

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



**PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA EL
DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE
MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y PREVENTIVO PARA
MOTORES ELÉCTRICOS EN LA INDUSTRIA
SALVADOREÑA**

PRESENTADO POR:

SAÚL FRANCISCO GUTIÉRREZ ARGUETA

KEVIN GIOVANNI MORÁN GIL

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

CIUDAD UNIVERSITARIA, MAYO DE 2018

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

MSC. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

MSc. CRISTOBAL HERNAN RIOS BENITEZ

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO:

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCON SANDOVAL

SECRETARIO:

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERIA ELÉCTRICA

DIRECTOR:

ING. ARMANDO MARTÍNEZ CALDERÓN

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

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO ELECTRICISTA

Título:

**PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA EL
DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE
MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y PREVENTIVO
PARA MOTORES ELÉCTRICOS EN LA INDUSTRIA
SALVADOREÑA**

Presentado por:

SAÚL FRANCISCO GUTIÉRREZ ARGUETA

KEVIN GIOVANNI MORÁN GIL

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

ING. ARMANDO MARTÍNEZ CALDERÓN

SAN SALVADOR, MAYO DE 2018

Trabajo de Graduación Aprobado por:

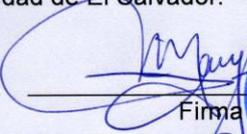
Docente Asesor:

ING. ARMANDO MARTÍNEZ CALDERÓN

ACTA DE CONSTANCIA DE NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha, viernes 20 de abril de 2018, en la Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a las 3:00 p.m. horas, en presencia de las siguientes autoridades de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador:

1. Ing. Armando Martínez Calderón
Director


Firma

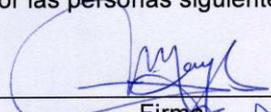

Firma



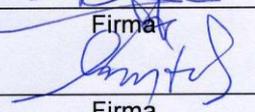
2. MSc. José Wilber Calderón Urrutia
Secretario

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

- ING. ARMANDO MARTÍNEZ CALDERÓN
(Docente Asesor)


Firma

- ING. GERARDO MARVIN JORGE HERNANDEZ


Firma

- ING. JOSE MIGUEL HERNANDEZ


Firma

Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y PREVENTIVO PARA MOTORES ELÉCTRICOS EN LA INDUSTRIA SALVADOREÑA

A cargo de los Bachilleres:

- KEVIN GIOVANNI MORÁN GIL

- SAÚL FRANCISCO GUTIÉRREZ ARGUETA

Habiendo obtenido en el presente Trabajo una nota promedio de la defensa final: 8.5

(ocho punto cinco)

AGRADECIMIENTOS

DEDICATORIA

Espero con estas líneas expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a todas las personas que han estado presentes en cada momento de mi formación profesional.

A mis familiares

Profundo agradecimiento a mi madre Patricia Lorena Argueta García y a mi padre Saúl Ovidio Gutierrez López por ser mi apoyo incondicional en este proceso, por ser mis pilares y guías en mi vida, por motivarme a culminarlo aun cuando todo parecía ponerse en contra, a mi hermana Ingrid Argueta, tía Laura Argueta, primas y abuelos por su apoyo incondicional y la confianza depositada en mi persona durante todo este tiempo.

A mis maestros

Por el esmero y la dedicación en fomentar mi desarrollo en mis estudios profesionales, en especial a mi asesor de tesis el Ing. Armando Calderón, por su guía y apoyo en el proceso de realización de este trabajo.

A mis amigos y compañeros.

Agradezco especialmente a mi compañero de tesis y amigo Kevin Morán con quien luchamos y trabajamos tanto para finalizar este proyecto con éxito, a los compañeros y amigos Vladimir Larín con quién se comenzó este proyecto, así como también a Nelson Wilfredo quién proporcionó información de gran utilidad en la realización de este trabajo.

Y para todos aquellos familiares y amigos que se me quedaron en el tintero pero que siempre estuvieron para ayudarme en este proceso de formación, sin su ayuda nada de esto hubiera sido posible, a todos, ¡Gracias!

Saúl Francisco Gutiérrez Argueta

DEDICATORIA.

Llegando a la finalización de una etapa en mi vida con la presentación de este trabajo, es para mí necesario dedicar y agradecer a todos aquellos quienes de una u otra forma han sido responsables de brindarme el apoyo para poder adjudicarme este logro.

A mis familiares.

Agradezco a mis padres Oscar Federico Morán y Mirna Elizabeth Gil de Morán, por su apoyo incondicional mantenido durante todo este tiempo y por ser un ejemplo de lucha y perseverancia en los momentos adversos, a mi hermana y abuela que al igual que mis padres siempre estuvieron respaldándome y animándome desde la distancia para la conclusión de mis estudios.

A mis maestros.

Por su tiempo dedicado y por impulsar el desarrollo de mi formación profesional, reconocer mi tutor de tesis el Ing. Armando Martínez Calderón, por su apoyo guía ofrecida en la elaboración y culminación de este trabajo.

A mis compañeros y amigos.

Agradezco especialmente a mi compañero de tesis y amigo Saul Gutiérrez porque trabajando juntos presentamos la finalización de este proyecto con éxito, a los compañeros y amigos Vladimir Larín con quién se comenzó este proyecto, así como también a Nelson Wilfredo quién proporcionó información de gran utilidad en la realización de esta tesis. A todos aquellos familiares y amigos quienes no he mencionado en este escrito pero que, de forma directa o indirecta, sin su apoyo, no hubiese sido posible la culminación de mi carrera universitaria, a todos, ¡Gracias!

Kevin Giovanni Morán Gil

INDICE

OBJETIVOS DEL TRABAJO.....	1
JUSTIFICACION.....	2
1. CAPITULO 1: MARCO TEORICO.....	3
1.1. INTRODUCCION A LOS MOTORES ELECTRICOS	3
1.1.1 Partes fundamentales de un motor eléctrico	4
1.2. Causas más comunes de falla en motores eléctricos.	7
1.2.1. Fallas eléctricas.....	7
1.2.2 Fallas mecánicas.....	7
1.2.3. Condiciones ambientales adversas	8
1.2.4. Selección o aplicación incorrectas.	8
1.2.5. Instalación inadecuada	8
1.2.6. Mantenimiento no apropiado	9
1.3 evolución de las técnicas de mantenimiento.	9
1.3.1. Panorama nacional.	10
1.3.2. Fallas más comunes en los motores eléctricos en el país.	12
2. CAPITULO 2: ¿QUE ES UN PLAN DE MATENIMIENTO?	13
2.1 ¿Qué es un plan de mantenimiento?.....	13
2.2 la necesidad de elaborar un plan de mantenimiento	13
2.3 Palabras clave	14
2.4 Recomendaciones de seguridad.	15
3. CAPITULO 3: ASPECTOS PREVIOS.....	16
3.1 objetivos que se pretenden alcanzar con un plan de mantenimiento	16
3.1.1 El objetivo de disponibilidad	17
3.1.2 El objetivo de fiabilidad.	18
3.1.3 La vida útil del motor y con ello el de todo el sistema de producción.	18
3.1.4 El cumplimiento del presupuesto	19
3.2 Medición de objetivos (Indicadores de desempeño).....	19
3.2.1 Índices de Disponibilidad	20
3.2.2 Indicadores de Gestión de Órdenes de Trabajo	21

3.2.3 Índices de coste	24
3.2.4 Índices de proporción de tipo de mantenimiento.....	26
3.2.5 Índices de Gestión de Almacenes y Compras	27
3.2.6 Índices de Seguridad y Medio Ambiente.....	29
3.2.7 Índices de formación	29
3.3 Política o cultura para involucramiento del personal.	30
3.3.1 TPM.....	30
3.4 Los mantenimientos Subcontratado a un especialista.	31
3.5 Errores habituales al elaborar un plan de mantenimiento.	32
4. CAPITULO 4: PASOS EN LA ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO.....	33
4.1 Métodos para realizar un plan de mantenimiento	33
Modo 1: instrucciones de los fabricantes	33
Modo 2: protocolos de mantenimiento	33
Modo 3: análisis de fallos	33
4.2 Pasos para implementar un plan de mantenimiento	33
1. Determine las metas y objetivos.....	34
2. Establecer los requerimientos para el mantenimiento.....	34
3. Para establecer su programa de mantenimiento preventivo siga los siguientes pasos:	35
4. Procedimientos para el programa de mantenimiento. (Listados de rutinas.)	37
4.3 Análisis de los Equipos y codificación de equipos	37
4.3.1 identificar función	37
4.3.2 Identificar el equipo	37
4.3.4 Codificación de equipos	38
4.4 Análisis de criticidad.....	41
4.4.1 Establecer criticidad de equipo e identificar modos de fallo	41
4.5 Tipos de mantenimiento.....	45
Mantenimiento correctivo:	45
Mantenimiento preventivo:.....	45
Mantenimiento predictivo:.....	45

4.6 El mantenimiento preventivo	46
4.6.1 Pruebas, metodologías y estándares	46
4.7 El mantenimiento predictivo	50
4.7.1 Pruebas, metodologías y estándares	50
4.8 Modelos de mantenimiento posibles	74
4.8.1 Modelo correctivo	75
4.8.2 Modelo Condicional	75
4.8.3 Modelo Sistemático	75
4.8.4 Modelo de Alta Disponibilidad	76
5. CAPITULO 5: CLASIFICACIÓN DE LOS FALLOS.....	78
5.1 Aislamiento.....	78
5.1.1 Factores a observar	79
5.2 Rodamientos.....	80
5.2.1 Tipos de rodamientos.....	80
5.2.2 Componentes principales de los rodamientos.	81
5.2.3 Factores a observar	81
5.2.4 Etapas de falla de rodamientos.....	82
5.3 Rotor.	83
5.3.1 Factores a observar	83
5.3.2 Etapas de la falla de barras rotas.	84
5.4 Estator.....	84
5.4.1 Factores a observar	85
5.5 Calidad de la alimentación y circuito de potencia.....	86
5.5.1 Factores a observar	87
5.5.2 Algunos de estos efectos son causados por el CIRCUITO DE POTENCIA porque está siendo alimentado el motor.....	88
5.6 Histórico de averías.....	88
5.6.1 Realizar mediciones periódicas y revisar tendencias.....	89
5.6.2. Recopilación de datos	90
5.6.3 Emitir diagnóstico de condición.....	91
5.7 Clasificación de los fallos.....	91
5.8. Determinación de los modos de fallo	93

5.9. Consulta al manual del equipo detalles a tomar en cuenta.....	93
5.10 Determinar acciones de mantenimiento.....	94
5.11. Agrupación de las tareas de mantenimiento a llevar a cabo.....	94
5.11.1. Rutas diarias	95
5.11.2. Rutas semanales y mensuales	95
5.11.3. Gamas anuales	96
5.11.4. Comparar con criterios de alerta.	96
5.12. Informes tras la realización de las tareas de mantenimiento	96
5.13. Puesta en marcha del plan de mantenimiento.	97
5.14. Procedimientos de realización de tareas de mantenimiento.....	98
5.15. Planificación del mantenimiento	99
5.16. Ordenes de trabajo O.T	99
5.10.1 Orden de trabajo Correctiva.....	100
5.10.2. Órdenes de Trabajo Preventivas. Gamas de Mantenimiento.....	103
5.17. Organización de paradas programadas para mantenimientos anuales o para pruebas que requieran paradas.	103
5.18. La mejora continua del Plan de mantenimiento	104
5.18.1 Revisión de la estrategia y mejora continua del proceso.	105
5.18.2 Retroalimentar el histórico.	105
6. EJEMPLO DE IMPLEMENTACIÓN.	106
6.1 Ejemplo 1.....	106
Determine las metas y objetivos	106
Establecer los requerimientos para el mantenimiento.	106
Maquinaria y Equipo a incluir.....	106
Identificar función.	106
Código para elemento (motor)	106
Identificar el equipo	107
Establecer criticidad de equipo e identificar modos de fallo	108
Histórico de averías.....	110
Clasificación de los fallos.....	110
Determinación de los modos de fallo	111
Consulta al manual del equipo detalles a tomar en cuenta.....	111

Determinar acciones de mantenimiento.....	111
Agrupación de las tareas de mantenimiento a llevar a cabo.....	112
6.2 Ejemplo 2.....	114
Determine las metas y objetivos	114
Establecer los requerimientos para el mantenimiento.	114
Identificar función	114
Código para elemento (motor)	114
Identificar el equipo	115
Establecer criticidad de equipo e identificar modos de fallo	116
Histórico de averías.....	118
Clasificación de los fallos.....	118
Determinación de los modos de fallo	119
Determinar acciones de mantenimiento.....	119
Agrupación de las tareas de mantenimiento a llevar a cabo.....	119
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	120
Conclusiones	120
Recomendaciones.	121
8. PROPUESTA DE FICHAS, NIVELES DE CRITICIDAD Y CRITERIOS PARA ESTIMAR FRECUENCIA DE FALLAS.....	123
Ficha Técnica de Motores Eléctricos	123
Criterios para estimar la frecuencia de falla.	124
Categoría de Impacto para análisis de criticidad.....	125
Matriz de Criticidad	126
Propuesta de Planeamiento de mantenimientos Mensuales y Anuales.....	127
Orden de Trabajo Correctiva	128
Orden de trabajo Preventiva	129
9. REFERENCIAS.....	130

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.1: Motor Eléctrico y sus partes. [1].....	3
Figura 1.1.1-1: Imagen Partes fundamentales de un motor eléctrico. [2]	4
Figura 1.1.1-2: Imagen Tipos de Estatores. [2].....	5
Figura 1.1.1-3: Imagen Tipos de rotores. [2].....	5
Figura 1.1.1-4: Imagen Cojinete tipo deslizamiento. [2].....	6
Figura 1.1.1-5: Imagen Cojinete tipo rodamiento. [2].....	7
Figura 4.3.1: codificación para equipos. [4].....	39
Figura 4.3.2: codificación para elementos.	40
Figura 4.1 Matriz de Criticidad. [7].....	41
Figura 4.2. Ejemplo de niveles de análisis para evaluar criticidad [7].....	42
Figura 4.7.1. Analizador portátil de vibraciones.....	50
Figura 4.7.2: Líneas de flujo en una barra rota.	54
Figura 4.7.3: Análisis termo gráfico de un motor eléctrico.....	57
Figura 4.7.4: sobrecalentamiento en rodamientos con termografía. [14].....	59
Figura 4.7.5: Sobrecalentamiento en el eje [14].....	60
Figura 4.7.6: Prueba de líquidos penetrantes.	61
Figura 4.7.7: Pasos a seguir para realizar prueba de Líquidos Penetrantes.....	64
Figura 4.7.8: Esquema de conexión del medidor de aislamiento.	65
Figura 4.7.9: Comportamiento grafico prueba de aislamiento.....	67
Figura 4.7.10: Gráfico del factor de corrección k versus temperatura	68
Figura 4.7.11: Prueba Hi-Pot escalonada.....	71
Figura 4.7.12: Tendencia de Curva prueba Hi-Pot devanado buenas condiciones	72
Figura 4.7.13: Comparación de curvas Pruebas Hi-Pot.	72
Figura 4.7.14: Gráfico de la prueba hi-pot con rampa.....	73
Figura 5.1: Estructura interna de los materiales aislantes.	78
Figura 5.2.1: Tipos de rodamientos y sus características. [21].....	80
Figura 5.2.2: Partes del rodamiento de un motor. [22].....	81
Figura 5.3: Tipos de rotores.....	83
Figura 5.10.1: Diagrama de Flujo de O.T [4]	101

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.2.1: Propuesta para tabla de constes.	25
Tabla 4.3.1: Algunos Ejemplos para codificación para equipos.....	40
Tabla 4.3.2: Tabla para tipos de equipos.	40
Tabla 4.3.3: Ejemplo de familias para distintos códigos.	41
Tabla 4.7.1 Espectro de frecuencias del desbalance.....	51
Tabla 4.7.2: BSF modulada con bandas laterales a FTF muestra el espectro de vibraciones cuando ocurren fallos en rodamientos.....	53
Tabla 4.7.3: se muestra el espectro de corrientes de un rotor con varias barras rotas.	54
Tabla 4.7.4: Clasificación de máquinas según, ISO 2372[10]	55
Tabla 4.7.5: Severidad de vibraciones, según ISO 2372.....	56
Tabla 4.7.6: Tabla ISO 3945	56
Tabla 4.7.7: Clasificación del aislamiento y límites admisibles de temperatura [16]	60
Tabla 4.7.8: Clasificación de líquidos penetrantes [17] según la norma IRAM-CNEA Y 500-1001 (1986).....	62
Tabla 4.7.9: Capacidad del bobinado de motor y selección de la tensión de prueba, Tabla 1 Norma IEEE 43-2000 [8].....	64
Tabla 4.7.10: Clases de aislamiento térmico y su mínimo nivel de índice de polarización. norma IEEE 43-2000 [8].	66
Tabla 4.7.11: tabla proporcionada por algunos fabricantes de medidores de aislamiento.....	66
Tabla 4.7.12: Correspondiente al índice de absorción	67
Tabla 5.1.1: Formas de actuación ante un fallo.....	92

INDICE DE FORMULAS

Fórmula 3.2.1-1.....	20
Fórmula 3.2.1-2.....	20
Fórmula 3.2.1-3.....	20
Fórmula 3.2.1-4.....	21
Fórmula 3.2.1-5.....	21
Fórmula 3.2.1-6.....	21
Fórmula 3.2.2-1.....	23
Fórmula 3.2.2-2.....	23
Fórmula 3.2.2-3.....	23
Fórmula 3.2.2-4.....	24
Fórmula 3.2.3-1.....	24
Fórmula 3.2.4-1.....	26
Fórmula 3.2.4-2.....	26
Fórmula 3.2.4-3.....	26
Fórmula 3.2.5-1.....	27
Fórmula 3.2.5-2.....	27
Fórmula 3.2.5-3.....	27
Fórmula 3.2.5-4.....	28
Fórmula 3.2.5-5.....	28
Fórmula 3.2.5-6.....	28
Fórmula 3.2.5-7.....	28
Fórmula 3.2.6-1.....	29
Fórmula 3.2.6-2.....	29
Fórmula 3.2.6-3.....	29
Fórmula 3.2.7-1.....	29
Fórmula 3.2.7-2.....	30
Formula 4.1	43
Fórmula 4.7.1: frecuencia de vibración.....	51
Fórmula 4.7.2: frecuencia de giro de los rodillos	52
Fórmula 4.7.3: frecuencia de rotación de la jaula o fundamental	52

Fórmula 4.7.5: frecuencia de defecto en la carrera interna o paso de la bola en la carrera interna	52
Fórmula 4.7.7	60
Ecuación 4.7.6: Índice de polarización.....	66
Ecuación 4.7.7: índice de absorción.....	66
Ecuación 4.7.8: Corrección para el valor de resistencia de aislamiento.....	67

OBJETIVOS DEL TRABAJO

GENERAL

- ◆ Definir una guía para la planificación e implementación de un programa de mantenimiento preventivo y predictivo de motores eléctricos con base en las fallas que se presentan con mayor frecuencia, basada en normas y estándares, y del estudio realizado en talleres de reparación de motores encuestados.

ESPECIFICOS

- Catalogar las fallas más comunes presentes en motores con base en consultas de la industria y talleres.
- Definir las pruebas estandarizadas para el análisis predictivo y preventivo de motores.
- Describir procedimientos estructurados que debe seguir un encargado de planta para realizar mantenimiento de motores eléctricos.

JUSTIFICACION

Identificar el tipo de fallas de motores que se presentan en la industria, la frecuencia con la que estas se dan y de acuerdo a esto identificar cuáles son las causas principales que influyen en la frecuencia de estas y con ello crear una serie de procedimientos estructurados de reducción de fallas comunes y/o repetitivas orientados a ingenieros, técnicos o encargados de planta con el fin de disminuir los paros en los procesos de producción en la industria que se traducen en mayores costos.

CAPITULO 1: MARCO TEORICO

1.1. INTRODUCCION A LOS MOTORES ELECTRICOS

En resumen, un motor eléctrico es una máquina que convierte la energía eléctrica en energía mecánica a través de medios electromagnéticos, dicho magnetismo produce una fuerza física que produce un movimiento o trabajo mecánico continuo que puede ser aprovechado en distintas actividades.

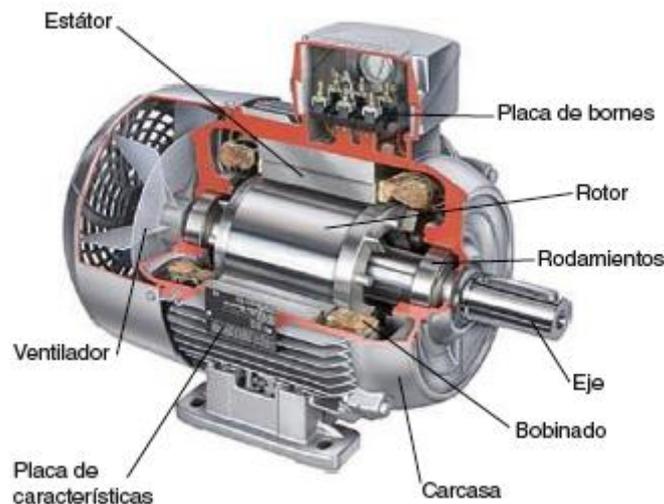


Figura 1.1.1: Motor Eléctrico y sus partes. [1]

Con la ayuda de la electricidad los motores crean dos campos magnéticos opuestos entre sí, lo que causa un movimiento en su parte giratoria llamada rotor, el rotor consta de una bobina que como se dijo antes genera un campo magnético que es opuesto al campo magnético del estator o parte estática del motor, el campo magnético de esta parte lo generan imanes permanentes, precisamente la acción repelente a dichos polos opuestos es la que hace que el rotor comience a girar dentro del estator.

Si el mecanismo terminara allí, cuando los polos se alinearán el motor se detendría. Por eso, para que el rotor continúe moviéndose es necesario invertir la polaridad del electroimán, la forma en que se realiza este cambio es lo que define los dos tipos de motor eléctrico.

Por tanto, la clasificación de los motores eléctricos depende de las características de la fuente que le suministra, la mayor parte de motores funcionan con corriente alterna (AC) lo que permite el cambio alterno en la dirección de flujo, con esto los

puntos de polaridad positiva y negativa en el motor se revierten muchas veces por segundo lo que permite el movimiento continuo del estator.

Por otro lado, también están los motores de corriente continua (DC) los cuales para lograr el proceso de alternancia en las polaridades y así lograr el movimiento del motor, poseen una pieza llamada conmutador que alterna dentro del electroimán la dirección de la corriente, logrando así el cambio en la polaridad del campo magnético.

1.1.1 Partes fundamentales de un motor eléctrico

Los motores eléctricos se encuentran formados por varias partes, sin embargo, debido a la función que desempeñan, las cuales son: el estator, la carcasa, la base, el rotor, la caja de conexiones, las tapas y los cojinetes. No obstante, un motor puede funcionar fácilmente solo con el estator y el rotor.

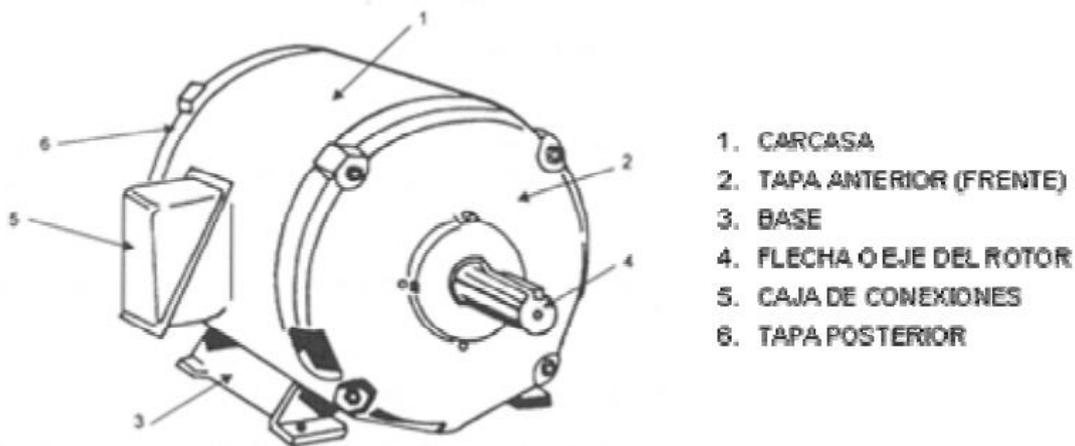


Figura 1.1.1-1: Imagen Partes fundamentales de un motor eléctrico. [2]

1. Estator

El estator es la parte inmóvil del motor y la cual genera el flujo magnético con alternancia de polaridad que permite el movimiento del estator, constituido principalmente por un conjunto de láminas de acero al silicio que, junto con los devanados, proveen los polos magnéticos al motor, dichos polos siempre se encuentran estructurados en una secuencia par (pueden ser 2, 4, 6, 8, 10, etc.), por ello el mínimo de polos que puede tener un motor para funcionar es dos (un norte y un sur).

Existen dos tipos de estatores:

a) Estator de polos salientes.

b) Estator ranurado.

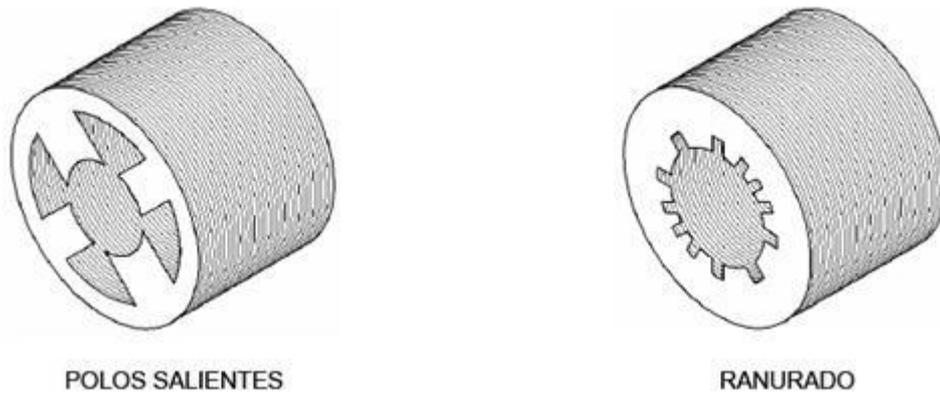


Figura 1.1.1-2: Imagen Tipos de Estatores. [2]

2. Rotor

El rotor es el elemento donde efectivamente se da la conversión de energía eléctrica a mecánica, **los** rotores, son un conjunto de láminas de acero al silicio que forman un paquete, y pueden ser básicamente de tres tipos:

- a) Rotor ranurado
- b) Rotor de polos salientes
- c) Rotor jaula de ardilla

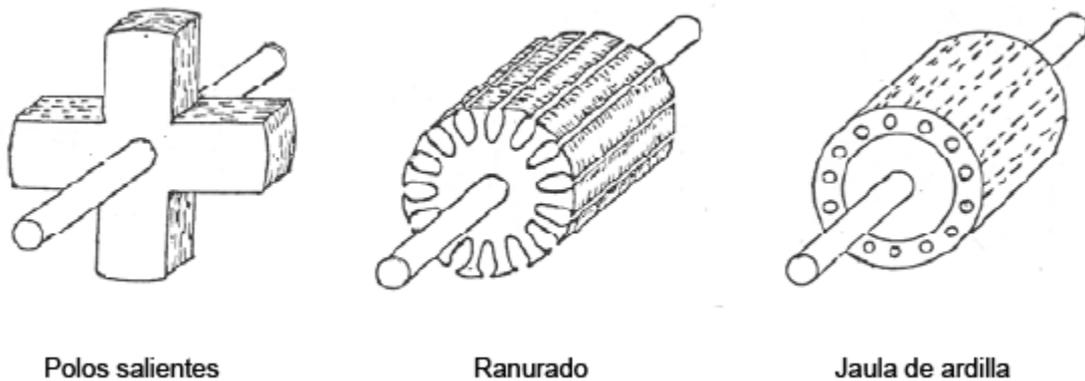


Figura 1.1.1-3: Imagen Tipos de rotores. [2]

3. Carcasa

La carcasa es la parte que protege y cubre al estator y al rotor, el material empleado para su fabricación depende del tipo de motor, de su diseño y su aplicación. Así pues, la carcasa puede ser:

- a) *Totalmente cerrada*
- b) *Abierta*
- c) *A prueba de goteo*
- d) *A prueba de explosiones*
- e) *De tipo sumergible*

4. Cojinetes

Los cojinetes o rodamientos son las partes giratorias los cuales sostienen y fijan los ejes mecánicos del motor, su función es de suma importancia ya que la óptima operación de estos influye en la reducción de la fricción en los ejes que se traduce en un menor consumo de potencia. Los cojinetes pueden dividirse en dos clases generales:

- a) *Cojinetes de deslizamiento. Operan con base en el principio de la película de aceite, esto es, que existe una delgada capa de lubricante entre la barra del eje y la superficie de apoyo.*



Figura 1.1.1-4: Imagen Cojinete tipo deslizamiento. [2]

- b) *Cojinetes de rodamiento. Se utilizan con preferencia en vez de los cojinetes de deslizamiento por varias razones:*

- *Tienen un menor coeficiente de fricción, especialmente en el arranque.*
- *Son compactos en su diseño*
- *Tienen una alta precisión de operación.*
- *No se desgastan tanto como los cojinetes de tipo deslizante.*
- *Se remplazan fácilmente debido a sus tamaños estándares*



Figura 1.1.1-5: Imagen Cojinete tipo rodamiento. [2]

1.2. Causas más comunes de falla en motores eléctricos.

Las causas por las cuales un motor eléctrico puede presentar fallas son diversas, por ello la necesidad de prevenir y diagnosticar a tiempo una falla obliga a investigar permanentemente los factores que las producen, las averías más frecuentes en los motores eléctricos se pueden catalogar en dos tipos ya sea problemas de tipo eléctrico y problemas de tipo mecánico.

1.2.1. Fallas eléctricas.

Las fallas eléctricas generalmente son ocasionadas por el deterioro del sistema de aislamiento de los devanados, como resultado de sobrecargas duraderas, operación en una sola fase, tensiones de alimentación desbalanceado y envejecimiento del material aislante. Estos defectos pueden ser causados por malas conexiones, contactos débiles o sucios, mala operación de fusibles, incorrecto dimensionamiento de los sistemas de protección, etcétera.

1.2.2 Fallas mecánicas.

Son originadas por vibraciones excesivas, mal alineamiento del motor y la carga acoplada, bases de montaje defectuosas, falta de lubricación de los cojinetes o en las partes constructivas del motor. Lo anterior pone en evidencia que no basta con vigilar las condiciones eléctricas, si no también es necesario verificar periódicamente el estado de las partes mecánicas del motor y de la máquina que impulsa.

Las averías mecánicas se logran detectar mediante el diagnóstico “en operación”, análisis de vibración y termografía infrarroja, mientras que los defectos eléctricos

se pueden detectar con las pruebas “fuera de operación” de balanceo resistivo, pruebas de aislamiento, pruebas de alto potencial, pruebas de comparación de carga.

Muchas veces las causas que hacen que se presenten problemas de tipo eléctrico y mecánico en los motores tienen que ver con problemas del entorno y el ambiente en que estos son puestos a operar, incluidas las prácticas inadecuadas o deficientes de mantenimiento y reparación de los mismos.

1.2.3. Condiciones ambientales adversas

Las temperaturas excesivas (la temperatura ambiente o la radiada por algún problema dentro del motor) son causadas por alguna falla en el motor. Los motores tienen un valor máximo de temperatura; indicado en su placa de identificación, el cual no se debe superar si se quiere mantener una larga vida útil. Este aumento se puede tener tanto en el embobinado como en los baleros, por la temperatura exterior y/o desgaste en los elementos rotatorios del motor causando un rozamiento fuera del diseñado. El aumento en la temperatura se puede tener en lugares donde el clima es muy cálido, o el motor está cerca de equipo que genere calor. Las condiciones ambientales perjudiciales suelen consistir en la presencia de vapores corrosivos, sal suspendida en el aire, y suciedad, polvo y otros contaminantes en exceso, es en estas situaciones donde toma gran importancia la selección de los motores según su carcasa dependiendo del entorno en que este se encuentre.

1.2.4. Selección o aplicación incorrectas.

Es de gran importancia el dimensionamiento correcto del motor a fin que este trabaje bajo condiciones nominales de carga, ya que un motor que opera abajo del 50% de la carga para la que fue diseñado se considera un motor ineficiente, el cual debe reemplazarse y dimensionarse correctamente, el dimensionamiento correcto también implica aspectos como seleccionar los motores con sus carcasas y tipo de aislamiento según las exigencias en que este trabajará.

