

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



TÉCNICAS DE INSPECCIONES PREDICTIVAS APLICADAS A MÁQUINAS ELÉCTRICAS

**INFORME DE SUFICIENCIA
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO ELECTRICISTA**

**PRESENTADO POR:
LEANDRO BAZÁN ZARAZÚ**

**PROMOCIÓN
1997-I**

**LIMA-PERÚ
2010**

**TÉCNICAS DE INSPECCIONES PREDICTIVAS
APLICADAS A MÁQUINAS ELÉCTRICAS**

A mis padres
Y a mi familia
Por el apoyo brindado

SUMARIO

En el presente trabajo se establecen los procedimientos técnico operativos para el diagnóstico predictivo de las máquinas eléctricas contribuyendo así a reducir las pérdidas por paradas inesperadas de la planta, minimizar fallas imprevistas, mantener elevada la confiabilidad de los equipos, y de manera especial, reducir la curva de aprendizaje de quienes deben realizar los diagnósticos predictivos.

Seguir los procedimientos para el diagnóstico predictivo es importante por cuanto las máquinas eléctricas son parte primordial de los procesos productivos (construcción, extracción, procesamiento, etc.) y una falla en la cadena productiva pondría en riesgo a la empresa por pérdidas económicas debidas al no poder lograr las cuotas de producción establecidas y cómo consecuencia de no cumplir con los contratos existentes.

Las inspecciones predictivas que se desarrollan en el presente documento son: Alineamiento Láser, Balanceo dinámico, Análisis vibracional, Termografía, LEAP (Programa de análisis de expectativa de vida), Monitoreo en línea (Pruebas eléctricas), Pruebas convencionales (Pruebas de aislamiento). Para ilustrar la metodología, en el capítulo final se presenta dos casos de estudio: prueba en sitio, y prueba en taller para una empresa minera situada sobre los 4000 msnm.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	
PLANTEAMIENTO DE INGENIERÍA DEL PROBLEMA	3
1.1 Descripción del problema	3
1.2 Objetivos del trabajo	3
1.3 Evaluación del problema	3
1.3.1 La importancia de la Máquina Eléctrica en la industria	3
1.3.2 Problemas que afectan a la Máquina Eléctrica	4
1.4 Alcance	4
1.5 Síntesis del trabajo	5
CAPITULO II	
MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	6
2.1 Gerenciamiento del ciclo de vida de la Máquina Eléctrica	6
2.1.1 Bases del análisis: Diagrama de vida	6
2.1.2 Análisis de expectativa de vida: Beneficios.....	6
2.2 Tipos de inspecciones predictivas	8
2.2.1 Alineamiento Láser.....	8
2.2.2 Balanceo dinámico	12
2.2.3 Análisis vibracional	17
2.2.4 Termografía	19
2.2.5 LEAP (Programa de análisis de expectativa de vida)	20
2.2.6 Monitoreo en línea (pruebas eléctricas).....	24
2.2.7 Pruebas convencionales (pruebas de aislamiento).....	25
CAPITULO III	
METODOLOGÍA PARA LAS INSPECCIONES PREDICTIVAS	29
3.1 Alineamiento Láser	29
3.1.1 Objetivo y alcance	29
3.1.2 Documentos de referencia.....	29
3.1.3 Definiciones y abreviaturas.....	29
3.1.4 Responsabilidades	30
3.1.5 Condiciones de seguridad	30

3.1.6	Condiciones de medio ambiente.....	31
3.1.7	Equipos y materiales	31
3.1.8	Método	31
3.1.9	Registros	33
3.2	Balanceo dinámico	33
3.2.1	Objetivo	33
3.2.2	Alcance	33
3.2.3	Definiciones.....	33
3.2.4	Responsabilidad	33
3.2.5	Desarrollo	34
3.2.6	Anexos	34
3.2.7	Registros	34
3.2.8	Referencias	34
3.3	Análisis vibracional	35
3.3.1	Objetivo y alcance	36
3.3.2	Documentos de referencia.....	36
3.3.3	Definiciones y abreviaturas.....	36
3.3.4	Responsabilidades	37
3.3.5	Equipo y materiales	37
3.3.6	Método	37
3.3.7	Registros	38
3.4	Termografía.....	38
3.4.1	Objetivo y alcance	38
3.4.2	Documentos de referencia.....	38
3.4.3	Definiciones y abreviaturas.....	38
3.4.4	Responsabilidades	39
3.4.5	Condiciones de seguridad	40
3.4.6	Condiciones de medio ambiente.....	40
3.4.7	Equipos y materiales	41
3.4.8	Método	41
3.4.9	Registros	41
3.5	LEAP (Programa de análisis de expectativa de vida)	41
3.5.1	Colección de datos	41
3.5.2	Análisis de datos	42
3.5.3	Cálculo de las tensiones.....	42
3.6	Monitoreo en línea (pruebas eléctricas).....	45

3.6.1	Objetivo y alcance	45
3.6.2	Documentación de referencia	45
3.6.3	Definiciones y abreviaturas.....	45
3.6.4	Responsabilidades	46
3.6.5	Equipo y materiales	46
3.6.6	Método	46
3.6.7	Registros	34
3.7	Pruebas convencionales (pruebas de aislamiento).....	47
3.7.1	Objetivo	48
3.7.2	Alcance	48
3.7.3	Documentos de referencia.....	48
3.7.4	Responsabilidades	48
3.7.5	Condiciones de seguridad	48
3.7.6	Condiciones de medio ambiente.....	49
3.7.7	Equipo y materiales	49
3.7.8	Teoría y propósito de la prueba	50
3.7.9	Método de prueba	51
3.7.10	Registros	51
CAPITULO IV		
CASOS DE ESTUDIO		
4.1	Mantenimiento en sitio.....	52
4.1.1	Aspectos preliminares	52
4.1.2	Trabajos realizados	54
4.1.3	Resultados obtenidos	58
4.2	Mantenimiento en taller	58
4.2.1	Resumen	59
4.2.2	Objeto.....	59
4.2.3	Comprobaciones en el taller	60
4.2.4	Trabajos a realizar	64
4.2.5	Trabajos pendientes	64
4.2.6	Personal a disposición.....	64
4.2.7	Comentarios	64
4.2.8	Documento anexo del informe técnico de mantenimiento en el taller.....	64
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		
BIBLIOGRAFÍA.....		
		67

INTRODUCCIÓN

El trabajo tiene la finalidad de servir cómo referencia para la realización de inspecciones predictivas a las máquinas eléctricas de tal manera que se eviten pérdidas de producción. No cumplir con la producción y extensivamente pagar multas por no cumplir con los plazos y cuotas de entrega del producto, resulta mucho más oneroso que la invertir en la realización de diagnósticos predictivos que pueden informar sobre la vida útil de las Máquinas Eléctricas (ME) y por consiguiente formular un procedimiento de mantenimiento, recambio o reparación, adelantándose así a la paralización de la producción.

Las ME reemplazan en la mayoría de tareas a la mano de obra, tanto por velocidad, precisión y fuerza. Cada proceso de la industria que requiera optimizar sus procesos de construcción, producción, extracción, etc., hace uso de algún tipo de ME. Entre las industrias que se pueden mencionar están la manufacturera, la papelera, cementera, agroindustrias, pesquera, minera, y otros.

Una falla grave pone en riesgo económico a la empresa y también en su prestigio representando esto pérdidas de clientes. Por ello es sumamente necesario contar con un plan o manual de procedimientos técnicos operativos para la realización de las inspecciones predictivas. De tal manera los beneficiados sabrán la manera correcta de hacer un mantenimiento predictivo óptimo que traiga beneficios a la empresa al reducirse las paradas imprevistas de las ME.

Las ME están expuestas a diversos problemas, tal cómo el desgaste de rodamiento, la temperatura, el bajo aislamiento eléctrico, mala puesta de tierra y contaminación. Es por ello que en el presente informe son desarrollados los procedimientos para las inspecciones predictivas de manera ordenada y detallada, explicando paso a paso su ejecución, orden y requerimientos para cada prueba, recopilación y procesamiento de la información.

Las inspecciones predictivas que se desarrollan en el presente documento son las siguientes: Alineamiento Láser, balanceo dinámico, análisis vibracional, termografía, LEAP (Programa de análisis de expectativa de vida), Monitoreo en línea (pruebas eléctricas), pruebas convencionales (pruebas de aislamiento).

Este informe es realizado basado en la experiencia adquirida por siete años en la empresa ABB en el Departamento de Servicios de mantenimiento y reparación de máquinas eléctricas.

El presente informe está dividido en cuatro capítulos. En el primer capítulo es descrito el problema al cual la metodología desarrollada pretende dar solución. En tal capítulo son establecidos los objetivos de la metodología y se hace una evaluación del problema, primero mostrando la importancia de las ME y luego describiendo los problemas que las afectan. Finalmente son expuestos los alcances y es mostrada una síntesis del trabajo.

En el segundo capítulo, se exponen los conceptos esenciales para la comprensión de la metodología desarrollada. Primero será descrito el gerenciamiento del ciclo de vida de las ME, ahondando en las bases del análisis (diagrama de vida) y el análisis de expectativa de vida (beneficios). Luego se Detallan los aspectos teóricos y técnicos de las inspecciones predictivas.

En el tercer capítulo se explica la metodología para cada una de las inspecciones predictivas, explicando el objetivo, ventajas, materiales, y otros, requeridos para la realización de la referida prueba.

Para finalizar, en el cuarto capítulo son presentados dos casos de estudio, a manera de informe técnico. El primero es un mantenimiento en sitio y el segundo un mantenimiento en taller para una empresa minera situada sobre los 4000 msnm.

Debo agradecer a la empresa ABB por haberme brindado las facilidades para mí el desarrollo de este informe.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE INGENIERÍA DEL PROBLEMA

En este capítulo se realiza el planteamiento de ingeniería del problema, para ello primero se describe el problema y luego se expone el objetivo del trabajo, también se evalúa el problema y se precisan los alcances del informe, para finalmente presentar una síntesis del diseño presentado.

1.1 Descripción del problema

Riesgo de baja productividad por fallas en las ME por ausencia de procedimientos técnico operativos para la realización del diagnóstico predictivo.

Las ME son parte primordial de los procesos productivos (construcción, extracción, procesamiento, etc.) una falla en la cadena productiva ponen en riesgo a la empresa por pérdidas económicas debidas al no poder lograr las cuotas de producción establecidas y por consecuencia no cumplir con los contratos existentes.

El costo por pérdida de producción es mucho mayor que el que se invierte en los diagnósticos predictivo que pueden informar sobre la vida útil de las ME, y por consiguiente formular un procedimiento de mantenimiento, recambio o reparación.

1.2 Objetivos

Establecer los procedimientos técnico operativos para el diagnóstico predictivo de las ME contribuyendo así a reducir las pérdidas por paradas inesperadas de la planta, minimizar fallas imprevistas, mantener elevada las confiabilidad de los equipos, y de manera especial, reducir las averías de fallas de quienes deben realizar los diagnósticos predictivos.

1.3 Evaluación del problema

La evaluación del problema se enfoca desde 1) La importancia de la Máquina Eléctrica en la industria y 2) Los problemas que afectan a la Máquina Eléctrica.

1.3.1 La importancia de la Máquina Eléctrica en la industria

Las máquinas eléctricas pueden ser clasificadas en motores AC y motores DC. Cada uno de ellos cuenta con diversos tipos.

Los motores AC pueden ser: Asíncronos (de rotor bobinado, de jaula ardilla), síncronos, máquinas especiales de velocidad variable.

Los motores DC pueden ser: Generadores y motores (Shunt, Series y Compound). La

Figura 1.1 muestra imágenes de algunas ME.

