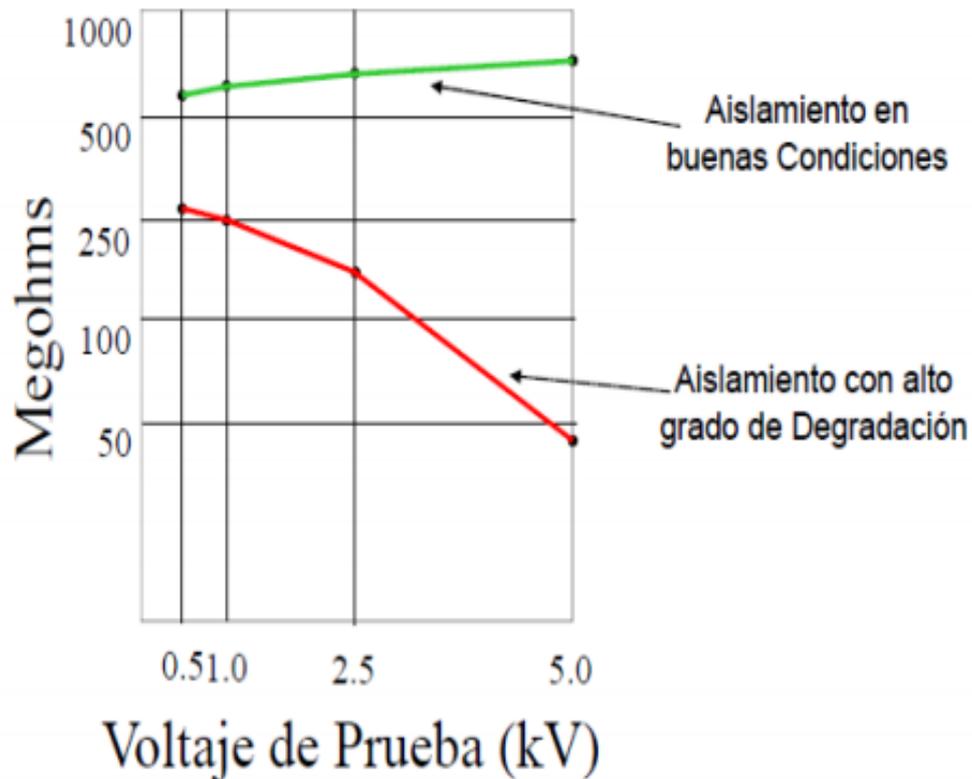


Figura 23 Comportamiento del aislamiento

Fuente: (ELECTROMECHANICA, 2019)

La información de este ensayo se da a partir de graficas de resistencia de aislamiento con el tiempo y comparar las curvas obtenidas conforme las curvas sean más similares el aislamiento será bueno por otro lado si son diferentes sufrirán problemas sufrirán deformaciones, fracturas del aislantes, presencia de humedad

### 3.7.2. Prueba de hi-pot

En este tipo de, prueba tipo cualitativa nos indica si el aislamiento de un equipo pasa o no pasa a un voltaje determinado.

En este tipo de prueba el voltaje es incrementado sin llegar a dañar su aislamiento por lo que esta prueba no es destructiva y sirve para probar la resistencia de aislamiento a tierra.

Esta prueba se basa en estándares de la norma NEMA MG-1 e IEEE 95-2000 las cuales recomiendan los siguientes voltajes de prueba.