1.2.5. Instalación inadecuada

Las deficiencias en el montaje del motor pueden ser los causales de su falla, muchos problemas en los motores se derivan de aspectos mecánicos como mal ajuste de los pernos que dan estabilidad al motor, causando daños en los cojinetes y el eje (flecha) como consecuencia de una desalineación y vibraciones en el motor, las placas de base de acero, los cimientos deben de tener suficiente resistencia para soportar los paros y arranques. Los acoplamientos, bandas, poleas y cualesquiera otras conexiones entre el motor y la carga impulsada deben

estar bien alineados para evitar la vibración excesiva, que es tan dañina para los motores.

1.2.6. Mantenimiento no apropiado

El mantenimiento y limpieza no apropiada puede provocar la acumulación de polvo y la suciedad en los motores, obstruyendo la ventilación capaz de generar un sobrecalentamiento.

1.3 evolución de las técnicas de mantenimiento.

A lo largo de la historia de la industria, el concepto de mantenimiento en general y dentro de ellos el de motores eléctricos, ha ido evolucionando y pasando por diferentes etapas en sus técnicas y procedimientos a aplicar como consecuencia tanto ya sea por las misma necesidad de evitar gastos excesivos en la reparación de los motores y las pérdidas en la producción por paros no programados como también por la acumulación de información a lo largo de los años en cuanto a experiencias y estudios en el tema del mantenimiento que han venido a mejorar la comprensión y ampliación de las limitantes que en un inicio tenía el concepto o lo que se conocía como mantenimiento. En sus inicios durante la revolución industrial eran los mismos operarios los que se encargaban de darles “mantenimiento” a los equipos, las cuales se limitaban exclusivamente a la reparación en el instante en que se presentara la falla o lo que es conocido como mantenimiento correctivo.

Conforme las máquinas se fueron haciendo cada vez más complejas, lo que llevaba a la realización de tareas cada vez más exigentes para mantenerlas en buen estado, se fueron creando los primeros departamentos especializados en mantenimiento y dedicados exclusivamente a estas tareas.

Posteriormente comenzó a generalizarse la idea de mantenimiento planificado basado en calendario, debido a que los departamentos de mantenimiento comenzaron a planificar sus fechas y tiempos de paro con el fin de realizar revisiones cambio de componentes por desgaste y actividades de engrase, por lo que el concepto de mantenimiento, aparte de realizar actividades correctivas, ahora también enfocaba sus esfuerzos a la prevención de las fallas.

La aparición de los ordenadores permitió la aparición de metodologías de análisis más eficientes y confiables para mantener los equipos y así asegurar la productividad de los mismos, y es cuando comenzaron a surgir los primeros equipos computarizados de análisis de fallas que permitían evaluar el estado de

las máquinas para adelantarse al fallo, técnicas como: análisis de termografía infrarroja. Medición de parámetros y análisis de ultrasonidos son claros ejemplos de esto, es aquí también, donde comienzan a surgir conceptos de fiabilidad, confiabilidad en el mantenimiento, monitoreo de condiciones y sistemas de mejora continua.

Es común encontrar textos en los que algunos autores definen por etapas o períodos toda esta evolución que ha tenido el concepto de mantenimiento a lo largo de la historia, la mayoría concuerdan en definir claramente tres etapas, las cuales tienden a coincidir con el surgimiento a través de la historia de los tres tipos de mantenimiento que se conocen hoy en día como lo son el mantenimiento correctivo, el mantenimiento preventivo y el mantenimiento predictivo. Esto debido a que cada uno de ellos vinieron a revolucionar las ideas, técnicas y procedimientos de las tareas de diseño e implementación de los planes de mantenimiento.

1.3.1. Panorama nacional.

En El Salvador se encuentra una variada cantidad de empresas industriales, desde micro, pequeñas, medianas y grandes empresas que apoyan sus actividades y operaciones diarias en la fuerza de trabajo que les brindan los motores eléctricos de todos los tamaños, debido a la importancia que tiene los motores eléctricos en las actividades productivas de las empresas, es que la necesidad de prestar atención a la manera en cómo se diseñan e implementan los planes de mantenimiento en las industrias nacionales.

En un estudio que se llevó a cabo por parte de un grupo de alumnos de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador (estudio del cual este trabajo fue parte) quienes buscaban consultar a las empresas y talleres para obtener información en la realización de su estudio titulado *Diagnóstico del estado actual del sector reparación y rebobinado de motores* [3], se llevó a cabo una encuesta la cual señala puntos interesantes y pone en evidencia la coyuntura de las empresas nacionales en cuanto a sus procedimientos de mantenimiento en motores eléctricos.

El estudio encontró que cuando se les consultó a las empresas sobre si sus programas de mantenimiento están enfocados a la prevención y predicción de las fallas, el 70% manifestó tener programas de mantenimiento ya sea correctivo y preventivo, el resto solo realiza correctivos al darse las fallas ya sean sustitución de piezas o limpieza.

Este porcentaje del 70% de empresas que aseguran tener o ejecutar programas de mantenimiento puede resultar alentador y a la vez llegar a la conclusión de que la cultura de la gestión del mantenimiento en los motores se está arraigando en la mayor parte de las empresas salvadoreñas, sin embargo el mismo estudio en otra pregunta realizada a las mismas empresas refleja datos que ponen en duda la calidad de dichos programas, ya que el 40% de las empresas operan sus motores al 80% y otro 40% de los encuestados operan sus motores de 60%-80% de su capacidad nominal, pero lo más relevante en este punto es que se encontraron algunos motores que en algunos casos operan con carga debajo de sus condiciones nominales debido a que fueron mal dimensionados para la aplicación o simplemente estos motores estaban destinados para otras funciones pero ante una necesidad fueron puestos a trabajar ante estas condiciones.

Estos resultados dan a entender que lo que la mayor parte de las empresas salvadoreñas, si bien es cierto, dicen tener programas especializados en mantenimiento en motores, sus repuestas no concuerdan con los procedimientos o la manera inadecuada en la que los tienen operando, procedimientos que no van acorde a las nuevas estrategias de mantenimiento que hoy en día se tienen para los motores, por lo que lleva a concluir estas empresas aún mantienen la idea de que la urgencia de las reparaciones es la que marca y marcará siempre el camino y las acciones a tomar por parte del departamento de mantenimiento, conclusión que encuentra sustento en el mismo estudio ya que se muestra que el 70% de empresas encuestadas optan por reparar sus motores antes que reemplazarlos.

El reparar los motores como por ejemplo rebobinarlos sigue siendo la opción inmediata ante una falla de corto circuito entre bobinas, el problema de esta medida a paliativa radica en el hecho de que la mayoría de talleres de reparación de motores trabajan de forma artesanal (situación que ha sido constatada por este mismo estudio mencionado anteriormente y otros anteriores a este), por lo que la manipulación no se realiza bajo ninguna norma, lo que hace que aún después de la reparación no se brinden garantías respaldando la calidad de la misma.

Es de reconocer que la mayor parte de empresas consultadas son medianas empresas, pero si partimos del hecho que en El Salvador la gran mayoría de las empresas están en la categoría de pequeña y mediana empresa, entonces el estudio nos da un panorama muy realista de la situación de gran parte del resto de la industria.

1.3.2. Fallas más comunes en los motores eléctricos en el país.

Se determinó que las principales causas que presentan respectivamente los motores eléctricos en El Salvador son:

- ✓ Fallas en Rodamientos
- ✓ Corto circuito entre fases
- ✓ Deterioro térmico
- ✓ Fallas en el estator
- ✓ Fallas en el circuito de alimentación

Este listado de fallas que con mayor frecuencia presentan los motores en la industria nacional se podrían reducir en forma significativa con una gestión integral de mantenimiento que involucre aspectos enfocados al mantenimiento preventivo y predictivo, los cuales proporcionan un seguimiento o estado de salud presente de los motores eléctricos alertando de fallas futuras.

CAPITULO 2: ¿QUE ES UN PLAN DE MATENIMIENTO?

2.1 ¿Qué es un plan de mantenimiento?

Habitualmente se define el mantenimiento en forma general, como el conjunto de técnicas y procedimientos que de manera planeada y programada se realizan a un equipo, con una frecuencia determinada, destinado a que el cumplimiento de forma íntegra de estos procedimientos permita conservar los equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible y con el máximo rendimiento, buscando así minimizar los costos de operación de los equipos que se ven involucrados directamente en un proceso de producción.

2.2 la necesidad de elaborar un plan de mantenimiento

El fin primordial para la elaboración de un plan de mantenimiento en motores (y en la industria en general) radica en que absolutamente toda avería, mal funcionamiento, paro por reparación y baja eficiencia en un motor, se traduce directamente en términos de costos monetarios para la empresa y son estos costos los que el propietario de la empresa e inversionistas buscan reducir al máximo a fin de generar mayores utilidades con los menores costes posibles, estos aspectos que hacen primordial la elaboración de un plan de mantenimiento son magníficamente detallados por Santiago García Garrido en su libro *Organización y gestión integral de mantenimiento* [4].

- La eficiencia de una organización está determinada por el departamento que peor funcione” (Garrido, 2003). [4]
- Mantenimiento es una función indispensable de la empresa que dentro de la cadena de valor es actividad primaria dentro de las operaciones; es decir, puede transformar el estado del sistema productivo en función de las paradas de los equipos. (Garrido, 2003). [4]

Como muy bien lo expresan los párrafos anteriores en alusión a que un buen y efectivo plan de mantenimiento en los motores se ve directamente reflejado en la eficiencia y competitividad con que una empresa u organización realiza sus actividades, hace que la gestión del mantenimiento de una empresa no sea una actividad rutinaria de importancia secundaria, sino como un objetivo diario a alcanzar, volviéndose así en algunas empresas el mantenimiento como una política de las mismas.

2.3 Palabras clave

Planta: Centro de trabajo. Ej.: Empresa X, Planta Y de San Salvador.

Área: Zona de la planta que tiene una característica común (línea de producto, función). Ej.: Área de extracción y mesas (Ingenio azucarero)

Equipo: Cada uno de las unidades productivas que componen el área, que constituyen un conjunto único.

Sistema: Conjunto de elementos que tienen una función común dentro de un equipo.

Elemento: cada uno de las partes que integran un sistema. Ej.: el motor de la bomba de lubricación de un compresor.

Componentes: partes en que puede subdividirse un elemento. Ej.: Rodamiento de un motor.

Modelo de mantenimiento: es una mezcla de los tipos de mantenimiento en unas proporciones determinadas, y que responde adecuadamente a las necesidades de un equipo concreto.

fallo funcional: aquel fallo que impide al sistema en su conjunto cumplir su función principal.

fallos técnicos: Un fallo técnico es aquel que, no impidiendo al sistema cumplir su función, supone un funcionamiento anormal de una parte de éste. Afectan tanto a sistemas como a subsistemas o equipos.

Rutas de mantenimiento: Cuando se incluyan tareas a realizar en diferentes equipos.

Gamas de Mantenimiento: cuando se incluyan tan solo tareas referentes a un equipo.

2.4 Recomendaciones de seguridad.

Todo trabajo en instalaciones eléctricas y específicamente con motores eléctricos, ya sea en el montaje, manejo o mantenimiento, el personal encargado para tal tarea deben ser conocedores y estar actualizados sobre las normas e instrucciones de seguridad a seguir propias del trabajo , la creación e implementación de un buen plan de mantenimiento no puede ignorar el factor seguridad dentro de su estructura, por lo cual la persona encargada de dirigir tal tarea debe tener en cuenta la necesidad de concientizar y capacitar a su gente sobre los peligros y cuidados que existen y deben tener al efectuar el trabajo de mantenimiento propuesto.

Un motor no sólo se daña por trabajar bajo malas condiciones de operación sino también al recibir un mantenimiento incorrecto o son manipulados por personas sin calificación, pueden no sólo causar accidentes y daños irreversible a la máquina, si no también poner en peligro físicamente al operario, por lo que se recomienda seguir las normas existentes tanto para mantenimiento a motores eléctricos como para seguridad industrial así como también la lectura detallada de los manuales propuestos por el fabricante del motor para garantizar el buen desempeño del equipo y sobre todo la seguridad de la persona responsable del mismo.

CAPITULO 3: ASPECTOS PREVIOS

3.1 objetivos que se pretenden alcanzar con un plan de mantenimiento

Uno de los primeros pasos a realizar y aspectos más importantes a tener en cuenta en la elaboración de un plan de mantenimiento, es tener claramente definidos los objetivos que se pretenden alcanzar con la implementación del mismo, hay una estrecha relación en el éxito o fracaso de un plan de mantenimiento al no vincular este con los objetivos que se pretendían alcanzar, el definir los objetivos del plan de mantenimiento le permiten al departamento de mantenimiento o a la persona designada para tal fin, tener una meta, referencia o situación futura a la que debe apuntar y para la cual le permitirá enfocar de forma más clara y eficiente todos sus esfuerzos con el fin de lograr la obtención de los mismos.

Los objetivos a trazar pueden ser sencillos y en ocasiones tan variados que demanden un diseño mucho más complejo en la elaboración del plan de mantenimiento, algunos objetivos pueden estar basados en elaborar una programación más eficiente y ordenada acorde a las necesidades y exigencias de las fechas en que los motores se pondrán en paro para su respectiva revisión, los procedimientos a seguir en dichas revisiones así como también los que se seguirán en el caso se detecten anomalías, reducción de los costes de mantenimiento, optimización de la fuerza de trabajo de los motores, capacitaciones y mejora de los conocimientos y técnicas a utilizar por parte del personal de mantenimiento, toma de mejores decisiones para la elaboración del inventario del stock de repuestos, hacer del mantenimiento una política de todos los actores de la empresa.

Todo lo anterior debe ser definidos sin dejar de lado que los objetivos a obtener para la realización del plan de mantenimiento deben ser razonablemente alcanzables y no encontrarse fuera de las posibilidades de las que efectivamente la empresa puede hacer.

Recordemos que el objetivo fundamental del mantenimiento se define como *“el conjunto de actividades que tratan de compensar la degradación que el tiempo y el uso provocan en equipos e instalaciones”*. Para ello muchos autores que presentan trabajos relacionados con el diseño de un plan de mantenimiento concuerdan, teniendo en cuenta la definición anterior, que hay cuatro objetivos básicos que deben buscar todo departamento de mantenimiento con la puesta en marcha de un plan de los cuales son: disponibilidad, fiabilidad, vida útil y coste.

- *Cumplir un valor determinado de disponibilidad.*
- *Cumplir un valor determinado de fiabilidad.*
- *Asegurar una larga vida útil del motor y todo el conjunto equipos al cual este esté conectado, al menos acorde con el plazo de amortización de los mismos.*
- *Conseguir todo ello ajustándose a un presupuesto dado, normalmente el presupuesto óptimo de mantenimiento para esa instalación.*

3.1.1 El objetivo de disponibilidad

Para un motor, la disponibilidad de este se define como la *proporción del tiempo que dicho motor ha estado en disposición de producir*, independientemente de que finalmente lo haya hecho o no por razones ajenas a su estado técnico.

El objetivo más importante de mantenimiento es asegurar que los equipos instalados en su conjunto estarán en disposición de producir un mínimo de horas determinado del año. Es un error pensar que el objetivo de mantenimiento es conseguir la mayor disponibilidad posible (100%) puesto que esto puede llegar a ser muy caro, anti rentable. Conseguir pues el objetivo marcado de disponibilidad con un coste determinado es pues generalmente suficiente.

Los principales factores a tener en cuenta en el cálculo de la disponibilidad son los siguientes:

- *Nº de horas totales de producción.*
- *Nº de horas de indisponibilidad total para producir, que pueden ser debidas a diferentes tipos de actuaciones de mantenimiento:*
 1. *Intervenciones de mantenimiento programado que requieran parada de planta.*
 2. *Intervenciones de mantenimiento correctivo programado que requieran parada de planta o reducción de carga.*
 3. *Intervenciones de mantenimiento correctivo no programado que detienen la producción de forma inesperada y que por tanto tienen una incidencia en la planificación ya realizada de la producción de energía.*

En cuanto a los valores aceptables de disponibilidad, normalmente se definen ciertos valores aceptables de disponibilidad enfocados a toda la planta o toda la cadena de producción de la cual el motor forma parte, no un valor de disponibilidad para un solo motor, ya que hacerlo de esta manera puede resultar en muchas ocasiones inviable, por lo que al final lo que se busca es que el motor esté disponible cuando se demande su trabajo, no como un equipo en particular, si no como una pieza de entre todas las demás maquinarias que forma parte la cadena de producción. Para ello existe una fórmula propuesta por la IEEE 762/2006. [5] la cual pretende determinar un valor de porcentaje viable de disponibilidad para instalaciones industriales, por lo general se buscan como objetivo la disponibilidad entre el 80 y el 92%.

3.1.2 El objetivo de fiabilidad.

La fiabilidad es un indicador que mide la capacidad de un motor o de toda la planta de cumplir su plan de producción previsto. Se refiere habitualmente al cumplimiento de la producción planificada, y comprometida en general con clientes internos o externos, los factores a tener en cuenta para el cálculo de este indicador son dos:

- *Horas anuales de producción, tal y como se ha detallado en el apartado anterior.*
- *Horas anuales de parada o reducción de carga debidas exclusivamente a mantenimiento correctivo no programado.*

Como puede verse, no se tiene en cuenta para el cálculo de este objetivo ni las horas dedicadas a mantenimiento preventivo programado que supongan parada del equipo, el objetivo de mantenimiento persigue que este parámetro esté siempre por encima de un valor establecido en el diseño técnico-económico de la planta, y su valor es habitualmente muy alto (igual o superior incluso al 99,0%). Una instalación bien gestionada no debería tener ningún problema para alcanzar este valor.

3.1.3 La vida útil del motor y con ello el de todo el sistema de producción.

El tercer gran objetivo de mantenimiento es asegurar una larga vida útil tanto para el motor como para la instalación en general. Es decir, las plantas industriales deben presentar un estado de degradación acorde con lo planificado de manera que ni la disponibilidad ni la fiabilidad ni el coste de mantenimiento

se vean fuera de sus objetivos fijados en un largo periodo de tiempo, normalmente acorde con el plazo de amortización de los equipos.

Un mantenimiento mal gestionado, con un bajo promedio de horas dedicadas a tareas preventivas, con bajo presupuesto, con falta de medios y de personal y basado en reparaciones provisionales provoca la degradación rápidamente a cualquier motor u otro equipo. Es característico de motores mal gestionados que a pesar de haber transcurrido poco tiempo desde su puesta en marcha inicial el aspecto visual no se corresponde con su juventud (en términos de vida útil).

3.1.4 El cumplimiento del presupuesto

Los objetivos de disponibilidad, fiabilidad y vida útil no pueden conseguirse a cualquier precio. El departamento de mantenimiento debe conseguir los objetivos marcados ajustando sus costes a lo establecido en el presupuesto anual de la planta. Este presupuesto ha de ser calculado con sumo cuidado, ya que un presupuesto inferior a lo que la tarea de mantenimiento requiere empeora irremediablemente los resultados de producción y hace disminuir la vida útil de los motores; por otro lado, un presupuesto superior a lo que el plan de mantenimiento requiere puede generar problemas de aprobación de dichos recursos por parte de la alta gerencia de la empresa.

3.2 Medición de objetivos (Indicadores de desempeño)

Como parte de la implementación de un plan de mantenimiento es importante conocer cómo marchan las cosas en el departamento de mantenimiento, ya que es necesario conocer si se requiere realizar cambios, para hacer esto es necesario definir parámetros concretos que permitan evaluar los resultados que realmente se están obteniendo en el mantenimiento. Es decir, contar con datos que ayuden

Tener en cuenta que el simple valor que se llegue a obtener con los indicadores o índices no es útil si no está acompañado de la evolución que han tenido estos en el tiempo. Por ello, en el documento en el que se expongan estos valores deberá mostrarse la evolución que ha tenido mostrando junto al valor actual obtenido los valores obtenidos en periodos anteriores y así conocer si la situación del mantenimiento a mejorado o empeorado.

A continuación, se muestra una serie de Indicadores e índices seleccionados que son más comúnmente utilizados en mantenimiento:

3.2.1 Índices de Disponibilidad

1. Disponibilidad total

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Horas Totales} - \text{Horas parada por mantenimiento}}{\text{Horas Totales}}$$

Fórmula 3.2.1-1

La disponibilidad total es el cociente de dividir el n° de horas que un equipo ha estado disponible para producir y el n° de horas totales de un periodo.

En plantas que la producción está en líneas en las que la parada de una máquina supone la paralización de toda la línea de producción, Resulta conveniente calcular la disponibilidad de cada una de las líneas, y después calcular la media aritmética.

En plantas en las que los equipos no están en líneas de producción, Se deben definir una serie de equipos significativos. Del total de equipos de la planta, Se debe seleccionar aquellos que tengan mayor importancia dentro del sistema productivo.

Una vez obtenida la disponibilidad de cada uno de los equipos significativos, debe calcularse la media aritmética, para obtener la disponibilidad total de la planta.

$$\text{Disponibilidad Total} = \frac{\sum \text{Disponibilidad de equipos significativos}}{\text{N° de equipos significativos}}$$

Fórmula 3.2.1-2

2. Disponibilidad por averías

Esta disponibilidad resulta de las intervenciones no programadas en el equipo.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Horas Totales} - \text{Horas parada por avería}}{\text{Horas Totales}}$$

Fórmula 3.2.1-3

Es conveniente calcular la media aritmética de la disponibilidad por avería, para poder ofrecer un dato único.

3. MTBF (*Mid Time Between Failure, tiempo medio entre fallos*)

Permite conocer con qué frecuencia suceden las averías.

$$MTBF = \frac{N^{\circ} \text{ de horas totales del periodo de tiempo analizado}}{N^{\circ} \text{ de averias}}$$

Fórmula 3.2.1-4

4. MTTR (*Mid Time To Repair, tiempo medio de reparación*)

Nos permite conocer la importancia de las averías que se producen en un equipo considerando el tiempo medio hasta su solución:

$$MTTR = \frac{N^{\circ} \text{ de horas de paro por averia}}{N^{\circ} \text{ de averias}}$$

Fórmula 3.2.1-5

Es así como se deduce que:

$$\text{Disponibilidad por averia} = \frac{MTBF - MTTR}{MTBF}$$

Fórmula 3.2.1-6

3.2.2 Indicadores de Gestión de Órdenes de Trabajo

1. *Nº de Órdenes de trabajo generadas en un periodo determinado*

La información que facilita este indicador es más representativa cuanto mayor sea la cantidad media de O.T que genera la planta. Así, es fácil que en una planta que genera menos de 100 O.T. de mantenimiento mensuales la validez de este indicador sea menor que una planta que genera 1000 O.T.

Además, es posible estimar el rendimiento de la plantilla a partir del número de órdenes de trabajo.

2. N° de Órdenes de trabajo generadas por sectores o zonas

Es prácticamente igual al caso anterior y solo la sencillez de su cálculo justifica utilizar este indicador.

3. N° de Órdenes de trabajo acabadas

Es muy útil conocer cuál ha sido el número de O.T acabadas en relación a las O.T generadas. Es muy importante, como siempre, seguir la evolución en el tiempo de este indicador

4. N° de Órdenes de trabajo pendientes

Este indicador nos da una idea de la eficacia en la resolución de los problemas contemplados en el plan de mantenimiento. Es conveniente distinguir entre las O.T que están pendientes por causas ajenas a mantenimiento (pendientes por la recepción de un repuesto, pendientes porque producción no da su autorización para intervenir en el equipo, etc) de las debidas a la acumulación de tareas o a la mala organización de mantenimiento.

Por ello, es conveniente dividir este indicador en otros tres:

- *Pendientes de repuesto*
- *Pendientes de parada de un equipo*
- *Pendientes por otras causas*

5. N° de Órdenes de trabajo de Emergencia (prioridad máxima)

Para tener una referencia del estado de la planta es muy importante el número de O.T de emergencia que se han generado en un periodo determinado. Este indicador resulta fácil de comprender ya que entre menos O.T de emergencia se han generado más confiable es el estado de la planta. Y de manera contraria si se generan demasiadas OT de emergencia en la planta indica que el estado de la planta es malo. Resulta importante acompañar este indicador de su correspondiente evolución.

6. Horas estimadas de trabajo pendiente

Es la suma de las horas estimadas en cada uno de los trabajos pendientes de realización. Es un parámetro más importante que el n° de órdenes pendientes, pues nos permite conocer la carga de trabajo estimada por realizar.

7. Índice de cumplimiento de la planificación

Es la proporción de órdenes que se acabaron en la fecha programada o con anterioridad, sobre el total de órdenes totales. Mide el grado de acierto en la planificación.

$$\text{Índice de cumplimiento de la planificación} = \frac{\text{Nº Ordenes acabas en la fecha planificada}}{\text{Nº Ordenes totales}}$$

Fórmula 3.2.2-1

8. Desviación media del tiempo planificado

Es el cociente de dividir la suma de horas de desviación sobre el tiempo planificado entre el n° total de órdenes de trabajo

Puede haber dos versiones:

a) Desviación media sobre el momento de finalización. Cociente de dividir la suma del n° de horas en que se ha rebasado cada una de las órdenes sobre el momento estimado de finalización:

$$\text{Retraso medio} = \frac{\sum \text{Retrasos de cada orden de trabajo}}{\text{Nº de ordenes de trabajo}}$$

Fórmula 3.2.2-2

b) Desviación media de las horas/hombre empleadas en un O.T. sobre las horas/hombre previstas:

$$\text{Desviacion media} = \frac{\sum \text{Incremento de } \frac{\text{horas}}{\text{hombre}} \text{ en todas las O.T}}{\text{Nº de ordenes de trabajo}}$$

Fórmula 3.2.2-3

9. *Tiempo medio de resolución de una O.T.*

Es el cociente de dividir el nº de O.T. resueltas entre el nº de horas que se han dedicado a mantenimiento:

$$\textit{T tiempo medio} = \frac{\textit{N}^{\circ} \textit{ de O.T resueltas}}{\textit{N}^{\circ} \textit{ de horas dedicadas a mantenimiento}}$$

Fórmula 3.2.2-4

3.2.3 *Índices de coste*

El coste, junto con la disponibilidad, son los dos parámetros que el responsable de mantenimiento maneja constantemente, y eso es porque la información que le aportan es determinante en su gestión.

La cantidad de índices que hacen referencia a los costes del departamento de mantenimiento es inmensa. Aquí se exponen algunos que pueden resultar prácticos.

1. *Coste de la Mano de Obra por secciones*

Si la empresa se divide en zonas o secciones, es conveniente desglosar este coste para cada una de las zonas o secciones. Si éstas tienen personal de mantenimiento permanente, el coste será el del personal adscrito a cada una de ellas. Si se trata de un departamento central, el coste por secciones se calculará a partir de las horas empleadas en cada una de las intervenciones.

2. *Proporción de coste de la Mano de Obra de Mantenimiento*

$$\textit{Coste de hora medio} = \frac{\textit{N}^{\circ} \textit{ de horas de mantenimiento}}{\textit{Coste total de la mano de obra de mantenimiento}}$$

Fórmula 3.2.3-1

3. Coste de materiales

Para el coste de materiales resulta conveniente tantas subdivisiones como se crea conveniente: por secciones, por tipo (eléctrico, mecánico, consumibles, repuestos genéricos, repuestos específicos, etc.).

4. Coste de subcontratos

También pueden hacerse las subdivisiones que se considere oportunas. Algunas subdivisiones comunes suelen ser:

- *Subcontratos a fabricantes y especialistas*
- *Subcontratos de inspecciones de carácter legal*
- *Subcontratos a empresas de mantenimiento genéricas*

5. Índice de Mantenimiento Programado

Es la suma de todos los medios auxiliares que ha sido necesario alquilar o contratar: equipos de medición, herramientas especiales etc.

Con todos los índices presentados puede prepararse una tabla de costes, En ella pueden visualizarse con rapidez todos gastos de mantenimiento de la planta, divididos en conceptos y en secciones. Presentarlos de esta manera facilitará su lectura y la toma de decisiones consecuente. La tabla que se presenta a continuación es una propuesta para la tabla de costes.

Secciones	Mano de obra	Nº de horas	Materiales	Subcontratos	Medios auxiliares	Totales
A						
B						
C						
D						
TOTALES						

Tabla 3.2.1: Propuesta para tabla de constes.

3.2.4 Índices de proporción de tipo de mantenimiento

1. Índice de Mantenimiento Programado

Porcentaje de horas invertidas en realización de Mantenimiento Programado sobre horas totales.

$$IMP = \frac{\text{Horas dedicadas a mantenimiento programado}}{\text{Horas totales dedicadas a mantenimiento}}$$

Fórmula 3.2.4-1

2. Índice de correctivo

Porcentaje de horas invertidas en realización de Mantenimiento Correctivo sobre horas totales

$$IMC = \frac{\text{Horas dedicadas a mantenimiento correctivo}}{\text{Horas totales dedicadas a mantenimiento}}$$

Fórmula 3.2.4-2

El IMC es un indicador bastante útil cuando se está implementando un plan de mantenimiento preventivo en una planta en la que no existía tal plan; también es muy útil cuando se están implementando cambios en el departamento; y, por último, es muy interesante cuando se trata de evaluar el trabajo de un contratista de mantenimiento en contratos de gran alcance en los que la gestión del mantenimiento recae en el contratista (los buenos contratistas tienen un IMC muy bajo).

3. Índice de Emergencias

Porcentaje de horas invertidas en realización de O.T. de prioridad máxima:

$$IME = \frac{\text{Horas O.T prioridad maxima}}{\text{Horas totales de mantenimiento}}$$

Fórmula 3.2.4-3

La importancia de este indicador radica en que cuanto mayor sea el número de Ordenes de Trabajo de emergencia, peor es la gestión que se hace del mantenimiento.

3.2.5 Índices de Gestión de Almacenes y Compras

1. Consumo de materiales

Miden el uso de repuestos y consumibles en actividades propias de mantenimiento en relación con el consumo total de materiales. Este dato puede ser importante cuando la planta tiene consumo de materiales del almacén de repuesto adicionales a la actividad de mantenimiento (mejoras, nuevas instalaciones, etc).

Es un índice relativamente poco usual. Es útil cuando se está tratando de optimizar el coste de materiales y se desea identificar claramente las partidas referentes a mantenimiento, a modificaciones y a nuevas instalaciones.

$$\% \text{ Consumo materiales en mantenimiento} = \frac{\text{Valor de materiales consumidos para mantenimiento}}{\text{Valor total del material consumido}}$$

Fórmula 3.2.5-1

2. Rotación del almacén

Es el cociente de dividir el valor de los repuestos consumidos totales y el valor del material que se mantiene en stock (valor del inventario de repuestos).

$$\text{Rotacion} = \frac{\text{Valor repuesto consumido}}{\text{Valor del stock de repuesto}}$$

Fórmula 3.2.5-2

Existe otra manera de expresar este índice, que es útil cuando se necesita determinar si el stock de repuestos y consumibles está bien elegido. Si es así, la mayor parte del material que consume mantenimiento lo toma del almacén, y solo una pequeña parte de lo comprado es de uso inmediato. Para determinarlo, es más útil dividir este índice en dos:

$$\text{Origen de materiales} = \frac{\text{Valor del material consumido del almacen}}{\text{Valor del almacen}}$$

Fórmula 3.2.5-3

$$\text{Rotacion de almacen} = \frac{\text{Valor de materiales consumidos del almacen}}{\text{Valor del almacen}}$$

Fórmula 3.2.5-4

Otra forma de conocer si el almacén de mantenimiento está bien dimensionado es determinando la proporción de piezas con movimientos de entradas y salidas. Este índice permite determinar qué porcentaje de piezas tienen escaso movimiento, para tratar de eliminarlas, desclasificarlas, destruirlas, venderlas, etc.:

$$\text{Porcentaje de piezas con movimiento} = \frac{\text{Piezas que han tenido movimiento en un periodo fijo}}{\text{Nº de piezas totales}}$$

Fórmula 3.2.5-5

3. Eficiencia en la cumplimentación de pedidos

Proporción entre las peticiones de materiales a compras no atendidas con una antigüedad superior a 3 meses y el total de pedidos cursados a compras.

$$\text{Eficiencia de compras} = 100 - \frac{\text{Peticiones de materiales no atendidas en un plazo determinado}}{\text{Nº de pedidos cursados}} \times 100$$

Fórmula 3.2.5-6

4. Tiempo medio de recepción de pedidos

Es la media de demora desde que se efectúa un pedido hasta que se recibe. Este índice se puede calcular por muestreo (tomar al azar un número determinado de pedidos cursados y realizar la media aritmética del tiempo transcurrido desde su petición hasta su recepción en cada uno de ellos) o a partir del total de pedidos realizados.

$$\text{Tiempo medio de demora} = \frac{\sum \text{Demora de cada pedido}}{\text{Nº de pedidos total}}$$

Fórmula 3.2.5-7

3.2.6 Índices de Seguridad y Medio Ambiente

1. Índice de frecuencia de accidentes

Indica la proporción entre el número de accidentes con baja y el total de horas trabajadas

$$I_f = \frac{\text{N}^\circ \text{ de accidentes con baja} \times 1000000}{\text{horas trabajadas}}$$

Fórmula 3.2.6-1

2. Índice de jornadas perdidas

Proporción entre las horas pérdidas por bajas laborales y las horas trabajadas.

$$I_p = \frac{\text{N}^\circ \text{ de jornadas perdidas} \times 1000}{\text{Horas trabajadas}}$$

Fórmula 3.2.6-2

3. Índice de frecuencia de incidentes ambientales

Es el cociente entre en n° de incidentes ambientales graves y el número de horas trabajadas:

$$I_i = \frac{\text{N}^\circ \text{ Incidentes ambientales graves} \times 10^6}{\text{Horas trabajadas}}$$

Fórmula 3.2.6-3

3.2.7 Índices de formación

1. Proporción de horas dedicadas a formación

Porcentaje de horas anuales dedicadas a formación, sobre el número de horas de trabajo total.

$$\% \text{ Horas de formacion} = \frac{\text{Horas de formacion realizadas}}{\text{Horas totales de mantenimiento}}$$

Fórmula 3.2.7-1

2. Proporción de desarrollo del programa

Porcentaje de horas de formación realizadas, sobre el total de horas de formación programadas.

$$\% \text{ Desarrollo} = \frac{\text{Horas de formación realizadas}}{\text{Horas de formación programadas}}$$

Fórmula 3.2.7-2

3.3 Política o cultura para involucramiento del personal.

Los técnicos y el personal de mantenimiento se encargan del montaje, ajuste, revisión, acondicionamiento y reparación de las instalaciones y maquinaria de un local. Pueden estar asignados a un solo edificio (por ejemplo, en el caso de sedes centrales) o rotar entre diferentes oficinas pequeñas.