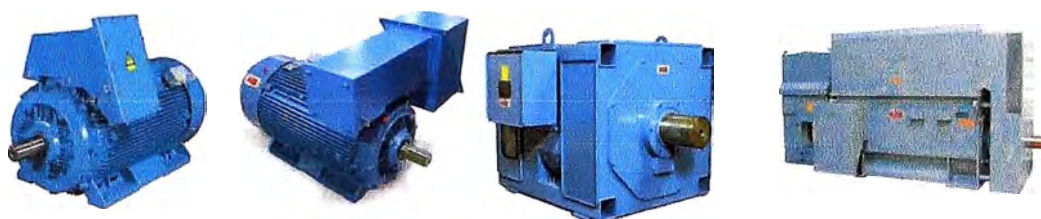


Figura 1.1 Ejemplos de ME

Las ME reemplazan en la mayoría de tareas a la mano de obra, tanto por velocidad, precisión y fuerza. Cada proceso de la industria que requiera optimizar sus procesos de construcción, producción extracción, etc., hace uso de algún tipo de ME. Entre las industrias que se pueden mencionar están la manufacturera, la papelera, cementera, agroindustrias, pesquera, minera, etc.

Las ME deben ser adecuadamente seleccionadas para las aplicaciones que lo requieran. A estas ME se les debe dar un mantenimiento predictivo a fin de adelantarse a problemas de paralización en la producción. La empresa que detiene o reduce su producción no podrá cumplir con la meta programada y podrá ser penalizada por no entregar el producto dentro del plazo establecido, además su imagen se verá mermada para futuras contrataciones.

En conclusión, una falla grave pone en riesgo económico a la empresa y también en su prestigio representando esto pérdida de clientes. Por ello es sumamente necesario contar con un plan o manual de procedimientos técnico operativos para la realización de las inspecciones predictivas. De tal manera los beneficiados sabrán la manera correcta de hacer un mantenimiento predictivo óptimo que traiga beneficios a la empresa al reducirse las paradas imprevistas de las ME.

1.3.2 Problemas que afectan a la Máquina Eléctrica

Las siguientes son todos los aspectos que afectan el rendimiento o vida útil de una ME. Estas serán explicadas en detalle el Marco Teórico Conceptual.

- Desgaste de rodamiento.- Se efectúa el análisis vibracional y alineamiento Láser.
- Temperatura.- Relacionada con la temperatura ambiental y la misma que se genera en el lugar de trabajo por las mismas máquinas. Se hacen pruebas de termografía.
- Bajo aislamiento eléctrico, mala puesta de tierra, etc..- Producido por una inadecuada red eléctrica o las descargas atmosféricas. Se hacen mediciones de resistencia óhmica, resistencia de aislamiento, índice de polarización, absorción dieléctrica.
- Contaminación. Debida a las partículas en suspensión propias del medio ambiente o producidas por los procesos de producción. Se realiza la prueba de absorción dieléctrica.

1.4 Alcance

En este informe se desarrolla el manual de procedimientos técnicos operativos para la

realización de diagnósticos predictivos aplicadas a las ME. Se presentan dos casos de estudio para motores operando en una empresa minera situada sobre los 4000 msnm, en la sierra central. El primer caso es prueba en sitio, y la segunda es prueba en taller.

1.5 Síntesis del trabajo

En el presente informe son desarrollados los procedimientos para las inspecciones predictivas de manera ordenada y detallada, explicando paso a paso su ejecución, orden y requerimientos para cada prueba, recopilación y procesamiento de la información. Para ilustrar la metodología, en el capítulo final se presenta dos casos de estudio. Las inspecciones predictivas que se desarrollan en el presente documento son las siguientes:

- Alineamiento Láser
- Balanceo dinámico
- Análisis vibracional
- Termografía
- LEAP
- Monitoreo en línea (Pruebas eléctricas)
- Pruebas convencionales (Pruebas de aislamiento)

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

En este capítulo se exponen las bases teóricas conceptuales más importantes para la comprensión del sistema descrito en el presente informe.

Los temas a tratar son: 1) Gerenciamiento del ciclo de vida de la Máquina Eléctrica, y 2) los tipos de inspecciones predictivas.

2.1 Gerenciamiento del ciclo de vida de la Máquina Eléctrica

El modelo del gerenciamiento del ciclo de vida de productos, se diseña para proporcionar ayuda (atención) dinámica de servicios para la disponibilidad y al buen funcionamiento de los equipos.

El modelo no solo entrega ayuda a los usuarios finales, sino que además asegura el cambio de los equipos (suave), programado a una nueva máquina en el final de la vida del servicio del equipo. La Figura 2.1 muestra el ciclo de vida del gerenciamiento de toda máquina eléctrica en general.

Para el gerenciamiento se debe tomar en cuenta los siguientes dos conceptos

2.1.1 Bases del análisis: Diagrama de vida

Los materiales y componentes de máquinas eléctricas son sujetos a tensiones térmicas, eléctricas, ambientales y mecánicas. Esto lleva a un proceso de degradación de los materiales. El material se encuentra en condición de fallar por consecuencia de fallas transientes. La Figura 2.2 muestra el diagrama de vida. En ella se puede apreciar en las líneas verticales (azul) son tensiones de desbalances desiguales que originan averías transientes, y en la línea en declive (roja) los esfuerzos externos que influyen en el comportamiento de la operación de la máquina. Al cruzarse ambas líneas se produce la falla

2.1.2 Análisis de expectativa de vida: Beneficios

LEAP (Programa de análisis de expectativa de vida) se hace especial, debido a que tiene la capacidad de seguir la evolución de los defectos en un cierto plazo (función del tiempo), por lo que LEAP puede ser integrado al plan de mantenimiento como parte de su estrategia de mantenimiento. La Figura 2.3 muestra el diagrama de beneficios. En ella se puede apreciar en las líneas verticales y en declive lo mismo que la anterior figura, la línea punteada es evitar la falla mediante la corrección de un plan de mantenimiento.

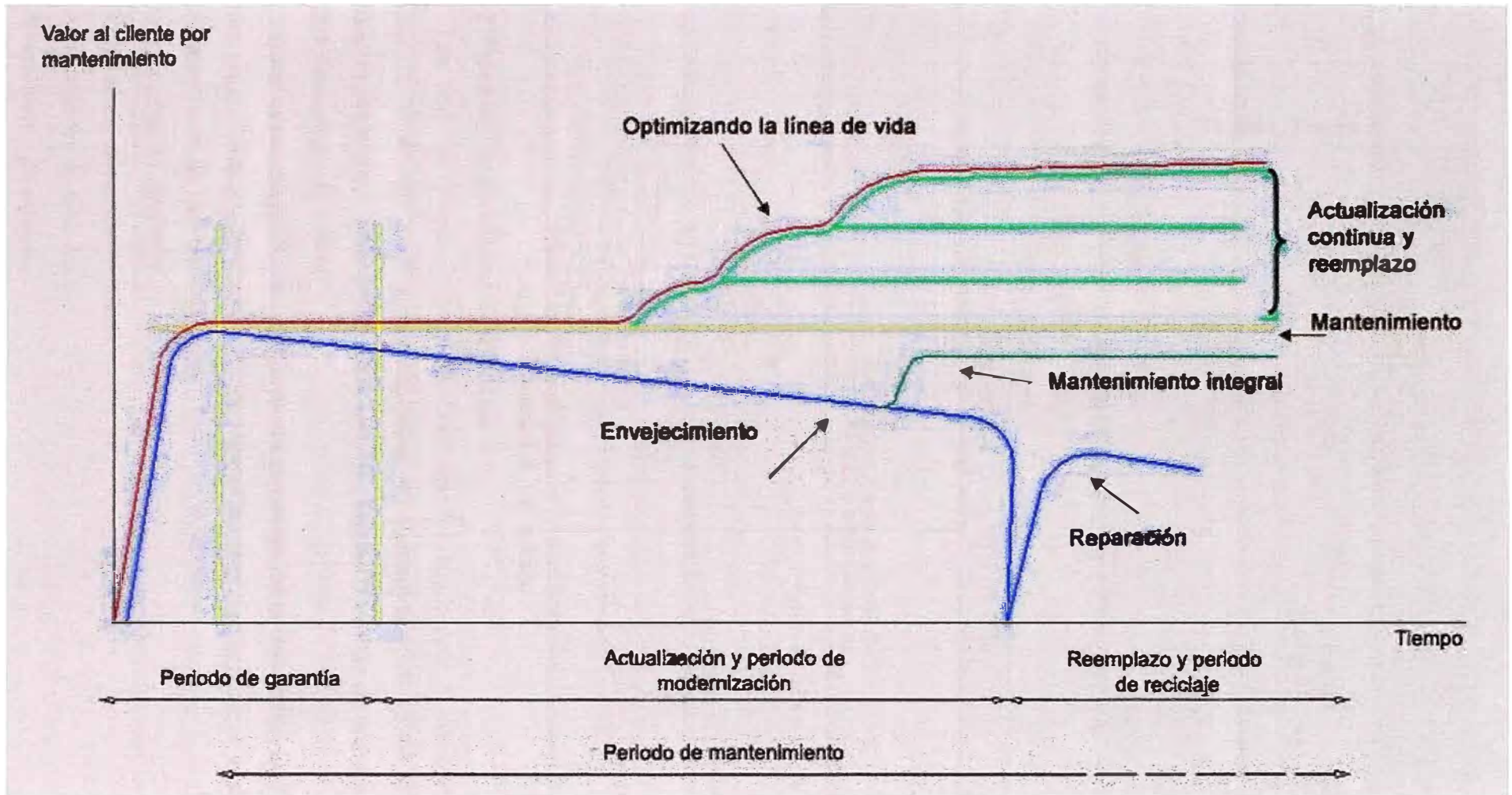


Figura 2.1 Ciclo de gerenciamiento de las ME

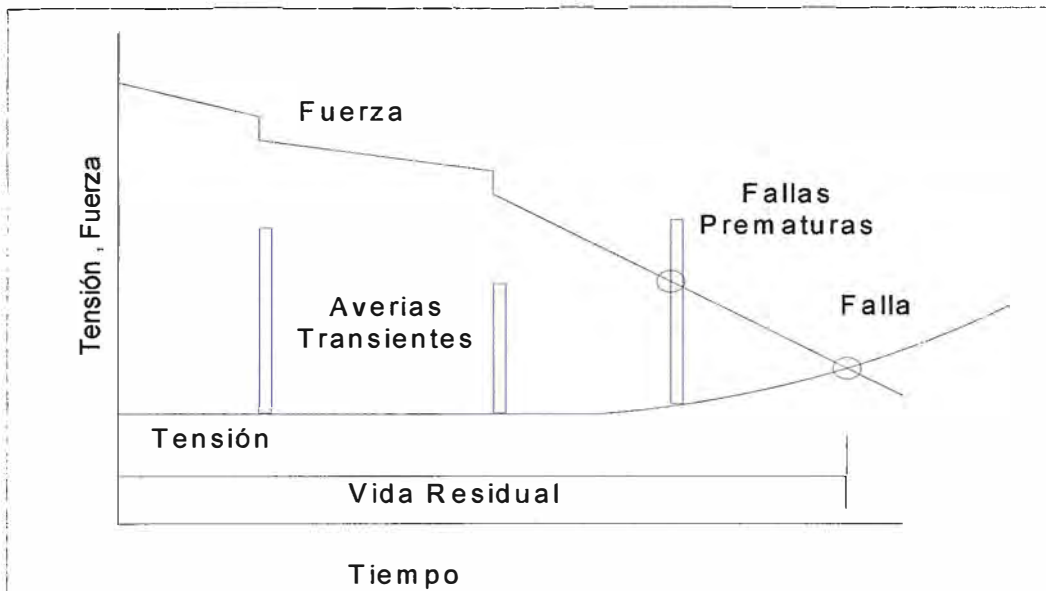


Figura 2.2 Diagrama de vida

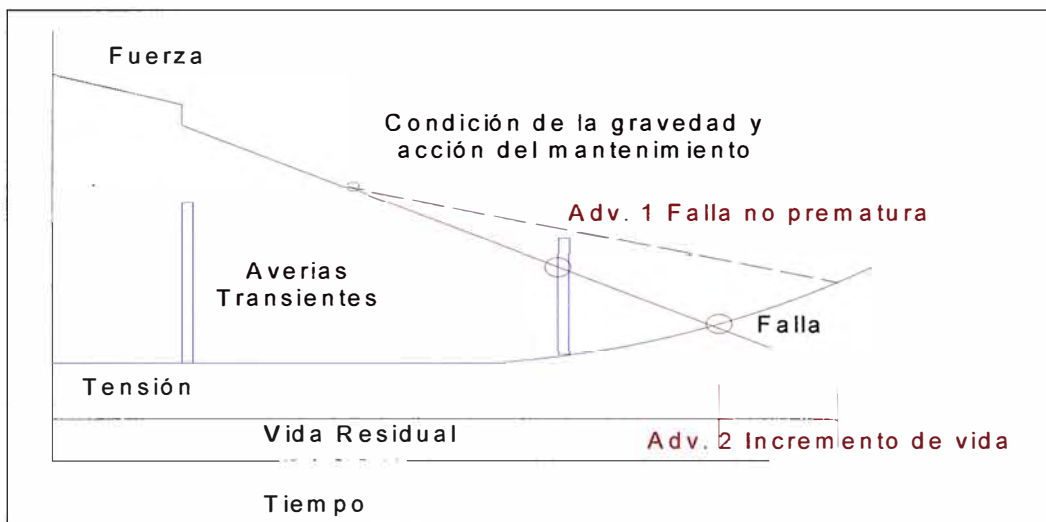


Figura 2.3 Beneficios

2.2 Tipos de inspecciones predictivas

Los tipos de inspecciones predictivas son las siguientes: 1) Alineamiento láser, 2) Balanceo dinámico, 3) Análisis vibracional, 4) Termografía, 5) LEAP, 6) Monitoreo en línea (Pruebas eléctricas), 7) Pruebas convencionales (Pruebas de aislamiento)

2.2.1 Alineamiento Láser

Tiene como propósito la corrección de precisión de la desviación de la línea de ejes entre equipo motriz y conducido. El alineamiento Láser puede realizar lo siguiente:

- Alineamiento de tren de máquinas.
- Verificación de pata floja.
- Verificación dilatación térmica.
- Alineamiento de ejes cardan.
- Alineamiento de poleas.