- ***V prueba 1 = 2 V operación +1000 V***

Para motores nuevos y rebobinados

- ***V prueba 2 = V prueba x (1.7)***

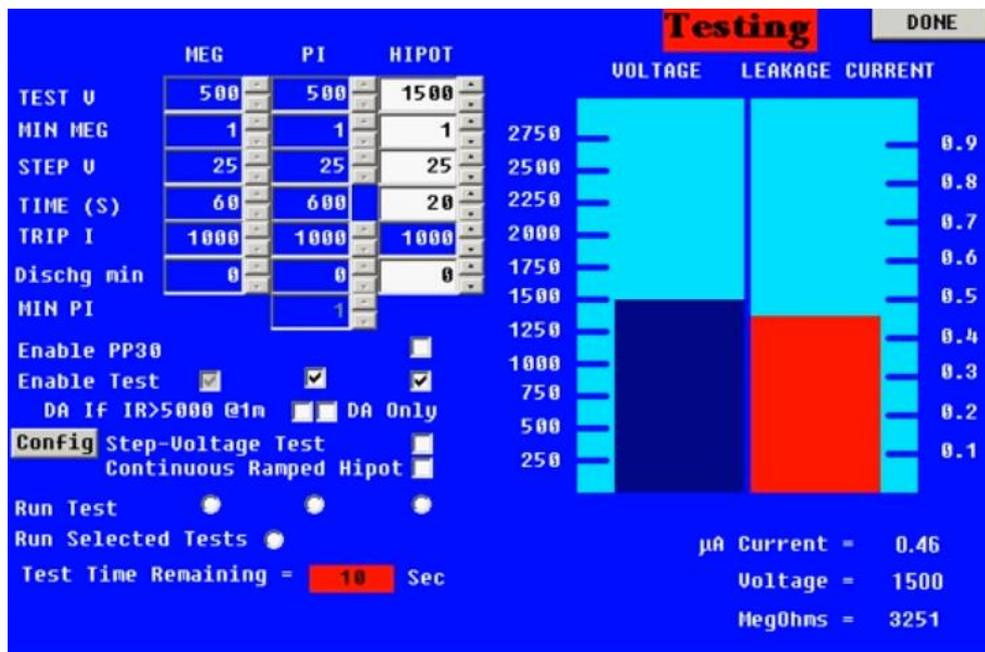


Figura 24 Baker AWA IV Hipot Test Visual Demostración

Fuente: SKF

### 3.7.3. Prueba de impulso

Las fallas más comunes en los motores eléctricos de motores se pueden iniciar en cortos entre espiras en las bobinas, en estos cortos el aumento de

temperatura por los puntos calientes que se originan dañaran el aislamiento hasta que el motor tiende a fallar por cortos y/o fogonazos entre bobinas.

Los fogonazos o cortos y bajo aislamiento entre bobinas se puede descubrir mediante la prueba de impulso en donde se localiza defectos en el aislamiento entre bobinas, espiras a espiras, bobina a bobina o fase a fase.

Este prueba de impulso está presente en la norma IEEE 522-2004.

El objetivo de este ensayo es comprobar si se produce un daño o perforación en las bobinas o asilamiento.

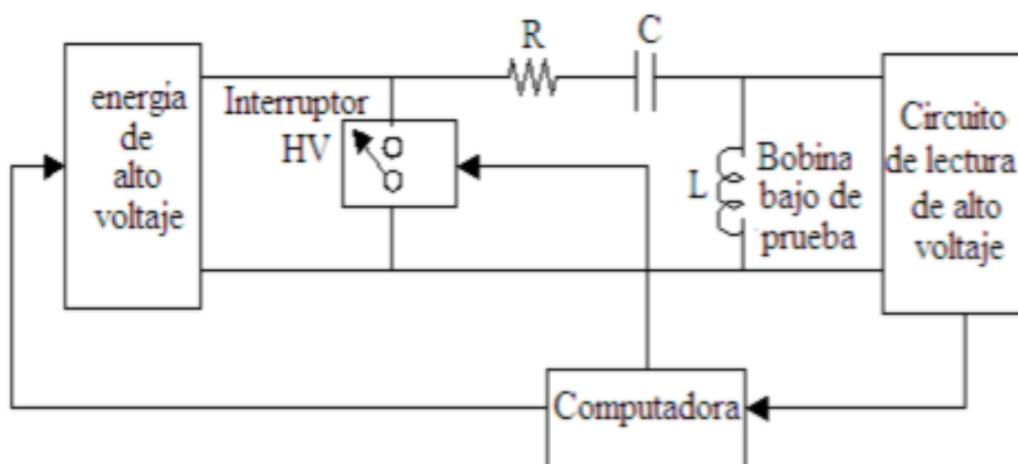


Figura 25 Diagrama de bloques de la prueba de impulso

Fuente: (Erbessd, 2018)