Las tareas que realiza un técnico de mantenimiento son diversas y difíciles de definir con precisión ya que son muy variables en función de las necesidades. Algunas de las tareas frecuentes que suelen realizar son las siguientes:

- Tareas programadas de revisión de maquinaria e instalaciones (lectura de indicadores, revisión del estado de las máquinas, etc.).
- Limpieza y mantenimiento programada de maquinaria e instalaciones (colaboración con personal de limpieza para máquinas y otros elementos de su competencia; cambiar / reponer piezas o elementos periódicamente
- Reparación de averías en instalaciones y maquinaria.
- Coordinación y gestión de reparaciones y obras.
- Instalación de elementos nuevos.

3.3.1 TPM

“El TPM (*Total Productive Maintenance*) es un tipo de gestión de mantenimiento basado en la implicación del personal de producción en el mantenimiento de los equipos. Esta mayor implicación se traduce en que las tareas de mantenimiento básicas y la solución de pequeños problemas corre por cuenta del personal que normalmente opera los equipos” [4].

Las tareas que se delegan en este personal son las siguientes:

- Limpieza.
- Lubricación.
- Reapriete de tornillos.
- Comprobación, lectura y registro de parámetros.
- Resolución de pequeñas averías.

Uno de los proyectos de optimización de mantenimiento que puede iniciar una empresa es la implantación del TPM en su departamento de producción.

Los objetivos que se alcanzan con esta implantación son los siguientes:

- Se consigue que el operario que trabaja habitualmente en una máquina se implique en su trabajo, se comprometa con su cuidado y aprenda a conocerla mejor.
- Se consigue en la mayor parte de los casos una reducción muy importante en el número de averías e incidencias en los equipos.
- Se consigue una disminución del consumo de repuesto.
- Se consigue la disminución de la cantidad de personal adscrita al departamento de mantenimiento.

Una buena implementación de TPM consigue, pues, una reducción de costes, un aumento de producción y un aumento en la disponibilidad de los equipos.

3.4 Los mantenimientos Subcontratado a un especialista.

Cuando hablamos de un especialista, nos referimos a un individuo o empresa especializada en un equipo concreto. El especialista puede ser el fabricante del equipo, el servicio técnico del importador, o una empresa que se ha especializado en un tipo concreto de intervenciones. Como hemos dicho, debemos recurrir al especialista cuando:

- *No tenemos conocimientos suficientes.*
- *No tenemos los medios necesarios.*

Si se dan estas circunstancias, algunas o todas las tareas de mantenimiento deberemos subcontratarlas a empresas especializadas. El mantenimiento subcontratado a un especialista es, en general, la alternativa más cara que debe tratar de evitarse en la medida de lo posible, por el encarecimiento y por la dependencia externa que supone. La forma más razonable de evitarlo consiste en

desarrollar un Plan de Formación que incluya entrenamiento específico en aquellos equipos de los que no se poseen conocimientos suficientes, adquiriendo además los medios técnicos necesarios.

3.5 Errores habituales al elaborar un plan de mantenimiento.

Está claro que elaborar un plan de mantenimiento para motores que sea efectivo y de calidad no es una tarea fácil, por toda la complejidad que como se mencionado antes esta encierra y ni hablar de la experiencia y conocimiento en el tema que se vuelve necesaria para la persona que está destinada a desarrollar el plan.

En muchas ocasiones se comenten errores en la elaboración de los planes de mantenimiento, sobre todo en plantas que nunca han tenido uno, esto hace que se tenga que incurrir en costos económicos imprevistos por reparaciones de urgencia a equipos, provocadas ya sea por procedimientos inapropiados en el mantenimiento o porque simplemente por aspectos que no se tomaron en cuenta al momento de desarrollar el plan, haciendo que el plan de mantenimiento que se desarrolló no sea parcialmente el adecuado o que este sea un completo fracaso. Pero muchos errores se pueden evitar, la experiencia de muchos profesionales a lo largo de los años destinados a tareas de mantenimiento y no sólo de motores, señalan algunos errores comunes que se comente al momento de elaborar el plan de mantenimiento, el conocimiento por parte de la persona interesada en elaborar un plan de mantenimiento (ya sea que este se desarrolle por primera vez o sea una mejora a uno ya existente) de estos errores comunes ayudará a que esta no caiga en los mismos y lo acercará más a un plan de mantenimiento exitoso, entre los errores más comunes están:

- *seguir en exceso las recomendaciones de los fabricantes.*
- *orientar el plan de mantenimiento sólo a equipos.*
- *no contar con el personal para el mantenimiento.*
- *no implicar al personal de mantenimiento en la elaboración.*
- *falta de mentalización preventiva.*
- *que el mantenimiento sea visto como un necesidad o actividad de reparación y no como una política.*

CAPITULO 4: PASOS EN LA ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO

4.1 Métodos para realizar un plan de mantenimiento

La elaboración de un plan de mantenimiento puede hacerse de tres formas:

Modo 1: instrucciones de los fabricantes

Recopilando las **instrucciones de los fabricantes** de los diferentes motores presentes en la planta, y agrupándolas en gamas de mantenimiento. Es una forma muy extendida de elaborar un plan de mantenimiento, y tiene ventajas e inconvenientes que se detallarán en el siguiente capítulo.

Modo 2: protocolos de mantenimiento

Realizando un plan de mantenimiento basado en **protocolos de mantenimiento**, que parten de la idea de que los equipos se pueden agrupar por tipos, y a cada tipo le corresponde la realización de una serie de tareas con independencia de quien sea el fabricante.

Modo 3: análisis de fallos

Realizando un plan basado en un **análisis de fallos** que pretenden evitarse. Es sin duda el modo más completo y eficaz de realizar un plan de mantenimiento. En el trabajo que se presenta se desarrolla este método ya que es el más recomendado para planes efectivos de mantenimiento.

4.2 Pasos para implementar un plan de mantenimiento

Definir pasos en forma general para establecer un programa efectivo de mantenimiento preventivo o predictivo puede tornarse una tarea complicada dependiendo de factores como la forma en que esté estructurada la organización de la empresa, sus políticas, la variedad de motores con los que cuenta y la complejidad de estos, así como también de funciones dentro del proceso productivo.

Una serie de pasos es detallada a continuación para logra una mejor implementación de un plan de mantenimiento los cuales son:

1. Determine las metas y objetivos.

El primer paso para desarrollar un programa de mantenimiento preventivo o predictivo es determinar exactamente qué es lo que se quiere obtener del programa. Usualmente el mejor inicio es trabajar sobre una base limitada y expandirse después de obtener algunos resultados positivos.

Ahora se muestran algunos ejemplos muy simples para lograr fijar metas:

- Incrementar la disponibilidad de los equipos en un 60%.
- Reducir las fallas en un 70%.
- Mejorar 30%.

2. Establecer los requerimientos para el mantenimiento.

Debe decidirse qué tan extenso puede ser el programa de mantenimiento preventivo o predictivo.

¿Qué debe de incluir y dónde debe de iniciar? Para responder a esta interrogante estos son algunos temas a tener en cuenta para ellos:

a) Maquinaria y Equipo a incluir.

La mejor forma de iniciar esta actividad es determinar cuáles son los motores más críticos en la planta; Algunas veces esto es muy fácil y otras veces no, esto depende de lo que manufacture la compañía; se recomienda hacer uso de una lista de equipos y acudir a sus clientes (producción, cabezas de departamento, etc.) y preguntar, después de todo, ellos son las personas a quienes se debe atender.

b) Áreas de operación a incluir.

Puede ser mejor, seleccionar un departamento o sección de la planta para facilitar el inicio; ésta aproximación permite que concentre sus esfuerzos y más fácilmente realice mediciones del progreso. Es mucho mejor el expandir el programa una vez que probó que se obtienen resultados.

c) Decidir en qué proporción se incluirán disciplinas adicionales al programa de mantenimiento (modelos de mantenimiento).

Se debe determinar si se implementarán rutas de lubricación, realizar inspecciones y hacer ajustes o calibraciones, o cambiar partes con base en

frecuencia y/o uso del equipo (Mantenimiento preventivo), Inspecciones periódicas de monitoreo (el cual es parte de un mantenimiento predictivo). La maquinaria y equipo que se seleccione para incluir en el programa, determinará si es necesario incluir disciplinas adicionales de mantenimiento.

d) Declarar la posición del plan de mantenimiento.

Es importante que cualquier persona en la organización entienda exactamente qué consideró como el mayor propósito del programa de mantenimiento. No se debe ser tan breve, es decir sin sentido, pero tampoco se deberá ser tan extenso al grado de crear confusión. Ya que no desarrollar un enunciado claro y conciso, puede hacer que el programa de mantenimiento sea muy difícil, aspecto a tomar en cuenta ya que esto sucede frecuentemente.

e) Medición del plan de mantenimiento.

Se hace énfasis en poner especial atención en la medición del progreso que se está llevando a cabo con el mantenimiento, ya que es en donde muchos programas de mantenimiento fallan, Si no se mide el progreso obtenido por la implementación del programa no se tendrá ningún argumento para defender ante la gerencia los costos que el programa implica, por lo general el presupuesto destinado a esta área es el primero que sufre reducciones al no tener ningún tipo de indicador de progreso.

f) Desarrolle un plan de entrenamiento.

Un entrenamiento completo y consistente al personal de mantenimiento y a las personas que más conviven a diario con los motores ayudará en forma significativa a la obtención de resultados y a que el plan sea un éxito.

g) Reunir y organizar los datos.

Son diversos los elementos requeridos para ordenar e implementar un programa de mantenimiento preventivo. Se desarrolla de manera más completa el proceso para reunir y organizar datos en el capítulo 5.

3. Para establecer su programa de mantenimiento preventivo siga los siguientes pasos:

- Los equipos que se incluyan en el programa de mantenimiento elegido deben de estar en el listado de equipos.

- Se requiere de una tabla de criterios (frecuencias de mantenimiento preventivo). Esta tabla le indicara al sistema con qué frecuencia debe de generar las órdenes de trabajo, o su gráfico de MP, así como el establecimiento de otros parámetros para el programa de mantenimiento.
- Requiere planear sus operarios y contratistas para sus órdenes de trabajo de mantenimiento, su programa necesitará de códigos de oficios y actividades. Adicionalmente se necesitará ingresar estos datos a la base de datos electrónica o enlazarlos de alguna manera con su programa de mantenimiento.
- La planeación y el uso de materiales y repuestos recurrentes o de mayor uso en los registros del plan de mantenimiento por máquina, se requiere para ello ingresar con anticipación los artículos de inventario y enlazarlos a su programa de mantenimiento.
- Se debe contar con procedimientos detallados o un listado de rutinas, listos en el sistema o en algún procesador que facilite su control, de allí que se tenga que planear su codificación, también es buena idea mantenerlos en “file” por máquina o equipo. Se recomienda buscar siempre soluciones simples.
- Tabla de frecuencias de mantenimiento preventivo. Una vez que ha seleccionado la maquinaria y equipo que será incluido en su programa de MP, necesitará determinar qué frecuencia va a utilizar en cada orden de trabajo que se ha de emitir.

Una máquina puede llegar a tener programados varios MP, los que van desde simple inspección, ruta de lubricación, análisis de aceite, reposición de partes, diagnósticos de predictivo, etc.

- Se debe contar con un calendario para determinar un número de días entre las inspecciones o ejecución del programa de mantenimiento.
- Contar con el número de horas de uso u otra unidad de medición en las inspecciones de los equipos, requiere que alguna rutina sea establecida para obtener la lectura y medición de los motores.
- De las dos últimas recomendaciones se recomienda realizar una combinación entre el calendario y las horas de uso. Entre 30 días o 100 horas lo que ocurra primero. Solamente se requiere una rutina de medición y lectura de los datos.

4. Procedimientos para el programa de mantenimiento. (Listados de rutinas.)

El programa de mantenimiento deberá incluir procedimientos detallados que deben ser completados en cada inspección o ciclo. Existen varias formas para realizar estos procedimientos en las órdenes de trabajo de mantenimiento dependiendo del modelo de mantenimiento elegido.

Los procedimientos permiten insertar detalles de liberación de máquina o equipo, trabajo por hacer, diagramas a utilizar, planos de la máquina, ajustes, calibración, arranque y prueba, reporte de condiciones, carta de condiciones, manual del fabricante, recomendaciones del fabricante, observaciones, etc.

4.3 Análisis de los Equipos y codificación de equipos

4.3.1 identificar función

Como un inicio en la elaboración de un plan de mantenimiento es necesario identificar las funciones que una maquina realiza en él o los procesos de producción en los que el equipo interviene, ya que con esta información se puede lograr establecer si un equipo ejercer mayor importancia a la hora de realizar el plan de mantenimiento, esta identificación preliminar establecerá aspectos como: importancia del equipo en el proceso de producción, tiempos de salida de funciones del equipo entre otras.

4.3.2 Identificar el equipo

Una parte muy importante para realizar una correcta planeación de mantenimiento es la identificación de los equipos, como recomendación de la ISO/FDIS 17359:2002(E) [6] los parámetros como mínimo para cada máquina que se supervisa serán los siguientes:

- Identificador único de la maquina
- Código de equipo o número de etiqueta
- Tipo de máquina
- Velocidad nominal: r / min o Hz
- Potencia nominal: kW
- Configuración: Ejemplo: accionamiento directo, por correa o eje.
- Soporte de la máquina: Ejemplo: rígido o montado elásticamente
- Acoplamiento del eje: Ejemplo: rígido o flexible

La siguiente información también puede ser útil para registrar:

- Accionado: Ejemplo: eléctrico, vapor, gas, alternativo, hidráulico.
- Función: Ejemplo: conductor o accionado.
- Componente: Ejemplo: rodamiento, junta, engranaje, impulsor.
- Tipos de fluidos: Ejemplo: lubricante, refrigerante, hidráulico.

En esta propuesta se anexa un formato de ficha técnica de motores eléctricos para la identificación. Sección 8 de este trabajo

4.3.4 Codificación de equipos

Terminada la lista de equipos es de suma importancia identificar cada uno de los equipos con un código único. Esto facilitara su localización, su referencia en órdenes de trabajo, en planos, permite elaborar un registro histórico de fallos e intervenciones del mismo, permite el cálculo de indicadores referidos a áreas, equipos, sistemas, elementos, etc., y permite el control de costes.

Existen dos posibilidades a la hora de codificar las cuales son las siguientes:

– *Sistemas de codificación no significativos*: son sistemas que asignan un número o un código correlativo a cada equipo, pero el número o código no aporta ninguna información adicional.

– *Sistemas de codificación significativos o inteligentes*, en el que el código asignado aporta información.

La principal ventaja del empleo de un sistema de codificación no significativo, conocido como de tipo correlativo, es la simplicidad y la brevedad del código. Con únicamente 4 dígitos es posible codificar la mayoría de las plantas industriales. La desventaja es la dificultad para ubicar una máquina a partir de su código: es necesario tener siempre a mano una lista para poder relacionar cada equipo con su código.

La principal ventaja de un sistema de codificación significativo aporta valiosa información sobre el equipo al que nos referimos: tipo de equipo, área en el que está ubicada, familia a la que pertenece, y toda aquella información adicional que queramos incorporar al código. El problema es que al añadir más información el código aumenta de tamaño.

Nos centraremos en los sistemas de codificación significativos y la información útil que debe contener el código de un ítem.

La información que debería contener el código de un equipo debería ser la siguiente:

- *Planta a la que pertenece.*
- *Área al que pertenece dentro de la planta.*
- *Tipo de equipo.*

adicional:

- *Tipo de elemento.*
- *Equipo al que pertenecen.*
- *Dentro de ese equipo, sistema en el que están incluidos.*
- *Familia a la que pertenece el elemento. La clasificación en familias es muy útil, ya que nos permite hacer listados de elementos.*

Una vez elaborada la lista de equipos, y teniendo en cuenta todas las consideraciones anteriores, es posible abordar la tarea de la codificación, fijando los criterios que la regirán.

Códigos para equipos

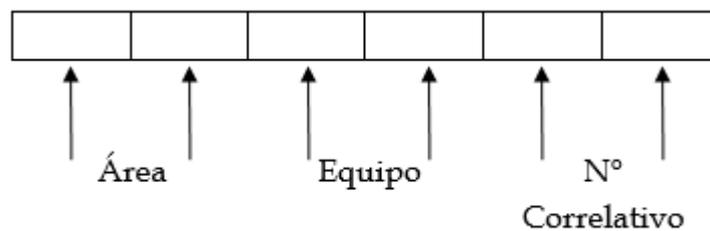


Figura 4.3.1: codificación para equipos. [4]

Como se indica en la Figura 4.3.1, el Área de la Planta en que está ubicado el equipo estará definido por dos caracteres alfanuméricos, el tipo de equipo por dos caracteres alfabéticos, y el número correlativo por dos caracteres numéricos.

En la siguiente Tabla figuran algunos ejemplos de códigos que pueden utilizarse para identificar el tipo de equipo:

Código	Tipo de Equipo
CT	Compresor
RC	Red de Aire comprimido
VC	Bomba de Vacío

Tabla 4.3.1: Algunos Ejemplos para codificación para equipos

Código						Descripción
1	1	C	T	0	1	Compresor 1
1	1	C	T	0	2	Compresor 2
1	1	V	C	0	1	Bomba de Vacío

Tabla 4.3.2: Tabla para tipos de equipos.

Códigos para Elementos

La propuesta en este trabajo para el código de un elemento que forma parte de un equipo estaría formada por un total de 17 caracteres, con la siguiente estructura:

- Los 6 primeros identificarían el equipo, tal y como puede observarse en la figura 4.3.1.
- Un carácter más alfabético identificaría la familia a la que pertenece el elemento.
- Los tres caracteres siguientes identificarían el sistema.
- Los caracteres siguientes, hasta 7 (longitud variable), serían caracteres alfanuméricos, que identificarían las características del elemento y aportarían un número correlativo.
- Un último carácter, de aplicación exclusiva para el caso de redundancia (elementos duplicados, triplicados, etc.).

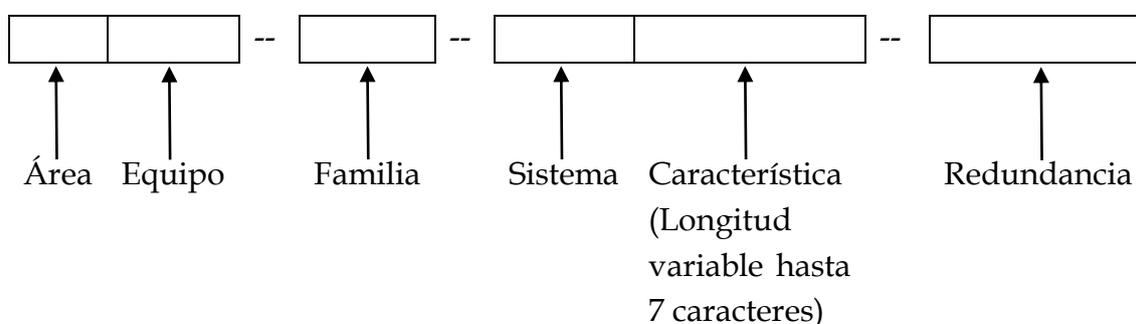


Figura 4.3.2: codificación para elementos.

Código	Familia
B	Bomba
M	Motor

Tabla 4.3.3: Ejemplo de familias para distintos códigos.

La ventaja de indicar la familia a la que pertenece el elemento es que nos permite realizar una lista de motores, bombas etc. Estas listas pueden ser interesantes en muchos casos; por ejemplo, si quisiéramos saber cuántos y qué motores tenemos en la planta, para estudiar su posible estandarización. O saber cuántos instrumentos de medida hay instalados, para hacer un Plan de Calibración.

4.4 Análisis de criticidad

Consiste en ubicar el equipo dentro del proceso productivo o sistema operativo de la empresa, entender su funcionamiento y la importancia de este dentro de dicho proceso, en función de establecer cuando puede ser detenido, en oportunidad y frecuencia y criticidad dentro de la planta.

4.4.1 Establecer criticidad de equipo e identificar modos de fallo

Definir niveles de análisis

Para determinar la criticidad de un equipo se utiliza una matriz de frecuencia por consecuencia de la falla.

En un eje se representa la frecuencia de fallas y en otro los impactos o consecuencias en los cuales incurrirá el equipo en estudio si le ocurre una falla.

F R E C U E N C I A	5	M	M	A	A	A
	4	M	M	A	A	A
	3	B	M	M	A	A
	2	B	B	M	M	A
	1	B	B	B	M	A
		1	2	3	4	5
		IMPACTO				

Figura 4.1 Matriz de Criticidad. [7]

En la matriz de Criticidad se identifican con letras los niveles de criticidad como sigue:



La matriz tiene un código de colores que permite identificar la menor o mayor intensidad de riesgo relacionado con el Valor de Criticidad de la instalación, sistema o equipo bajo análisis.

La criticidad se determina cuantitativamente, *multiplicando la probabilidad o frecuencia de ocurrencia de una falla por la suma de las consecuencias de la misma*, estableciendo rasgos de valores para contrastar los criterios de evaluación.

La propuesta de matriz de criticidad puede encontrarse en el capítulo 8 del presente trabajo.

Definir criticidad

Se deberán definir los niveles en donde se efectuará el análisis: instalación, sistema, equipo o elemento, de acuerdo con los requerimientos:



Figura 4.2. Ejemplo de niveles de análisis para evaluar criticidad [7]

Se requiere contar con la siguiente información para realizar el análisis.

1. Relación de las instalaciones (se refiere al tipo de instalaciones).

2. Relación de sistema y equipo por instalación (se requiere a diferentes tipos de sistemas y equipos).
3. Ubicación (área geográfica, región) y servicio.
4. Filosofía de operación de la instalación y equipo.
5. Diagramas de Flujo de Proceso (DFP).
6. Registros disponibles de eventos no deseados o fallas funcionales.
7. Frecuencia de ocurrencia de los eventos no deseados o las fallas consideradas en el análisis.
8. Registros de los impactos en producción (% pérdida de producción debido a la falla del elemento, equipo, sistema o instalación en estudio, producción diferida y costos relacionados).
9. Registros de los impactos en la seguridad de los procesos.

Cálculos de nivel de criticidad

Para determinar el nivel de criticidad de una instalación, sistema, equipo o elemento se debe emplear la fórmula:

$$\textit{Criticidad} = \textit{Frecuencia} \times \textit{consecuencia}$$

Formula 4.1

Para las variables se utilizan los valores preestablecidos como “categorías” de las tablas Categoría de las Frecuencias de Ocurrencia y Categoría de los impactos, respectivamente. Ambas propuestas se pueden encontrar en el capítulo 8 del presente trabajo.

Una vez obtenido el valor de la criticidad, se busca en la Matriz de Criticidad, para determinar el nivel de criticidad de acuerdo con los valores y la jerarquización establecidos.

Análisis y validación de resultados

Los resultados obtenidos deberán ser analizados a fin de definir acciones para minimizar los impactos asociados a los modos de falla identificados que causan la falla funcional.

Este análisis final permitirá validar los resultados obtenidos, a fin de detectar cualquier posible desviación que amerite la reevaluación de la criticidad.

Definir nivel de análisis

El resultado obtenido de la frecuencia de ocurrencia por el impacto permite “jerarquizar” los problemas, componentes, equipos, sistemas o procesos, basado en la criticidad. El cuál es el objetivo de la aplicación de la metodología.

La valoración del nivel de criticidad y la identificación de los activos más críticos permitirá orientar los recursos y esfuerzos a las áreas que más lo ameriten, así como gerencia las acciones de mitigación del riesgo en elementos subsistemas, considerando su impacto en el proceso.

Determinar la criticidad

Permite completar la metodología, sin formar parte de la misma. Cuando en la evaluación de un activo obtenemos frecuencias de ocurrencias altas, las acciones recomendadas para llevar la criticidad de un valor más tolerable deben orientarse a reducir la frecuencia de ocurrencia del evento. Si el valor de criticidad se debe a valores altos en alguna de las categorías de consecuencias, las acciones deben orientarse a mitigar los impactos que el evento (modo de falla o falla funcional) puede generar.

Seguimiento de control

Después de la selección de las acciones de mejora en las frecuencias de ocurrencia de los eventos y mitigación de impactos se debe crear y establecer en Seguimiento y Control, para garantizar el monitoreo de la ejecución de las acciones seleccionadas y el cumplimiento de las recomendaciones consecuentes de AC.

Los objetivos de Seguimiento y Control son:

- ✓ *Asegurar la continuidad en el tiempo de la aplicación de los planes de acción resultantes de la aplicación de la Metodología Análisis de Criticidad.*
- ✓ *Promover la cultura del dato en todos los niveles de la empresa.*
- ✓ *Monitorear los cambios o mejoras que pueden derivarse de la aplicación de las acciones generadas como resultados de los análisis para determinar se requiere un nuevo análisis.*

4.5 Tipos de mantenimiento.

Una vez realizada la lista de equipos, desglosados incluso en los elementos que los componen e identificado cada *item* con un código único que permite referenciarlo, como siguiente paso se procede a determinar qué tipo de técnicas y modelos de mantenimientos son los mejores para estos equipos.

Los tipos de mantenimientos más conocidos son 5, claramente distinguidos por el tipo de tareas que se llevan a cabo en cada uno de ellos.

TIPOS DE MANTENIMIENTO

- ✓ *Mantenimiento correctivo.*
- ✓ *Mantenimiento preventivo.*
- ✓ *Mantenimiento predictivo.*

Mantenimiento correctivo:

Son las tareas destinadas en conjunto para corregir las fallas o defectos que se van presentando en los equipos; Estos equipos forman parte de la responsabilidad del departamento de mantenimiento de la empresa.

Mantenimiento preventivo:

Es el mantenimiento que tiene por misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las correcciones de sus puntos vulnerables en el momento más oportuno.

La finalidad del mantenimiento preventivo es: Encontrar y corregir los problemas menores en el momento oportuno antes de que estos provoquen fallas, tiene por misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos. El mantenimiento preventivo puede ser definido como una lista completa de actividades, todas ellas realizadas por; usuarios, operadores, y mantenimiento.

Mantenimiento predictivo:

El mantenimiento predictivo es un conjunto de técnicas instrumentadas de medida y análisis de variables para caracterizar en términos de fallos potenciales la condición operativa de los equipos productivos. Su misión principal es optimizar la fiabilidad y disponibilidad de equipos al mínimo costo.

Para llevar a cabo la implementación de este mantenimiento es necesario identificar variables físicas (temperatura, vibración, consumo de energía, etc.) cuya variación sea indicativa de problemas que puedan estar apareciendo en el equipo. Es el tipo de mantenimiento más tecnológico, pues requiere de medios técnicos avanzados, y de fuertes conocimientos matemáticos, físicos y técnicos.

4.6 El mantenimiento preventivo

4.6.1 Pruebas, metodologías y estándares

Limpieza, reaislamiento.

El interior y exterior de la máquina eléctrica deberá estar libre de polvos, aceites y grasas ya que todo tipo de contaminante al interior de los devanados del motor producen efectos nocivos tales como:

- Bloqueo de la ventilación.
- Provocan recalentamientos.
- Acortar la vida útil.
- vulnerabilidad a los ataques del ambiente.

Por tal motivo deberán ser sometidos a algún tipo de limpieza tales como:

- Limpieza con vacío
- Limpieza con aire comprimido
- Limpieza con agua y detergente
- Limpieza con solvente

Limpieza con vacío: Para remover los polvos y partículas, el uso de succión es preferible al soplado con aire comprimido, porque hay menos posibilidad de dañar el aislamiento y menos chance de introducir éstas a áreas donde puedan causar daño más tarde durante la operación.

También se puede remover con brocha, se debe evitar el desprendimiento de las cerdas y que se queden en el devanado. También se puede usar tela libre de hilachas.

Limpieza con aire comprimido: Este puede ser usado, para remover material desde áreas de difícil acceso, a las cuales no se le llega con brocha o trapo. Sin embargo, la dirección del aire deberá ser controlada para prevenir que el contaminante se re-deposite y se haga más difícil su remoción, es decir pase a una parte más inaccesible de la máquina.

Se deben extremar los cuidados, para que el aire sea seco y no se use con excesiva presión. Se recomienda una presión no mayor de 30 psi.

Revernizado de los devanados: después que la limpieza ha sido realizada, se hace necesario aplicar una capa de barniz al estator. Una recomendación especial es que los devanados estén limpios y secos, y que no haya residuos de aceite.

Ensayos de Núcleo Magnético

La prueba de Toroide se hace a los núcleos de los motores cuando por alguna causa se presume que se tienen laminaciones en corto circuito lo que provoca calentamiento entre ellas por circulación de corrientes parásitas. Normalmente las láminas deben estar aisladas eléctricamente entre sí.

Laminación

El procedimiento se aplica siempre y cuando las laminaciones del núcleo tengan un espesor comprendido entre 0.6 y 1.0 mm; y que el material sea de acero magnético al silicio.

Aislamiento entre láminas

El aislamiento sobre las láminas puede ser de:

- Papel
- Capa de óxido
- Barniz
- Vidrio Líquido

El método de prueba consiste en usar las curvas de imantación B-H y las curvas de pérdidas en el hierro contra B de un toroide cuyo núcleo es de acero al silicio y que son conocidas; devanar el núcleo del estator en forma de toroide, para lo cual con el método se calcula el número de vueltas (T), de acuerdo con el voltaje de C.A. disponible (E) a la densidad de flujo especificada (B), también se obtendrá el valor de la corriente (I). Al aplicar el voltaje de C.A. el núcleo se comporta como un toroide y las partes dañadas se sobrecalientan con respecto al resto del núcleo.

En los anexos de este trabajo se pueden encontrar mayor explicación del método de prueba aquí propuesto

La Prueba Básica de Resistencia de Aislamiento

El probador de aislamiento a tierra, o Mega óhmetro, es también uno de los primeros instrumentos utilizados por los técnicos para evaluar y localizar fallas

de aislamiento, incluyendo sistemas motrices eléctricos de aislamiento. El Estándar de IEEE 43-2000 (R2006) [8], "La Práctica Recomendada para Pruebas de Aislamiento de Resistencia de Maquinaria Rotatoria," (IEEE 43) presentan el mejor método para realizar esta prueba también nos referiremos al método de prueba como Prueba de Resistencia de Aislamiento (IR por sus siglas en inglés, no confundir con infrarrojo que también se utiliza mucho en el ambiente de mantenimiento).

La Prueba directa de resistencia de aislamiento es utilizada para localizar fallas y para evaluar la condición de máquinas, a menudo con resultados desastrosos, en las manos de un usuario sin experiencia.