La Figura 2.4 muestra un ejemplo de alineador Láser



Figura 2.4 Alineador Láser D525 – Easy Láser

a. Importancia del alineamiento

El alineamiento de las ME es importante por cuanto

- Reduce las fuerzas excesivas radiales y axiales en los rodamientos prolongando su vida útil. El aumento de carga en 20% en un rodamiento debido a desalineamiento disminuye la vida útil en 50%.
- Elimina la posibilidad de falla del eje por fatiga cíclica.
- Minimiza el desgaste de los componentes del acoplamiento.
- Reduce el consumo de energía.
- Reduce los niveles de ruido y vibración.
- Evita excesos de temperatura en la máquina.

b. Cimentaciones, Soportes base y tuberías.

Mucho de los problemas de desalineamiento se deben al diseño de la instalación, deterioro de los soportes-brida, ó a la misma carcasa de la máquina.

El tiempo que una máquina permanecerá alineada con precisión, dependiendo de posibles movimientos por su peso y vibración, así como por el calor transmitido por conducción y radiación por la máquina al plato, concreto y estructura, dependerán de una adecuada cimentación.

La cimentación puede ser: 1) Rígida o 2) Flexible.

b.1 Cimentación Rígida

La cimentación rígida brinda una plataforma estable para la sujeción de la máquina. Este tipo de cimentación es más fácil de construir que las flexibles. En maquinarias con tuberías sin soportes pueden producirse fuerzas extremas. Se puede aislar el movimiento residual mediante la adición al bloque de cimentación material absorbente de vibración.

b.2 Cimentación Flexible

Brinda una plataforma estable para la sujeción de la máquina eléctrica, permitiendo que la instalación completa se mueva en el caso de fuerzas exteriores (tensión de tuberías).

Son más difíciles de construir y mantener que las cimentaciones rígidas. Si existe excesiva vibración por períodos largos pueden producirse daños potenciales.

c. Acoplamientos

Son elementos de máquinas que sirven para unir un par de ejes con el fin de transmitir potencia ó movimiento. Se fabrican para hacer conexiones semi-permanentes y por tanto se desconectan solo para hacer reparaciones ó en cambios de instalación.

La selección está en función de la Potencia, $P = T \times W$ (Torque multiplicado por la velocidad angular).

Adicionalmente está en función de la temperatura, flexibilidad torsional, capacidad de desalineamiento (paralelo, angular ó mixto).

Existen tres tipos de acoplamientos: rígidos, flexibles e hidráulicos.

c.1 Acoplamiento Rígido

Son usados en los sistemas con pequeños desalineamientos y en situaciones donde las potencias altas se transmiten de eje a eje ó en aplicaciones de bombas verticales.

c.2 Acoplamiento Flexible

Los acoples flexibles están diseñados para corregir el desalineamiento entre los ejes, y absorber choques, fácil de instalar y desmontar.

c.3 Acoplamiento Hidráulico

Consta de un impulsor enchavetado al eje conductor, en forma de concha con aletas radiales y un segundo elemento rotor enchavetado al eje conducido semejante al primero, unido por aceite que sirve de puente para el paso de la potencia o el torque.

El sistema funciona al girar el impulsor se crea en el fluido una fuerza centrífuga que impulsa hacia la periferia el aceite. Como éste no puede salir entra a la cavidad del rotor con lo cual adquiere un movimiento de remolino ó vértice estableciéndose la unión entre los dos ejes.

d. Definiciones de desalineamiento

Es la desviación de posición relativa del eje desde una línea central de rotación colineal medida en los puntos de transmisión de una potencia cuando el equipo está en funcionamiento a sus condiciones normales de operación. Los tipos de desalineamiento son: Paralelo, Angular y Mixto.

La medición del desalineamiento se define por la posición relativa existente entre su línea de centro de rotación comparada con una línea recta del otro eje estacionario visto

desde dos planos (horizontal y vertical).

Los factores que afectan el alineamiento de máquinas eléctricas son la velocidad del tren motriz, la máxima desviación en los puntos flexibles de potencia y la distancia entre los puntos flexibles.

Cuando las masas de los acoplamientos no están correctamente maquinados los centros de las líneas centrales de ambos no coinciden originando el denominado "Runout".

Deben realizar inspecciones preliminares de alineamiento. Se debe verificar:

- Inestabilidad ó deterioro de las cimentaciones y soportes.
- Daños ó desgaste de los componentes de las máquinas eléctricas.
- Condiciones excesivas "Runout" (flexión de ejes, maquinado defectuoso de los agujeros de los semicoples), como máximo 0.05mm.
- Problemas de interferencia entre la carcasa de la máquina y su base plate (pata floja), el cual genera distorsión en el centro geométrico del eje de la máquina.
- Fuerzas excesivas producidas por las tuberías ó ductos instalados.

e. Técnicas de alineamiento e instrumentos

Las técnicas de alineamiento son las siguientes: Regla y nivel, Método Axial Radial (Face – Rim), Método Reloj Radial y Galgas (Método Brown – Boveri), Método Dial Invertido(Face – Rim), Método Sistema Láser. Estas serían explicadas a continuación.

e.1 Regla y nivel

Sistema de alineamiento rápido, utilizando en los casos en los que los requisitos de montaje no son exigentes, dado que es poco preciso. Con la regla de acero y un nivel, se sitúan en las generatrices laterales que pueden ser denominadas Este y Oeste (3 y 9) y se irá corrigiendo hasta que los considere alineados. Se comprueba el paralelismo de los platos midiendo en cuatro puntos a 90°.

e.2 Método Axial Radial (Face – Rim)

Método usado cuando uno de los ejes no puede ser rotado. Se puede tener referencia del desalineamiento radial y axial.

Se debe sujetar el soporte de los indicadores firmemente a un eje y posicionar el indicador en la cara y periferia del otro eje. Luego colocar a cero el indicador en la posición 12. Después rotar los diales a intervalos de 90°, tomando lectura a las posiciones horarias 3, 6 y 9 y repetir para verificar los valores tomados.

e.3 Método Reloj Radial y Galgas (Método Brown – Boveri).

Se mide con las galgas la distancia entre los acoplamientos en cuatro posiciones (12, 3, 6, 9). Los dos ejes se mueven conjuntamente a intervalos de 90°, repitiendo las medidas para comprobar las lecturas. Se conseguirá el alineamiento si: $12 = 3 = 6 = 9$.

En la práctica se corrige primero los errores angulares en el plano vertical y luego el horizontal. Luego se buscará corregir el desalineamiento radial.

e.4 Método Dial Invertido (Face – Rim)

Es un método usado en el 60 – 70% de la maquinaria eléctrica. Se debe sujetar el soporte de los indicadores firmemente a un eje y posicione el indicador en la cara y periferia del otro eje.

Se debe colocar a cero el indicador en la posición 12. Luego rotar los ejes con los diales a intervalos de 90°, tomando lectura a las posiciones horarias 3, 6 y 9 y repetir para verificar los valores tomados. La regla válida es: $12 + 6 = 3 + 6$

e.5 Método Sistema Láser

Es un sistema más rápido y de mayor precisión. Se debe efectuar los trabajos de verificación e inspecciones previas.

Se debe instalar los sensores láser emisor, receptor, y se toman las dimensiones. Se deben tomar las dimensiones para el ingreso de la programación del instrumento de medición. Se debe efectuar de dos a tres corridas para verificar el resultado.

Se deben efectuar las correcciones de las desviaciones tanto radial como angular. Medición y compensación del desalineamiento producido por el funcionamiento de las máquinas eléctricas.

2.2.2 Balanceo dinámico

Se define cómo la corrección de la asimetría de masas de equipos rotativos. El desbalance es una condición que existe en un rotor cuando una fuerza o movimiento vibratorio es transmitido a sus cojinetes como resultado de las fuerzas centrífugas, esta fuerza dependerá de la velocidad de rotación y de la cantidad de desbalance.

$$\text{Fuerza Centrífuga (Kg)} = 111.786 \times 10^{-10} (\text{m.g.R}) (\text{RPM})^2$$

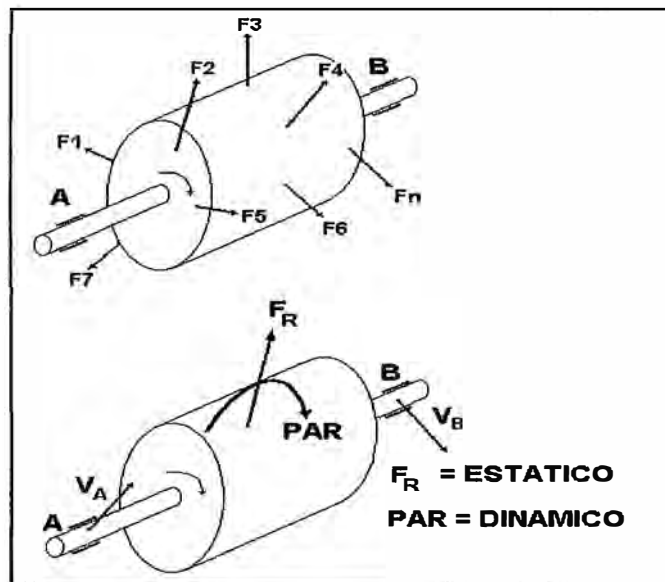


Figura 2.5 Esquema de fuerzas

Las Fuerzas por desbalance de un rotor son equivalentes a una fuerza estática y a un par dinámico. Figura 2.5.

El desbalance se expresa con el producto $m R$ (gr masa - cm), puede convertirse a otro radio variando la masa. $\text{Desbalance} = m_1 R_1 = m_2 R_2 = \dots = m_i R_i$.

a. Causas del desbalance

El efecto combinado de todas las fuerzas centrífugas, como resultado de una desigual distribución de pesos del rotor, son iguales a una fuerza resultante (estática) y a un par (dinámico), que causan el desbalance y las vibraciones durante la rotación del rotor.

Cuando se grafica en un diagrama polar, las vibraciones V_A y V_B , se pueden dividir en:

V_{ESTATICA} Vibración debida a la fuerza estática.

PAR_A y PAR_B Vibración debida al par dinámico de fuerzas.

La Figura 2.6 muestra la descomposición de las vibraciones en los apoyos A y B en una vibración estática y un par dinámico.