La tabla debajo muestra los voltajes de prueba recomendados

Tabla 8

*Voltajes de prueba recomendados*

		<b>IEEE522</b>		<b>EASA</b>	<b>EC34-15</b>	
		<b>Nueva bobina</b>	<b>En servicio</b>	<b>En servicio</b>	<b>Nuevo</b>	<b>En serado</b>
$V_{\text{linea}}$	Por unidad	3.5 pu	75% Nuevo	$2 \cdot V_{\text{linea}} + 1000$	$4 \cdot V_{\text{linea}} + 5000$	65% Nuevo
480	392	1372	1029	1960	6920	4498
575	469	1643	1232	2150	7300	4745
600	490	1715	1286	2200	7400	4810
2300	1878	6573	4930	5600	14200	9230
4160	3397	11888	8916	9320	21640	14066
6900	5634	19718	14789	14800	32600	21190
13800	11268	39437	29578	28600	60200	39130

Fuente: (EASA, 2015)

### 3.8. Análisis de pruebas efectuadas a motores eléctricos

A continuación se presenta las pruebas que se efectuarían a motores en la industria, o una planta.

Las pruebas se realizaran a motores fuera de servicio para poder determinar el estado y en el que se encuentra el motor y así determinar las condiciones más importantes de cada uno de sus componentes

#### 3.8.1. Pruebas de motor

Para poder determinar el estado eléctrico de un motor se pueden efectuar estas cuatro pruebas.

### **3.8.2. Prueba de resistencia ohmica**

(Sirve para analizar el desbalance de bobinado del estator y detectar zonas calientes) (Norma NEMA MG-1 1998).

### **3.8.3. Prueba de megado**

La medición se toma en un minuto, donde se puede alcanzar el valor del voltaje adecuado de prueba. Puede realizarse en el panel de arrancadores.

### **3.8.4. Prueba hipot**

La prueba de HIPOT permite determinar la tensión máxima (según tablas) que resiste el aislamiento de un motor, esta prueba está sujeta a la Norma IEEE 95 and IEEE43.

### **3.8.5. Prueba de impulso (surge)**

La prueba de surge evalúa la rigidez dieléctrica entre las espiras de los devanados de los motores esta prueba está sujeta a la (NORMA IEEE

El equipo utilizado para las pruebas antes mencionadas es un analizador de aislamiento digital BAKER AWA

Tabla 9

*Índice de polarización y absorción*

Índice de Polarización (PI)		Absorción dieléctrica (AD)	
PELIGRO	< 1.0	PELIGRO	< 1.1
POBRE	1 a 1.4	POBRE	1.1 a 1.24
CUESTIONABLE	1.5 a 1.9	CUESTIONABLE	1.25 a 1.3
MINIMO ACEPTABLE	2.0 a 2.9	MINIMO ACEPTABLE	1.4 a 1.6
BUENO	3.0 a 4.0	EXCELENTE	> 1.7
EXCELENTE	> 4.0		

Fuente: (EASA, 2015)