Hay limitaciones muy claras en la capacidad de la prueba de resistencia de aislamiento, solo, para evaluar la condición de un motor eléctrico para la operación. Para una cosa, tiene que haber un sendero claro entre el sistema de aislamiento y la cubierta de la máquina. El aire o cualquier otro material no conductor entre el devanado y tierra proporcionará una resistencia alta de aislamiento. Las fallas al final de las vueltas del devanado del motor también no proporcionarán un sendero claro a tierra, con la mayoría de defectos del devanado que comienzan como un corto interno del devanado que quizás luego sea un defecto de aislamiento. Por estas razones es de tener especial cuidado se usa IR como un instrumento de localización de fallas.

Prueba de Growler: Prueba a Rotores Jaula de Ardilla en motores de inducción.

El motor de inducción se puede explicar como un Transformador Eléctrico, donde el primario es el Estator, y el secundario es el Rotor, el cual está en cortocircuito y además gira. Esto permite establecer la teoría para una prueba sencilla, pero muy potente para probar la condición de la Jaula de Ardilla del motor de inducción.

El nombre viene del inglés zumbador o gruñidor, ya que durante la prueba típica se espera haga vibrar una lámina metálica. Normalmente este se usa en armaduras de Corriente Directa, sin embargo, en este trabajo se aplica a rotores jaula de ardilla de Corriente Alterna. El principio de funcionamiento se refiere nuevamente al transformador, ya que este consta de una bobina primaria, con un núcleo partido donde se coloca el rotor. Cuando se alimenta con CA, y se coloca el rotor, el campo magnético induce en las barras del rotor una tensión secundaria, que produce a su vez la corriente. Se coloca un amperímetro analógico en el primario del growler, el cual mostrará una caída abrupta (Mayor

al 5-10%) cuando una barra abierta pasa frente al campo magnético. Es decir, cuando se gira 360° un rotor jaula de ardilla, y la corriente primaria se mantiene invariable, se descarta daños en la Jaula de Ardilla. [9]

Pruebas en Motores armados y grandes En motores grandes o armados, no es posible usar un Growler, que es mayormente usado en motores pequeños. Por lo tanto, se recomienda la prueba cuando se tengan dudas de la condición de la Jaula de Ardilla, principalmente por alguno de los siguientes síntomas:

- Vibración no explicada por situaciones mecánicas, ni por armónicos eléctricos.
- Problemas de arranque, con pérdida de potencia.
- Pérdida de potencia del motor una vez arrancado.

Se usa entonces unas de las fases del motor como primario del Growler. La corriente en la fase que se alimenta con CA, produce un campo magnético que enlaza el rotor, e induce una tensión secundaria, que a su vez produce la corriente secundaria. Se procede a girar el rotor 360° (Una vuelta completa) lentamente, con la medición de corriente primaria, preferiblemente con un Amperímetro Analógico. La teoría de la prueba dice: Cuando se de una desviación de corriente mayor al 5-10% del promedio, es altamente sospechoso de barras o anillos rotos (abiertos). Ante esta situación no es recomendable armar el motor.

Limpieza del inducido y el colector de un motor eléctrico.

Las delgas o colectores son unas barras, por lo general de cobre, en las que hacen contacto las escobillas o carbonillos. Para limpiar estas, se debe de contar con una lija fina (150 a 180), una brocha y una navaja u hoja fina dura. Tome precauciones de, cuando se esté trabajando, no retirar el esmalte aislante con el que cuentan los devanados. Con mucho cuidado lije, de manera uniforme todas las delgas del motor, procure no aplicar mucha fuerza, solo la necesaria para retirar cualquier capa de carbón u oxido que se haya creado. Con una hoja fina y dura, retire cualquier cantidad de polvo o carbón que se encuentre entre las delgas, ya que este puede causar un corto circuito o perdidas de energía y con la brocha retire el polvo que se haya generado.

Inducidos.

Puede ser necesario aire a presión, pero de manera fundamental puede utilizar una brocha y, en caso de estar en realidad muy sucio, desengrasante solvente (dieléctrico). Retirar cualquier cantidad de polvo que exista dentro de los conductores, procurando no dañar el aislante. Si solo se trata de polvo, puede ayudarse de aire a presión. Si va a limpiar los devanados de residuos de grasa,

entonces, aplique con sumo cuidado un poco de desengrasante solvente y después de que este se haya evaporado por completo, utilice el aire a presión.

4.7 El mantenimiento predictivo

4.7.1 Pruebas, metodologías y estándares

A continuación, se presenta algunas de las pruebas comúnmente usadas para el monitoreo de los parámetros definidos anteriormente, de manera que puedan ser utilizadas como una guía de selección de las mismas, la finalidad de estas pruebas es evaluar las condiciones mecánicas del motor de manera que se garantice su correcta operación con seguridad y eficacia:

Prueba 1: Análisis de Vibraciones.

Una de las técnicas más utilizadas en planes de mantenimiento por su detección de fallas y averías en los motores, es el análisis de vibraciones, el cual se basa en determinar las amplitudes de las vibraciones detectadas que más predominan en el motor, la detección de las causas u origen de dichas vibraciones y la corrección de las mismas.



Figura 4.7.1. Analizador portátil de vibraciones

Algunas de las consecuencias derivadas de la presencia de vibraciones en motores eléctricos son el incremento en los esfuerzos mecánicos y las tensiones, pérdida de energía y desgaste de algunas piezas en el motor y la fatiga de los materiales.

Algunas de las razones mecánicas más comunes por las cuales un motor o elementos del mismo puede comenzar a vibrar son:

- ✓ *Desequilibrio de elementos rotativos.*
- ✓ *Desalineamiento en acoplamientos.*
- ✓ *Defectos o deterioro en los rodamientos o cojinetes.*
- ✓ *Falta de lubricación*

Desbalance: La presencia de desbalance en el motor se identifica con el aumento de la amplitud de los armónicos con frecuencia igual a la del giro de del rotor 1XRPM y se detecta en dirección radial (la medición se realiza en el cojinete de apoyo).

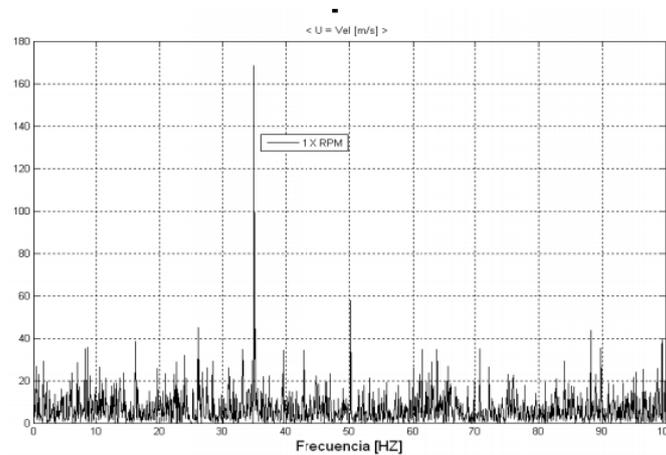


Tabla 4.7.1 Espectro de frecuencias del desbalance.

Falta de alineamiento: La falta de alineamiento se identifica dependiendo del tipo de desalineamiento. Si la falta de alineamiento es vertical, se presentan vibraciones radiales a frecuencias armónicas que son dos veces la velocidad de giro del rotor 2xRPM. Si la falta de alineamiento es angular, producirá vibraciones axiales de frecuencias armónicas que duplica a la velocidad de giro del rotor 2xRPM o tres veces la velocidad de giro del rotor 3xRPM.

Excentricidad: La presencia de excentricidad en los motores eléctricos asíncronos trifásicos, en cualquiera de los dos tipos posibles, los efectos producidos son los mismos; aparición de armónicos de alta y baja frecuencia en el espectro de las corrientes del estator, aparición de fuerzas pulsatorias de origen eléctrico que producirán vibraciones características y el incremento de las vibraciones.

La frecuencia de la vibración cuando ocurre excentricidad estática es dos veces la frecuencia de la corriente de alimentación del rotor $2 * f_{linea}$, también es frecuente la aparición de frecuencias de 50 y 200 Hz, causado por la modificación del entrehierro debida a desgaste de los cojinetes.

La frecuencia de vibración cuando ocurre excentricidad dinámica suele suceder en bandas laterales alrededor de la frecuencia de giro, de anchura $s * f_{linea}$ donde s es el deslizamiento.

Entonces la frecuencia de vibración queda:

$$f_v = 1 * \text{RPM} \pm d \text{ donde } d = S * f_{linea}.$$

Fórmula 4.7.1: frecuencia de vibración.

Rodamientos defectuosos: Para poder dar un diagnóstico de falla en rodantes defectuosos en cojinetes, se debe de tomar en cuenta los componentes de esta, como lo son los rodantes, carrera externa e interna y la jaula. Cada uno de estos componentes genera una vibración de frecuencia característica.

La frecuencia de giro de los rodillos (BSF), esta originado por la rotación de este alrededor de su propio eje, y se calcula con la siguiente Formula:

$$BSF = \frac{1}{2} N \times \left(\frac{D}{d} \right) \times \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2 \right]$$

Fórmula 4.7.2: frecuencia de giro de los rodillos

Cuando ocurre una falla en un rodillo, esta tiene contacto con la carrera externa e interna del cojinete en cada una de sus revoluciones, *la frecuencia del defecto de la bola será dos veces BSF.*

La frecuencia de rotación de la jaula o fundamental (FTF), se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$FTF = \frac{1}{2} N \times \left[1 - \frac{d}{D} \right]$$

Fórmula 4.7.3: frecuencia de rotación de la jaula o fundamental

Para determinar un defecto en la carrera externa, se calcula utilizando el paso en la pista exterior (BPFO):

$$BPFO = \frac{1}{2} Nn \times \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right) \right]$$

Fórmula 4.7.4: pista exterior

La frecuencia de defecto en la carrera interna o paso de la bola en la carrera interna se calcula como:

$$BPFO = \frac{1}{2} Nn \times \left[1 + \left(\frac{d}{D} \right) \right]$$

Fórmula 4.7.5: frecuencia de defecto en la carrera interna o paso de la bola en la carrera interna

Donde los símbolos significan lo siguiente:

N: Velocidad del eje en revoluciones por segundo.

d: Diámetro medio del rodamiento en pulgadas.

D: Diámetro de las bolas o rodillos en pulgadas.

n: número de bolas o rodillos.

Las frecuencias de rotación y defecto, también pueden ser originadas por desequilibrio, desalineación y cargas anormales amplificando las frecuencias específicas del rodamiento, quien absorbe la carga.

La frecuencia fundamental, ocurrirá aproximadamente al 40% de la velocidad de funcionamiento. Por tanto, una banda estrecha entre el 30 y 40% de la velocidad de funcionamiento detectara cualquier cambio anormal en las condiciones de la caja.

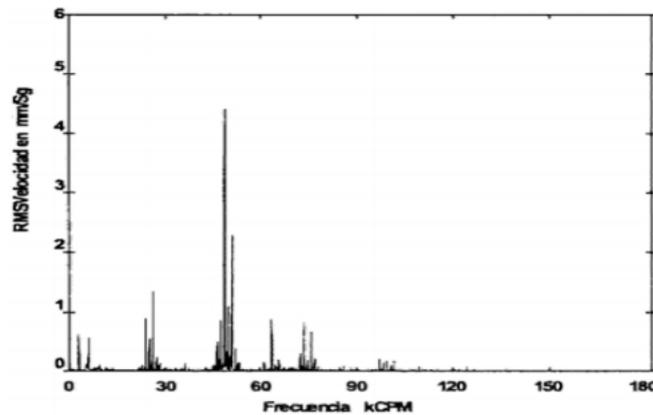


Tabla 4.7.2: BSF modulada con bandas laterales a FTF muestra el espectro de vibraciones cuando ocurren fallos en rodamientos.

Casquillos defectuosos: Las vibraciones se presentan cuando ocurren anomalías en el aceite. Las ondas de choque producidos por los cojinetes de casquillos, son absorbidas en gran parte por el aceite, especialmente los de alta frecuencia. Las frecuencias características cuando hay casquillos defectuosos pueden ser las siguientes:

f_0 , frecuencia fundamental de la vibración, igual a la velocidad de giro del rotor, ocasionado por falta de excentricidad o incorrecto ajuste del cojinete.

La frecuencia puede ser 0.4 a 0.6 veces la frecuencia fundamental, ocasionado cuando el eje no se desliza uniformemente sobre la película de aceite. También pueden ser por variaciones en la viscosidad y la temperatura.

Partes flojas: Una falla debida a partes flojas en el motor, produce armónicas de frecuencia igual al 50% de la velocidad de rotación, y múltiplos de la frecuencia anterior como 50, 100, 150 por ciento

Para dar un buen diagnóstico en el análisis de vibraciones, es muy importante tener un espectro de vibraciones, tomados cuando el motor se encuentre en

condiciones normales de funcionamiento, para tenerlo como referencia y compararlos con los análisis futuros, determinando el progreso de las vibraciones. El análisis de vibraciones nos dará la frecuencia y magnitud de las vibraciones, pero para poder determinar la severidad de las vibraciones se utilizan distintos tipos de normas, a continuación, se enlistan algunas:

Roturas de barras en el rotor: Las barras rotas el rotor genera efectos en el campo magnético de la corriente y se expresa en forma de armónicos.

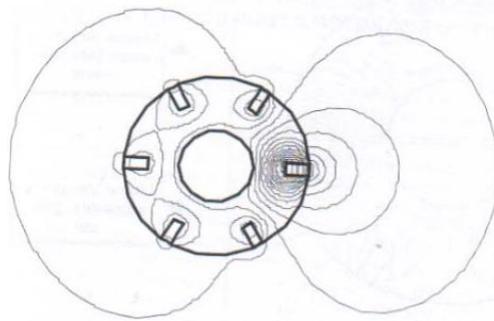


Figura 4.7.2: Líneas de flujo en una barra rota.

Debido a que los devanados de un motor no son ideales siempre existirán armónicos en la corriente de línea. Los armónicos producidos por la rotura de una barra, aparecerán superpuestas a los armónicos ya existentes en el motor. El método de diagnóstico consiste en realizar el seguimiento de dos armónicos situados en ambos lados del armónico fundamental, con separación de $-2sf$ y $+2sf$, siendo f la frecuencia de alimentación y s el deslizamiento.

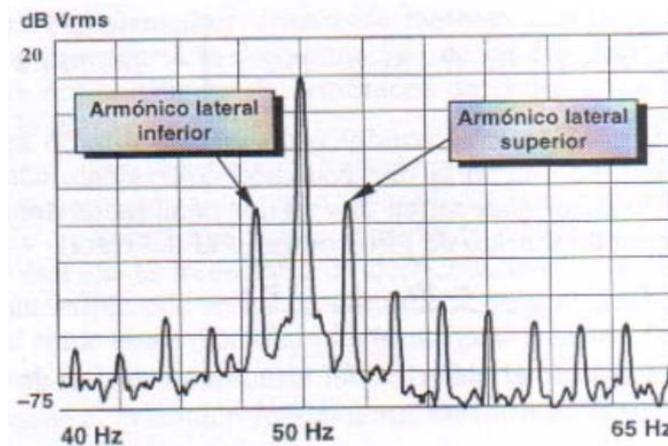


Tabla 4.7.3: se muestra el espectro de corrientes de un rotor con varias barras rotas.

ISO 2372 “Vibración mecánica de máquinas con velocidades de operación entre 10 y 200 revoluciones por segundo” [10], el cual especifica si la magnitud de la vibración se encuentra en un estado aceptable de acuerdo a la potencia de la máquina

La norma ISO 2372 clasifica a las máquinas como se indica en la tabla IV.

CLASE I	Componentes individuales de motores y máquinas, íntegramente conectados con la máquina completa en sus condiciones normales de funcionamiento (motores eléctricos de hasta 15 Kw)
CLASE II	Máquinas de tamaño medio, (típicamente motores eléctricos con una potencia de salida de 15 a 75 Kw) sin cimentaciones especiales, motores montados rígidamente, o máquinas (hasta 300 Kw) sobre cimentaciones especiales.
CLASE III	Motores con grandes fuerzas motrices y máquinas con grandes masas giratorias, sobre cimentaciones firmes y pesadas que son relativamente rígidas en la dirección de la medición.
CLASE IV	Motores con grandes fuerzas motrices y máquinas sin grandes masas giratorias sobre cimentaciones que son relativamente amortiguadores en la dirección de la medición de la vibración (turbogeneradores).
CLASE V	Máquinas y sistemas de transmisión mecánica con efectos de inercia no equilibrados (debido a movimientos alternativos), montados sobre cimentaciones que son relativamente rígidas en la dirección de la medición de la vibración.

Tabla 4.7.4: Clasificación de máquinas según, ISO 2372[10]

Según esta norma las severidades de las vibraciones se clasifican en Normal, Admisible, Límite y No permisible de acuerdo a la clasificación de la máquina que se basa en el tipo y tamaño de la máquina, el tipo de servicio, el sistema de

soporte de la máquina y el efecto de la vibración en la máquina sobre el entorno de la misma.

45.00				No Permissible
28.00		No Permissible	No Permissible	No Permissible
18.00	No Permissible	No Permissible	No Permissible	No Permissible
11.20	Permissible	No Permissible	No Permissible	Limite
7.10		No Permissible	Limite	Limite
4.50		Limite	Limite	Admisible
2.80	Limite	Limite	Admisible	Admisible
1.80		Admisible	Admisible	Admisible
1.12	Admisible	Admisible	Admisible	Admisible
0.71		Admisible	Admisible	Admisible
0.45		Normal	Normal	Normal
0.28	Normal	Normal	Normal	Normal
0.18		Normal	Normal	Normal
vel. [mm/s]	TIPO I	TIPO II	TIPO III	TIPO IV

Tabla 4.7.5: Severidad de vibraciones, según ISO 2372

ISO 3945 “Medida y evaluación de la severidad de vibración en grandes máquinas rotativas; velocidades de operación entre 10 y 200 revoluciones por segundo” [11], Se aplica a la CLASE III Y IV definidas anteriormente.

SEVERIDAD DE VIBRACIÓN RMS [mm/seg]	TIPO DE SOPORTE	
	RÍGIDO	FLEXIBLE
0,46	Buena	Buena
0,71		
1,12		
1,8		
2,8	Satisfactoria	Satisfactoria
4,6		
7,1	No Satisfactoria	No Satisfactoria
11,2		
18,0		
28,0	Inaceptable	Satisfactoria
71,0		Inaceptable

Tabla 4.7.6: Tabla ISO 3945

ISO 2373 “Vibración mecánica en cierta maquinaria eléctrica rotativa con alturas de eje entre 80 y 400mm-Medida y evaluación de la severidad de la vibración” [12]. Esta norma es una adaptación de las normas ISO 2372 para motores eléctricos, y se aplica a motores eléctricos de corriente alterna trifásica y a motores de corriente continua con alturas de eje (distancia vertical entre la base del motor y la línea central el eje) entre 80 y 400 mm.

ISO 10816 “Evaluación de la vibración en una máquina mediante medidas en partes no rotativas” [13]. Estas normas son más recientes que las anteriores. El

valor eficaz de la velocidad de vibración se usa para evaluar la condición de la máquina.

Prueba 2: Cámara termográfica.

La termografía infrarroja es una técnica que permite sin tener un contacto físico con el motor, la medición y visualización de las temperaturas en la superficie del motor como es sus empalmes de alimentación eléctrica.



Figura 4.7.3: Análisis termográfico de un motor eléctrico.

Por lo general la mayor parte de averías o síntomas previos a una falla en los motores, ya sean estos mecánicos o eléctricos, tales como desgaste en el contacto de las escobillas y los cortocircuitos en los armazones, están precedidos por un incremento en la temperatura, pero son imposibles de detectar por medio de un análisis de vibraciones (Ver análisis de vibraciones) debido a que generan poca o ninguna vibración, por lo que la termografía ofrece una visión completa y permite comparar con las temperaturas de distintos motores

Con la implementación de un programa que contemple el análisis por cámara termográfica, tanto a motores como a los ramales eléctricos los cuales está conectado, es posible determinar puntos anómalos que represente un riesgo de ocurrencia de una falla futura, además el análisis termográfico constituye una herramienta de verificación de calidad a reparaciones efectuadas anteriormente.

Entre las ventajas que ofrece el análisis por cámara termográfica están:

- Permite un análisis de confiable de las condiciones en las cuales opera la máquina sin detener los procesos productivos.

- Debido a que es una prueba que se realiza desde la distancia, es decir sin contacto físico con el motor, ofrece bajas probabilidades de que el personal de mantenimiento se vea sometido a algún tipo de riesgo físico.
- La determinación precisa de la avería reduce los tiempos que pueden tenerse en el proceso de reparación.
- Permite realizar un control o verificación de calidad de reparaciones hechas previamente.

¿Qué se puede identificar con la prueba de termografía?

En todas las placas de características de motores la temperatura de funcionamiento normal del motor. Aunque no se pueda observar el interior de un motor con una cámara por infrarrojos, la temperatura de la superficie exterior le dará una estimación aproximada de la temperatura interna. A medida que la temperatura interna del motor aumenta, la temperatura exterior también aumenta. Por ello, un estudio de análisis termográfico puede ayudar a identificar problemas en los equipos causados por:

- a) Flujo de aire insuficiente. Algunas veces los problemas en el incremento en la temperatura de los equipos puede ser causada por las malas condiciones ambientales en que operan los motores ya sea por su entorno o por suciedad interna en los motores, en este caso será necesario programar un paro del motor durante un corto período de tiempo sin afectar al funcionamiento general de la planta, parando el motor el tiempo que sea necesario para limpiar las parrillas de admisión de aire y planificar una limpieza más profunda en el motor para la próxima parada de la planta que se tenga prevista.
- b) Desequilibrio de tensión o sobrecarga. Suele ser la causa más habitual de sobrecalentamiento. Una conexión defectuosa en un conmutador, en una de las protecciones o la caja de conexiones del motor, pueden localizarse a través de una cámara termográfica y confirmarse utilizando un multímetro, una pinza para medir la corriente o un analizador de calidad eléctrica.
- c) Fallo inminente en un rodamiento. Todos los componentes de un equipo rotativo generan calor en los puntos de fricción del sistema (los rodamientos), por lo que el sistema de lubricación se encarga de reducir esta fricción de las piezas a diferentes grados de temperatura (en función del tipo de lubricación) y disipa el calor. Cuando las imágenes térmicas

muestren un rodamiento sobrecalentado, se deberá programar una orden de mantenimiento para sustituir o lubricar el rodamiento. En el caso de que se trate de una reparación costosa o que requiera la mano de obra de un especialista, se puede complementar de un análisis de vibraciones para determinar la acción más adecuada para este problema.

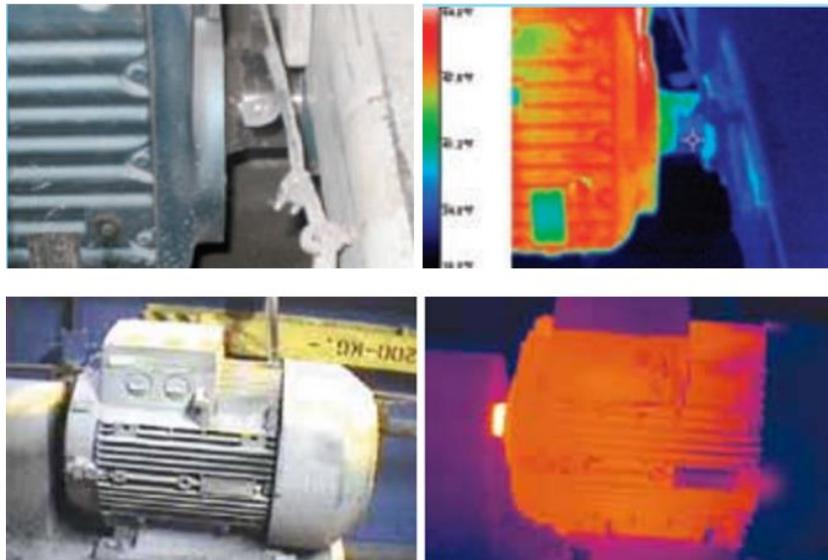


Figura 4.7.4: sobrecalentamiento en rodamientos con termografía. [14]

Las fotografías superiores muestran un motor con sus rodamientos trabajando en condiciones normales, los rodamientos deben mostrar temperaturas moderadas. Las fotografías inferiores muestran un motor trabajando con el rodamiento recalentado.

- d) Fallo del aislamiento. Los bobinados de un motor pueden comprobarse utilizando un análisis de prueba de aislamiento (ver prueba de aislamiento). Si se encuentran fallos en el aislamiento y dependiendo de la gravedad de este (ver criterios de alerta del aislamiento) se deberá tomar la decisión de implementar un mantenimiento correctivo o una orden para que el motor se sustituya a la mayor brevedad posible y así evitar mayores incidentes.
- e) Mala alineación del eje. En la mayoría de los casos, los análisis de vibraciones permiten confirmar si el problema radica en una mala alineación del acoplamiento del eje. Si se puede detener el motor, puede utilizar los dispositivos de alineación por láser para corregir esta alineación errónea.

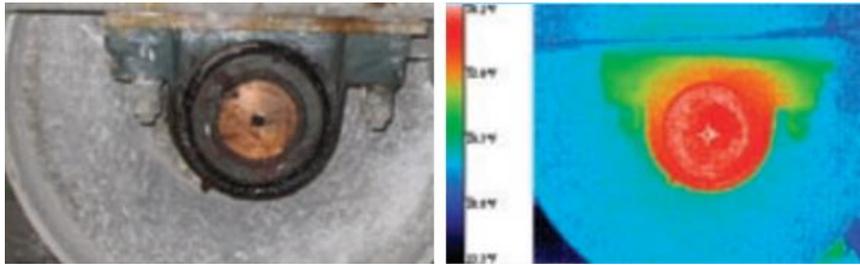


Figura 4.7.5: Sobrecalentamiento en el eje [14]

Sobrecalentamiento en el eje y el rodamiento puede ser un indicio de un fallo en el rodamiento, de una lubricación insuficiente o de una mala alineación.

“Alerta roja”: Las condiciones de un equipo que puedan comprometer la seguridad del mismo deben ser reparadas a la mayor brevedad posible. Es de recordar que todas las placas de características de los motores especifican el máximo incremento de temperatura en el motor con respecto a la temperatura ambiente. La mayoría de los motores están diseñados para funcionar a una temperatura ambiente que no supere los 40°C.

Debido a que la tolerancia a la temperatura de un motor está estrechamente relacionada con el aislamiento y el tipo de protección del motor, a continuación, se toca brevemente los valores admisibles de temperatura según la clase de aislamiento y el tipo de protección que tenga el motor.

El estándar NEMA MG-1 [15] ha clasificado el sistema de aislamiento de las máquinas eléctricas por su habilidad de proveer adecuada resistencia a la temperatura. Se establece que:

$$\text{Temp. Total} = \text{Temp. Amb. (40°C)} + \text{Levant. Temp.}$$

Fórmula 4.7.7

Clasificación					
Clase de aislamiento	Tipo de 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

Tabla 4.7.7: Clasificación del aislamiento y límites admisibles de temperatura [16]

El máximo de temperatura ambiente indica el valor límite superior al cual un motor puede operar adecuadamente según su clase de aislamiento, si la placa no lo indica se debe asumir de 40°C, es de tener en cuenta que en general, un aumento de 10°C sobre la temperatura indicada reduce a la mitad la vida útil del motor.

Prueba 3: Líquidos penetrantes.

El método por Líquidos Penetrantes se basa en el principio de CAPILARIDAD y se aplica en la detección de fisuras porosidades o discontinuidades abiertas en las superficies, en metales ferrosos y no ferrosos y otros materiales sólidos que no sean porosos ni presenten rugosidad excesiva dependiendo del material del cual esté compuesto el equipo que está siendo evaluado y que para este caso son los motores.



Figura 4.7.6: Prueba de líquidos penetrantes.

Sobre la superficie preparada de un componente, se aplica el “líquido penetrante” quien luego de un cierto tiempo penetrará en la discontinuidad por CAPILARIDAD. Después de eliminar el “exceso de líquido penetrante” de la superficie del componente se aplica el “revelador” quien absorberá al líquido penetrante que se introdujo en la discontinuidad, sacándolo a la superficie por CAPILARIDAD, produciendo una indicación o marca visual. Como se aprecia la CAPILARIDAD interviene dos veces: para la entrada del penetrante en la discontinuidad y para la absorción del penetrante por el revelador.

El líquido penetrante. El penetrante es un líquido que tiene la propiedad de penetrar en cualquier abertura u orificio que se abra ante él, existen varios tipos básicos de líquidos penetrantes, fluorescentes y no fluorescentes. La característica distintiva principal entre estos es:

- a) Los líquidos penetrantes fluorescentes contienen un colorante que fluoresce bajo la luz negra o ultravioleta.

b) Los líquidos penetrantes no fluorescentes contienen un colorante de alto contraste bajo luz blanca (rojo por ejemplo). Se conocen como penetrantes visibles o coloreados.

c) Existen los líquidos denominados duales, ya que los mismos se pueden comportar tanto como fluorescentes o como visibles.

En la tabla se muestra un resumen de la clasificación de los líquidos penetrantes.

A:	Penetrante Fluorescente	1	Lavables con Agua.
		2	Postemulsificables.
		3	Removibles con Solvente.
B:	Penetrante Coloreado	1	Lavables con Agua.
		2	Postemulsificables.
		3	Removibles con Solvente.
C:	Penetrante de Uso Dual	1	Lavables con Agua.
		2	Postemulsificables.
		3	Removibles con Solvente.
D:	Penetrante para Usos Especiales		

Tabla 4.7.8: Clasificación de líquidos penetrantes [17] según la norma IRAM-CNEA Y 500-1001 (1986).

Los removedores: Es el líquido encargado de remover el líquido penetrante de la superficie en que fue aplicado, la eliminación del exceso de líquido penetrante es una tarea delicada y del cuidado con que se realice dependerá en gran parte el resultado final del ensayo. Hay que eliminar el exceso de líquido penetrante de la superficie de la pieza, sin sacar el penetrante introducido en la discontinuidad, dicho proceso de remoción del líquido penetrante se debe realizar teniendo en cuenta los distintos tipos de líquidos penetrantes que existe y para lo cual se tienen distintas clases de removedores que en general se agrupan en 3 clases:

- a) Agua.
- b) Emulsionantes.
 - 1) De base oleosa.
 - 2) De base acuosa.
- c) Disolventes.

El revelador: El revelador es el medio que pone de manifiesto los lugares donde se encuentra retenido el líquido penetrante. Está constituido por yeso o talco finamente dividido o mezcla de silicatos y carbonatos de gran absorción y blancura, que se extienden sobre la superficie a inspeccionar después de haber eliminado el exceso de Líquido Penetrante.

Existen tres tipos de reveladores:

1. Secos. Están constituidos de un polvo fino que, al aplicarse sobre la superficie, tiene la capacidad de adherirse en ella y formar una película muy delgada, se

utiliza solo con penetrantes fluorescentes ya que con los visibles no producen un contraste satisfactorio.

2. En solución acuosa (solubles en agua). Estos son utilizados tanto para visibles como fluorescentes en los penetrantes removibles con solventes o post-emulsificables ya que en los lavables con agua pueden sacar el penetrante de las discontinuidades. Estos se suministran en forma de polvo para disolver en agua en concentraciones que varían de 0.12 a 0.24 kilogramos por litro de agua destilada.

3. En suspensión (acuosa o no acuosa). Este revelador (acuoso) se puede aplicar a cualquier técnica de líquidos penetrantes, para el caso de soluciones no acuosa. El solvente puede o no disolver al penetrante. En ocasiones, puede servir como solvente parcial para los penetrantes coloreados visibles. Tiene la función de ayudar a extraer el penetrante de la discontinuidad y lo disuelve dándole mayor movilidad y produciendo una mancha en el revelador

Pasos para la aplicación de líquidos penetrantes:

- 1) Limpiar por métodos químicos cuidadosamente la superficie a inspeccionar de pintura, aceite, grasa y otros contaminantes. Será necesario eliminar los restos de óxidos, pinturas, grasas, aceites, etc.
- 2) Aplicación del penetrante ya sea por inmersión, rociado con un cepillo o brocha, vertiendo el líquido sobre la pieza o cualquier otro método, que cubra la zona que se inspecciona.
- 3) Eliminación del exceso de penetrante de forma que lo único que permanezca sea el que se hubiera alojado en las discontinuidades o fisuras.
- 4) Aplicar el revelador y dejarlo actuar. El revelado es la operación que hace visible al ojo humano la posición del defecto.
- 5) Inspección final de la pieza. Una vez transcurrido el tiempo de revelado, se procede a la inspección de los posibles defectos de las piezas procesadas.
- 6) Limpieza final. Se debe llevar a cabo en razón de los productos usados en el ensayo.