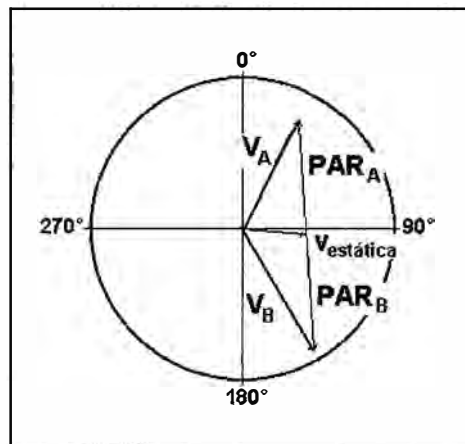


Figura 2.6 Descomposición de las vibraciones

b. Tipos de desbalance de masas

Los tipos son el desbalance estático y el dinámico

b.1 Desbalance Estático

El desbalance estático puede ser eliminado instalando dos pesos de corrección en los planos I y II (son iguales si están ubicadas a un mismo radio), ambas generan una fuerza centrífuga igual y opuesta a la fuerza estática (F_R).

b.2 Desbalance dinámico

El desbalance dinámico puede ser eliminado instalando dos masas ubicadas una de otra a 180° en los planos I y II, que producen un momento o par opuesto al par dinámico. Ver figura 2.7.

c. Calculo del peso de prueba

Se debe seleccionar el peso de prueba. Para calcular el peso de prueba, se considera que cada apoyo soporta 50% del peso del rotor o sea $W = 15 \text{ Kg}$, entonces el peso de prueba debe ser seleccionado de tal manera que genere una fuerza centrífuga igual al

20% de su carga estática.

- Peso de Prueba = $PP \text{ (gr)} = 35782656 W / (\text{RPM}^2 D)$
- Peso de Prueba = $35782656 \times 15 / (950^2 \times 60) = 9.91 \text{ gr}$
- Peso de Prueba = 9.91 gr

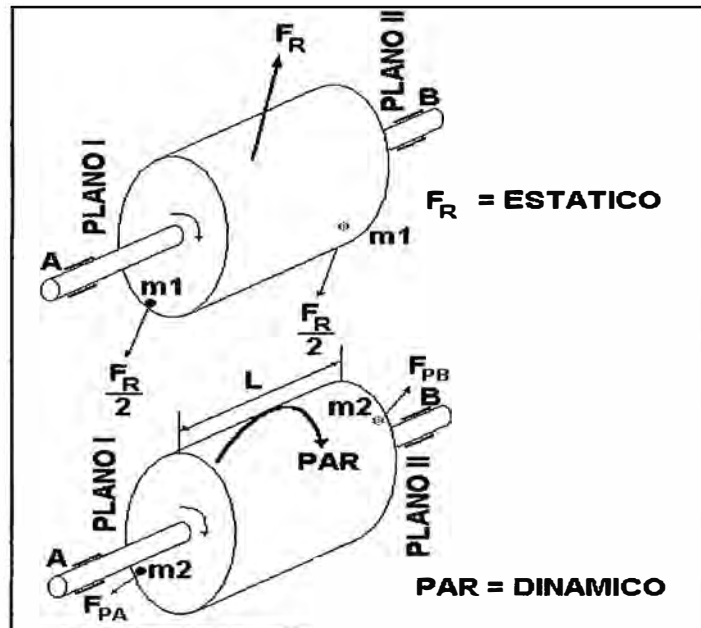


Figura 2.7 Eliminación de las fuerzas estática y dinámica con adición de masas

d. Cálculo de la fuerza centrífuga

Se debe calcular la fuerza centrífuga que genera el peso de prueba, este debe ser igual o menor que el 20% de la carga que soporta el apoyo.

- Fuerza Centrífuga = $55.893 \times 10^{-10} (PP) D \text{ RPM}^2$
- Fuerza Centrífuga = $55.893 \times 10^{-10} \times 9.91 \times 60 \times 950^2 = 3 \text{ Kg}$

Como 3 Kg es igual al 20% del peso que soporta el apoyo (15 Kg); entonces el peso de prueba seleccionado es correcto.

f. Efectos o daño que puede causar el desbalance

Estos pueden ser: Desgaste prematuro o rotura de rodamientos o cojinetes (chumaceras), falla de eje (deflexión, rajaduras o rotura), desprendimiento de bobinas o barras del rotor, detección de fallas en equipos electromecánicos. Como consecuencia de lo anterior, falla del bobinado del estator.

g. Métodos de balanceo

Se encuentran el método de balanceo dinámico, el balanceo de rotores en voladizo, el balanceo de rotores en un plano, el balanceo de rotores en dos planos, el balanceo multiplanar.

g.1 Balanceo dinámico

La masa se encuentra ubicada en el centro radial del eje donde se asientan la posición A y B que determina la ubicación eje y masa. Ver Figura 2.8

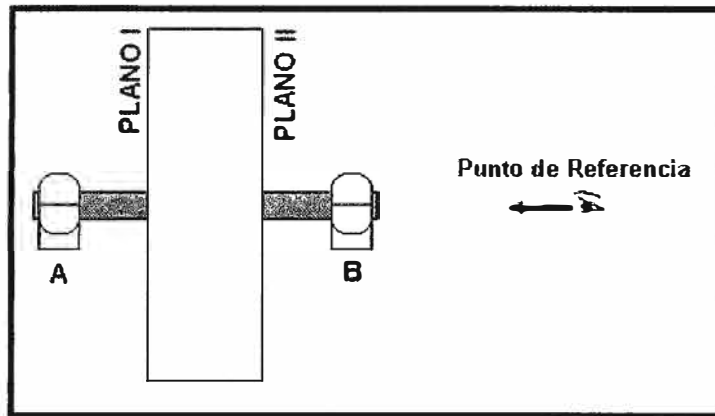


Figura 2.8 Punto de referencia del balanceador con respecto al rotor

g.2 Balanceo de rotores en voladizo

Cuando la masa se encuentra ubicada a un costado de las posiciones relativas A y B que son las que hacen girar mediante un eje acoplado a masa. Ver Figura 2.9

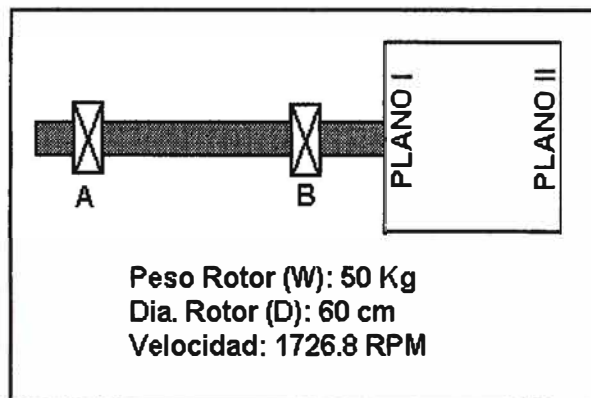


Figura 2.9 Rotor en voladizo con dos apoyos y dos planos para balancear

. Según la Figura 2.10, el observador debe estar en la posición mostrada, es decir frente a la masa.

Por ejemplo las vibraciones iniciales de un rotor en voladizo son las siguientes:

- VAO: 15 a 25° VBO: 20 a 145°
- Selección del Peso de Prueba = 10 gr
- Fuerza Centrífuga = 10 Kg

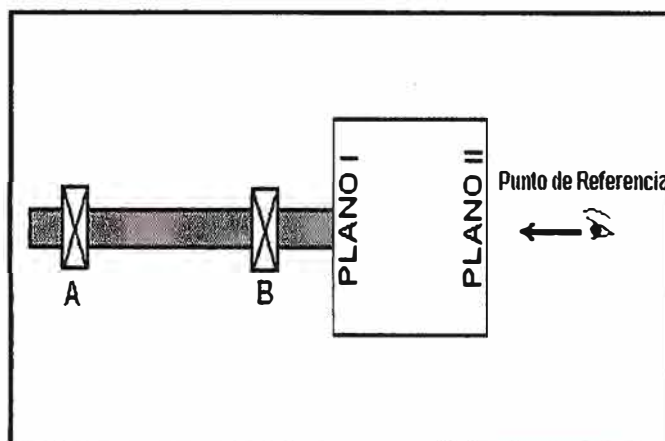


Figura 2.10 Punto de referencia del balanceador con respecto al rotor

g.3 Balanceo de rotores en un plano

VAO y VAB son vectores que representan las amplitudes y ángulos de fase de las vibraciones iniciales. Ver Figura 2.11

Para el ejemplo, estas pueden ser:

- VAO: 12 a 25°
- VBO: 12,3 a 27°

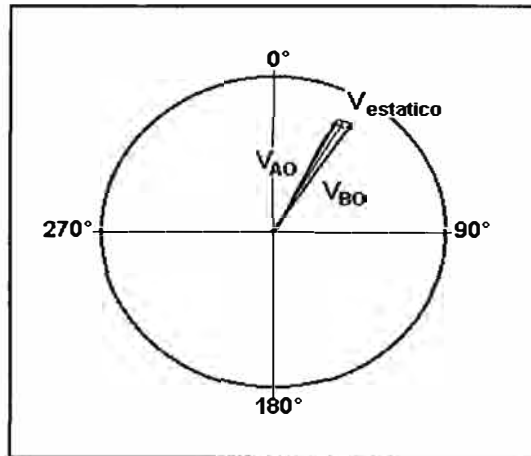


Figura 2.11 Gráfico polar de las vibraciones

g.4 Balanceo de rotores en dos planos

La Figura 2.12 muestra ambos planos de la masa. El observador se sitúa de manera transversal al eje para poder apreciar ambos planos.

Para el ejemplo de corrección del desbalance estático:

- Toma de vibraciones en el apoyo B. VBO: 20 a 145°
- Colocar peso de prueba en plano (PL:I). PPI: 10 a 0°
- Toma de vibraciones en el apoyo B. VBO+TI: 18 a 270°
- Cálculo del peso de corrección del desbalance estático. PC (PL:I): 5,93 gr a 334.07°

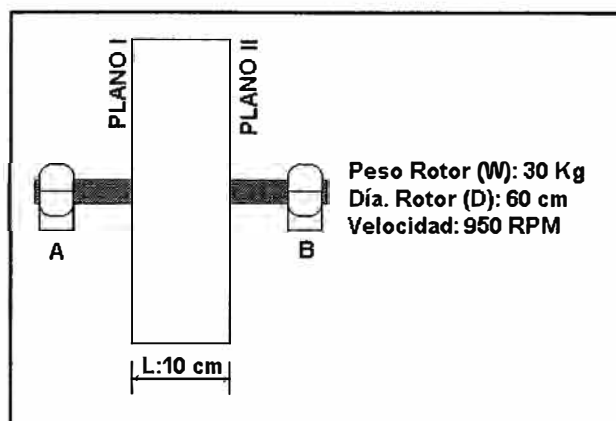


Figura 2.12 Rotor con dos apoyos y dos planos para balancear

g.5 Balanceo multiplanar

La Figura 2.13 muestra varias masas acopladas sobre un mismo eje. El observador se sitúa de manera transversal al eje para poder apreciar ambos planos.

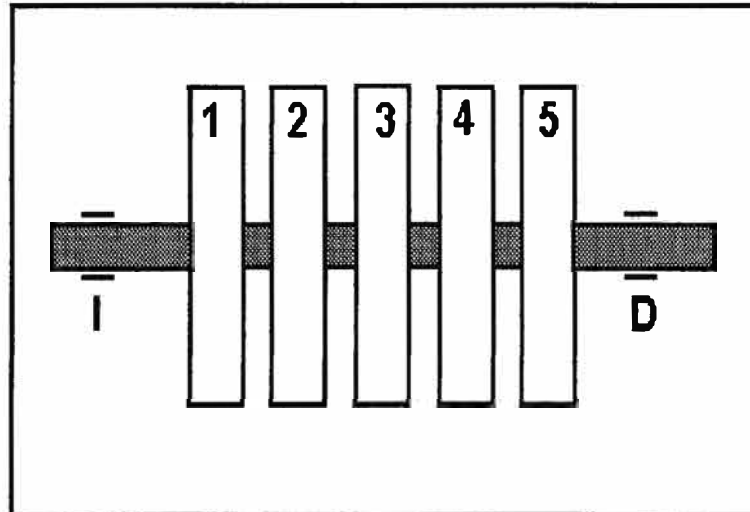


Figura 2.13 Rotor con cinco planos de balanceo

2.2.3 Análisis vibracional

El análisis vibracional es una de las técnicas del mantenimiento predictivo. Se basa en la adquisición y procesamiento (mediante la transformada rápida de Fourier) de la vibración de la maquinaria en condiciones normales de trabajo, sin necesidad de parar la máquina, de tal forma que la información entregada puede ser analizada y determinarse el componente que la origina.