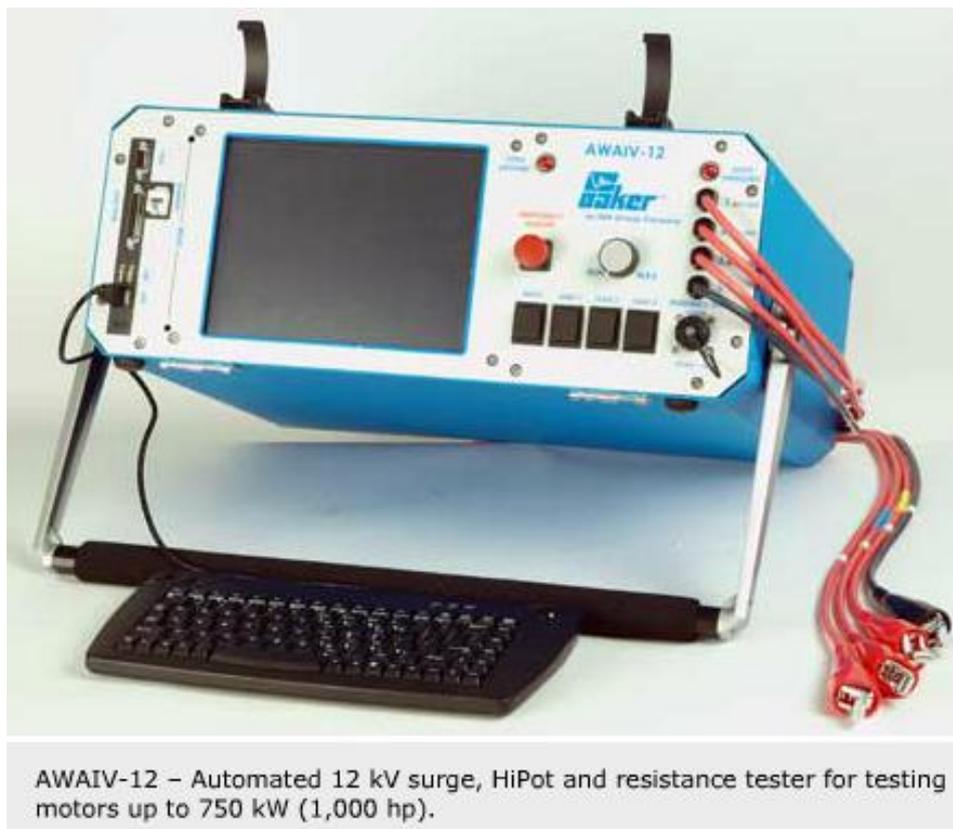


Figura 26 Baker AWA

Fuente: (Gómez, Peña, & Hernández, 2012)

### 3.8.6. Caso práctico 01

#### **a) Descripción: aislamiento en buen estado**

A continuación, se muestran los resultados de aislamiento tras hacerse las pruebas a un motor de 400 HP.

Tabla 10

*Datos del motor para pruebas*

<b>MOTOR ELECTRICO AC</b>	
MARCA	BALDOR
SPEC N°	22A122-0041
S/N	N0605020015
POTENCIA	500 HP
TENSIÓN	2300/4160 V
CORRIENTE	115/64 A
VELOCIDAD	1195 RPM
FRECUENCIA	60 HZ

Fuente: (Zegal & Muñoz, 2019)

#### **b) Prueba de resistencia ohmica entre fases**

Se recomienda que la variación porcentual de las resistencias deba ser como máximo del 10%.

Tabla 11

*Tabla de resistencia ohmica deacuredo a la temperatura*

<b>Resistencia Ohmica</b>			
Resistencia entre fases	Medida(mΩ)	Corregida (mΩ)	
	25°C	30°C	75°C
RI 2	194	198	231
R 2-3	194	198	231
R 13	191	195	228
Variación porcentual		1.5 %	

Fuente: (Zegal & Muñoz, 2019)

**c) Prueba de megado NORMA (ieee 43-2000, easa ar-100)**

La prueba de aislamiento debe ser como mínimo 100 MΩ a 40°C de temperatura  
(IEEE 43-2000, EASA AR-100)

Tabla 12

*Resistencia de megado a 25 y 40 grados celcius*

<b>Resist. De Aislamiento (MQ)</b>	
Medida	Corregida
25°C	40°C
2674	1671

Fuente: (EASA, 2015)

**d) Índice de polarización IP**

Norma IEEE 43-2000, EASA AR-100) a una tensión de prueba de 2000 V

Tabla 13

Resistencia de aislamiento a 10 minutos

<b>RESISTENCIA DE AISLAMIENTO</b>		
t(seg )	Medida (25°C)	Corregido (40°C)
15	860	537
30	1690	1056
45	2160	1350
60	<b>2631</b>	<b>1315</b>
90	3600	2250
120	4400	2750
180	5000	3125
240	5800	3625
300	6010	3756
360	6710	4193
420	7300	4562
480	8210	5131
540	10620	6637
600	<b>10963</b>	<b>6852</b>

Fuente: (EASA, 2015) (ELECTROMECHANICA, 2019)

**e) Prueba de Hipot**

Norma IEEE 95, EASA AR-100, NEMA MG-1

Tabla 14

*Prueba Hipot*

<b>PRUEBA DE HIPOT</b>			
T(seg )	VOLT.	CURRENT (ua)	MEGOHMS
60	500	0.08	4000
60	1200	0.15	3800
60	3600	0.17	3600
60	5000	0.20	3400

Fuente: (ELECTROMECHANICA, 2019)

**f) Prueba de impulso**

Norma IEEE 522-1992, EASA AR100, NEMA MG-1, IEC 34-15

La variación de aislamiento de espiras entre fases no debe exceder el 10%.