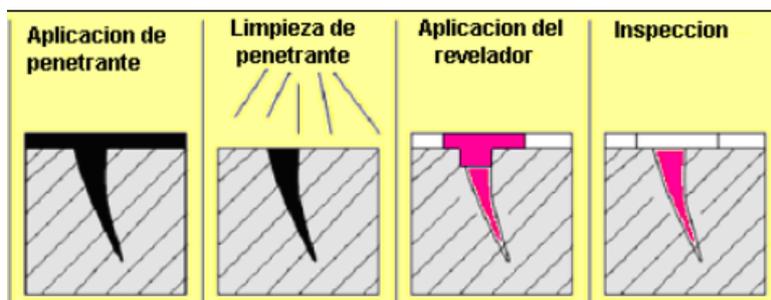


Figura 4.7.7: Pasos a seguir para realizar prueba de Líquidos Penetrantes.

Prueba 4: Análisis de Aislamiento.

Otra de las pruebas predictivas más utilizadas es el análisis del aislamiento, cuando un motor se encuentra en operación o se encuentra almacenado, el motor debe ser protegido contra humedad, temperatura elevada y suciedad, evitando así que la resistencia de aislamiento sea afectada.

La resistencia del aislamiento del devanado debe ser medida antes de poner el motor en operación. Si el ambiente es muy húmedo, la resistencia de aislamiento debe ser medida en intervalos periódicos, durante el almacenamiento. Es difícil establecer reglas fijas para el valor real de la resistencia de aislamiento de los devanados, una vez esta varía según las condiciones de temperatura, humedad y condiciones de limpieza del motor como lo es el polvo, aceite, grasa, suciedad, así como de la calidad y las condiciones del material aislante utilizado, la evaluación de los registros periódicos es útil para concluir si el motor está apto para operar o no.

Paso 1: Con base en la capacidad nominal del motor se seleccionan el nivel de tensión a la que se realizara el ensayo este se puede ver en la tabla 4.7.9.

Winding rated voltage (V) ^a	Insulation resistance test direct voltage (V)
<1000	500
1000–2500	500–1000
2501–5000	1000–2500
5001–12 000	2500–5000
>12 000	5000–10 000

Tabla 4.7.9: Capacidad del bobinado de motor y selección de la tensión de prueba, Tabla 1 Norma IEEE 43-2000 [8].

Paso 2: Se procede a conectar el medidor de aislamiento dependiendo los sectores que se piensen analizar, por ejemplo, aislamiento entre bobinas o entre cada bobina y la carcasa del motor como se muestra en el esquema siguiente, y se configura a la tensión indicada en el paso 1

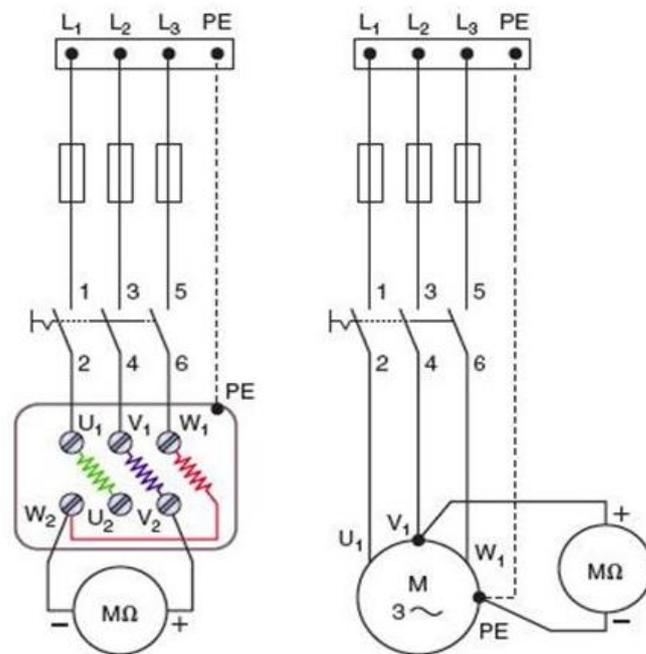


Figura 4.7.8: Esquema de conexión del medidor de aislamiento.

En la figura de la izquierda se analiza el aislamiento entre dos bobinas y en la figura de la derecha el aislamiento entre la bobina y la carcasa o tierra, ya que bajo el esquema de conexión lo que se desea conocer es si hay corrientes de fuga que se estén yendo a tierra.

Paso 3: se efectúa la prueba bajo el siguiente criterio, se observa el comportamiento inicial de la resistencia de aislamiento para tener el control y seguridad de la prueba, el valor que la resistencia de aislamiento debe estar en el orden los mega ohmios [$M\Omega$] de lo contrario se debe cancelar la prueba para evitar cualquier daño al equipo o evitar accidentes.

Paso 4: luego, si se cumplió el criterio del paso 3 y se garantiza la seguridad tanto del personal que efectúa la prueba como del equipo utilizado, se necesitan tener en cuenta los siguientes tres datos la resistencia de aislamiento a 30s de la prueba, la resistencia de aislamiento a 1 min y la resistencia de aislamiento a 10 min.

Paso 5: con los datos obtenidos del paso 4 se procede a calcular el índice de polarización y el índice de absorción con las siguientes formulas.

$$IP = \frac{IR_{10 \text{ min}}}{IR_{1 \text{ min}}}$$

Ecuación 4.7.6: Índice de polarización

$$DAR = \frac{IR_{1 \text{ min}}}{IR_{30 \text{ s}}}$$

Ecuación 4.7.7: índice de absorción

Si el equipo cuenta con las pruebas no será necesario la realización del paso 4 ya que este al terminar la prueba indicara el índice de polarización IP, el índice de absorción DAR y el ultimo valor de la resistencia de aislamiento es decir IR a 10 min.

Paso 6: con los valores del índice de polarización e índice de absorción corregidos, se procede a comprobar el resultado de las pruebas mediante la comparación de las tablas siguientes:

Clasificación	Valor mínimo de IP esperado
Clase A	1.5
Clase B	2.0
Clase F	2.0
Clase H	2.0

Tabla 4.7.10: Clases de aislamiento térmico y su mínimo nivel de índice de polarización. norma IEEE 43-2000 [8].

Índice de polarización	Estado del aislamiento
<1	Malo
1-2	Cuestionable
2-4	Adecuado
>4	bueno

Tabla 4.7.11: tabla proporcionada por algunos fabricantes de medidores de aislamiento.

NOTA: en el caso de motores nuevos el índice de polarización podría ser de 1 debido a que no sufre variación por ningún desgaste en su aislamiento que haga variar su resistencia

Condición del aislamiento	Proporción de la Absorción dieléctrica
Peligroso	< 1
Cuestionable	1.0 - 1.4
Buena	- 1.6
Excelente	> 4

Tabla 4.7.12: Correspondiente al índice de absorción

El comportamiento grafico de la prueba es el siguiente:

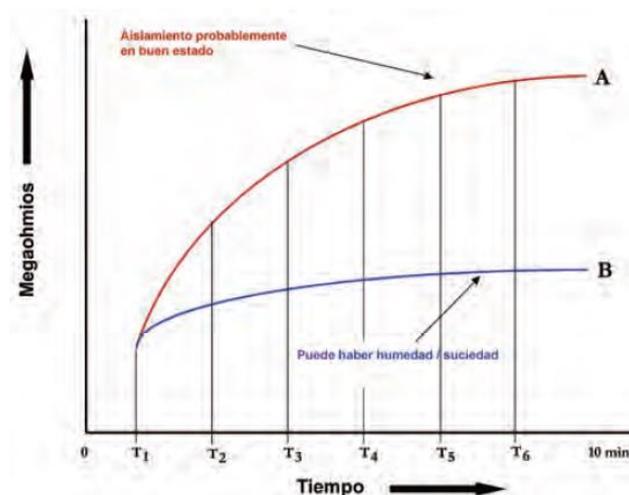


Figura 4.7.9: Comportamiento grafico prueba de aislamiento.

La grafica A indica un buen nivel en la resistencia de aislamiento mientras que la curva B representa una mala resistencia de aislamiento que puede indicar problema de humedad y/o contaminación interna o externa del motor.

Paso 7. El valor obtenido de la resistencia de aislamiento se debe corregir a una temperatura de 40°C con la siguiente expresión.

$$K_T = (0.5)^{\frac{40-T}{10}}$$

Ecuación 4.7.8: Corrección para el valor de resistencia de aislamiento.

que se obtuvo de la relación de la temperatura en el bobinado mostrado en el siguiente gráfico.

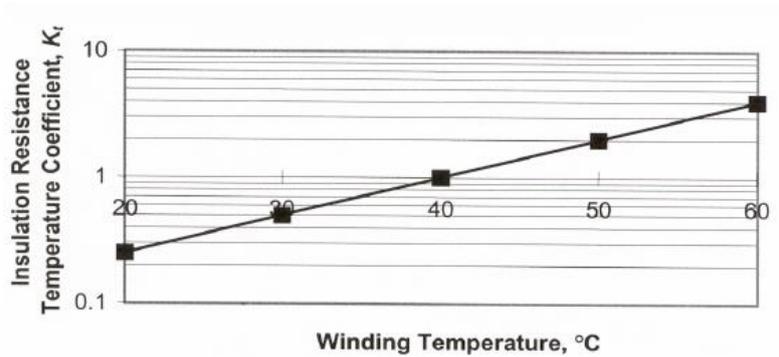


Figura 4.7.10: Gráfico del factor de corrección k versus temperatura

Entonces si por ejemplo se realizó una prueba de medición de resistencia de aislamiento a 45°C y el valor de la resistencia fue de 78 MΩ esta se debe corregir de la siguiente manera

$$K_T = (0.5)^{\frac{40-45}{10}} 1.4142 \Rightarrow \text{entonces } R_{@ R=78 \text{ M}\Omega \text{ } 45^\circ\text{C}} = 1.4142(78) = 110.3 \text{ M}\Omega$$

Este es el verdadero valor de la resistencia de aislamiento por ende se debe tomar la lectura de la temperatura en tres momentos de la prueba, a 30s en 1 min y en 10 min ya que el IP y el DAR se verán afectados por este efecto.

Algunas consideraciones que se deben tener antes de realizar la prueba:

- 1- La prueba debe hacerse preferiblemente fuera del tablero de conexión del motor ya que esto podría ocasionar un accidente, de no poder mover el motor se debe estar seguro que no exista carga en el tablero donde se encuentra el motor o generador al que se le realizara la prueba.
- 2- Se debe tener las precauciones respectivas como uso de guantes y evitar el contacto con objetos metálicos en el lugar donde se realiza la prueba ya que se ocasionará un corto circuito o una descarga que podría poner en riesgos tanto el equipo como al que esté realizando la prueba.
- 3- Es posible que el elemento analizado ya sea motor o generador quede cargado debido al efecto capacitivo entonces se sugiere no estar en contacto con este al menos 5 veces la duración de la prueba o se puede cortocircuitar los terminales donde se realizó la prueba (por ejemplo, bobina con la carcasa) para eliminar la carga residual en este.

Prueba 5: prueba de hi-pot.

Es una prueba complementaria a la resistencia de aislamiento e índice de polarización, la prueba de Hi-Pot en DC es una herramienta útil para detectar problemas en el sistema de aislamiento a tierra como grietas y fisuras, humedad, separaciones de cinta, contaminación de la superficie conductora, ausencia de curado de epoxi, y de laminación interna en sistemas de aislamiento mica/epoxi. La prueba es útil para descubrir las debilidades que pueden no ser necesariamente detectados en procedimientos como de resistencia de aislamiento (IR) o índice de polarización (PI). Con esta prueba pueden encontrarse debilidades que no permitirán soportar las sobretensiones transitorias que ocurren comúnmente en los sistemas de potencia industriales.

Existen 3 tipos de pruebas de alta tensión (Hi-pot Test):

Prueba de ruptura dieléctrica (Dielectric Breakdown Test) - En esta prueba el voltaje se incrementa hasta que el dieléctrico falla o se rompe para así determinar la carga más alta de voltaje que el cable puede soportar (también es llamado la ruptura de voltaje o "breakdown voltaje"). El Dieléctrico es destruido usualmente con esta prueba por lo que esta prueba se utiliza en muestras aleatorias.

Prueba de tensión de voltaje de rigidez dieléctrica (Dielectric With standing Voltage Test) - Durante esta prueba una carga estándar de voltaje es aplicada, la corriente de fuga se controla y debe estar por debajo de un límite preestablecido por una cantidad de tiempo determinado. Esta prueba no destruye el dieléctrico por lo que el inspector puede revisar 100% de los productos.

Prueba de resistencia de aislamiento (Insulation Resistance Test)- Esta prueba se realiza para determinar el valor de resistencia de los productos insulados. La tensión y la corriente se utilizan para calcular la resistencia del aislamiento.

Es preferible realizar primeramente la prueba de aislamiento y la del IP antes de realizar una HI-Pot, pero también es posible aplicar esta como prueba de rutina de mantenimiento para asegurar la condición de la máquina, Aunque se aclara que la prueba de Hi Pot en CD no degrada el sistema de aislamiento. Se insiste que hay un pequeño riesgo de que un material en condición marginal (que habría funcionado durante algún tiempo en servicio) puede ser perforado y fallar prematuramente mediante el uso de la prueba.

“Por ejemplo, un bobinado con pobre aislamiento en las bobinas cerca del final del neutro puede operar en servicio durante algunos años, pero puede fallar en una prueba de Hi-Pot. “

Procedimiento de las pruebas de hi-pot en dc según la norma IEEE 95-2002 [18]

Paso 1. El primer paso para aplicar la prueba de Hi-Pot es seleccionar la tensión de prueba máxima según lo siguiente:

- ∇ Pruebas de aceptación en máquinas nuevas y rebobinados, ya sea en fábrica, en taller o en el campo. Para pruebas de aceptación, la tensión de prueba en DC es 1.7 veces de $2E + 1000$ V (E es la tensión línea-línea).
- ∇ Prueba de mantenimiento en máquinas en servicio, la prueba se realiza a la tensión DC de 65 - 75 % de 1.7 veces $2E + 1000$ V.

Paso 2. la aplicación de la tensión eléctrica calculada en el paso 1 se debe aplicar en forma escalonada en las tres fases del devanado haciendo aumentos lentos de los escalones de tensión ya que de otra forma se podría comprometer el aislamiento del devanado debido a las corrientes capacitivas.

Paso 3. Se debe tener en observación la corriente de la prueba en todo momento ya que un indicador de daño en el aislamiento es que la corriente en el rango de los micros amperios (μ A) incremente considerablemente en un escalón. Se procede a detener la prueba si se presenta esta condición.

La norma sugiere 3 métodos para la aplicación de la tensión en esta prueba.

Escalones de tensión uniformes: implica la aplicación de la tensión en una serie de pasos uniformes, en intervalos de tiempo regulares. Las lecturas de corriente se toman al final de cada intervalo. El primer paso es de 10 minutos y se utiliza para medir el índice de polarización y establecer si el devanado es adecuado para la prueba de Hi Pot. Los pasos de posteriores no deben superar el 3% del nivel de tensión final y debe ser mantenido por un período de un minuto antes de proceder al siguiente paso. El ajuste a la tensión de cada paso debe hacerse dentro de los primeros 10 segundos. Para máquinas antiguas se sugiere un intervalo de 3 minutos debido a la lenta reacción de la corriente de absorción.

Curva de tensión: La idea es ajustar la tensión de acuerdo con un esquema de tiempos cada vez menor por lo que el componente de absorción de la corriente

no se considera. El procedimiento de prueba puede resumirse como siguiente: El escalón inicial de tensión es de **30 %** de la tensión máxima de la prueba, se aplica y mantiene durante 10 min (Se registran corriente a 0.5, 0.75, 1.0, 1.5 y 2.0 min, y luego seguido cada minuto hasta 10 min. La prueba continua con pasos de tensión hasta el valor máximo).

Rampa de tensión: La principal ventaja de la prueba de rampa de tensión sobre los otros métodos es que da un mejor control y aviso de fallo inminente, para evitar daños en el aislamiento. Se aplica un aumento lento y continuo en la tensión aplicada, típicamente **1 ó 2 kV/minuto**, que es menos propenso a causar daños impredecibles al aislamiento. Algunos equipos comerciales permiten la programación automática de la rampa. La aplicación de un voltaje en rampa, en lugar de pasos de tensión discretos, hace un mejor manejo de las componentes capacitivas y de absorción. Cualquier variación en la velocidad de aumento de la tensión puede reducir la precisión de los resultados, así que una tensión de alimentación estable y bien regulada es esencial.

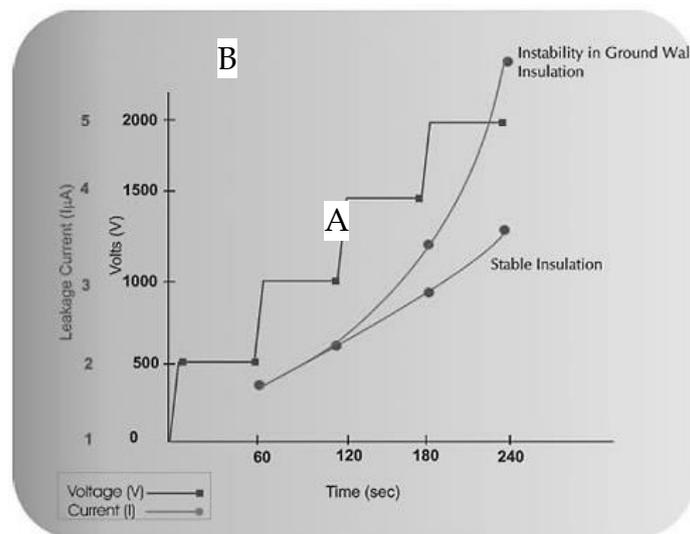


Figura 4.7.11: Prueba Hi-Pot escalonada.

Se muestra la tensión aplicada en forma de escalón como se sugiere en la prueba y las dos posibles tendencias de la corriente de fuga dependiendo la condición de aislamiento en la curva "A" se muestra el comportamiento de la corriente de fuga cuando hay una condición en el aislamiento estable y buena mientras que en la curva "B" es la condición que nos indica que hay un deterioro en el aislamiento del motor.

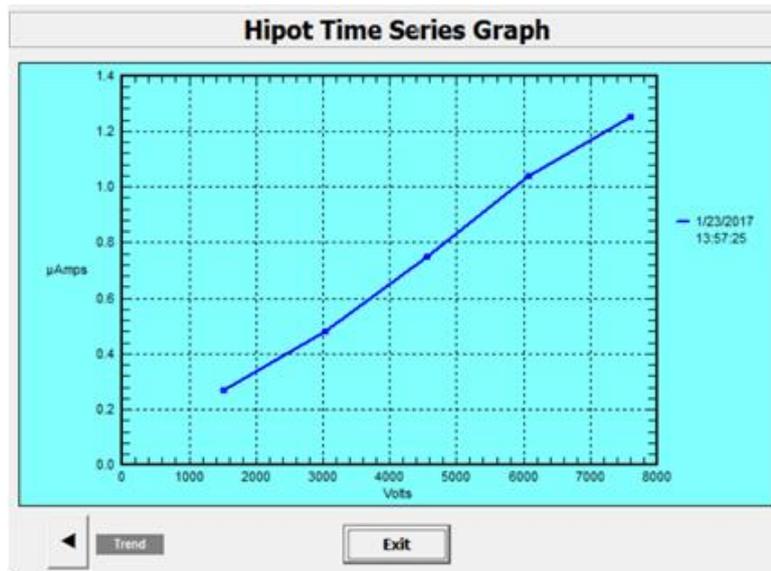


Figura 4.7.12: Tendencia de Curva prueba Hi-Pot devanado buenas condiciones.

Si la tendencia de la curva de la prueba hi pot casi lineal significa que el devanado aún está en buenas condiciones, ya que, si la corriente es baja nos indica que el nivel de contaminación o ruptura del aislamiento no se ha presentado aún.

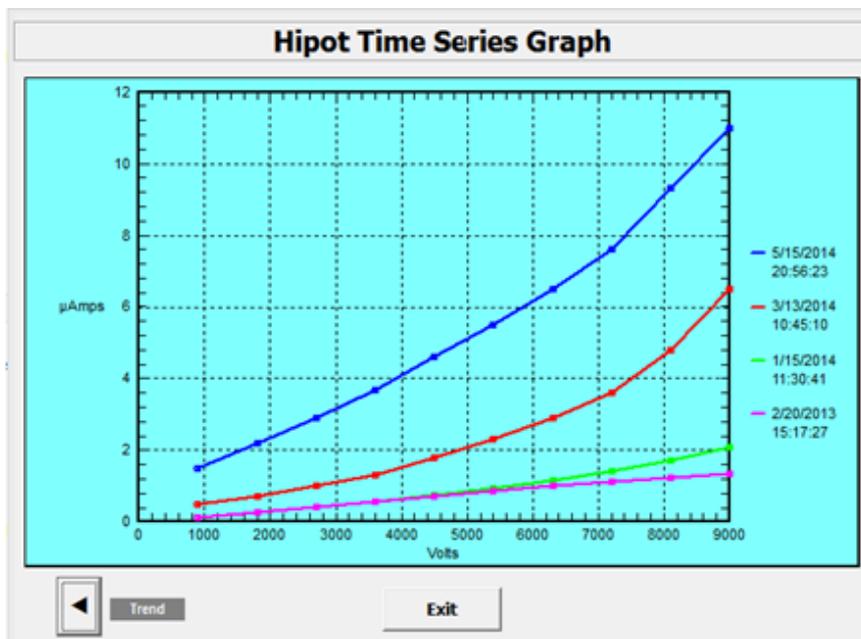


Figura 4.7.13: Comparación de curvas Pruebas Hi-Pot.

En esta grafica se pueden observar cuatro pruebas, donde la curva verde y morada presentan una condición casi lineal y una muy bajo cambio en la corriente de fuga, sin embargo, los gráficos azul y rojo presenta grandes cambios en las corrientes cuando una curva sube drásticamente en el eje vertical (de la

corriente) significa que se ha producido una ruptura en el aislamiento del bobinado debido a la contaminación y humedad que el motor presentaba.

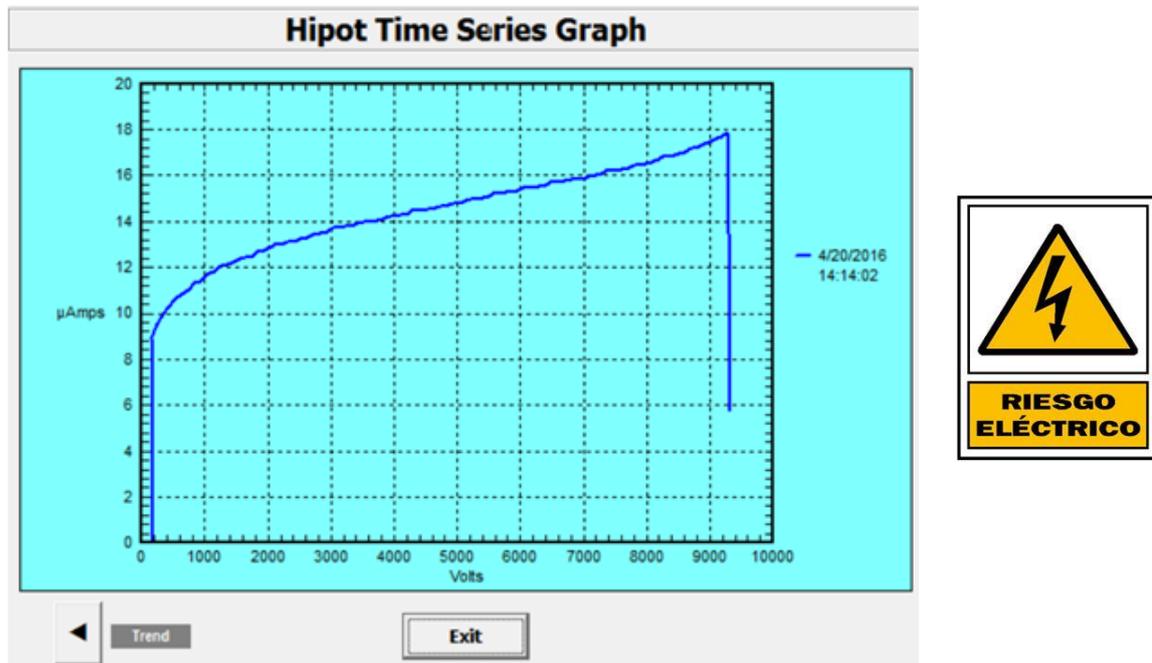


Figura 4.7.14: Gráfico de la prueba hi-pot con rampa.

se puede apreciar un cambio drástico de la corriente al comienzo de la prueba, pero luego comienza a estabilizarse esto se debe a que en el primer minuto se encuentra una corriente capacitiva que a partir del minuto 1 aproximadamente esta se estabiliza si el aumento de la tensión aplicada es constante, luego tiene una caída drástica debido a que la corriente capacitiva desaparece posteriormente y la única que se ve reflejada es la corriente de fuga.

! Al término de la prueba, la tensión de salida de suministro debe reducirse a cero. Pero la eliminación de la fuente no eliminará la carga almacenada en el bobinado. El devanado no es seguro hasta que haya sido completamente descargado y sólidamente aterrizado. Existe peligro por un período de tiempo indeterminado. Después de que el control de la tensión de alimentación se ha reducido a cero, el devanado debe descargarse a tierra a través de una resistencia. Una vez que ha sido totalmente descargado el devanado debe ser sólidamente conectado a tierra. ¡La conexión a tierra se debe mantener en su lugar por un tiempo considerable para evitar daños!

Prueba 6: Análisis eléctrico.

El objeto del análisis eléctrico como técnica de mantenimiento predictivo, consiste en realizar estudios eléctricos sobre aquellos equipos que pueden presentar averías de origen electromecánico.

El análisis eléctrico en motores puede ser útil tanto para el control de calidad de la alimentación de suministro del motor, como para poder determinar un diagnóstico inmediato del estado actual del motor y su adecuado funcionamiento.

En función de la corriente de alimentación del equipo que se desea analizar, se pueden verificar las siguientes condiciones:

- Calidad de la alimentación.
- Condiciones en las que se encuentra el circuito que alimenta al motor.
- Resistencia de aislamiento.
- Estado del estator y rotor.

4.8 Modelos de mantenimiento posibles

La división de Tipos de Mantenimiento presentada en el apartado 4.5 presenta el inconveniente de que cada equipo necesita una mezcla de cada uno de esos tipos, de manera que no podemos pensar en aplicar uno solo de ellos a un equipo en particular.

Así, en un motor determinado nos ocuparemos de su lubricación (mantenimiento preventivo periódico), si lo requiere, mediremos sus vibraciones o sus temperaturas (mantenimiento predictivo), quizás le hagamos una puesta a punto anual (puesta a cero) y repararemos las averías que vayan surgiendo (mantenimiento correctivo). La mezcla más idónea de todos estos tipos de mantenimiento nos la dictarán estrictas razones ligadas al coste de las pérdidas de producción en una parada de ese equipo (análisis de criticidad), al coste de reparación, al impacto ambiental, a la seguridad y a la calidad del producto o servicio, entre otras.

El inconveniente, pues, de la división anterior es que no es capaz de dar una respuesta clara a esta pregunta:

¿Cuál es el mantenimiento que debo aplicar a cada uno de los equipos que componen una planta concreta?

Para dar respuesta a esta pregunta es conveniente definir el concepto de *modelo de mantenimiento*. “Un *modelo de mantenimiento* es una mezcla de los anteriores tipos de mantenimiento en unas proporciones determinadas, y que responde adecuadamente a las necesidades de un equipo concreto” [4]. Podemos pensar que cada equipo necesitará una mezcla distinta de los diferentes tipos de mantenimiento, una mezcla determinada de tareas, de manera que los modelos de mantenimiento posibles serán tantos como equipos puedan existir. Pero esto no es del todo correcto. Pueden identificarse claramente 4 modelos de mantenimiento posibles.

4.8.1 Modelo correctivo

Este modelo es el más básico, e incluye, además de las inspecciones visuales y la lubricación mencionadas anteriormente, la reparación de averías que surjan. Es aplicable, como veremos, a equipos con el más bajo nivel de criticidad, cuyas averías no suponen ningún problema, ni económico ni técnico. En este tipo de equipos no es rentable dedicar mayores recursos ni esfuerzos.

- Inspecciones visuales.
- Lubricación.
- Reparación de averías.

4.8.2 Modelo Condicional

Incluye las actividades del modelo anterior, y, además, la realización de una serie de pruebas o ensayos que condicionarán una actuación posterior. Si tras las pruebas descubrimos una anomalía, programaremos una intervención; si, por el contrario, todo es correcto, no actuaremos sobre el equipo. Este modelo de mantenimiento es válido en aquellos equipos de poco uso, o equipos que a pesar de ser importantes en el sistema productivo su probabilidad de fallo es baja.

- Inspecciones visuales.
- Lubricación.
- Mantenimiento Condicional.
- Reparación de averías.

4.8.3 Modelo Sistemático

Este modelo incluye un conjunto de tareas que realizaremos sin importarnos cuál es la condición del equipo; realizaremos, además, algunas mediciones y pruebas para decidir si realizamos otras tareas de mayor envergadura; y, por último, resolveremos las averías que surjan. Es un modelo de gran aplicación en equipos

de disponibilidad media, de cierta importancia en el sistema productivo y cuyas averías causan algunos trastornos. Es importante señalar que un equipo sujeto a un modelo de mantenimiento sistemático no tiene por qué tener todas sus tareas con una periodicidad fija. Simplemente, un equipo con este modelo de mantenimiento *puede* tener tareas sistemáticas, que se realicen sin importar el tiempo que lleva funcionando o el estado de los elementos sobre los que se trabaja. Es la principal diferencia con los dos modelos anteriores, en los que para realizar una tarea debe presentarse algún síntoma de fallo.

- Inspecciones visuales.
- Lubricación.
- Mantenimiento Preventivo Sistemático.
- Mantenimiento Condicional.
- Reparación de averías.

4.8.4 Modelo de Alta Disponibilidad

Es el modelo más exigente y exhaustivo de todos. Se aplica en aquellos equipos que bajo ningún concepto pueden sufrir una avería o un mal funcionamiento. Son equipos a los que se exige, además, unos niveles de disponibilidad altísimos, por encima del 90%. La razón de un nivel tan alto de disponibilidad es, en general, el alto coste en producción que tiene una avería. Con una exigencia tan alta no hay tiempo para el mantenimiento que requiera parada del equipo (correctivo, preventivo sistemático). Para mantener estos equipos es necesario emplear técnicas de mantenimiento predictivo, que nos permitan conocer el estado del equipo con él en marcha, y a paradas programadas, que supondrán una revisión general completa, con una frecuencia generalmente anual o superior. En esta revisión se sustituyen, en general, todas aquellas piezas sometidas a desgaste o con probabilidad de fallo a lo largo del año (piezas con una vida inferior a dos años). Estas revisiones se preparan con gran antelación, y no tiene por qué ser exactamente iguales año tras año. Como quiera que en este modelo no se incluye el mantenimiento correctivo, es decir, el objetivo que se busca en este equipo es *cero averías*, en general no hay tiempo para subsanar convenientemente las incidencias que ocurren, siendo conveniente en muchos casos realizar reparaciones rápidas provisionales que permitan mantener el equipo en marcha hasta la próxima revisión general. Por tanto, la *puesta a cero* anual debe incluir la resolución de todas aquellas reparaciones provisionales que hayan tenido que efectuarse a lo largo del año.

- Inspecciones visuales.
- Lubricación.

- Reparación de averías.
- Mantenimiento Condicional.
- Mantenimiento Sistemático.
- Puesta a cero periódica, en fecha determinada (Parada).

CAPITULO 5: CLASIFICACIÓN DE LOS FALLOS

5.1 Aislamiento

un conductor es un material que contiene electrones que pueden moverse libremente por acción de un campo eléctrico. Al poner un conductor en presencia de un campo eléctrico, se ejercen fuerzas sobre los electrones libres y estos se mueven hasta alcanzar un estado de equilibrio.