Cabe señalar que todo componente de la máquina (rodajes, engranajes, fajas, etc.) así como los problemas mecánicos y eléctricos tienen una frecuencia de defecto a la que se manifiestan; es decir que por ésta frecuencia nosotros podemos determinar el elemento o componente defectuoso.

a. Daños detectados

Este análisis evalúa las frecuencias rotacionales de vibración, detectando daños en el equipo rotativo tales como: Ejes doblados, Velocidades críticas, Resonancia, además de los que se explican a continuación.

- Desbalance de masas.- Vibración alta en el plano radial. Se manifiesta a la velocidad de giro del rotor. Cuando el desbalance es puro la onda en el tiempo semeja una senoide perfecta.
- Desalineamiento de ejes y polea.-Vibración alta en el plano radial-axial. Se manifiesta a la velocidad de giro generalmente. Cuando la vibración axial sea mayor o igual al 50 % de la lectura radial más elevada, se puede considerar que existe desalineamiento.
- Soltura mecánica (estructural, internas, chumaceras de apoyo).- Se manifiesta mediante múltiples picos de vibración a frecuencias armónicas, de acuerdo a la gravedad del caso y tipo de soltura.
- Daños en rodamientos (pista interior, pista exterior, canastillas, elemento rodante).- Vibración no muy notoria, generalmente de baja amplitud. Se manifiesta mediante picos

de vibración a altas frecuencias no armónicas (distintas de los múltiplos de la velocidad de giro).

- Fallas eléctricas.- las cuales se subdividen en: 1) excentricidad y 2) barras rotas o abiertas.

1. Excentricidad (Entrehierro) del rotor.- El rotor de una ME debe estar centrado. Si este no está bien distribuido en los 360° del motor se produce campos magnéticos desiguales. De no ser así producen, se producen fallas en el aislamiento, y fallas en los rodamientos. Sus tipos son dinámica y estática.

La dinámica es producida por una deflexión en el eje generalmente. El roto se balancea dentro del estator, por lo tanto la inductancia varía. El equipo Baker (Explorer 3000) grafica espectros de frecuencia vs. Amplitud identificando la presencia de excentricidad. Mientras que la estática es aquella en la cual ME esta descentrado pero fijo en un lugar generalmente este tipo de problemas es causando cuando los alojamiento de los roles están desalineados, por un inadecuada alineamiento o por que la carcasa del motor fue torcido cuando se instado en su base.

2. Barras rotas o abiertas.- Se manifiesta a la velocidad de giro en RPM con bandas laterales espaciadas al # de polos x frec. de resbalamiento. Puede presentarse la frecuencia de paso de ranuras con bandas laterales de 2 x frecuencia de línea. Laminaciones sueltas. Aparece 2 x frecuencia de línea con armónicas.

- Daños en cajas de engranaje (dientes rayados, figurados, desgaste anormal, etc.).- Se manifiestan picos de vibración a la frecuencia igual al número de dientes del engranaje por el número de revoluciones del eje que lo contiene.

- Problemas en compresoras, bombas, turbulencia, paso de alabes, cavitación.- Emisión de Informe técnico, que incluye:

Diagrama típico de ubicación de puntos.

Curvas de tendencias de las vibraciones en el tiempo.

Fundamento técnico del diagnóstico.

Conclusiones y recomendaciones para cada equipo evaluado.

Ajuste de las alarmas (según muestra).

(2) Copias originales y (2) CD conteniendo el informe final.

Además se entregará en sitio un reporte preliminar de la evaluación de cada máquina.

b. Equipos para Pruebas

La Figura 2.14 muestra al Analizador de Vibraciones Microlog CMVA 65 – SKF y a un termómetro digital, indispensables para las pruebas del análisis vibracional.

Para obtener un resultado confiable, los equipos sujetos al servicio de Análisis de Vibraciones deberán operar como mínimo a 75% de su carga nominal.



Figura 2.14 Equipos de prueba para análisis vibracional

.c. Beneficios

Los beneficios que se obtienen mediante el Análisis Vibracional:

- Se puede determinar en funcionamiento que componente presenta deterioro y con tendencias podemos ver su degradación en el tiempo.
- Podemos programar el mantenimiento de la maquina con anticipación, adquiriendo los repuestos necesarios y asignando la mano de obra necesaria, etc., consiguiendo a su vez la reducción del tiempo de intervención o reparación.
- Se consigue la máxima vida útil de los componentes de la maquinaria.

2.2.4 Termografía

Es la técnica que detecta la irradiación de los equipos cuando presenta anomalías mecánicas y/o eléctricas, los cuales se traducen en temperaturas.

a. Fallas detectadas:

Estas son:

- Cables de alta tensión.
- Falsos contactos.
- Desalineamiento entre ejes.
- Daños en rodamientos.
- Daños en engranajes.
- Anomalías de lubricación.
- Inspección de tableros eléctricos.
- Inspección de transformadores.
- Inspección termográfica a equipos electromecánicos de acuerdo al programa de mantenimiento predictivo alcanzado.

El Informe técnico, incluye:

- Fundamento técnico del diagnóstico.

- Conclusiones y recomendaciones para cada equipo evaluado.
- (2) Copias originales y (2) CD conteniendo el informe final.
- Además se entrega en sitio un reporte preliminar de la evaluación de cada máquina.

b. Equipos para Pruebas

Para este fin se utiliza una cámara de termografía. La Figura 2.15 muestra a la Therma CAM, que es el nombre comercial de este equipo de Marca: Flir Systems (Tipo: P640). Esta cámara pertenece a la familia de cámaras infrarrojas Serie-P de FLIR con tecnología de punta



Figura 2.15 Equipos de prueba para análisis vibracional

2.2.5 LEAP (Programa de análisis de expectativa de vida)

Es un programa de análisis de expectativa de tiempo de vida. Es una única herramienta de mantenimiento para el aislamiento del devanado del estator de máquinas eléctricas.

LEAP provee de información en el devanado del estator y expectativa de vida y optimizara los planes de mantenimiento de la máquina. LEAP es desarrollado por ABB servicio de máquinas India, el cual está aplicando el servicio por mas de 12 años, con una base de datos de medidas y análisis superior a 4000 máquinas por todo el mundo. Las mediciones son realizadas por ABB Global centros y datos de servicios datos de servicios analizados en el LEAP se centran en la excelencia. Es un acercamiento sistemático al gerenciamiento de mantenimiento de maquinas.

LEAP es una técnica de inspección sustentada por ABB y apoyado por ABB India con la base de datos para el cálculo de la vida útil del aislamiento aplicada para motores y generadores de potencia, basado en el cálculo por elementos finitos.

El LEAP calcula el tiempo de vida del aislamiento de los devanados efectuando una serie de ensayos eléctricos. LEAP no es un paquete de inspecciones, es un acercamiento

sistemático al gerenciamiento de mantenimiento de máquina.

Las oportunidades de inspecciones.

a. Nivel I (Básico).- Calculo de la vida térmica

Cuando una máquina está operando.

b. Nivel II (Estándar).- Impresión digital de sistemas de aislamientos

Cuando a máquina está parada y completamente montada. Sus pruebas son:

- Ensayo DC Absorción.
- Ensayo de tangente delta y capacitancia.
- Análisis de descargas parciales.
- Análisis de corrientes no lineal.

c. Nivel III (Avanzado).- Análisis de elementos finitos.

Cuando a máquina está parada y tapas principales semiabierta.

d. Nivel IV (Premium).- Inspección con rotor removido.

Cuando la máquina está parada y rotor removido

El análisis se realiza en cuatro niveles dependiendo de las oportunidades para la colección de datos sobre el curso de la vida de las máquinas.

La Figura 2.16 muestra la expectativa de vida según el nivel de confiabilidad de gerenciamiento.

La Tabla 2.1 muestra los niveles de inspecciones LEAP, la Tabla 2.2 los procedimientos para mantenimientos según el tiempo de operatividad de la máquina

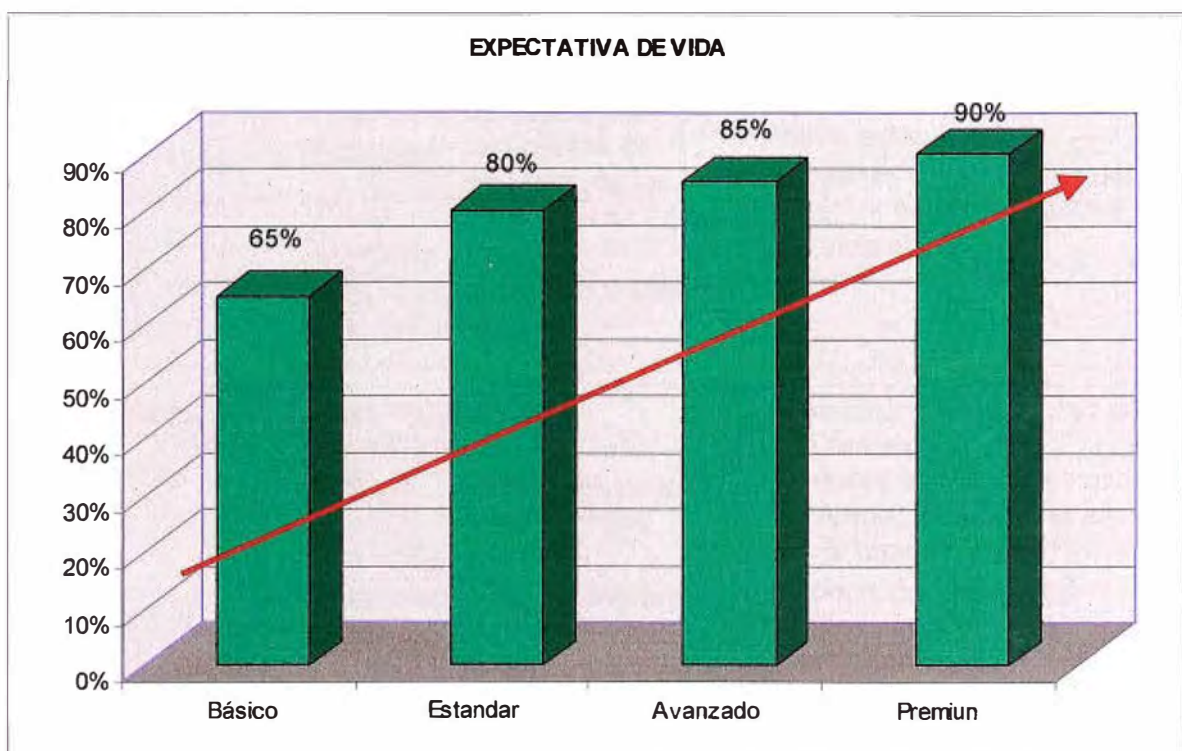


Figura 2.16 Nivel de confiabilidad de gerenciamiento

Tabla 2.1 Niveles de inspecciones LEAP

Niveles Inspección es LEAP		
Niveles de soluciones	Paquetes	Productos a entregar
Básico	Datos de colección (en sitio o remoto). Horas de operario, tensión, corriente, potencia, deslizamiento, arranque/paradas, temperatura (devanados, enfriamiento y ambiente). Ciclos de operación y patrones de carga, fallas e historial de mantenimiento, información de fuentes potencias, interruptor de cable, configuración, etc.	Nivel de confiabilidad del Análisis de la expectativa de vida al 65%.
Estándar	Colección de datos básicos Análisis de corriente de polarización Tangentes delta y análisis de capacitancia. Análisis no lineal del comportamiento del aislamiento. Análisis de descarga parcial.	Condición de la severidad de los devanados del estator por contaminación, envejecimiento, soltura, delaminación, grado del sistema de tensión. Nivel de confiabilidad del análisis de la expectativa de vida al 80%.
Avanzado	Colección de datos estándar Inspección visual en los devanados. Medidas de descargas parciales con puntas de prueba y dinámica de las respuestas mecánicas de las bobinas. Análisis de tensión finales en los devanados.	Condición de severidad de los devanados con paquete estándar + severidad final de los devanados. Nivel de Confiabilidad del Análisis de la expectativa de vida al 85%.
Premium	Colección de datos avanzados. Mapa de soltura de cuñas y uniones de resistencias medidas. Inspección visual, incluye área de ranura. Análisis de esfuerzos de los devanados.	Condición de severidad de los devanados con paquete avanzado + mas severidad de las ranuras en la región. Condición basada en inspección y plan de mantenimiento. Nivel de confiabilidad del análisis de la expectativa de vida a 90%.