Tabla

15

Variación porcentual de aislamiento

<b>VARIACION ENTRE ESPIRAS FASE A FASE</b>		
FASE 1	FASE 2	2%
FASE 2	FASE3	1%
FASE3	FASE 1	3%

Fuente: (Gómez, Peña, & Hernández, 2012)

### ***g) Conclusiones***

- La resistencia óhmica
- La lectura que se tomó entre fases en el bobinado del estator no muestra mucha diferencia uno con respecto a otros. La variación entre los valores nos indica que no hay riesgos de cortocircuitos.
- La prueba de megado nos muestra que el aislamiento del bobinado es adecuado lo cual se comprobó con la toma de medida de aislamiento obtenida en la prueba (2.674 GΩ)
- El IP Indica que el motor cuenta con material de aislamiento con propiedades dieléctricas aceptables.
- En la prueba de HIPOT La resistencia de aislamiento gradual nos muestra que es estable esto indica que la rigidez dieléctrica del aislamiento del motor es buena
- El nivel de aislamiento
- El aislamiento entre espiras se encuentra en condiciones óptimas,sto
- La prueba de impulso realizado al bobinado del motor donde se obtiene valores se encuentran dentro de la tolerancia especificada por norma.

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES**

Las fallas a las que están expuestos los motores eléctricos en la industria presentan 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.

## RECOMENDACIONES

Documentar el historial de mantenimiento correctivo o preventivo de todas las ensayos y pruebas que se hicieron cuando fue intervenido.

Tener un control de motores eléctricos con el fin de contar con un control de repuestos y componentes más solicitados para la corrección de fallas y el mantenimiento que se le aplique sea más efectivo

Se recomienda además que los equipos que se consideren más críticos aplicar los ensayos como análisis de vibraciones pruebas de termografía análisis de aceite pruebas de ultrasonido y pruebas eléctricas para establecer rangos y parámetros para elaborar un histórico más detallado en esta equipos determinando así cuales sean los más críticos.

Las pruebas realizadas con el Baker awa son de gran importancia ya que pueden dar un diagnóstico más acertado en qué estado se encuentra eléctricamente el motor.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- CONSTRUSUR, P. (19 de Enero de 2010). *CONSTRUSUR Análisis de Vibración para Mantenimiento Predictivo*. Recuperado el 17 de noviembre de 2019, de <http://www.construsur.com.ar/Noticias-article-sid217.html>
- EASA. (2015). *Norma EASA AR 100-2015*. USA.
- ELECTROMECHANICA, T. 8. (2019). *Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado*. Recuperado el 28 de Noviembre de 2019, de <http://files.tecnica8-electromecanica.com/200001528-98ba999b41/Teoria-y-Practica-DelMantenimiento-Industrial-Avanzado.pdf>
- Embld, R. (20 de Febrero de 2014). *Blog Seas*. Obtenido de [https://www.seas.es/blog/disenio\\_mecanico/causas-y-efectos-de-las-vibraciones-en-sistemas-dinamicos/](https://www.seas.es/blog/disenio_mecanico/causas-y-efectos-de-las-vibraciones-en-sistemas-dinamicos/)
- Erbessd, T. (2018). *Erbessd Instruments*. Obtenido de <https://www.erbessd-instruments.com/es/articulos/analisis-de-vibraciones>
- FAG, R. (18 de Agosto de 2017). *Ingemecanica.com*. Obtenido de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/figutut214/FAG.pdf>
- FISICAS, R. (s.f.). *RENOVETEC*. (RENOVETEC. Mantenimiento Predictivo. Técnicas de Mantenimiento Condicional basadas en la medición de variables físicas. )  
Recuperado el 2019 de noviembre de 18, de <http://www.renovetec.com/editorial/mantenimientoindustrial-vol3-predictivo.pdf>
- Gómez, V., Peña, R., & Hernández, C. (2012). Identificación y Localización de Fallas en Sistemas de Distribución con Medidores de Calidad del Servicio de Energía Eléctrica. 5.