Al contrario de un conductor, un dieléctrico o aislante se caracteriza en el caso ideal porque no contiene electrones libres (u otras partículas cargadas) o porque no las posee en número apreciable en el caso real. Esto significa que las cargas eléctricas que hay en el interior de un dieléctrico se hallan ligadas a sus posiciones. Como las fuerzas eléctricas son de carácter elástico, al aplicar un campo eléctrico, las cargas eléctricas positivas y negativas se desplazarán en una pequeña distancia en sentidos contrarios creándose, en el interior del dieléctrico, dipolos eléctricos elementales

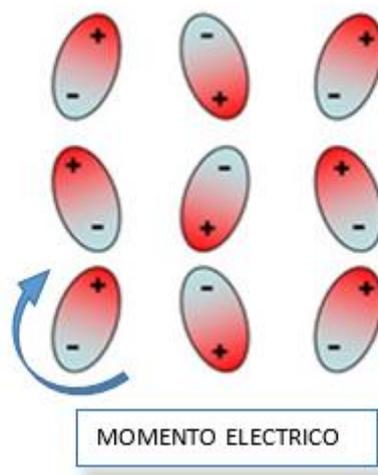


Figura 5.1: Estructura interna de los materiales aislantes.

Entonces desde el punto de vista de cargas el aislante es un conjunto de partículas cargadas, que pueden ser cargas libres y cargas asociadas llamadas también dipolos tal como se muestra en la figura 5.1.

En los aislantes las cargas libres deben ser pocas o nulas de lo contrario se presentaría una conducción de los electrones que ocasionaría a su vez la conducción de corriente eléctrica.

En resumen, se debe tomar en cuenta los siguientes puntos sobre los materiales aislantes:

- ✓ Las cargas libres ocasionaran desplazamiento y generaran una corriente eléctrica.
- ✓ Los dipolos no se desplazan, pero pueden girar en su eje.
- ✓ Si se aplica una fuerza externa, el trabajo se acumula y es igual a la energía eléctrica externa aplicada.
- ✓ Un material esta polarizado si los dipolos se han orientado debido a una fuente externa; esto es lo que sucede si el material es del tipo dieléctrico.
- ✓ Esta es una condición temporal, dura mientras la fuente externa se mantenga es decir al retirar la fuente externa los dipolos vuelven a su posición inicial, aunque no sucede en todos los dipolos.
- ✓ La resistencia de aislamiento es obtenida de la tensión de DC aplicada en el aislamiento dividida entre la corriente total que circula sobre este. Esta corriente se compone de cuatro componentes corriente de fuga, capacitiva, absorción y conducción como se detallará más adelante.

5.1.1 Factores a observar

Causas por las que puede fallar el aislamiento	
Sobre tensiones y sub tensiones	pueden producir un deterioro en el aislamiento, agrietamiento en este.
Daño mecánico	paradas y arranques frecuentes, golpes durante la instalación o transporte, vibraciones
Entorno / efecto químico	operación en ambientes corrosivos pueden dañar el aislamiento, así como polvo y humedad, incluso los derrames de aceite pueden afectar el aislamiento
Temperatura	operar en condiciones excesivas, calurosas y muy frías exponen el aislamiento debido a la expansión térmica que esto provoca y este se terminara agrietando por ese efecto y si el motor no es de uso intermitente y se trabaja así se expone el motor a una exigencia térmica mayor para la que está diseñado

5.2 Rodamientos

En los rodamientos el movimiento rotativo, según el sentido del esfuerzo que soporta, puede ser axial, radial, o una combinación de ambos.

Un rodamiento radial es el que soporta esfuerzos radiales, que son esfuerzos de dirección normal a la dirección que pasa por el centro de su eje, como por ejemplo una rueda; es axial si soporta esfuerzos en la dirección de su eje, como por ejemplo en los quicios o bisagras de puertas y ventanas; y axial-radial si los puede soportar en los dos, de forma alternativa o combinada.

La fabricación de los cojinetes de bolas o rodamientos es una tecnología muy especial, dados los procedimientos necesarios para conseguir la esfericidad perfecta de la bola. Los mayores fabricantes de ese tipo de rodamientos emplean el vacío para tal fin. El material es sometido a un tratamiento abrasivo en cámaras de vacío absoluto. El producto final es casi perfecto, salvando el efecto adverso de la gravedad en el proceso de fabricación.

5.2.1 Tipos de rodamientos.

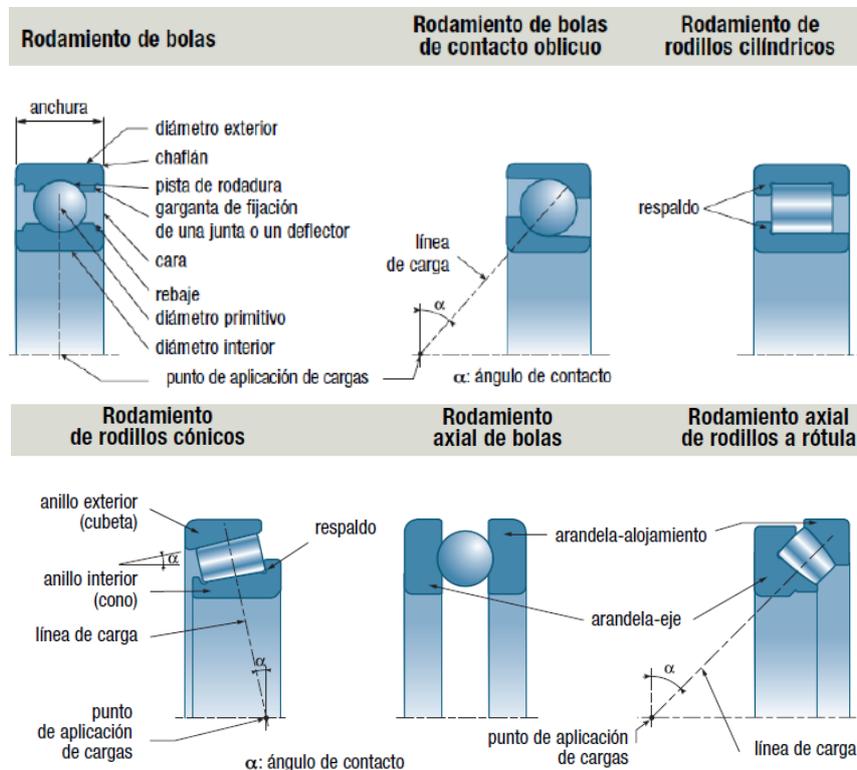


Figura 5.2.1: Tipos de rodamientos y sus características. [21]

5.2.2 Componentes principales de los rodamientos.

Se lista las partes del rodamiento y se pueden observar en la figura 5.2.

- A. *El anillo interior*, tiene normalmente un ajuste muy justo en la flecha o eje. También es difícil prevenir el desgaste prematuro. El anillo interior normalmente gira con la flecha.
- B. *El anillo exterior*, normalmente se encuentra dentro del alojamiento de la máquina y es fijo, las tolerancias de montaje son muy cerradas, normalmente en micras μm .
- C. *La jaula* mantiene los elementos rotativos en su lugar.
- D. *Los elementos de rotativos son rodillos, bolas o algún otro dispositivo rodante*, que permite la acción rodante entre los anillos interior y exterior. Los elementos rodantes reducen la fricción al deslizarse directamente en las pistas de rodadura y permiten movimiento relativo se los dos anillos.

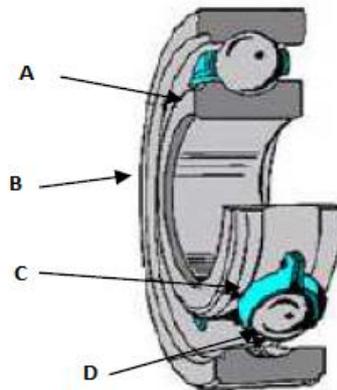


Figura 5.2.2: Partes del rodamiento de un motor. [22]

La lubricación de los rodamientos es muy importante para reducir la fricción y la generación de calor entre los componentes. Los fabricantes de rodamientos cuentan con diferentes tipos de sellos laterales para evitar la contaminación hacia el interior los elementos y del lubricante.

5.2.3 Factores a observar

CONSECUENCIAS	CAUSAS
Vibración excesiva del eje	Lubricación Deficiente
Desbalance, excentricidad entre eje	Operación Inadecuada
Fallas	Contaminación en el ambiente

5.2.4 Etapas de falla de rodamientos

Con la finalidad de tener un mejor conocimiento de lo que representa una falla en los rodamientos, los fabricantes realizaron una investigación para determinar cómo fallan estos.

- ✓ Marcas o rayas oblicuas sobre la pista externa o interna y sobre los rodillos o bolas.
- ✓ Micro corrosión de la pista externa.
- ✓ Pista interna deteriorada.
- ✓ Marcas o rayas de pequeña magnitud.
- ✓ Deterioro puntual de la zona de trabajo de la pista externa.
- ✓ Rotura de jaula o rejilla.

Estos generalmente se encuentran en alguna de las cuatro diferentes etapas de falla, las cuales describiremos a continuación:

Etapa 1: Las fallas de los elementos rodantes normalmente se producen por debajo de la superficie de las pistas de rodadura. Comienzan generalmente a 4 ó 5 milésimas de pulgada (0.1 a 0.125 mm) por debajo de la superficie de la pista de rodadura. En este momento, se estima que tienen de un 10 a 20% de vida útil restante.

Etapa 2: Conforme la falla progresa, huellas microscópicas (<40 micras) se producen en la superficie del componente averiado. Esto es considerado como Etapa 2 y se estima que tienen entre el 5 y 10% de vida útil restante.

Etapa 3: El desarrollo de las fallas va más allá de las causas iniciales, como son el agrietamiento y/o desprendimiento de metal, que normalmente están asociadas a las fallas de los rodamientos. La vida útil en este momento se ve limitada del 1 al 5%.

Etapa 4: Cuando se presenta desgaste, grietas múltiples, desprendimiento excesivo podemos decir que estamos en la Etapa 4 y etapa final en la falla del rodamiento. Muchas veces los rodamientos comienzan a deformarse y la jaula puede desintegrarse ó romperse. Sólo queda el 1% de la vida útil o tal vez una revolución.

5.3 Rotor.

El rotor es la parte móvil del motor y en el cual recae el proceso de conversión de energía eléctrica a mecánica, están conformados por un conjunto de láminas de acero al silicio, básicamente existen tres tipos de rotores: ranurado, polos salientes y de jaula de ardilla.



Figura 5.3: Tipos de rotores.

Cuando se pretende realizar un estudio sobre las condiciones de operación de un motor se deben revisar; laminaciones, los anillos de corto circuito y las barras. Para el caso de barras rotas el principal inconveniente es lo difícil que se vuelve detectarlas sin la tecnología necesaria para hacerlo, lo que podría llevar a tomar decisiones como rebobinar o cambio de rodamientos en el motor que una vez puesto a trabajar nuevamente presentará los mismos problemas.

El diseño mismo del rotor influye de gran manera en la severidad de los problemas que se pueden presentar en el rotor. Si el rotor es de diseño cerrado de barras, la severidad será baja debido a que el mismo rotor de hierro actúa para mantener las barras rotas en su lugar. Pero en el caso de un rotor con un diseño abierto de barras existe la posibilidad que la o las barras rotas lleguen hacer contacto con el estator, por lo cual la severidad de falla de barras rotas en este tipo de diseño de rotores es mucho mayor.

5.3.1 Factores a observar

CONSECUENCIAS	CAUSAS
<ul style="list-style-type: none">- Aparición de armónicos en la corriente de alimentación.- Pérdida del par motriz.- Altas temperaturas.- Vibraciones- Fallas en el devanado del estator.	<ul style="list-style-type: none">- Defectos propios durante el proceso de fabricación.- Arranques excesivos durante un intervalo de tiempo.- Sobrecargas momentáneas.

5.3.2 Etapas de la falla de barras rotas.

Etapa 1. Calor excesivo generado en los alrededores del punto donde se presenta la fisura, lo que podría comenzar a poner en riesgo el correcto desempeño del aislante de esa barra y el de barras aledañas, hasta este momento el punto donde se produjo la fisura podría no ser visible a simple vista (en el caso de que se tenga acceso a un chequeo visual del rotor), ya que la falla podría estarse presentado internamente, lo que vuelve difícil la detección de la misma sin la tecnología adecuada para detectarlas lo que podría resultar en tomar la decisión por parte del personal de mantenimiento de un rebobinado y cambio de rodamientos, pero no una reparación del rotor, haciendo que el problema persista cuando el motor vuelva al servicio.

Etapa 2. Ampliación de la fractura. Una vez presentada la fisura en el rotor pasará poco tiempo para que el problema se agudice si no se toman las medidas necesarias como disminución en la cantidad de arranques o arranques directos a plena carga (en el caso que el motor este sometido a estas condiciones de operación), a fin de desacelerar el proceso degenerativo del mismo.

Etapa 3. Arco eléctrico por falso contacto y el flujo de la corriente. Se comienzan a presentar variaciones en el campo magnético del rotor, que provoca la aparición de armónicos de campo giratorios, los cuales inducen fuerzas magnetomotrizes, que finalmente dan lugar a la aparición de armónicos en la corriente de alimentación al motor. Esto se evidencia en: vibración mecánica y pérdida de torque o par motriz. Se sigue ampliando la fractura.

Etapa 4. Tal y como se describía en la etapa 1 el problema se extiende a barras adyacentes al punto de se tiene la barra fracturada, generándose calor excesivo que viene a deteriorar el aislamiento, sumado a esto el falso contacto y la alteración en el flujo normal o circulación de la corriente hace que por las barras aledañas circule más corriente y se produzcan mayores esfuerzos térmicos y mecánicos, acelerando aún más el deterioro del aislamiento y dando lugar a que aparezcas fisuras en barras que inicialmente estaban sanas.

5.4 Estator

El estator constituye la parte fija del motor. El estator es el elemento que opera como base, permitiendo que desde ese punto se lleve a cabo la rotación del motor. El estator no se mueve mecánicamente, pero si magnéticamente. Existen dos tipos de estatores:

- A) Estator de polos salientes.
- B) Estator ranurado.

El estator está constituido principalmente de un conjunto de láminas de acero al silicio (se les llama “paquete”), que tienen la habilidad de permitir que pase a través de ellas el flujo magnético con facilidad; la parte metálica del estator y los devanados proveen los polos magnéticos. Los polos de un motor siempre son pares (pueden ser 2, 4, 6, 8, 10, etc.), por ello el mínimo de polos que puede tener un motor para funcionar es dos (un norte y un sur).

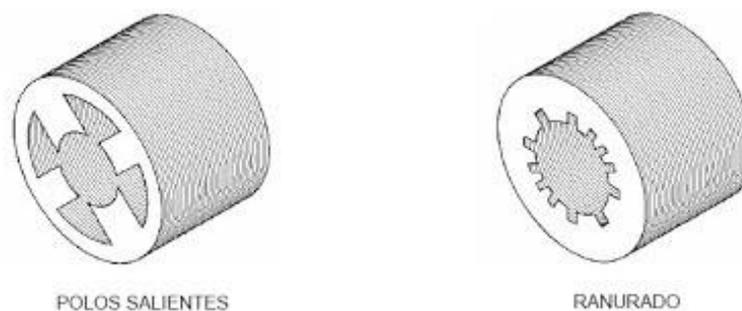


Figura 5.4: Tipos de Estator

La falla en la zona de estator es con frecuencia considerada una de las más controversiales debido al desafío significativo en detección de fallas tempranas y la prevención de la falla del motor alrededor del bobinado del estator. Este desafío es más intensificado en máquinas de voltaje más alto; donde el daño a tiempo de paro se convierte mucho más corto. La zona de falla estator es conocida como la salud y la calidad del aislamiento entre las vueltas curvas y las fases de la curva individual y enrolladas por dentro del motor.

5.4.1 Factores a observar

CONSECUENCIAS	CAUSAS
Los cortos entre Fases, dentro de la ranura y en la salida de la ranura.	<ul style="list-style-type: none"> - contaminación interna del motor, - degradación del material aislante por resecado debido al exceso de la temperatura. - fallo del esmalte, barniz o material aislante.

<p>Los cortos entre espiras o la bobina en corto circuito puede deberse debido a estas causas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Contaminación interna del motor. - falla en el esmalte del aislamiento y/o en el barniz de impregnación. - Variaciones de la frecuencia o la tensión.
---	---

La respuesta es midiendo la resistencia de aislamiento del o de los motores en cuestión, esta es una de las pruebas de rigor que se deben presentar en los motores eléctricos ya que la resistencia de aislamiento nos permite conocer a priori, como está la vida de aislamiento del motor y por ende la vida del motor mismo y con el índice de polarización el nivel de contaminación interna del motor así mismo también obtener un estimado de la vida del motor.

5.5 Calidad de la alimentación y circuito de potencia.

Hace referencia a la condición de la señal de voltaje y corriente con la que se está alimentando los motores. Dentro de los mecanismos que pueden desmejorar la calidad de potencia se encuentran incluidas las cargas monofásicas y trifásicas no lineales, variadores de frecuencia, equipos de arranque y de frenado, picos de voltaje entre otros. Estos pueden causar armónicos excesivos sobre el sistema de distribución el cual puede resultar en sobrecalentamiento del sistema de aislamiento.

El mismo circuito de potencia puede ser el causante de altas resistencias por las conexiones en el circuito provocan un desbalance en el voltaje terminal del motor. Las consecuencias de esto son: sobrecalentamiento de los elementos adyacentes a las conexiones, pérdida de par o torque, descomposición de corrientes entre fases, sobrecalentamiento del aislamiento y disminución de la eficiencia del motor. El circuito de potencia generalmente se establece desde el Centro de Control del Motor (CCM) hasta la caja de bornes del mismo, e involucra a todos los conductores con sus bornes, interruptores, protecciones térmicas, fusibles, contactores y cuchillas.

Una entrega de potencia desequilibrada, no solamente causa desequilibrio de voltajes sino también un alto porcentaje de desequilibrio de corriente.

5.5.1 Factores a observar

CONECUENCIAS	CAUSAS
<ul style="list-style-type: none">- Desbalance de tensión y corriente- Aparición de armónicos- Sobrecalentamiento- Pérdida del par-torque	<ul style="list-style-type: none">- Cargas monofásicas y trifásicas no lineales.- Variadores de Frecuencia.- Equipos de arranque y de frenado.- Picos de voltaje.- Altas resistencias por las conexiones del circuito de potencia.

Efectos de una mala calidad de la alimentación.

- ✓ **Desequilibrio de voltaje fase-fase.** Cuando los voltajes de línea aplicados a un motor de inducción no son iguales, corrientes de secuencia negativa son introducidas en los devanados del motor, estas corrientes producen en el entrehierro un flujo opuesto al flujo rotatorio del motor., esto reduce el par que se traduce en un mayor esfuerzo para el motor e incrementando la temperatura.
- ✓ **Bajo voltaje.** Para operar con una carga fija mecánica, un motor debe trabajar con una cantidad de potencia constante, un motor trabajando a un voltaje inferior a su voltaje nominal, provocar un aumento en la corriente para mantener la potencia constante, si esta corriente excede la corriente nominal del motor, se generará una acumulación de calor en el interior de este, provocando daños en el sistema de aislamiento.
- ✓ **Alto voltaje.** El alto voltaje en un motor tiende a saturar la parte magnética de este, esto hace que se presente una corriente excesiva en el esfuerzo para magnetizar el hierro más allá del nivel al cual puede ser magnetizado rápidamente, un valor extremo de alto voltaje hará que el incremento en el amperaje genere recalentamiento y con esto reduciendo la vida útil del motor.
- ✓ **Armónicos.** La presencia de armónicos en el voltaje aplicado al motor incrementará las pérdidas eléctricas y disminuirá la eficiencia, estas pérdidas incrementarán la temperatura del motor, causando aún más pérdidas.

5.5.2 Algunos de estos efectos son causados por el CIRCUITO DE POTENCIA porque está siendo alimentado el motor.

El circuito de potencia lo forman todos los conductores y conexiones que existen desde las barras que suministran potencia hasta las terminales en el motor. Se incluyen interruptores, fusibles, contactores, protecciones de sobre carga, seccionadores, borneras, entre otros.

Un motor puede estar inicialmente en perfecto estado, pero si es alimentado por un circuito defectuoso, se pueden causar problemas de desequilibrios de voltaje y corriente, provocando incrementos de temperatura y daños en el aislamiento, tal y como se mencionó en los efectos causados por la mala calidad de la alimentación.

Una entrega de potencia desequilibrada, no solamente causa desequilibrios de voltajes sino también un alto porcentaje de desequilibrio de corrientes. Algunas reglas se pueden tener en cuenta al momento de solucionar un problema en el circuito de potencia.

- ✓ Un desequilibrio de voltaje puede causar un desequilibrio de corriente del 6-7%, según la Asociación de Servicio de Aparatos Eléctricos (EASA).
- ✓ Un desequilibrio de voltaje del 3.5% puede aumentar la temperatura de los devanados en un 25% según el Instituto de Investigación de Potencia Eléctrica (EPRI).
- ✓ Un incremento de 10°C de la temperatura en los devanados a partir de la temperatura de diseño puede resultar en una reducción del 50% de la vida de motor.
- ✓ Mientras mayor sea el desequilibrio de voltaje, mayor es la temperatura en los devanados y más pronto el aislamiento fallará. Los estándares de NEMA recomiendan un desequilibrio máximo del 1% para motores no degradados y un 5% para motores con degradación por debajo del 75%.

5.6 Histórico de averías

El histórico de fallas comunes en el equipo es una fuente muy útil a tomar en cuenta para realizar un plan de mantenimiento efectivo. El análisis y estudio del comportamiento de un equipo, una instalación sistema o elemento del cual forma parte el motor a través de documentos que registran las averías que se presentan y el grado de incidencia que pudieron presentar en el pasado aportan una información de vital importancia para la correcta identificación de los fallos.

Como se evidencia en la industria de El Salvador, por desgracia, en gran parte de los casos no existe un documento o archivo histórico de averías, un documento en el cual se hayan registrado de manera sistemática cada avería que se pudo haber presentado en el motor en un periodo de tiempo determinado.

Para este tipo de casos siempre es posible buscar una fuente que permita analizar y estudiar el historial de un motor:

– *Estudio de los órdenes de trabajo, de averías, etc.* Tomando todas las partes de trabajo y agrupándolas es posible deducir a partir de estas las incidencias que más han afectado a la maquina en un periodo determinado.

– *Facturas de repuesto.* Es una manera un tanto trabajosa de encontrar información del historial de averías de una máquina, pero en caso de ser necesaria se puede recurrir al departamento de contabilidad para que este facilite todas las facturas que involucran la compra de materiales utilizados para mantenimiento en un periodo determinado se recomienda que este periodo sea largo unos 5 años, por ejemplo. De estas facturas es posible deducir las incidencias que han afectado a la maquina a la cual se pretende aplicar un plan de mantenimiento.

– *Diarios de incidencias.* En ocasiones si se tiene un diario que suelen utilizar el personal de turno pueden verse reflejados los incidentes sufridos esto como medio para comunicárselo al turno siguiente. Del estudio de estos diarios es posible obtener información sobre averías e incidentes que afectaron a las maquinas en un determinado periodo de tiempo.

5.6.1 Realizar mediciones periódicas y revisar tendencias

El procedimiento general para la recolección de datos es tomar medidas y compararlas con tendencias históricas, línea de base, o datos representativos para máquinas iguales o similares.

El procedimiento sugerido por la norma ISO/FDIS 17359:2002(E) [6] se lleva a cabo organizando las mediciones que se tomarán en una ruta o recorrido de una planta. Las rutas son luego programadas para llevarse a cabo en una periodicidad regular inicial que es más frecuente que el modo de falla esperado.

5.6.2. Recopilación de datos

El fabricante debe ser informado de la falla del equipo, especialmente cuando el equipo está bajo garantía. Se le puede solicitar al fabricante que proporcione información, en particular los datos de prueba de fábrica, el historial de inspección y los planos internos de construcción con información dimensional. Asimismo, el fabricante puede solicitar datos sobre el historial y falla de la máquina.

El desarrollo de un concepto de equipo puede ser útil para el análisis de fallas. El equipo debe incluir representantes del usuario y el fabricante / taller de reparación. Este concepto de equipo puede acelerar el trabajo y también puede eliminar cualquier consideración de sesgo en el diagnóstico final.

Preparación

Alguna preparación previa a la investigación del sitio es beneficiosa. Las investigaciones de fallas en el sitio son similares al trabajo de detective y un sentido de curiosidad y objetividad es vital.

Una revisión rápida de la información disponible con respecto a la máquina en cuestión puede ser valiosa. Algunos artículos necesarios pueden ubicarse fuera del sitio.

Investigación en el sitio

La puntualidad de una inspección de la máquina fallida es muy importante. Los datos podrían destruirse debido al movimiento de la máquina, cambios en la configuración del sistema o cambios en los puntos de operación del proceso. Por lo tanto, la recopilación de datos y las pruebas deben realizarse lo más rápido posible.

Los equipos de trabajo casi siempre están en la máquina antes que los investigadores. Sin embargo, generalmente no es práctico dejar de restaurar el proceso hasta que lleguen los investigadores. Por lo tanto, se deben dar instrucciones al personal operativo para la restauración con el mínimo impacto negativo en el trabajo de investigación de fallas. Si es posible, todo el trabajo debe cesar en la máquina hasta que los investigadores tengan la oportunidad de inspeccionar, tomar fotografías, tomar notas y realizar pruebas que ayuden al análisis de fallas.

La familiaridad con el sitio, la máquina y el área general es importante. El personal familiarizado con la operación y el mantenimiento de la máquina debe ser parte de la investigación. Un equipo de al menos dos personas debería inspeccionar la máquina inicialmente. Los miembros del equipo pueden ayudarse unos a otros, discutir los diversos hallazgos y determinar el "próximo paso" inmediato en el sitio. Los elementos que pueden ser importantes para la investigación incluyen las condiciones en el momento de la falla, las inspecciones físicas de la máquina después de la falla y las condiciones eléctricas de la máquina después de la falla.

5.6.3 Emitir diagnóstico de condición.

El proceso de diagnóstico generalmente se desencadena por la detección de anomalías. Esta detección se lleva a cabo haciendo una comparación entre los presentes descriptores de una máquina, y los valores de referencia (generalmente llamados datos de referencia o datos) elegidos de la experiencia, de las especificaciones del fabricante, de las pruebas de puesta en marcha, o calculado a partir de datos estadísticos (por ejemplo, promedio a largo plazo).

La norma ISO/FDIS 17359:2002(E) [6] menciona los diferentes enfoques para diagnosticar una máquina. Dos de estos enfoques son:

- *enfoque de fallas / síntomas*
- *enfoque causal.*

Estos se describen en ISO / DIS 13379 [19].

El proceso de monitoreo de condición puede mostrar la progresión esperada de fallas existentes y futuras. Esto se conoce como pronóstico. Los procedimientos de pronóstico de fallas deben estar de acuerdo con ISO / CD 13381 [20].

5.7 Clasificación de los fallos

Es muy importante estudiar las consecuencias que involucra cada uno de los fallos que se determinen. Según estas consecuencias se decidirá si el fallo debe ser evitado (cuando las consecuencias del fallo sean inadmisibles) o tan solo debe buscarse maneras de amortiguarlos y así disminuir sus efectos al mínimo. Por tanto, existen dos categorías posibles:

- *Fallos a evitar.*
- *Fallos a amortiguar.*

Evitar un fallo generalmente involucra un mayor costo, que amortiguar o minimizar los efectos de un fallo, por lo que los fallos a evitar deben ser reservados o utilizados únicamente para aquellos fallos de la máquina que involucren consecuencias que deriven en un muy alto costo.

De manera general se puede decir que los fallos funcionales en equipos cuyos modelos seleccionados para su mantenimiento sean los modelos de Alta Disponibilidad o el modelo Sistemático, deben ser evitados; En cambio los fallos técnicos en estos mismos equipos no necesitan ser evitados por ello solo se requiere buscar formas de amortiguar los efectos que puedan llegar a producir.

FORMAS DE ACTUACIÓN ANTE UN FALLO	
– Equipos con modelo de mantenimiento de <i>Alta Disponibilidad</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Fallos funcionales: A EVITAR • Fallos técnicos: A AMORTIGUAR
– Equipos con modelo de mantenimiento <i>Sistemático</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Fallos funcionales: A EVITAR • Fallos técnicos: A AMORTIGUAR
– Equipos con modelo de mantenimiento <i>Condicional</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Fallos funcionales: A AMORTIGUAR • Fallos técnicos: A AMORTIGUAR
– Equipos con modelo de mantenimiento <i>Correctivo</i>	No se estudian

Tabla 5.1.1: Formas de actuación ante un fallo.

En los equipos cuyo modelo es el Condicional, tanto los fallos funcionales como los técnicos deben ser tratados como fallos a amortiguar.

Para evitar los efectos que produce un fallo, casi de manera general, es necesario que el fallo no se produzca. Amortiguar los efectos de un fallo no implica que no deban producirse, sino que los efectos que produce este fallo sean en la medida de lo posible de ser mínimos.

Para lograr amortiguar los efectos en gran parte de los casos basta con buscar formas de detectarlo a tiempo, antes que produzca una incidencia en la producción o llegue a ser necesario incurrir en altos costo de reparación. En otros casos puede llegar a implicar prever como es la manera correcta de actuar si llegan a presentarse cosas como: tener equipos duplicados, preparar procedimientos de actuación en caso de presentarse el fallo, determinar medidas provisionales para actuar ante la presencia del fallo.

5.8. Determinación de los modos de fallo

Ya determinados los fallos que ocurren con mayor frecuencia en un equipo, un sistema funcional de un equipo o un elemento (dependiendo de qué se haya tomado como referencia para establecer el plan de mantenimiento) deben de estudiarse los modos de fallo, así como las posibles causas que acompañan un fallo en concreto.

Cada fallo, funcional o técnico, puede presentar múltiples modos de fallo. Es muy importante determinar todos los modos de fallo posible, pues solo así es posible realizar un análisis completo y exhaustivo.

5.9. Consulta al manual del equipo detalles a tomar en cuenta

Es de resaltar que la elaboración de un plan de mantenimiento no debe comenzar con la consulta al manual elaborado por el fabricante del equipo, sino más bien debe acabar en este. El fabricante del equipo no suele ser un experto en mantenimiento del equipo, por dos razones:

- *No está interesado en la desaparición total de los problemas. Diseñar un equipo con cero averías puede afectar su facturación.*
- *No es un especialista en Mantenimiento, sino en diseño y montaje.*

En la mayoría de los casos el plan de mantenimiento presentado por el fabricante del equipo no es completo, y no contiene en su mayoría las tareas que evitarían problemas en el equipo. Si se estudia el plan que propone el fabricante, se evidencia que no se conseguirá disminuir las averías a cero, pues no contempla más que una serie de tareas muy sencillas de realizar.

En otros casos, el plan es tan extenso que contempla la sustitución o revisión de un gran número de elementos que evidentemente no han llegado al máximo de su vida útil, con el consiguiente exceso en el gasto o designando pruebas que solo el mismo fabricante es capaz de llevar a cabo.

Con esto no se pretende descartar la experiencia con la que el fabricante puede aportar a nuestro plan de mantenimiento, pero se sugiere no basar el Plan de Mantenimiento únicamente en sus recomendaciones. Las recomendaciones del fabricante pueden ser tenidas en cuenta en la última fase de la determinación de la lista de tareas, para ver si se ha olvidado algún punto importante que el fabricante sí considera necesario.

5.10 Determinar acciones de mantenimiento.

La acción más simple, que se puede tomar en ciertas circunstancias, como máquinas con baja criticidad, es no llevar a cabo ninguna acción inmediata, y continuar monitoreando a intervalos regulares.

En general, dependiendo del nivel de confianza en el diagnóstico / pronóstico de la ocurrencia de fallas, se debe llevar a cabo una decisión y acción de mantenimiento, como iniciar una inspección o un trabajo correctivo. Si los criterios de alerta / alarma indican una condición de falla grave, puede ser necesario iniciar un apagado inmediato. Otras opciones pueden incluir reducir la carga de la máquina, la velocidad o el rendimiento.

Cuando se han llevado a cabo acciones de mantenimiento, es útil inspeccionar los componentes para confirmar que el diagnóstico inicial o el pronóstico fueron correctos.

Las fallas repetitivas pueden reducir la confiabilidad del sistema y aumentar el costo operativo. Si se puede identificar la causa raíz de las fallas, la acción de mantenimiento puede ser revisada y optimizada para evitar o reducir el impacto de las fallas. La acción de mantenimiento apropiada puede incluir técnicas de monitoreo de condición más sofisticadas, tareas de mantenimiento adicionales, discusión con el fabricante y modificación (diseño).