Tabla 2.2 Mantenimientos según el tiempo de operatividad de la máquina

Programa de mantenimiento	Nivel 1 (N1)	Nivel 2 (N2)	Nivel 3 (N3)	Nivel 4 (N4)				
intervalo	Máximo 10 000 (horas equivalentes) ó anuales	Máximo 20 000 (horas equivalentes) ó máximo 3 años	Máximo 40 000 (horas equivalentes) ó máximo 6 años	Máximo 80 000 (horas equivalentes) ó máximo 12 años				
Preparación para inspección	Apertura de tapas principales Apertura de cojinetes (si es necesario).	Apertura de tapas principales. Desconexión de cables. Apertura de cojinetes (si es necesario).	Apertura de tapas principales. Apertura de intercambiador de calor.	Apertura de tapas principales. Remoción de rotor y excitatriz. Apertura de intercambiador de calor.				
Instrumentos y herramientas		Megger, estator. Megger, rotor. LEAP (Diagnostico eléctrico del estator)	Megger, estator Megger, rotor. Video baroscopio. Osciloscopio.	Megger, estator. Megger, rotor. Equipo de remoción de rotor. Torquimetro. Osciloscopio.				
Elementos sobresalientes	Tapas de cojinetes. Sellos de ejes. Tiristores. Diodos. Pecas especiales según sea el caso. Aneis pescadores. Intercambiadores de calor del motor.	De acuerdo con las sugerencias y recomendaciones de inspección N1.	De acuerdo con las sugerencias y recomendaciones N1 y N2. Intercambios de calor. Kit de desmontaje de rectificador. Kit de desmontaje de cojinetes.	De acuerdo con recomendaciones N1, N2 y N3. Kit de manutención de rotor.				
Tiempo de parada del equipo	Aproximada 1 día	Aproximadamente 2 días	Aproximadamente 5 días	Aproximadamente 10 días				
Horas equivalentes = Horas de operación total + Número de partidas * 20								
Intervalo de horas x 1000	10	20	30	40	50	60	70	80
	L1	L2	L1	L3	L1	L2	L3	L4
Aproximado en años	1.2	2.5	3.5	4.6	5.8	6.9	8.1	10.4

En conclusión el LEAP:

- Es aplicado a máquinas de cualquier fabricante (banco de datos ABB India).
- Toma diez horas para la colecta de datos con una máquina parada (Pruebas fuera de Línea).
- No es necesario el desmontaje del equipo para coleccionar datos. Sólo tener acceso a la

caja de terminales (Desconexión de cables de salida de alimentación).

- Ensayos no destructivos, Tensión máxima de ensayo = Tensión de Fase.

2.2.6 Monitoreo en línea (pruebas eléctricas)

Evalúa la condición de operación de los parámetros eléctrico de las ME.

a. Datos recolectados

Se toman los datos del motor (de placa) y los datos eléctricos de operación de motor evaluando lo siguiente:

- Calidad de energía (Sobre tensión, desbalance de tensión, distorsión de armónicos)
- Medida de armónicos, medidas de potencias).
- Performance del motor (Factor de servicio, condición de operación).
- Condiciones de la corriente (Sobrecorriente, desbalance de corriente).
- Análisis de espectros (Armónicos, corriente, torque).
- Análisis de Carga (% de carga, variación del torque).
- Análisis de la eficiencia energética (Eficiencia, medidas de potencias).
- Torque (Espectro de torque, torque riple).
- Análisis transientes de condición de operación y arranque del motor.

La emisión de Informe técnico, incluye:

- Fundamento técnico del diagnóstico.
- Conclusiones y recomendaciones para cada equipo evaluado.
- (2) copias originales y (2) CD conteniendo el informe final.

Además se entregará en sitio un reporte preliminar de la evaluación de cada máquina.

b. Equipos para Pruebas

Se utiliza un equipo de pruebas dinámicas Baker Explorer 3000, además de un pirómetro láser. Ver Figura 2.17.



Figura 2.17 Equipo de pruebas dinámicas

2.2.7 Pruebas convencionales (pruebas de aislamiento)

Las pruebas son las siguientes: a) Resistencia óhmica, b) Resistencia de aislamiento, c) Prueba de alto potencial Hipot, d) Prueba de comparación de impulsos Surge Test, y e) Pruebas Bar to Bar

a. Resistencia óhmica

Mide la simetría de valores de la resistencia de los devanados.

b. Resistencia de aislamiento

La resistencia medida del aislamiento será determinada por la tensión aplicada y la corriente resultante, siendo la suma de tres componentes: 1) Corriente de Carga Capacitiva, 2) Corriente de Absorción y 3) Corriente de Fuga.

La Corriente Total puede medirse con un instrumento MEGGER (Ohmmetro), aplicando una cierta tensión. Cómo ésta depende del tiempo que se aplique la tensión, es necesario esperar antes de tomar una lectura, con el objeto de que se cargue el equipo bajo prueba.

La Figura 2.18 muestra la curva típica de resistencia de aislamiento (en megaohms con tiempo para el método de "corto tiempo" o "lectura puntual".

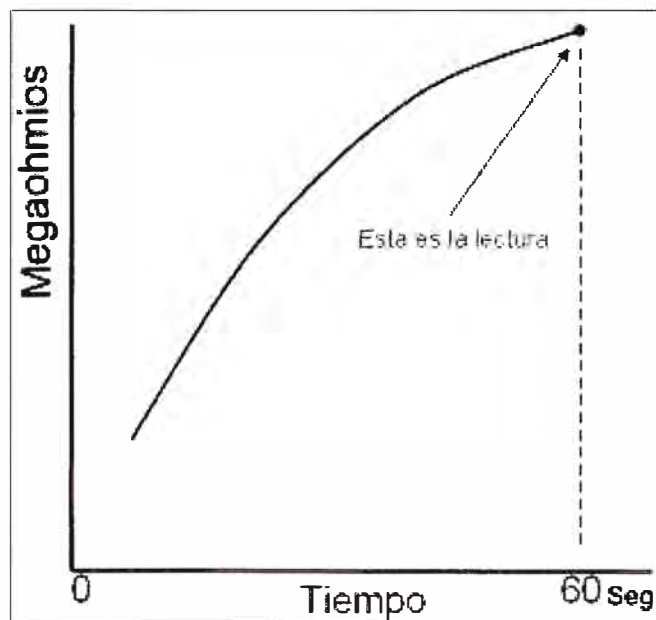


Figura 2.18 Curva típica de resistencia de aislamiento

De esta manera, se pueden realizar tres métodos comunes de prueba:

b.1 Método Lectura Puntual

En este caso, se conecta el equipo MEGGER a través del aislamiento que se va a probar y se opera por un período de 30 ó 60 segundos. Con este método se utiliza la siguiente regla: "La resistencia de aislamiento debe ser aproximadamente 1 Megaohm por cada 1.000 V, con un valor mínimo de 1 Megaohm". Es importante ver el comportamiento de las resistencias en el tiempo para determinar el estado del

aislamiento.

b.2 Método Tiempo-Resistencia

Este método no requiere de pruebas anteriores y es independiente del tamaño del equipo bajo prueba.

Se requiere tomar muestras sucesivas en tiempos específicos (cada 30 segundos en un intervalo de tres a cinco minutos), tomar nota de las lecturas y graficar la curva resultante. A mayor tiempo se esperaría una resistencia mayor, para inferir que el aislamiento está en buenas condiciones.

La Figura 2.19 es una curva típica que muestra el efecto de absorción dieléctrica en una prueba “tiempo-resistencia” hecha en equipo capacitativo, tal como el embobinado de un motor.

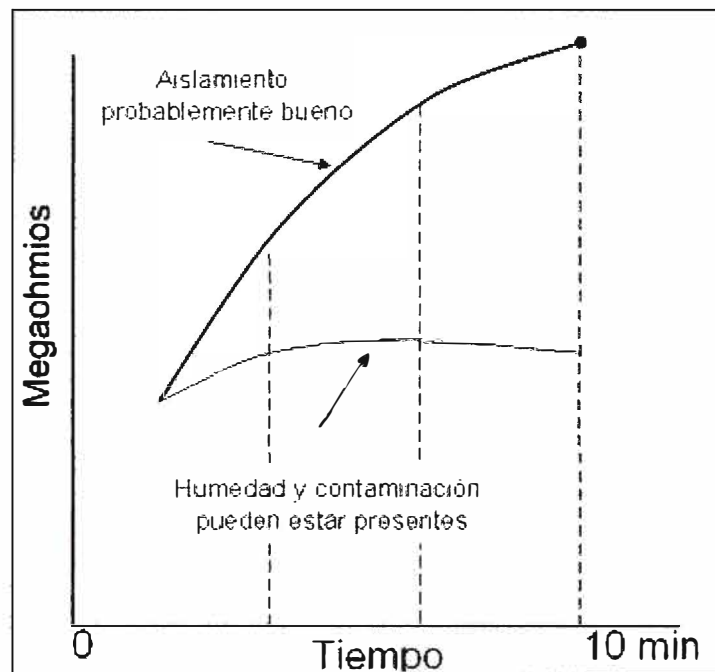


Figura 2.19 Efecto de absorción dieléctrica en una prueba “tiempo-resistencia”

b.3 Absorción Dieléctrica (AD)

Es la razón entre la lectura al minuto y la lectura a los 30 segundos. Ver Tabla 2.3.

Tabla 2.3 Valores y clasificación para absorción dieléctrica

	60 segundos / 30 segundos
Pobre	menor de 1.1MΩ
Cuestionable	de 1.1 a 1.24
Aceptable	de 1.25 a 1.3
Excelente	más de 1.6

b.4 Índice de Polarización (IP)

Es el valor del aislamiento tomando a los 10 minutos entre el valor de 1 minuto. Ver

Tabla 2.3.

Tabla 2.3 Valores y clasificación para índice de polarización

	10 minutos / 1 minuto
Peligro	menos de 1.0 MΩ
Pobre	de 1.0 a 1.4
Cuestionable	de 1.5 a 1.9
Aceptable	de 2.0 a 2.9
Bueno	de 3.0 a 4.0
Excelente	más de 4.0

Las pruebas de IP y AD se usan para evaluar la condición del aislamiento de las ME y sus circuitos asociados. Siendo posible encontrar envejecimiento, contaminación o fuga a tierra.

La máxima θ t de operación de una ME depende principalmente de los materiales usados en su construcción.

Aislamiento clase B θ t máx. 130 °C

Aislamiento clase F θ t máx. 155 °C

Aislamiento clase H θ t máx. 180 °C

Aislamiento clase C θ t máx. 220 °C

b.5 Prueba de alto potencial Hipot

Tensión de prueba de alto potencial en DC, que detecta el debilitamiento y/o fallas del sistema de aislamiento a masa y entre bobinas.

b.6 Prueba de comparación de impulsos Surge Test

Prueba de alto potencial en DC ó pruebas de Impulso, que detecta el debilitamiento y/o falla del sistema de aislamiento entre espiras o cruces entre espiras.

b.7 Pruebas Bar to Bar

Verificación de la simetría entre delgas de las armaduras.

c. Emisión de Informe técnico

Incluye:

Fundamento técnico del diagnóstico.

Conclusiones y recomendaciones para cada equipo evaluado.

(2) Copias originales y (2) CD conteniendo el informe final.