- González, J., & Nuñez, B. (2012). Sistema de monitoreo en tiempo real para la medición de temperatura. *Scientia et Technica*, 4.
- Lopez, J. C. (2017). Motores Eléctricos. *Biblio3*, 69.
- Matienzo, B. (15 de Octubre de 2019). *Motores Electricos*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/279motoreselectricos/partes-fundamentales-de-un-motor-electrico/2-1-estator>
- Olarte, W., Botero, M., & Cañón Zabaleta, B. (2011). Aplicación de la termografía en el mantenimiento predictivo. 4.
- OVACEN. (20 de Setiembre de 2019). *OVACEN*. Obtenido de <https://ovacen.com/uso-y-aplicaciones-de-la-termografia/>
- REDALYC. (28 de Noviembre de 2019). *Aplicación de la termografía en el mantenimiento predictivo*. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84922622045>
- REDALYC. (s.f.). *REDALYC*. (REDALYC) Recuperado el 27 de NOVIEMBRE de 2019, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87032407>
- SALVADOR, R. I. (s.f.). *Manual de aplicaciones de herramientas y técnicas del mantenimiento predictivo*. Recuperado el 28 de Noviembre de 2019, de [http://ri.ues.edu.sv/1742/1/Manual\\_de\\_aplicaciones\\_de\\_herramientas\\_y\\_t%C3%A9cnicas\\_del\\_ma](http://ri.ues.edu.sv/1742/1/Manual_de_aplicaciones_de_herramientas_y_t%C3%A9cnicas_del_ma)
- STD, P. (s.f.). *STD*. . (STD. Aplicando el monitoreo de vibraciones acústicas al mantenimiento predictivo.) Recuperado el 18 de noviembre de 2019, de [http://www.vibratec.net/files/ultrasonido/pdf/Deteccion %20Ultrasonica%20-%20Allan%20Rienstra%20SDT.pdf](http://www.vibratec.net/files/ultrasonido/pdf/Deteccion%20Ultrasonica%20-%20Allan%20Rienstra%20SDT.pdf)

Tomasov, I., & Rodríguez, C. (2018). Modelo para la estimación de una frecuencia natural a partir de la respuesta vibratoria de un sistema sometido a un barrido sinusoidal de alta aceleración. *SCIELO*, 15.

VIBRATEC. (s.f.). *VIBRATEC. Análisis de aceites*. (VIBRATEC. Análisis de aceites.) Recuperado el 20 de Noviembre de 2019, de [http://www.vibratec.net/pages/tecnico5\\_anaaceites.html](http://www.vibratec.net/pages/tecnico5_anaaceites.html)

Zapata, M. (15 de Noviembre de 2017). *Musiki*. Obtenido de [http://musiki.org.ar/Umbral\\_de\\_audibilidad](http://musiki.org.ar/Umbral_de_audibilidad)

Zegal, J. R., & Muñoz, A. (12 de Octubre de 2019). *Guia para la reparacion de motores electricos trifasicos*. Obtenido de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/496916/Gu\\_aReparaci\\_nMotores\\_-\\_FinalDigPswd.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/496916/Gu_aReparaci_nMotores_-_FinalDigPswd.pdf)

## ANEXOS

### Anexos. MATRIZ DE CONCISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVOS	VARIABLES	OPERACIONES DE VARIABLE			
			IINDICADOR	INSTRUMENTOS	ESCALA	FUENTE
¿Cuál es la efectividad de desarrollar un plan de mantenimiento ?	Identificar un tipo de mantenimiento de los Motores Eléctricos teniendo en cuenta las causas con mayor continuidad (tipos de falla, apariencia e historial del mantenimiento del motor)	Plan de mantenimiento en motores eléctricos	Planificación para un plan de mantenimiento. Equipo, herramientas y repuestos adecuados.	Equipos de medición e inspección	Densidad óptica	Reportes de técnicos informes de pruebas
	Establecer las causas o problemas con conllevan a las fallas eléctricas de los motores.	Cuadros estadísticos del historial de motores	Planificación Estandarización de tiempos de ejecución de mantenimiento.	Reportes de incidencias y fallas	Cuantía de incidencias	Reportes de técnicos
	Establecer donde se origina las fallas en los sistemas de aislamiento y fallas recurrentes que conforman dicho sistema.	Pruebas y mantenimiento predictivo ensayos en campo	Planificación para un plan de mantenimiento. Equipo, herramientas y repuestos adecuados.	Reportes de incidencias y fallas	Cuantía de incidencias	Reportes de técnicos