5.11. Agrupación de las tareas de mantenimiento a llevar a cabo.

Con las tareas de mantenimiento que se realizaran en el plan se requiere agruparlas con la finalidad de facilitar su implementación. Estas agrupaciones de tareas se denominan rutas o gamas de mantenimiento, estas son ejecutadas teniendo en cuenta aspectos como los siguientes:

– *Tareas referidas a la misma área.*

Agruparemos todas las tareas que se refieren a una misma área. Esto dará lugar a Rutas o Gamas del Área Servicios, Rutas de la Zona A, etc.

– *Tareas referidas al mismo equipo.*

Obtendremos, por ejemplo, las Gamas del Motor XXYY.

– *Tareas que deban ser realizadas por profesionales de la misma especialidad.*
Tendremos Rutas eléctricas, mecánicas, de instrumentación, de lubricación, de ajuste, de calibración, etc.

– *Tareas agrupadas por frecuencias de realización.*
Esto dará lugar a Rutas diarias, semanales, mensuales, anuales, etc.

5.11.1. Rutas diarias

Estas rutas están conformadas por tareas que se realizan fácilmente. Incluyendo en su mayoría los controles visuales, así como ruidos y vibraciones fuera de lo común en los equipos, mediciones (tomas de datos, control de determinados parámetros) así como pequeños trabajos de limpieza y engrase. En general es referida a tareas que pueden hacerse aun con el equipo en funcionamiento. Este tipo de rutas son la base de un correcto mantenimiento preventivo, y permiten que las cosas marchen bien en una planta. Es la parte del trabajo de mantenimiento que resulta más fácil explicar y trasladar al personal de operaciones y que por tanto puede mejorar los resultados del plan de mantenimiento.

Este tipo de rutas no es conveniente que estén en el sistema informático de gestión de mantenimiento asistido por ordenador en caso de contar la empresa con uno ya que estas rutas generan (el 90% del total al cabo de un año), Resultara más conveniente y practico general las hojas de ruta manualmente.

Así como se detalla en el apartado 5.7, tras haber realizado todas las rutas diarias es conveniente rellenar una parte de incidencias, la cual se detallen todas las anomalías observadas en la planta. Con estas incidencias una persona autorizada o el propio operario encargado de realizar las rutas debe generar tantas ordenes de trabajo como anomalías se hayan encontrado.

5.11.2. Rutas semanales y mensuales

Este tipo de rutas están compuestas por tareas más complicadas, tareas que no están justificadas para realizar a diario debido a la manera de llevarse a cabo implican, en algunos casos, desmontajes paradas de equipos o tomas de datos más laboriosas. Es el caso de limpiezas interiores, que necesiten del desmontaje de determinados elementos, o medidas del consumo de un motor (medida de

intensidad) en cuadros de acceso complicado, etc. También incluyen tareas que no se justifica realizar a diario, como los engrases en los equipos.

5.11.3. Gamas anuales

En las gamas anuales se contemplan la realización de una revisión completa de los equipos (Overhaul/Revisión), Y en otros la realización de tareas que no justifican ser realizadas de manera diaria, semanal o mensual. Es el caso de cambios de rodamientos, limpieza interior de una bomba, medición de espesores en depósitos por citar algunos ejemplos. Estas tareas siempre suponen una parada del equipo durante varios días, por lo que resulta necesario estudiar el momento adecuado para llevarlas a cabo.

5.11.4. Comparar con criterios de alerta.

Como se describe en la norma ISO/FDIS 17359:2002(E) [6] si los valores medidos son aceptables en comparación con los criterios de alerta / alarma, es posible que no se requiera ninguna acción, aparte de registrar los valores, y continuar monitoreando. Si los valores medidos no son aceptables en comparación con los criterios de alerta/alarma, entonces el proceso de diagnóstico debe iniciarse. Puede haber ocasiones en que no se sospeche o detecte ninguna anomalía, pero el diagnóstico y el pronóstico aún se llevan a cabo debido a un requerimiento de una decisión de evaluación de la salud de la máquina, por ejemplo, al realizar un estudio de estado del equipo antes de una parada mayor.

5.12. Informes tras la realización de las tareas de mantenimiento

Resulta de mucha utilidad la redacción de un informe después de realizadas las gamas y las rutas de mantenimiento en el cual se detallan todas aquellas anomalías encontradas y todas las reparaciones llevadas a cabo o las que se deben realizar. Es importante que todas las incidencias diarias encontradas sean descritas en un único informe, que puede denominarse “parte de incidencias”. En él se deben detallar todos los parámetros observados fuera de rango, todas las observaciones referentes a fugas, vibraciones y ruidos anómalos, y todas las observaciones que se consideren de importancia. Después de realizado el informe una persona autorizada deberá revisar esta parte de incidencias y emitir las ordenes de trabajo según tantas anomalías se hayan detectado. Realizar este informe, la respectiva emisión de órdenes de trabajo y el seguimiento de éstas, son tareas muy importantes ya que de no ser realizadas resultaría inútil poner en marcha las rutas diarias.

Sus principales objetivos son dos:

- *Detectar anomalías en una fase inicial, cuando todavía no han supuesto un grave problema.*
- *Conocer en todo momento el estado de los equipos en la planta.*

Muchas de las órdenes que se emitan no estarán resueltas al realizar la siguiente ruta diaria, Por lo tanto, se recomienda consignar solamente las nuevas anomalías, pero un día a la semana consignarlas todas, indicando cuales se han emitido ya en una Orden de Trabajo y su respectiva fecha de emisión y cuales se emiten en ese momento.

5.13. Puesta en marcha del plan de mantenimiento.

Realizado el plan de mantenimiento se debe poner en marcha, no es necesario que el plan este acabado para ponerlo en marcha cada una de las gamas y las rutas que lo componen, para ponerlo en marcha es necesario tener en cuenta lo siguiente:

1. Asegurarse que todo lo indicado en el plan de mantenimiento sea viable de realizar.

Cuando el plan de mantenimiento esté redactado y antes de ponerlo en marcha se deben comprobar cada una de las tareas fijando los rangos de medida que se entenderán como correctos, anotando las herramientas que son necesarias, anotando el tiempo que se necesita para llevar a cabo cada una de ellas.

Existen gamas que no se podrán comprobar inmediatamente, porque estas implican paradas prolongadas del equipo. En estos casos hay que esperar a que se puedan realizar, y así comprobar durante su realización si resulta adecuada la tarea, anotando cada una de las observaciones que resulten importantes.

2. Designar un o varios responsables de su realización (del plan de mantenimiento).

Cada una de las gamas y cada ruta deben tener un responsable de sus realizaciones.

3. Llevar a cabo una formación adecuada para cada una de las gamas y rutas a realizar.

Explicando de manera clara los alcances de cada una de las tareas involucradas en el plan de mantenimiento y que hacer al encontrar anomalías.

4. Supervisar la realización del plan de mantenimiento durante las primeras semanas.

Hablando con el personal encargado de realizar las tareas, anotando las sugerencias que estos puedan realizar, así como los comentarios de la realización. Tras los primeros días de aplicación del plan de mantenimiento, se comúen que empiecen a surgir cambios en el plan de mantenimiento inicial. La manera en la que se realiza la revisión del plan de mantenimiento debe garantizar que se puedan ir introduciendo cambios a medida se identifiquen posibilidades de mejora en el plan de mantenimiento, Los primeros cambios se referirán sobre todo a tareas que no puedan ser realizadas, a tareas que se han olvidado y que pudiera ser necesario útil realizar, a rangos de medida incorrectos, a herramientas y materiales no incluidos en la lista de cosas a preparar, o a correcciones en el tiempo necesario para su realización, entre otras.

Así después éstas correcciones se tomarán en cuenta para poder excluir las tareas que atreves de la experiencia en la implementación del plan de mantenimiento resulten no ser útiles o rentables, o bien para incluir tareas que surjan como consecuencia de averías y problemas que se hayan presentado, y que pudieran evitarse con alguna medida preventiva.

5. No es necesario poner en funcionamiento todas las gamas y rutas a la vez.

Resulta mucho más efectivo poner en marcha las gamas y rutas de manera escalonada, área por área de la planta. Y por último implementar las gamas anuales para cada equipo según lo descrito en el plan de mantenimiento.

5.14. Procedimientos de realización de tareas de mantenimiento

Después de la puesta en marcha y ya con las correcciones que se pudieron llevar a cabo en el plan de mantenimiento, resulta necesario redactar los procedimientos para realizar cada una de las tareas. Debe de describirse claramente a que elemento se refiere cada tarea, Si se utilizan mediciones detallar la manera correcta de realizarlas y los rangos aceptables en éstas, así como los materiales que se utilizarían, las precauciones que se deben tomar al realizar las tareas, etc.

Puede resultar conveniente redactar un procedimiento por cada Ruta o Gama; en otras, resultara más conveniente agruparlas por frecuencias, por especialidades, o por áreas, y redactar un procedimiento por cada uno de los grupos resultantes. En la práctica, una buena solución consiste en agruparlas por áreas, y redactar un

procedimiento por cada área que contenga todas las gamas y rutas referidos a ella.

5.15. Planificación del mantenimiento

Las características principales de realizar una planificación es especificar cuándo y quien realizara cada una de las gamas y rutas que son contempladas en el plan para las rutas diarias resulta sencillo realizar la planificación ya que estas se realizaran diariamente, por lo que lo que contempla la planificación consiste en elegir la hora que se realizaran y quien será el responsable de llevarlas a cabo, el planeamiento de rutas semanales exige determinar qué día de la semana serán realizadas y determinar quién será el responsable de llevarlas a cabo.

Es importante saber que, si se elabora una gama o ruta, pero no se asigna la responsabilidad a nadie o no se determinan las responsabilidades a alguien estas tareas no se llevaran a cabo o solo se llevaran a cabo de manera parcial, para asegurarse que estas tareas serán realizadas es necesario:

- *Fijar quién es el responsable de realizarla*
- *Asegurarse de que en el momento en que tenga que realizarla no tendrá otra tarea que realizar.*

La programación de las rutas y gamas mensuales son más difíciles de realizar, en general se recomienda hacerlo con cierto margen, programar una semana en el año en la que se pretende realizar cada gama o ruta mensual de esta manera se puede permitir que a medida se acerque la fecha establecer con mayor exactitud el día que se realizara. Las gamas anuales se programan de manera similar a las mensuales con márgenes se recomienda programar solamente el mes en el cual se pretende realizar para así permitir maniobras y a medida se acerque la fecha, programar con mayor exactitud.

5.16. Ordenes de trabajo O.T

Una orden de trabajo (O.T) es un documento en el cual los mandos del mantenimiento informan a los operarios o técnicos de mantenimiento sobre las tareas que son necesarias realizar en los equipos para la correcta ejecución del plan de mantenimiento. Estas Ordenes de Trabajo constituyen la mayor fuente de información de los mantenimientos ya que en ellas se recogen los datos más importantes de cada intervención. En ellas se detallan los siguientes aspectos:

- *N.o de orden correlativo. que permite identificarla de forma única.*
- *El equipo o instalación en el que se debe intervenir.*
- *El trabajo que se debe realizar, o el comportamiento de un equipo que está funcionando incorrectamente.*
- *Las herramientas y materiales que se necesitarán.*
- *Los riesgos del trabajo, las precauciones que deben tomarse y los equipos de protección necesarios.*
- *La prioridad del trabajo.*
- *La fecha y hora de emisión de la orden.*

Es importante determinar quién puede generar un OT en una planta industrial, quien puede autorizar su ejecución, cuando debe ser ejecutada y que personal es el adecuado para ello. Por ello es necesario determinar claramente un flujo de Inicio a Final (cierre) determinando responsabilidades de todos los que intervienen en el proceso. En la figura 5.10.1 puede observarse un ejemplo de diagrama de flujo para una O.T

A continuación se presentan dos tipos de ordenes: las órdenes correctivas y las órdenes preventivas y predictivas.

5.10.1 Orden de trabajo Correctiva

Es la solicitud de una intervención en el equipo en la cual se ha detectado un problema que debe ser corregido. También pueden ser conocidas como Parte de Trabajo, Parte de Avería, Solicitud de Trabajo, Demanda de Trabajo, Etc.

La Orden de Trabajo consta de tres zonas claramente diferenciadas:

- *Zona de la orden que complementa el solicitante.*
- *Zona que complementa el organizador del trabajo de mantenimiento (mando intermedio, preparador, etc.).*
- *Zona de la orden que complementa el ejecutante.*

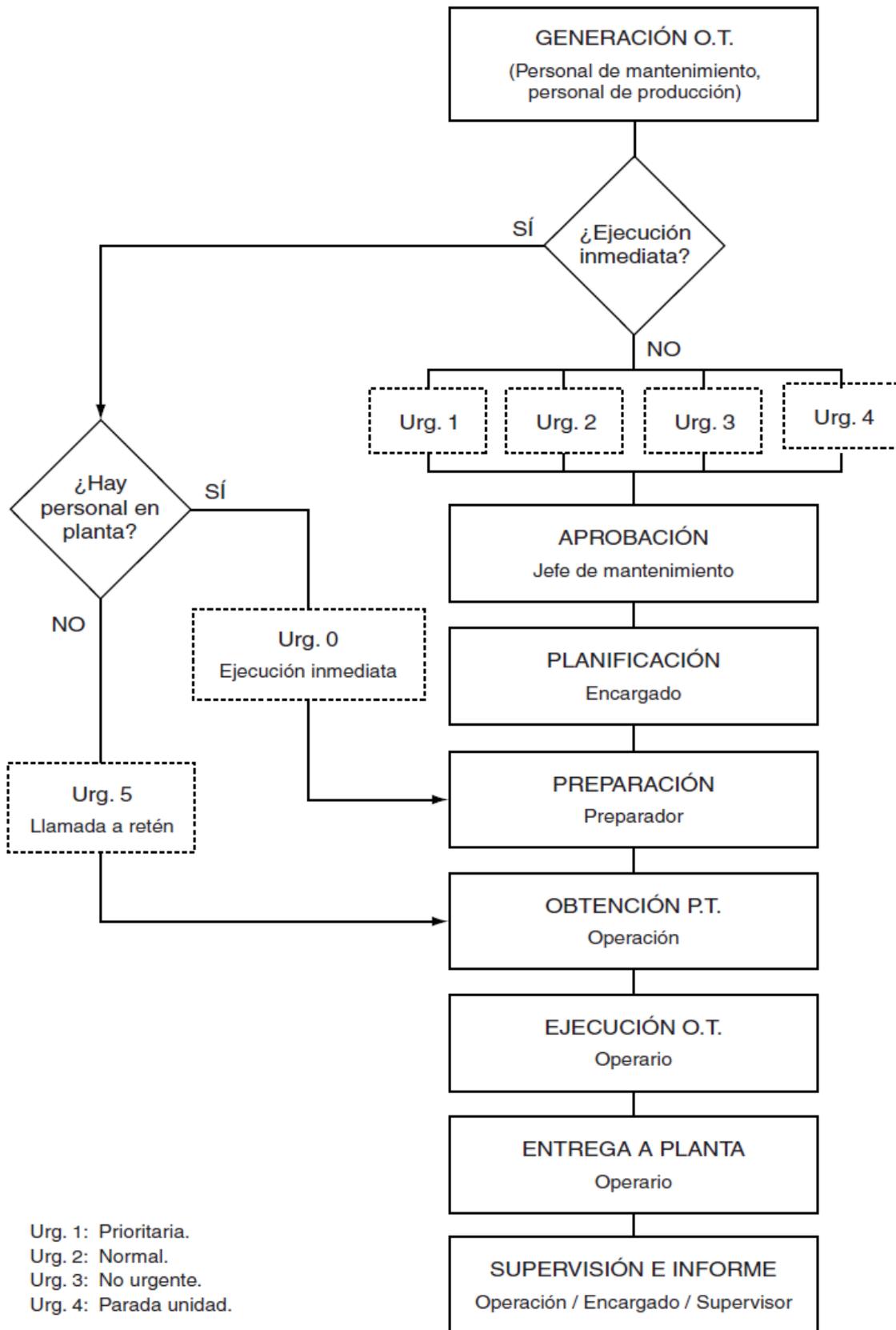


Figura 5.10.1: Diagrama de Flujo de O.T [4]

En la parte que complementa el solicitante deben figurar los siguientes datos:

- *N.o de orden.*
- *Nombre del solicitante.*
- *Fecha y hora de la solicitud.*
- *Síntomas que presenta el equipo.*

Es conveniente que el operario de mantenimiento facilite información en la cual se detalle todos los datos que pueda sobre cómo se ha producido la avería, así como las condiciones exteriores al propio equipo, todo esto para lograr una disminución en el tiempo necesario para el diagnóstico del equipo.

- *Nivel de prioridad.*

Es necesario establecer diferentes niveles de prioridad para que así el responsable de mantenimiento conozca la importancia que tiene la reparación.

La zona que complementa el organizador del trabajo de mantenimiento debe contener, al menos:

- *Análisis de riesgos.* Señalar al trabajador de los riesgos de la tarea.
- *Precauciones a tener en cuenta en materia de seguridad.*
- *Equipo de protección individual que debe usarse.*
- *Materiales y herramientas que debe preparar para realizar la intervención.*
- *Fecha y hora en que se ha programado la intervención, en caso de ser una intervención programada.*

La zona de la O.T. que complementa el ejecutante debería contener, al menos, estos datos:

- *Fecha y hora del inicio de la intervención.*
- *Personas que han intervenido.*
- *Fecha y hora del final de la intervención.*
- *Repuesto consumido.*
- *Descripción de los trabajos realizados.*

En el capítulo 8 se anexa una propuesta para una orden de trabajo correctiva.

5.10.2. Órdenes de Trabajo Preventivas. Gamas de Mantenimiento

En estas órdenes es necesario conocer con precisión el trabajo que deberá ser realizado y que en general ha sido realizado muchas veces con anterioridad, por lo cual la planificación de este resulta más exacta de realizar.

Estas son algunas de las partes que suele tener un O.T de este tipo:

- *Código de la Gama.*
- *Periodicidad.*
- *Fecha de realización.*
- *Tiempo estimado de realización.*
- *Fecha de inicio y fecha final.*
- *Nombre de los operarios que intervienen.*
- *Análisis de riesgos, precauciones a tener en cuenta y equipos de protección individual necesarios.*
- *Lista de herramientas y materiales necesarios.*
- *Lista de tareas a realizar.* Es el punto más importante de la Orden de Trabajo Preventiva.
- *Valores de referencia.* Algunas de las actividades serán tomas de datos y mediciones, por lo que es necesario que en la Orden de Trabajo figuren los rangos normales, fuera de los cuales se entenderá que hay un problema.
- *Resultados.* Debe detallarse con mucha brevedad (por ejemplo, OK-KO, Bienal, Realizado, etc.) el resultado de la realización de la tarea.
- *Observaciones.* Deben anotarse todas las observaciones que puedan ser de interés, tras la realización de la orden.

En el capítulo 8 se anexa una propuesta para una Orden de Trabajo Preventiva, que contempla todos los requisitos anteriores.

5.17. Organización de paradas programadas para mantenimientos anuales o para pruebas que requieran paradas.

El análisis de equipos es un determinante para la organización de las paradas. Las paradas son grandes revisiones que se deben realizar a ciertos equipos en épocas determinadas del año la mayor parte de estas paradas son llevadas a cabo en periodos de menor producción o etapas de vacaciones

Algunos de los inconvenientes de la realización de estas paradas son:

- *En poco tiempo se intenta realizar muchas intervenciones.*

- *Se cuenta con mucho personal no habitual en la planta, que no está preparado técnicamente para estas intervenciones.*
- *Los rendimientos del personal son, por ello, bajos.*
- *La posibilidad de que haya accidentes aumenta.*
- *Son muy costosas.*

Este mantenimiento en parada es una actividad sumamente importante ya que algunos equipos no pueden detener su actividad a excepción de épocas determinadas.

Una de las consecuencias del análisis de equipos es poder determinar con claridad en qué equipos hay que intervenir durante una parada. Son aquellos equipos cuyo modelo de mantenimiento sea el de Alta Disponibilidad. El resto de los equipos pueden ser intervenidos en cualquier otra época del año.

En el capítulo 8 se muestra un ejemplo de planificación de paradas programadas

5.18. La mejora continua del Plan de mantenimiento

El plan de mantenimiento es algo que debe estar en constante revisión y modificación ya que si este permanece estático en el tiempo es probable que en realidad no se esté usando.

Mientras se ejecuta el plan de mantenimiento con el tiempo, se detectan mejoras que es posible introducir: tareas a las que hay que cambiar la frecuencia, tareas que resultan innecesarias y que no aportan ninguna mejoría en el estado de la instalación o en el coste del mantenimiento; tareas que se habían olvidado y que aparecen como necesarias, el análisis de determinadas averías añade nuevas tareas a realizar, para evitar que determinados fallos se repitan.

Otro aspecto a tomar en cuenta es que la instalación también cambia con el tiempo: se adquieren nuevas máquinas, se cambia el Plan de Producción (lo que conlleva un cambio en la criticidad de los equipos, y, por tanto, una variación en el modelo de mantenimiento aplicable), etc.

5.18.1 Revisión de la estrategia y mejora continua del proceso.

El proceso de monitoreo de condición es un proceso continuo, y técnicas que pueden no haber estado disponibles, o que en su momento se consideraron demasiado costosas, o demasiado complicadas, o inviables de alguna otra manera (falta de acceso, problemas de seguridad, etc.), puede en revisión ser factible. Se recomienda que el procedimiento de monitoreo de la condición incluya un proceso de revisión para permitir que se realicen tales reevaluaciones. Del mismo modo, se debe evaluar la eficacia de las técnicas que se están llevando a cabo actualmente en el programa, y se deben eliminar todas las técnicas que ya no se consideren necesarias.

Los criterios de alerta / alarma también pueden necesitar revisión, debido a cambios en la máquina tales como desgaste progresivo, envejecimiento, modificación, operación o cambios en el ciclo de trabajo. Los valores medidos y las líneas base también pueden cambiar debido al trabajo de mantenimiento, incluido el cambio de componentes, el ajuste o el cambio de servicio. En ciertos casos, puede ser necesario restablecer la línea de base luego de dichos cambios. Cabe señalar que los cambios en los valores medidos también pueden deberse a cambios normales o controlados en las condiciones de funcionamiento, y no necesariamente indican una condición de falla.

5.18.2 Retroalimentar el histórico.

Como parte del mantenimiento de equipos es importante realizar un historial de datos como condiciones iniciales de funcionamiento, resultados de pruebas anteriores, decisiones tomadas para la prevención (como cambio de partes o lubricación) y fechas de realización de pruebas etc, la retroalimentación consiste en comparar los datos actuales obtenidos de mantenimientos más recientes con el historial de datos anteriores, con esto se pretende mejorar continuamente todo el proceso relacionado con el mantenimiento de la máquina y garantizar su buen funcionamiento

6. EJEMPLO DE IMPLEMENTACIÓN.

6.1 Ejemplo 1

Determine las metas y objetivos

- ✓ Enfocar un programa de mantenimiento en los equipos que más fallan y afectan el proceso.
- ✓ Garantizar el correcto funcionamiento de los equipos durante el periodo de zafra.
- ✓ Alcanzar una mayor eficiencia en el proceso de extracción.

Establecer los requerimientos para el mantenimiento.

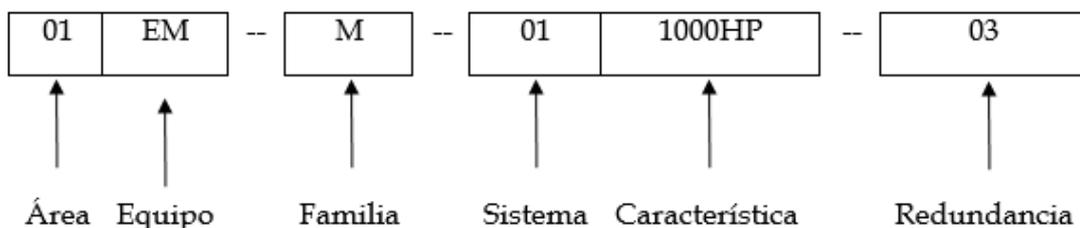
Maquinaria y Equipo a incluir.

- Selección de Área.
 - ✓ Extracción y mesas.
- Equipo a incluir
 - ✓ Molinos

Identificar función.

Equipo responsable de realizar las acciones de molido de la caña de azúcar para la extracción del azúcar y el bagazo (masa) usado para la generación de energía eléctrica.

Código para elemento (motor)



Código del Elemento(Motor) = 01EMM011000HP03

Identificar el equipo

	<p>Ficha Tecnica de Motores Electricos</p>
---	--

Fecha	21/3/2018
Equipo	Extractor de calor
Codigo	01EMM011000HP03
Ubicación	Area Extraccion y mesas.



Características del Equipo	
Tipo de Equipo	
Tipo de Motor	Electrico
Fabricante	General Electric
No. Serie	llegible
Modelo	5QKF7051437B602
Fecha de Instalacion	ago-16
Potencia	1000Hp
Voltaje	4160V
Corriente	124A
Frecuencia	60 Hz
Velocidad	1196RPM
Peso	_____
No. De Fases	3
No. De Polos	_____
Grado de Proteccion	_____

Funcionabilidad del Equipo	
Extractor de calor que sirve para mantener una temperatura controlada en el interior de la galera para la crianza de aves.	

Clase de Aislamiento	F
Tipo de conexión	_____
Ref de los rodamientos	_____
Temperatura °C	40
Sentido de giro	clockwise ccw
Factor de servicio	1.15
Tipo de Servicio	_____
Eficiencia %	_____

Sistema de transmision de fuerza	
Tipo de acople	_____
Torque nominal	_____
Torque de arranque	_____

Sistema de Lubricacion	
Tipo de lubricante	Shell
Tipo de refrigeracion	_____

Ambiente en el que opera	
grado de proteccion	Polvo y Humedad

Recomendaciones y Observaciones	

Establecer criticidad de equipo e identificar modos de fallo

 CATEGORIAS DE IMPACTO PARA ANALISIS DE CRITICIDAD					
Categoría	Daños al personal	Eficiencia del proceso	Impacto Ambiental	Daño a las instalaciones	Perdida de la producción
5	Muerte o incapacidad total, enfermedad en uno o mas miembros de la empresa	El impacto en la eficiencia es severo	Daños irreversibles al ambiente que violen regulaciones y leyes ambientales	Daños irreparables a las instalaciones que generan altos costos a la empresa.	Mayor al 50% de perdida de producción diaria.
4	Incapacidad parcial, permanente, heridas severas en uno o mas miembros de la empresa requiere suspensión laboral	Representa un gran impacto en la eficiencia a mediano plazo	Daños irreversibles al medio ambiente pero que no violan regulaciones y leyes ambientales	Daños irreparables a las instalaciones pero que generan altos costos a la empresa.	De 20% a 50% de perdida de la producción diaria.
3	Daños o enfermedades severas de varias personas de la instalación, daños reportables	Afecta la eficiencia y podría resultar problemático a largo plazo.	Daños irreversibles regables sin violación de regulaciones, la restauración puede ser acumulada.	Daños irreparables a las instalaciones pero que no generan altos costos a la empresa.	De 10% a 20% de perdida de la producción.
2	El personal de la planta requiere tratamiento médico o primeros auxilios, daños reportables	Afecta la eficiencia, pero habitualmente no es problemático.	Minimos daños ambientales sin violación de leyes y regulaciones	Daños minimos a las instalaciones que no generan altos costos a la empresa	De 5% a 10% de perdida de la producción diaria.
1	No se esperan heridas o daños físicos	No afecta la eficiencia.	Sin daños ambientales	Sin daños a las instalaciones	Hasta 5% de perdida de la producción diaria.

De la tabla anterior para este motor en específico se realiza la sumatoria de todas las categorías y se determinada el nivel de impacto de la siguiente manera:

Daños al personal: No se esperan heridas o daños físicos = 1

Eficiencia del proceso: Representa un gran impacto en la eficiencia a mediano plazo = 4

Impacto Ambiental: Sin daños Ambientales = 1

Daños en las instalaciones: Daños mínimos a las instalaciones que no generan altos costos a la empresa = 1

Perdida de la producción: De 10% a 20% de perdida de producción = 3

$$\text{Impacto (Categorías)} = 1 + 4 + 1 + 1 + 3 = 10$$



CRITERIOS PARA ESTIMAR LA FRECUENCIA DE FALLA.

Categoría	Tiempo medio entre falla en años (TMEF)	Frecuencia: Numero de fallas por año λ	Interpretacion de la probabilidad
5	TPEF < 1	$\lambda > 1$	Es probable que ocurran varias fallas en un año.
4	1 < TPEF < 5	$0.2 < \lambda \leq 1$	Es probable que ocurran varias fallas en 5 años, pero es poco probable que ocurra en 1 año.
3	5 < TPEF < 10	$0.1 < \lambda \leq 0.2$	Es probable que ocurran varias fallas en 10 años, pero es poco probable que ocurra en 5 años.
2	10 < TPEF < 100	$0.01 < \lambda \leq 0.1$	Es probable que ocurran varias fallas en 100 años, pero es poco probable que ocurran en 10 años.
1	TPEF < 100	$0.01 \leq \lambda$	Es poco probable que ocurran en 100 años.

De la tabla de criterios para estimar la frecuencia y basados en el historial previo que se conoce de estos motores de determina que este Es probable que ocurran varias fallas en un año.

Por lo tanto, la

$$Frecuencia\ de\ falla = 5$$

$$Nivel\ de\ Criticidad = Frecuencia \times Impacto\ total = 5 * 10 = 50$$

F R E C U E N C I A	5	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
	4	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68
	3	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51
	2	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34
	1	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
IMPACTO														

B	Criticidad Baja	$5 \leq \text{Criticidad} \leq 29$
M	Criticidad Media	$30 \leq \text{Criticidad} \leq 49$
A	Criticidad Alta	$50 \leq \text{Criticidad} \leq 125$

Como se observa en la matriz de criticidad propuesta, la criticidad de este equipo es alta.

Histórico de averías

- ✓ El motor presenta un historial de casos de sobrecalentamiento muy frecuentes como consecuencia de trabajar en condiciones de sobrecarga.
- ✓ Los habituales periodos de sobrecarga a los que se ve sometido el motor, han causados en ocasiones el disparo de protecciones como repuesta al incremento en la demanda de corriente que necesita el motor.
- ✓ Casos de chumaceras dañadas de manera frecuente.

Clasificación de los fallos

- ✓ Fallos funcionales.
 - Disparo de protecciones.
 - Chumaceras deterioradas.
- ✓ Fallos técnicos.
 - Sobrecalentamiento.

FORMAS DE ACTUACIÓN ANTE UN FALLO	
– Equipos con modelo de mantenimiento de <i>Alta Disponibilidad</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Fallos funcionales: A EVITAR • Fallos técnicos: A EVITAR

– Equipos con modelo de mantenimiento <i>Sistemático</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Fallos funcionales: A EVITAR • Fallos técnicos: A AMORTIGUAR
– Equipos con modelo de mantenimiento <i>Condicional</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Fallos funcionales: A AMORTIGUAR • Fallos técnicos: A AMORTIGUAR
– Equipos con modelo de mantenimiento <i>Correctivo</i>	No se estudian

El modelo de mantenimiento consecuente es de Alta Disponibilidad esto es debido a que el elemento resulta ser de criticidad alta para el proceso.

Determinación de los modos de fallo

- ✓ Sobrecalentamiento causado por el incremento en la demanda de corriente.
- ✓ Actuar de protecciones como repuesta al incremento en la demanda de corriente que necesita el motor.
- ✓ Chumaceras dañadas de manera frecuente por vibraciones debidas a excesivas cargas en las masas.

Consulta al manual del equipo detalles a tomar en cuenta.

No se tuvo acceso al manual.

Determinar acciones de mantenimiento.

- ✓ Inspecciones visuales.
 - Limpiezas.
 - Identificar sonidos extraños.
- ✓ Lubricación.
 - Lubricación de cojinetes.

✓ Mantenimiento Preventivo Sistemático.

- Termografía
- Pruebas de aislamiento
- Análisis de vibraciones

✓ Mantenimiento Condicional.

- Reparación de averías.

Agrupación de las tareas de mantenimiento a llevar a cabo.

Periodicidad Diaria

Descripción de la tarea
Comprobar temperatura en el motor en general (cámara termografía)
Verificar correcta lubricación de rodamientos
Limpieza general
Realizar análisis de vibraciones en el motor.