Además se entregará en sitio un reporte preliminar de la evaluación de cada máquina.

d. Equipos para Pruebas

Para esta prueba se utiliza

1. Analizador de Aislamiento Baker D65R. Figura 2.20
2. Megohmetro.
3. Pirómetro Láser.
4. Microhmímetro.



Figura 2.20 Analizador de Aislamiento Baker D65R

Es necesario recalcar que, para realizar las pruebas estáticas, cada motor se encuentre desenergizado e inoperativo.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA PARA LAS INSPECCIONES PREDICTIVAS

En el presente capítulo se describe la metodología para la realización de las pruebas predictivas de las ME. Este capítulo se divide en:

1. Alineamiento Láser
2. Balanceo dinámico
3. Análisis vibracional
4. Termografía
5. LEAP
6. Monitoreo en línea (Pruebas eléctricas)
7. Pruebas convencionales (Pruebas de aislamiento)

Estos aspectos serán desarrollados a continuación:

3.1 Alineamiento Láser

En esta sección se ven los siguientes puntos: 1) Objetivo y alcance, 2) Documentos de referencia, 3) Definiciones y abreviaturas, 4) Responsabilidades, 5) Condiciones de seguridad, 6) Condiciones de medio ambiente, 7) Equipos y materiales, 8) Método, 9) Registros.

3.1.1 Objetivo y alcance

El presente procedimiento tiene por objetivo evaluar y corregir los niveles de desalineamiento de ejes de maquinas montadas horizontalmente, hasta alcanzar los limites permisibles según las recomendaciones otorgadas por los fabricantes, de acuerdo a la velocidad de trabajo de la maquina evaluada.

3.1.2 Documentos de referencia

Se pueden mencionar a los siguientes:

- a) Principio de medición mediante tecnología y sistemas LASER – DAMALINI.
- b) Tolerancias de desalineamiento recomendadas DAMILINI . EASY LASER (Suecia).

3.1.3 Definiciones y abreviaturas

Los conceptos importantes para esta prueba son

- a) Cota.- Lectura vertical (positivo o negativo) respecto a un punto fijo de referencia.
- b) Desnivel.- Diferencia de cotas entre dos puntos evaluados.
- c) Desplazamiento.- Las líneas centrales de los ejes no son concéntricas sino paralelas.

- d) Desviación angular.- Las líneas centrales de los ejes no son paralelas.
- e) Maquinas Móvil.- La maquina que se ajusta tomando como referencia una maquina fija.
- f) Maquina S.- Maquina fija. No debe moverse
- g) Unidad M.- La unidad de medición que se instala en la maquina móvil.
- h) Unidad S.- La unidad de medición que se instala en la maquina fija.
- i) Láser.- Amplificación de la luz por estímulo en la emisión de radiaciones (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)
- j) Unidad D22.- Unidad emisora del láser, la cual es puesta a nivel (mediante burbujas) y sirve como punto de referencia para la evaluación del desnivel, este es montado de tal forma de que este inamovible en todo el ensayo, este es nuestro punto de referencia.
- k) Unidad D5.- Unidad receptora del láser, encargada de recibir la señal y registrar el valor correspondiente, presenta una base magnética para que sea fácilmente colocada en cualquier posición del elemento a inspeccionar.

3.1.4 Responsabilidades

El responsable de la implementación y cumplimiento de este procedimiento y de proveer los recursos para cumplir satisfactoriamente su trabajo, así como también, de indicar las actividades al grupo de trabajo conformado por operadores técnicos y/o ayudantes es el supervisor de servicio de campo de maquinas eléctricas.

Supervisor prevencionista de la compañía eléctrica, para verificar el presente procedimiento.

3.1.5 Condiciones de seguridad

Son las siguientes:

- El OHS (salud y seguridad ocupacional) planifica y coordina los requisitos de seguridad para ingreso del personal a realizar cualquier trabajo operativo en las instalaciones del cliente, como charla de inducción, charla de medio ambiente, examen medico, etc.
- El supervisor de servicio y/o proyecto, asesorados por OHS elaboran el Análisis de Seguridad en el Trabajo AST en el formato de ABB. Si el cliente tiene otro formato que tenga la misma función de este, entonces se realizara esto en el formato del cliente.
- El Supervisor de servicio y/o proyecto, verifica que el personal, se encuentre con todos sus implementos de seguridad de acuerdo a la actividad a realizar.
- El supervisor de servicio y/o proyecto realizara la inspección todas las herramientas e instrumentos a intervenir en los trabajos.
- El supervisor de servicio y/o proyecto, inspeccionara antes del uso, los arneses para trabajos de altura. El OHS verifica esta actividad.
- El supervisor de servicio y/o proyecto inspeccionara las escaleras a utilizar ya sean de

ABB o del cliente, usando el formato de ABB. El OHS verifica esta actividad.

- El operador señala la zona de trabajo con cintas o mallas, para alertar y evitar que el cliente o persona ajena al trabajo sufra accidente por ingresar a la zona demarcada.
- El supervisor de servicio y/o proyecto y operadores revisan el buen funcionamiento de los equipos eléctricos, mecánicos, etc, a utilizar en cada proceso.
- El supervisor de servicio y/o proyecto verifican las áreas energizadas y tratan las distancias de seguridad para evitar inducción, además identifica las líneas y sistemas energizados.
- El supervisor de servicio y/o proyecto y operadores verifican que todos los equipos eléctricos tengan su puesta a tierra con el fin de minimizar los riesgos de descarga ya que se esta trabajando en áreas energizadas.
- El supervisor de servicio y/o proyecto y operadores verifican que se cuente en el área de trabajo con un extintor de tipo PQS para atender un eventual incendio.

3.1.6 Condiciones de medio ambiente

Son las siguientes:

- El supervisor de servicio y/o proyecto y operadores aseguran de contar con contenedores adecuados (en buen estado y debidamente rotulados) para el almacenamiento temporal de los diferentes tipos de residuos y proceder posteriormente a su disposición final en los depósitos de residuos ubicados en las instalaciones del cliente.
- Al finalizar la jornada de trabajo, el operador procederá a limpiar la zona. Por ningún motivo, los residuos tendrán como receptor final los cursos de agua.

3.1.7 Equipos y materiales

Son los siguientes:

- Equipo de alineamiento láser Easy D670 y accesorios, con hoja de calibración vigente.
- Regla metálica calibrada.
- Láminas calibradas de diversos espesores (0.50, 0.25, 0.20, 0.10 mm, 0.05 mm).
- Gage de laines
- Herramientas mecánicas (llaves, palancas, etc.)

3.1.8 Método

Se explicará lo siguiente: a) Condiciones previas y b) Ejecución.

a. Condiciones previas

Se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- Las superficies de los ejes a usar como referencia (laterales de acoplamiento) deberán estar maquinados y limpios.
- En la medida de lo posible, ambos ejes a alinear, deberán estar acoplados.
- Los ejes de cada equipo (estático y móvil), deberán presentar facilidades de giro, al

menos 180 grados de libertad.

- Se debe efectuar un alineamiento previo (alineamiento grueso) entre ambos ejes (estático y móvil).
- Las estructuras de base – soporte de cada equipo a evaluar, esta deberán brindar suficiente rigidez a condiciones de operación de la maquina.
- Todos los pernos de anclaje deberán estar ajustados (torque recomendado por el fabricante).

b. Ejecución

Aquí se trata el tema en dos ítems: 1) Montaje de las unidades de medición y 2) Alineación aproximada, 3) Corrección de pata coja, 4) Alineación de ejes programa horizontal.

b.1 Montaje de las unidades de medición

Montar las unidades S y M con la ayuda de los soportes y cables conectores: Unidad S, sobre la maquina estática y unidad M, sobre la maquina móvil (maquina a corregir).

b.2 Alineación aproximada.

Si los niveles de desalineamiento son elevados, los haces de luz pueden llegar a salirse de los detectores, en este caso debe realizarse una alineación aproximada:

- Gire los ejes con las unidades de medición en la posición 9, apunte el haz al centro de las dianas cerradas.
- Gire los ejes con las unidades de medición en la posición 3.
- Compruebe donde incide el haz láser y ajústelo a la mitad de la distancia en dirección al centro.
- Ajuste la maquina móvil de forma que el haz láser incida en el centro de ambas dianas.
- Abra las dianas antes de iniciar la medición.

b.3 Corrección de pata coja,

Los pasos son los siguientes.

- Girar lentamente los ejes hasta la posición 12.
- Ingresar las medidas (dimensiones) solicitadas por el equipo de medición.
- Efectuar la primera medida de referencia.
- Desajustar uno de los pernos de anclaje (según lo indicado en la pantalla del equipo de medición, y registrar el valor obtenido. Ajustar dicho perno hasta el torque recomendado por el fabricante.
- Repetir el ítem anterior hasta completar lecturas para cada uno de los anclajes del equipo evaluado.
- Comparar las lecturas obtenidas, hallando la desviación total: Lectura máxima menos lectura mínima obtenida.

- Verificar este resultado con la tolerancia establecida, y corregida de ser necesario.
- Efectuar nuevamente la verificación desde el inicio hasta obtener resultados aceptables.

b.4 Alineación de ejes programa horizontal.

Se debe realizar lo siguiente:

- Introduzca las distancias a medida que lo solicite el sistema.
- Sitúe las unidades de medición en la posición 9 (Programa horizontal), de forma que las marcas queden superpuestas. Ajuste los haces láser con las dianas cerradas. Abra las dianas y registre el primer valor.
- Gire los ejes a la posición 12. Registre el segundo valor.
- Gire los ejes a la posición 3. Registre el tercer valor.
- Los resultados aparecerán en la pantalla. Las posiciones horizontales y vertical de la maquina móvil se muestran de forma numérica y grafica.
- Corregir en primer lugar el desalineamiento angular, hasta obtener resultados aceptables.
- Finalmente, se debe corregir el desalineamiento horizontal, hasta obtener resultados aceptables.

3.1.9 Registros

Registros internos de inspección

3.2 Balanceo dinámico

Se detalla a continuación: el objetivo, alcance, definiciones, responsabilidad, desarrollo, anexos, registros y referencias

3.2.1 Objetivo

Determinar las actividades a seguir para corregir el desbalance dinámico de un rotor.

3.2.2 Alcance

El balanceo dinámico es aplicado a las máquinas eléctricas, atendidas en Taller.

3.2.3 Definiciones

Realizar el balanceo es añadir o remover pesos de corrección, de manera que el eje principal de inercias se aproxime al eje de rotación hasta que la vibración residual está dentro de los niveles considerados como admisibles.

El desbalanceo o desequilibrio es la no coincidencia del centro de gravedad con el centro de rotación, que al girar induce una fuerza centrífuga no compensada que rota a la velocidad de giro.

3.2.4 Responsabilidad

- El Supervisor de Mecánica es responsable por la aplicación de la presente
- Instrucción y el personal del área de mecánica (mecánicos) son responsables por la ejecución y cumplimiento de lo indicado en el punto 3.2.5 de la presente instrucción.

3.2.5 Desarrollo

Se tocan los siguientes temas: elementos de entrada, proceso, documentos externos y elementos de salida

a. Elementos de entrada

- Informe técnico mecánico
- Rotor

b. Proceso

- Realizar la inspección de faja de la balanceadora, antes del inicio de las labores.
- Realizar el balanceo dinámico según indicaciones del Informe Técnico Mecánico, según sea el caso.
- La técnica y los pasos a seguir en el balanceo dinámico son los considerados en las instrucciones en idioma español del Manual "Instruction and Maintenance Manual LM-5000 Balancine Machine" para nuestro equipo Raydine. Asimismo, cuando es el caso, seguir las instrucciones para el manejo de la balanceadora SCHENCK, o equipo Vibscanner
- Una vez que se haya conseguido corregir el desbalanceo y la vibración, asegurar los pesos de corrección y dejar listo para el montaje final.
- Anotar los valores iniciales y finales del balanceo en la Hoja de Balanceo Dinámico, del anexo. Para el caso de la balanceadora Schenk y equipo Vibscanner imprimir reporte.
- En caso de presentarse una no conformidad, remitirse al Procedimiento, de la Referencia.

c. Documentos Externos

- Instruction and Maintenance Manual LM-5000 Balancing Machine, Catálogo Peerless Tool Division
- Instrucciones para el Manejo de la Balanceadora SCHENCK.
- Instrucciones para el manejo del equipo Vibscanner.

d. Elementos de Salida

- Rotor balanceado
- Hoja de Balanceo o Reporte de Balanceo de la máquina SCHENCK

3.2.6 Anexos

Anexo: hoja de balanceo con equipo Raydine. Ver la Figura 3.1.

3.2.7 Registros

Este es mostrado en la Tabla 3.1

3.2.8 Referencias

Control de Productos No Conformes.