Periodicidad anual

Descripción de la tarea
Desmontaje de motor para limpieza e inspección
Pruebas de aislamiento en motor
Cambios de rodamientos y chumaceras de ser necesarios



Propuesta de planeamiento Año 20XX

	Mayo					Junio				Julio						Agosto			Septiembre				Octubre			
Descripcion	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Extraccion y mesas																										
Molino 1			A																							
Molino 2								A																		
Molino 3												A														
Molino 4			A																							
Molino 5								A																		
Prepicadora																										
Desfibrado																										
Picadora																										

Rutas diarias: Se realizaran todos los dias de lunes a viernes a partir de las 8:00 am
 Gammas Anuales: Se indican con una A en el mes en que deben realizarse
 Parada Anual: Se realiza en Mayo

6.2 Ejemplo 2

Determine las metas y objetivos

- ✓ Evitar fallos en el sistema de extracción de aire de las galeras.
- ✓ Elaborar un plan de mantenimiento en el área de crecimiento de aves.
- ✓ Garantizar la correcta aplicación de las técnicas de mantenimiento para el equipo.
- ✓ Reducir el número de motores sustituidos por año.

Establecer los requerimientos para el mantenimiento.

a) *Maquinaria y Equipo a incluir.*

Selección de Área.

- Área de crecimiento de aves. Galera 3

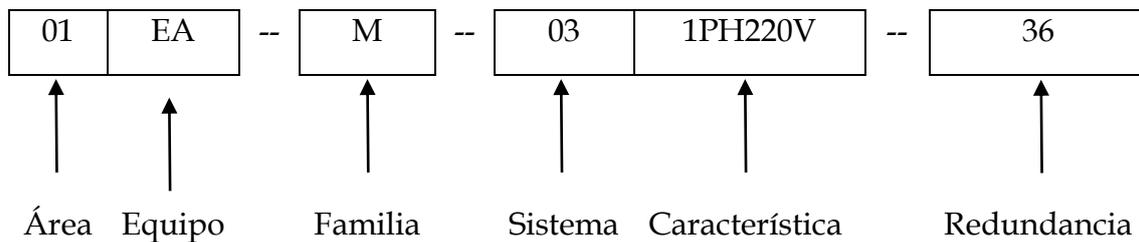
Equipo a incluir

- Extractores de calor

Identificar función

Extractor de calor que sirve para mantener una temperatura controlada en el interior de la galera para la crianza de aves, ya que de no contar con este control de temperatura se corre el riesgo de muerte por ahogamiento por el excesivo calor en las aves de temprana edad. Son galeras completamente cerradas debido al método de crianza de aves.

Código para elemento (motor)



Código del Elemento(Motor) = 01EAM031PH220V36

Identificar el equipo

	Ficha Tecnica de Motores Electricos
---	--

Fecha	21/3/2018
Equipo	Extractor de calor
Codigo	01EAM031PH220V36
Ubicación	Galera 3



Características del Equipo	
Tipo de Equipo	
Tipo de Motor	Electrico
Fabricante	Maraton
No. Serie	A13J70253
Modelo	5KCR48WN0711CT
Fecha de Instalacion	ago-16
Potencia	1.5Hp
Voltaje	230 V
Corriente	_____
Frecuencia	60 Hz
Velocidad	1725RPM
Peso	_____
No. De Fases	1
No. De Polos	_____
Grado de Proteccion	_____

Funcionabilidad del Equipo	
Extractor de calor que sirve para mantener una temperatura controlada en el interior de la galera para la crianza de aves.	

Clase de Aislamiento	B
Tipo de conexión	_____
Ref de los rodamientos	_____
Temperatura °C	40
Sentido de giro	clockwise ccw
Factor de servicio	1
Tipo de Servicio	_____
Eficiencia %	_____

Sistema de transmision de fuerza	
Tipo de acople	Correa
Torque nominal	_____
Torque de arranque	_____

Sistema de Lubricacion	
Tipo de lubricante	_____
Tipo de refrigeracion	_____

Ambiente en el que opera	
grado de proteccion	Polvo y Humedad

Recomendaciones y Observaciones	

Establecer criticidad de equipo e identificar modos de fallo

 CATEGORIAS DE IMPACTO PARA ANALISIS DE CRITICIDAD					
Categoría	Daños al personal	Impacto en la población	Impacto Ambiental	Daño a las instalaciones	Perdida de la producción
5	Muerte o incapacidad total, enfermedad en uno o mas miembros de la empresa	Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o mas miembros	Daños irreversibles al ambiente que violen regulaciones y leyes ambientales	Daños irreparables a las instalaciones que generan altos costos a la empresa.	Mayor al 50% de perdida de producción diaria.
4	Incapacidad parcial, permanente, heridas severas en uno o mas miembros de la empresa requiere suspensión laboral	Incapacidad parcial, permanente, daños o enfermedades en al menos un miembro de la población	Daños irreversibles al medio ambiente pero que no violan regulaciones y leyes ambientales	Daños irreparables a las instalaciones pero que generan altos costos a la empresa.	De 20% a 50% de perdida de la producción diaria.
3	Daños o enfermedades severas de varias personas de la instalación, daños reportables	Puede resultar en la hospitalización de al menos 3 personas. Requiere tratamiento medico o primeros auxilios	Daños irreversibles regables sin violación de regulaciones, la restauración puede ser acumulada.	Daños irreparables a las instalaciones pero que no generan altos costos a la empresa.	De 10% a 20% de perdida de la producción.
2	El personal de la planta requiere tratamiento medico o primeros auxilios, daños reportables	Puede resultar en heridas o enfermedades leves	Minimos daños ambientales sin violación de leyes y regulaciones	Daños minimos a las instalaciones que no generan altos costos a la empresa	De 5% a 10% de perdida de la producción diaria.
1	No se esperan heridas o daños físicos	sin efecto en la población	Sin daños ambientales	Sin daños a las instalaciones	Hasta 5% de perdida de la producción diaria.

De la tabla anterior para este motor en específico se realiza la sumatoria de todas las categorías y se determinada el nivel de impacto de la siguiente manera:

Daños al personal: No se esperan heridas o daños físicos = 1

Impacto en la población: Sin efecto en la población = 1

Impacto Ambiental: Sin daños Ambientales = 1

Daños en las instalaciones: Daños mínimos a las instalaciones que no generan altos costos a la empresa = 2

Perdida de la producción: Hasta 5% de perdida de la producción =1

$$\text{Impacto (Categorías)} = 1 + 1 + 2 + 1 = 6$$

 CRITERIOS PARA ESTIMAR LA FRECUENCIA DE FALLA.			
Categoría	Tiempo medio entre falla en años (TMEF)	Frecuencia: Numero de fallas por año λ	Interpretacion de la probabilidad
5	TPEF < 1	$\lambda > 1$	Es probable que ocurran varias fallas en un año.
4	1 < TPEF < 10	$0.1 < \lambda \leq 1$	Es probable que ocurran varias fallas en 10 años, pero es poco probable que ocurra en 1 año.
3	10 < TPEF < 100	$0.01 < \lambda \leq 0.1$	Es probable que ocurran varias fallas en 100 años, pero es poco probable que ocurra en 10 años.
2	100 < TPEF < 1000	$0.001 < \lambda \leq 0.01$	Es probable que ocurran varias fallas en 1000 años, pero es poco probable que ocurran en 100 años.
1	TPEF < 1000	$0.001 \leq \lambda$	Es poco probable que ocurran en 1000 años.

De la tabla de criterios para estimar la frecuencia y basados en el historial previo que se conoce de estos motores de determina que este Es probable que ocurran varias fallas en un año.

Por lo tanto, la

$$\text{Frecuencia de falla} = 5$$

$$\text{Nivel de Criticidad} = \text{Frecuencia} \times \text{Impacto total} = 6 \times 5 = 30$$

F R E C U E N C I A	5	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
	4	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68
	3	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51
	2	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34
	1	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
	IMPACTO													

Figura 4. Matriz de criticidad para comprobar el tipo de criticidad del ejemplo.

B Criticidad Baja $5 \leq \text{Criticidad} \leq 29$

M Criticidad Media $30 \leq \text{Criticidad} \leq 49$

A Criticidad Alta $50 \leq \text{Criticidad} \leq 125$

Como se observa en la matriz de criticidad propuesta, la criticidad de este equipo es media.

Histórico de averías

Estos motores poseen un historial de fallos por sobrecalentamiento provocado por encendidos y apagados.

La empresa se ve obligada a realizar cambios de estos motores al menos de 5 a 6 motores por años debido a las causas anteriormente mencionadas.

Acumulación de polvo.

Clasificación de los fallos

- ✓ Fallos funcionales.
 - Descontrol en la temperatura de la galera. Motor averiado.

- ✓ Fallos técnicos
 - Sobrecalentamiento en el motor

Ambos tipos de fallos tanto los funcionales como los técnicos que se presentan en el elemento solo será necesario amortiguarlos.

FORMAS DE ACTUACIÓN ANTE UN FALLO	
– Equipos con modelo de mantenimiento de <i>Alta Disponibilidad</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Fallos funcionales: A EVITAR • Fallos técnicos: A AMORTIGUAR
– Equipos con modelo de mantenimiento <i>Sistemático</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Fallos funcionales: A EVITAR • Fallos técnicos: A AMORTIGUAR
– Equipos con modelo de mantenimiento <i>Condicional</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Fallos funcionales: A AMORTIGUAR • Fallos técnicos: A AMORTIGUAR
– Equipos con modelo de mantenimiento <i>Correctivo</i>	No se estudian

El modelo de mantenimiento consecuente es el condicional.

Determinación de los modos de fallo

- Corto circuito provocado por sobrecalentamiento por encendidos y apagados constantes.
- Fallo en bobinados.
- Capacitores dañados por encendidos y apagados constantes.

Determinar acciones de mantenimiento.

- Inspecciones visuales.
 - ✓ Correcto funcionamiento del motor.
 - ✓ Identificar sonidos extraños.
- Lubricación.
 - ✓ No es necesaria, realizar limpiezas
- Mantenimiento Condicional.
 - ✓ Control de temperatura en el motor.
 - ✓ Medición de corriente.
- Reparación de averías.

Agrupación de las tareas de mantenimiento a llevar a cabo.

AREA 01	
Código	Descripción
EA	Gama área A

El Plan de Mantenimiento de este ejemplo estaría formado por un total de 6 gama para un equipo, que se realizaría un documento. Es una cantidad manejable, que será fácil de actualizar, revisar y mantener al día. Al cabo del año, el Plan de Mantenimiento habrá generado las siguientes gamas:

$$12\text{meses} \times 6 \text{ gamas} / 3 \text{ meses} = 24 \text{ gamas}$$

Total: 24 órdenes de trabajo al año.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Conclusiones

- Las fallas más comunes que presentan los motores eléctricos en la industria nacional, siguen la tendencia que los presentados a nivel internacional, sin embargo, aún se presentan muchas fallas relacionadas a las condiciones de operación de los motores, las cuales pueden ser prevenibles o mitigables, que reflejan la necesidad de la mejora continua de los planes de mantenimiento o una mejor adaptación de los mismos para así lograr una mayor fiabilidad en las condiciones en que operan los eléctricos en el país.
- Es importante partir de la definición clara de los objetivos que se pretenden alcanzar ya que estos marcaran la ruta o meta a la cual enfocar los esfuerzos en la elaboración e implementación del plan de Mantenimiento para lograr alcanzar dichos objetivos.
- Es un error el intentar diseñar e implementar un plan de Mantenimiento enfocado a un solo elemento aislado (en este caso, solo al motor), es de tener en cuenta que este motor forma parte de sistema de equipos, que en su conjunto realizan una tarea determinada, dicho Sistema tiene gran influencia sobre el adecuado o mal funcionamiento del motor, por lo cual, un adecuado programa de Mantenimiento debe enfocarse también para el Sistema en su conjunto.
- Los usos de indicadores de desempeño en el plan de Mantenimiento son de estricta importancia como parámetros para poder tener un control sobre la influencia o impacto que está teniendo la ejecución del plan de mantenimiento, si está cumpliendo con lo necesario para alcanzar los objetivos propuestos o es necesario la mejora del mismo. También algunos de estos índices sirven como lenguaje de comunicación entre el departamento de Mantenimiento o la persona encargada para tal fin, con las áreas gerenciales de la empresa, al momento de la gestionar los presupuestos destinados al Mantenimiento, ya que por lo general estas áreas están más familiarizadas con el aspecto económico y no con el lenguaje técnico utilizado por los departamentos de Mantenimiento.
- La cantidad de personal con el que se cuenta para realizar las labores de Mantenimiento así como también su preparación para tal fin, afectan

directamente el desempeño y los tiempos en la ejecución de los planes de Mantenimiento, por lo que la elaboración del plan de Mantenimiento debe considerarse si se cuenta con el personal suficiente para la realización de las tareas de Mantenimiento en los tiempos estimados, así como también considerar las capacitaciones o entrenamientos a los que será necesario someter al personal de Mantenimiento.

- El método con el que se establece un plan de mantenimiento repercute directamente en la manera en que este incide en la planta en que se establezca, criterios como el análisis de criticidad resultan útiles para determinar en qué sistemas poner especial atención para establecer pruebas con el fin de optimizar los recursos con los que dispone el departamento de mantenimiento.
- Para garantizar un plan realmente efectivo en una planta es necesario que esté enfocado en el análisis de fallos ya que de esta manera se indican de manera personalizadas a cada equipo las pruebas y resultados esperados que garanticen el correcto funcionamiento de los mismo.
- El análisis de fallas eléctricas en motores debe sustentarse del conocimiento claro de los principios de funcionamiento de los motores y las causas que llevan a que los mismos fallen, a fin de elaborar un correcto y efectivo plan de mantenimiento.
- La calidad de energía es de especial importancia en el mantenimiento de motores eléctricos ya que esta puede ser responsable de problemas comunes tales como vibraciones y calentamientos que en un principio pueden ser atribuidos a otros factores, llevando a la toma de decisiones respecto al mantenimiento dado incorrectas.

Recomendaciones.

- Documentar de una forma rigurosa y detallada el historial de los mantenimientos, ya sean estos correctivos, preventivos o predictivos realizados por equipo, con el fin de ir creando una cultura de disciplina y orden con la información.

- Implementar un sistema de control de inventario de los Motores Eléctricos que se tengan, con el fin de llevar control de las partes y componentes más solicitados e importantes para la corrección de fallas y Mantenimiento preventivo, para así, poder contar con los repuestos necesarios en el momento requerido y reducir las demoras en la ejecución del mantenimiento a los motores como consecuencia de la falta de repuestos.
- Las tablas recomendadas en este trabajo como lo son las de categoría de impacto para análisis de criticidad y frecuencia de falla, pueden ser modificadas consecuentemente a las necesidades o enfoques que las empresas consideren necesarios pudiendo contemplar los mismos niveles de impacto o modificarlos ya que las propuestas son a manera de ejemplo general.
- Se recomienda que en equipos en los cuales se ha comprobado son de criticidad alta al menos aplicar análisis de vibraciones y termografía en sus programas de mantenimiento ya que estas pruebas son las bases para establecer parámetros/rangos y así generar un histórico más completo de estos equipos críticos.
- La prueba de Hi-Pot en DC es una prueba complementaria a las pruebas de resistencia de aislamiento e índice de polarización y que puede ser aplicada de forma rutinaria para evaluar la condición del motor, sin embargo se recomienda preferiblemente realizar primero estas últimas pruebas antes de la prueba de Hi-Pot, si bien es cierto esta prueba no degrada el sistema de aislamiento, si existe el riesgo que mediante el uso de esta prueba a un motor con aislamiento en condición marginal, puede llegar a causar un fallo prematuro en el aislamiento del mismo.

8. PROPUESTA DE FICHAS, NIVELES DE CRITICIDAD Y CRITERIOS PARA ESTIMAR FRECUENCIA DE FALLAS

Ficha Técnica de Motores Eléctricos

	Ficha Técnica de Motores Eléctricos																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 50%;">Fecha</td><td style="width: 50%;"></td></tr> <tr><td>Equipo</td><td></td></tr> <tr><td>Código</td><td></td></tr> <tr><td>Ubicación</td><td></td></tr> </table>	Fecha		Equipo		Código		Ubicación		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">Funcionabilidad del Equipo</td></tr> <tr><td colspan="2"> </td></tr> </table>	Funcionabilidad del Equipo																															
Fecha																																									
Equipo																																									
Código																																									
Ubicación																																									
Funcionabilidad del Equipo																																									
<div style="border: 1px solid black; height: 150px; width: 100%; display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> Foto </div>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 50%;">Clase de Aislamiento</td><td style="width: 50%;"></td></tr> <tr><td>Tipo de conexión</td><td></td></tr> <tr><td>Ref de los rodamientos</td><td></td></tr> <tr><td>Temperatura °C</td><td></td></tr> <tr><td>Sentido de giro</td><td></td></tr> <tr><td>Factor de servicio</td><td></td></tr> <tr><td>Tipo de Servicio</td><td></td></tr> <tr><td>Eficiencia %</td><td></td></tr> </table>	Clase de Aislamiento		Tipo de conexión		Ref de los rodamientos		Temperatura °C		Sentido de giro		Factor de servicio		Tipo de Servicio		Eficiencia %																									
Clase de Aislamiento																																									
Tipo de conexión																																									
Ref de los rodamientos																																									
Temperatura °C																																									
Sentido de giro																																									
Factor de servicio																																									
Tipo de Servicio																																									
Eficiencia %																																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">Características del Equipo</td></tr> <tr><td style="width: 50%;">Tipo de Equipo</td><td style="width: 50%;"></td></tr> <tr><td>Tipo de Motor</td><td></td></tr> <tr><td>Fabricante</td><td></td></tr> <tr><td>No. Serie</td><td></td></tr> <tr><td>Modelo</td><td></td></tr> <tr><td>Fecha de Instalación</td><td></td></tr> <tr><td>Potencia</td><td></td></tr> <tr><td>Voltaje</td><td></td></tr> <tr><td>Corriente</td><td></td></tr> <tr><td>Frecuencia</td><td></td></tr> <tr><td>Velocidad</td><td></td></tr> <tr><td>Peso</td><td></td></tr> <tr><td>No. De Fases</td><td></td></tr> <tr><td>No. De Polos</td><td></td></tr> <tr><td>Grado de Protección</td><td></td></tr> </table>	Características del Equipo		Tipo de Equipo		Tipo de Motor		Fabricante		No. Serie		Modelo		Fecha de Instalación		Potencia		Voltaje		Corriente		Frecuencia		Velocidad		Peso		No. De Fases		No. De Polos		Grado de Protección		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">Sistema de transmisión de fuerza</td></tr> <tr><td style="width: 50%;">Tipo de acople</td><td style="width: 50%;"></td></tr> <tr><td>Torque nominal</td><td></td></tr> <tr><td>Torque de arranque</td><td></td></tr> </table>	Sistema de transmisión de fuerza		Tipo de acople		Torque nominal		Torque de arranque	
Características del Equipo																																									
Tipo de Equipo																																									
Tipo de Motor																																									
Fabricante																																									
No. Serie																																									
Modelo																																									
Fecha de Instalación																																									
Potencia																																									
Voltaje																																									
Corriente																																									
Frecuencia																																									
Velocidad																																									
Peso																																									
No. De Fases																																									
No. De Polos																																									
Grado de Protección																																									
Sistema de transmisión de fuerza																																									
Tipo de acople																																									
Torque nominal																																									
Torque de arranque																																									
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">Sistema de Lubricación</td></tr> <tr><td style="width: 50%;">Tipo de lubricante</td><td style="width: 50%;"></td></tr> <tr><td>Tipo de refrigeración</td><td></td></tr> </table>	Sistema de Lubricación		Tipo de lubricante		Tipo de refrigeración																																			
Sistema de Lubricación																																									
Tipo de lubricante																																									
Tipo de refrigeración																																									
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">Ambiente en el que opera</td></tr> <tr><td style="width: 50%;">grado de protección</td><td style="width: 50%;"></td></tr> </table>	Ambiente en el que opera		grado de protección																																					
Ambiente en el que opera																																									
grado de protección																																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">Recomendaciones y Observaciones</td></tr> <tr><td colspan="2"> </td></tr> </table>		Recomendaciones y Observaciones																																							
Recomendaciones y Observaciones																																									

Crterios para estimar la frecuencia de falla.

 CRITERIOS PARA ESTIMAR LA FRECUENCIA DE FALLA.			
Categoria	Tiempo medio entre falla en años (TMEF)	Frecuencia: Numero de fallas por año λ	Interpretacion de la probabilidad
5	$TPEF < 1$	$\lambda > 1$	Es probable que ocurran varias fallas en un año.
4	$1 < TPEF < 5$	$0.2 < \lambda \leq 1$	Es probable que ocurran varias fallas en 5 años, pero es poco probable que ocurra en 1 año.
3	$5 < TPEF < 10$	$0.1 < \lambda \leq 0.2$	Es probable que ocurran varias fallas en 10 años, pero es poco probable que ocurra en 5 años.
2	$10 < TPEF < 100$	$0.01 < \lambda \leq 0.1$	Es probable que ocurran varias fallas en 100 años, pero es poco probable que ocurran en 10 años.
1	$TPEF < 100$	$0.01 \leq \lambda$	Es poco probable que ocurran en 100 años.

Categoría de Impacto para análisis de criticidad.

 <p style="text-align: center;">CATEGORIAS DE IMPACTO PARA ANALISIS DE CRITICIDAD</p>					
Categoría	Daños al personal	Impacto en la población	Impacto Ambiental	Daño a las instalaciones	Perdida de la producción
5	Muerte o incapacidad total, enfermedad en uno o mas miembros de la empresa	Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o mas miembros	Daños irreversibles al ambiente que violen regulaciones y leyes ambientales	Daños irreparables a las instalaciones que generan altos costos a la empresa.	Mayor al 50% de perdida de producción diaria.
4	Incapacidad parcial, permanente, heridas severas en uno o mas miembros de la empresa requiere suspensión laboral	Incapacidad parcial, permanente , daños o enfermedades en al menos un miembro de la población	Daños irreversibles al medio ambiente pero que no violan regulaciones y leyes ambientales	Daños irreparables a las instalaciones pero que generan altos costos a la empresa.	De 20% a 50% de perdida de la producción diaria.
3	Daños o enfermedades severas de varias personas de la instalación, daños reportables	Puede resultar en la hospitalización de al menos 3 personas. Requiere tratamiento medico o primeros auxilios	Daños irreversibles regables sin violación de regulaciones, la restauración puede ser acumulada.	Daños irreparables a las instalaciones pero que no generan altos costos a la empresa.	De 10% a 20% de perdida de la producción.
2	El personal de la planta requiere tratamiento medico o primeros auxilios, daños reportables	Puede resultar en heridas o enfermedades leves	Minimos daños ambientales sin violación de leyes y regulaciones	Daños minimos a las instalaciones que no generan altos costos a la empresa	De 5% a 10% de perdida de la producción diaria.
1	No se esperan heridas o daños físicos	sin efecto en la población	Sin daños ambientales	Sin daños a las instalaciones	Hasta 5% de perdida de la producción diaria.

Matriz de Criticidad

F R E C U E N C I A	5	M	M	A	A	A
	4	M	M	A	A	A
	3	B	M	M	A	A
	2	B	B	M	M	A
	1	B	B	B	M	A
		1	2	3	4	5
		IMPACTO				

B	Criticidad Baja
M	Criticidad Media
A	Criticidad Alta

F R E C U E N C I A	5	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
	4	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100
	3	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75
	2	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
	1	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
		IMPACTO																				

- | | | |
|---|-----------------|------------------------------------|
| B | Criticidad Baja | $5 \leq \text{Criticidad} \leq 29$ |
|---|-----------------|------------------------------------|
- | | | |
|---|------------------|-------------------------------------|
| M | Criticidad Media | $30 \leq \text{Criticidad} \leq 49$ |
|---|------------------|-------------------------------------|
- | | | |
|---|-----------------|--------------------------------------|
| A | Criticidad Alta | $50 \leq \text{Criticidad} \leq 125$ |
|---|-----------------|--------------------------------------|

Propuesta de Planeamiento de mantenimientos Mensuales y Anuales



Propuesta de planeamiento Año 20XX

	Enero					Febrero				Marzo					Abril				Mayo				Junio			
Descripcion	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
UNIDAD 1100																										
Equipo			A			M				M					M				M					M		
Equipo								A		M					M				M					M		
Equipo			A			M				M					M				M					M		
Equipo			A			M				M					M				M					M		
UNIDAD 1200																										
Equipo		M						A			M				M				M					M		
Equipo		M						A			M				M				M					M		
Equipo		M					M					A			M				M					M		
UNIDAD 1300																										
Equipo			M					A			M					M				M				M		
Equipo			M					M				A				M				M				M		
UNIDAD 2100																										
Equipo			M					M			M					A				M				M		
Equipo			M					A								A				M				M		
UNIDAD 2200																										
Equipo				M				A				M					M			A					M	
Equipo				M				A				M					M				M			A		

Rutas diarias: Se realizaran todos los dias de lunes a viernes a partir de las 8:00 am

Rutas semanales: Todos los lunes, Unidad 1100 y 1200; Martes, Unidad 1300; Miercoles Unidad 2100 y 2200.

Gamas mensuales: se indica con una M en la semana en que deben realizarse

Gamas Anuales: Se indican con una A en el mes en que deben realizarse

Parada Anual: Se realiza en Febrero

Orden de Trabajo Correctiva

	ORDEN DE TRABAJO	N.º Orden:	
Datos generales			
Equipo:		Fecha de emisión:	
Solicitante:			
Nivel de prioridad:	URGENTE <input type="checkbox"/>	IMPORTANTE <input type="checkbox"/> A REALIZAR EL DÍA: <input type="checkbox"/>	
Descripción			
Síntomas:			
Riesgos del trabajo (Precauciones a tener en cuenta)			
<input type="checkbox"/> Alto nivel de ruido. Aconsejable el uso de protectores acústicos. <input type="checkbox"/> Excesivo ruido. Absolutamente obligatorio el uso de protectores acústicos. <input type="checkbox"/> Golpes en la cabeza (muchas vigas y salientes a la altura de la cabeza). Obligatorio el uso de casco. <input type="checkbox"/> Algunas zonas calientes. Tomar precauciones para no tocar zonas marcadas como calientes. <input type="checkbox"/> Partes móviles. Precaución para no tocar partes en movimiento. Controlar buen estado de las protecciones. <input type="checkbox"/> Riesgos eléctricos. No tocar cables, ni manipular los equipos bajo tensión. <input type="checkbox"/> Productos químicos abrasivos. Evitar el contacto con la piel. <input type="checkbox"/> Otros:			
		Firma del operario	
EQUIPOS DE PROTECCIÓN:			
<input type="checkbox"/> Casco.	<input type="checkbox"/> Gafas segur.	<input type="checkbox"/> Guantes. <input type="checkbox"/> Cinturón segur.	
<input type="checkbox"/> Protec. acústicos.	<input type="checkbox"/> Botas segur.	<input type="checkbox"/> Otros:	
Herramientas y medios a preparar			
Trabajo realizado			
Situación de la orden: <input type="checkbox"/> Finalizada. <input type="checkbox"/> Finalizada provisionalmente. <input type="checkbox"/> Pendiente.			
<i>Operario</i>	<i>Fecha</i>	<i>Hora inicio</i>	<i>Hora final</i>
TOTAL HORAS			
Repuesto consumido			
<i>Cantidad</i>	<i>Descripción</i>	<i>P. unitario</i>	<i>Total</i>
TOTAL REPUESTOS			
Observaciones:			

Orden de trabajo Preventiva



GAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	Frecuencia: Diaria	Código Gama
	Edición:	Esp: MEC
INSPECCIÓN GENERAL DIARIA	Fecha:	HOJA:

instalación a inspeccionar o revisar:

Operario: _____ Fecha: _____

Hora inicio: _____ Hora final: _____ T. normal: _____ minutos

Herramientas	Equipo de Protección
Termómetro infrarrojos.	Casco. Gafas de seguridad. Botas de seguridad. Protectores acústicos.

Riesgos del trabajo (precauciones a tener en cuenta)

- 1.-Excesivo ruido. Absolutamente obligatorio el uso de protectores acústicos.
- 2.-Golpes en la cabeza (muchas vigas y salientes a la altura de la cabeza). Obligatorio el uso de casco.
- 3.-Algunas zonas calientes. Tomar precauciones para no tocar zonas marcadas como calientes.
- 4.-Partes móviles. Precaución para no tocar partes en movimiento. Controlar buen estado de las protecciones.
- 5.-Riesgos eléctricos. No tocar cables, ni manipular los equipos bajo tensión.

Materiales	Código materiales

Equipo	Descripción	Resultado	Rango normal
Compr. 1	Comprobar ausencia de fugas, ruidos y vibraciones.		
	Temperatura de entrada de aire.		
	Temperatura de etapas: $T_2 =$ °C; $T_3 =$ °C; $T_4 =$ °C.		
	Presión de salida de aire.		
	Vibraciones de etapas: $E_1 =$; $E_2 =$; $E_3 =$; $E_4 =$.		
	Presión de aceite: P. antes ref. = ; P. despues ref. = .		
	Nivel de aceite compresor y del motor.		
	Temperatura de aceite.		
	Estado aparente del filtro de admisión.		
	Estado aparente del filtro de aceite.		
	Temperatura bomba de lubricación (medir con termómetro infrarrojos): $T =$.		
	Consumo del motor: $A =$.		
	Purgar condensados.		
	Comprobar que todas las alarmas están apagadas.		
Temperatura cojinetes motor: T. del = ; T tras = .			
Compr. 1	Comprobar ausencia de fugas, ruidos y vibraciones.		
	Temperatura de entrada de aire.		
	Temperatura de etapas: $T_2 =$ °C; $T_3 =$ °C; $T_4 =$ °C.		
	Presión de salida de aire.		
	Vibraciones de etapas: $E_1 =$; $E_2 =$; $E_3 =$; $E_4 =$.		
	Presión de aceite: P. antes ref. = ; P. despues ref. = .		
	Nivel de aceite compresor y del motor.		
	Temperatura de aceite.		
	Estado aparente del filtro de admisión.		
	Estado aparente del filtro de aceite.		
	Temperatura bomba de lubricación (medir con termómetro infrarrojos): $T =$.		
	Consumo del motor: $A =$.		
	Purgar condensados.		
	Comprobar que todas las alarmas están apagadas.		
Temperatura cojinetes motor: T. del = ; T tras = .			

9. REFERENCIAS

- [1] Partes Fundamentales de un Motor Eléctrico,
<https://sites.google.com/site/279motoreselectricos/partes-fundamentales-de-un-motor-electrico>.
- [2] Manual de motores eléctricos- Andrés Videla Flores Ingeniero Civil Eléctrico. 2016.
- [3] Diagnóstico del estado actual del sector reparación y rebobinado de motores. 2017.
- [4] Organización y gestión integral de mantenimiento - Santiago García Garrido 2003.
- [5] IEEE Standard Definitions for Use in Reporting Electric Generating Unit Reliability, Availability, and Productivity IEEE 762/2006.
- [6] Condition monitoring and diagnostics of machines – General guidelines ISO/FDIS 17359:2002(E)
- [7] Metodología Análisis de Criticidad (AC). - Aprendizaje sin fronteras - Sistema de confiabilidad operacional, 2015.
- [8] IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery, IEEE 43-2000 (R2006).
- [9] Prueba a Rotores Jaula de Ardilla en motores de inducción. - Motor Tico - Boletín mensual, 2013.
- [10] ISO 2372 “Vibración mecánica de máquinas con velocidades de operación entre 10 y 200 revoluciones por segundo”, 1974.
- [11] ISO 3945 “Medida y evaluación de la severidad de vibración en grandes máquinas rotativas; velocidades de operación entre 10 y 200 revoluciones por segundo”, 1985.
- [12] ISO 2373 “Vibración mecánica en cierta maquinaria eléctrica rotativa con alturas de eje entre 80 y 400mm-Medida y evaluación de la severidad de la vibración”, 1987.

- [13] ISO 10816 “Evaluación de la vibración en una máquina mediante medidas en partes no rotativas”, 2014.
- [14] Guía de aplicaciones de la termografía en mantenimiento industrial, FLUKE. 2005.
- [15] Motors and Generators NEMA MG-1. 2017.
- [16] La placa de características del motor eléctrico de inducción, Ing. Oscar Núñez Mata.
- [17] Ensayos no destructivos. Inspección con líquidos penetrantes. Principios generales, norma IRAM-CNEA Y 500-1001, 1986.
- [18] Pruebas de hi-pot en dc según la norma IEEE 95-2002.
- [19] Condition monitoring and diagnostics of machines -- Data interpretation and diagnostics techniques -Part 1: General guidelines, ISO / DIS 13379. 2012.
- [20] Condition monitoring and diagnostics of machines -- Prognostics -- Part 1: General guidelines, ISO / CD 13381. 2015.
- [21] Rodamientos clases tipos montaje SFK, 31 de ago. de 2013.
- [22] Detectando fallas en rodamientos utilizando métodos de prueba eléctricos y mecánicos de vibración. ALL TEST Pro, 2009.