Tabla 3.1 Registros

Nombre del Registro	Conservación	
	Lugar	Tiempo
Hoja de Balanceo con equipo Raydine	Mecánica	Mínimo igual al tiempo de garantía del servicio
Reporte de Balanceo de la máquina SCHENCK	Mecánica	Mínimo igual al tiempo de garantía del servicio
Reporte de Balanceo del equipo Vibscanner	Mecánica	Mínimo igual al tiempo de garantía del servicio

HOJA DE BALANCEO CON EQUIPO RAYDINE							
CLIENTE: <input style="width: 100%;" type="text"/>						O.P. <input style="width: 50%;" type="text"/>	
PESO DEL ROTOR <input style="width: 50%;" type="text"/> KG		RADIO DEL PESO EN EL PUNTO A <input style="width: 50%;" type="text"/> cm		RADIO DEL PESO EN EL PUNTO B <input style="width: 50%;" type="text"/> cm			
NUMERACION DEL ROTOR DEL 1 AL: <input style="width: 50%;" type="text"/>				VELOCIDAD DE BALANCEO <input style="width: 50%;" type="text"/> RPM			
PESOS DE BALANCEO				MEDICIONES DE AMPLITUD PICO-PICO			
PUNTO DE APOYO A		PUNTO DE APOYO B		PUNTO DE APOYO A		PUNTO DE APOYO B	
GRAMOS	NUMERO	GRAMOS	NUMERO	MILS	NUMERO	MILS	NUMERO
VALOR INICIAL		(SIN PESO DE PRUEBA)		<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>
<input style="width: 50%;" type="text"/>		PESO DE PRUEBA EN A		<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>
PESO DE PRUEBA EN B		<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>
<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>
<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>
<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>
<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>
<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>
<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>
<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>
<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>
<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>
<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>
<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>
<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>
<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>
<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>
<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>
<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>	<input style="width: 50%;" type="text"/>
FECHA :				BALANCEADO POR :			

Figura 3.1 Anexo, hoja de balance

3.3 Análisis vibracional

Para este ítem se detallan los siguientes aspectos: 1) Objetivo y alcance, 2) Documentos de referencia, 3) Definiciones y abreviaturas, 4) Responsabilidades, 5)

Equipo y materiales, 6) Método, 7) Registros.

3.3.1 Objetivo y alcance

El siguiente procedimiento tiene como objetivo describir los lineamientos generales referentes a la calificación de la condición de los equipos mediante el Análisis Vibracional, según las normas y los estándares nacionales e internacionales vigentes.

3.3.2 Documentos de referencia

Son los siguientes:

- ISO/TC/SC2 - 1994, Establece los límites de severidad de vibraciones en función a la rotación de un máquina.
- ISO 3945, Evaluación de las mediciones de las vibraciones para máquinas entre 600 y 1200 RPM de velocidad. Esta norma estuvo vigente hasta la fecha 1995-12-13; el cual ha sido reemplazado por la norma ISO 10816 -1.
- ISO 10816; SECCION I, II, III, IV, V.

3.3.3 Definiciones y abreviaturas

Para la ejecución de este procedimiento conocer los siguientes conceptos:

- Aceleración.- Cambio de velocidad con respecto al tiempo, usualmente medida en g's.
- Acelerómetro.- Un tipo de transductor usado para medir la aceleración de movimientos mecánicos.
- Amplitud.- Una medida de la energía de movimiento de un objeto vibrando expresada en términos de Pico, Pico a Pico, Promedio o RMS.
- Armónicos.- Frecuencias que ocurren a múltiplos enteros de una frecuencia dada.
- Bandas de Alarma Espectral.- Límites permisibles fijados para determinados rangos de frecuencia en los espectros FFT.
- dB.- Una unidad logarítmica relativa definida por $n = 20 \log_{10} (x/x_{ref})$, donde: n es el número de decibelios, xref es el nivel de referencia (relativo a la escala dB), y x es el valor del dato.
- Desplazamiento.- Distancia recorrida desde la posición de reposo, usualmente medido en milímetros.
- Familia de Máquinas.- Equipos dentro de una Planta que desempeñan una misma función dentro de esta, presentan similares características de diseño, etc.
- FFT.- Transformada Rápida de Fourier, conversión matemática para la forma de onda del tiempo y la frecuencia.
- Forma de onda.- Un gráfico (x-y) con trazos que muestran la variación de la vibración mecánica con el tiempo. El eje y representa a la amplitud y el eje x es el tiempo.
- Frecuencia.- El número de ciclos de un evento por unidad de tiempo. Comúnmente las unidades de frecuencia están dadas ciclos por segundo (Hz), ciclos por minuto (CPM), y

ordenes (múltiplos de la velocidad de corrida del eje).

- Espectro.- Un gráfico (x-y) con trazos detallando frecuencias de vibración mecánica. El eje Y representa a la amplitud y el eje X representa la frecuencia.
- Nivel Total de Vibración (Overall).- Raíz Cuadrada de la suma de los cuadrados de todas las amplitudes de vibración en un espectro FFT.
- Periodo.- El tiempo requerido para completar un ciclo de una onda senoidal, usualmente medida en segundos o milisegundos.
- Sensor de Velocidad.- Un Tipo de transductor usado para medir la velocidad de movimiento mecánico.
- Sensor de desplazamiento.- Tipo de transductor usado para medir el desplazamiento de movimiento mecánico.

3.3.4 Responsabilidades

Se establecen las siguientes responsabilidades:

- Jefe de servicios de máquinas.- Responsable del cumplimiento pleno de las actividades descritas.
- Ing. Jefe de servicios Externos.- Responsable de la emisión de los Informes y Procedimientos, coordinación con el Cliente, Ingeniero Certificado para el diagnóstico mediante Análisis Vibracional. Responsable de la ejecución de las actividades descritas en el presente procedimiento.
- Ing. Inspector de Mantenimiento.- Ingeniero de campo certificado para la inspección y diagnóstico mediante la técnica del análisis de vibraciones. Responsable de las mediciones y apoyo al Ing. Jefe de Servicios Externos.

3.3.5 Equipo y materiales

Equipo Colector y Analizador de Vibraciones marca SKF modelo Microlog CMVA 65, procedencia americana, con acelerómetro multiparamétricos con dos sensores de sensibilidad de 100 y 500 mV / g respectivamente, según la aplicación del caso.

3.3.6 Método

Se determinan: a) Condiciones Previas y b) Ejecución de la Inspección.

a. Condiciones Previas

Los equipos a inspeccionar deberán encontrarse energizados y en operación continua, habiendo alcanzado sus parámetros de operaciones nominales: Corrientes, temperatura de apoyos, presión, porcentaje de carga, etc.

b. Ejecución de la inspección

Aquí se contempla: 1) Planificación de la inspección, 2) Medición y 3) Análisis.

b.1 Planificación de la inspección

Para ello se debe considerar lo siguiente:

- Inspeccionar y verificar visualmente las características técnicas y físicas de la máquina a evaluar (Ubicación, condiciones de montaje, Línea de Producción, Marca, Modelo, Potencia).
- Elaborar una ruta de inspección de vibraciones especificando los puntos y parámetros (velocidad, aceleración, desplazamiento, envolvente, etc.) establecidos para cada máquina a evaluar. Luego transferir la data al equipo colector y analizador de vibraciones.

b.2 Medición

Para la medición se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Indicar y/o marcar en la máquina los puntos estratégicos donde se han destinado para la toma de vibraciones (áreas de mayor proximidad a los apoyos de los ejes).
- Evaluar los niveles de vibraciones con el equipo colector y analizador de vibraciones y mediante la ruta establecida para dicha máquina.
- Transferir los datos obtenidos de vibraciones a una PC, para el diagnóstico espectral final de la condición de la máquina.

b.3 Análisis

Los resultados obtenidos, serán evaluados por el Inspector a cargo.

3.3.7 Registros

Se presenta el Registro de Inspección, Incluido en el informe final. En el caso de que se requiera de mayor información, en cuanto a valores filtrados y espectros, esta será brindada previa solicitud del cliente y aprobación del Jefe de servicios de máquinas.

3.4 Termografía

Esta prueba se explica con los siguientes ítems: 1) Objetivo y alcance, 2) Documentos de referencia, 3) Definiciones y abreviaturas, 4) Responsabilidades, 5) Condiciones de seguridad, 6) Condiciones de medio ambiente, 7) Equipos y materiales, 8) Método, 9) Registros

3.4.1 Objetivo y alcance

El siguiente procedimiento tiene como objetivo describir los lineamientos generales referentes a la calificación de la Condición del los equipos mediante Termografía Infrarroja, según las normas y los estándares nacionales e internacionales vigentes.

3.4.2 Documentos de referencia

Son los siguientes:

- Recomendaciones del fabricante.
- Criterios NETA.
- Criterios ABB.

3.4.3 Definiciones y abreviaturas

Se debe tener en cuenta los siguientes conceptos para el entendimiento de este tipo

de prueba:

- a) Termografía.- Sistema desensibilización de emulsiones fotográficas especiales para radiaciones de baja frecuencia en la región de los rayos infrarrojos.
- b) Termograma.- Gráfico obtenido mediante la Termografía.
- c) Campo de visión instantánea.- Cada una de las áreas de un territorio captadas secuencialmente en un barrido de un sensor remoto.
- d) Calor.- Es una forma de energía en movimiento (fluyente), en la cual la energía térmica es la fluyente.
- e) Temperatura.- Es una medida de la energía térmica contenida en un objeto
- f) Infrarrojo.- Relativo o perteneciente al infrarrojo. Banda espectral que abarca longitud es de onda desde 0.7a100 micrómetros.
- g) Imagen.- Documento gráfico, de aspecto parecido a una fotografía, que resulta de restituir información digital obtenida por un sensor remoto no fotográfico tal como un escáner, un radar, etc.
- h) Conducción.- Es la transferencia de calor desde una región de alta temperatura a una región de temperatura más baja a través de comunicación molecular directa en el interior de un medio o entre medios en contacto físico directo sin flujo del medio material.
- i) Convección.- Es la combinación de conducción y transferencia de energía térmica a través de fluidos en movimiento o el movimiento de grupos de partículas calientes hacia áreas más frías en un medio material.

A diferencia de conducción pura, ahora, el fluido en movimiento está adicionalmente envuelto en la convección.

Este movimiento ocurre en fluidos o en el interior de ellos, pero no en sólidos, porque en estos, las partículas mantienen suposición relativa hasta tal punto que no se permite el movimiento o el flujo en masa de las mismas, y por lo tanto la conexión no puede ocurrir.

j) Radiación.- La radiación presenta una diferencia fundamental respecto a la conducción y la convección: las sustancias que intercambian calor no tienen que estar en contacto, sino que pueden estar separadas por un vacío. La radiación es un término que se aplica genéricamente a toda clase de fenómenos relacionados con ondas electromagnéticas.

3.4.4 Responsabilidades

El responsable de la implementación y cumplimiento de este procedimiento y de proveerlos recursos para cumplir satisfactoriamente su trabajo, así como también, de indicar las actividades al grupo de trabajo conformado por operador es técnicos y/o ayudantes es el Supervisor de Servicios de Campo de Maquinas eléctricas.

Supervisor Prevencionista de los clientes, para verificar el presente procedimiento.

3.4.5 Condiciones de seguridad

Deben ser tomadas en cuenta lo siguiente:

- a) El OHS planifica y coordina los requisitos de seguridad para ingreso del personal a realizar cualquier trabajo operativo en las instalaciones el cliente, como charla de inducción, charla de medio ambiente, examen médico, etc.
- b) El Supervisor de Servicio y/o Proyecto, asesorados por OHS elaboran el Análisis de Seguridad en el Trabajo AST en el formato de ABB. Si el cliente tiene otro formato que tenga la misma función de éste, entonces se realizará esto en el formato del cliente.
- c) El Supervisor de Servicio y/o Proyecto, verifica que el personal, se encuentre con todos sus implementos de seguridad de acuerdo a la actividad a realizar.
- d) El Supervisor de Servicio y/o Proyecto realiza la inspección todas las herramientas e instrumentos a intervenir en los trabajos.
- e) El Supervisor de Servicio y/o Proyecto, inspecciona antes del uso, los arneses para trabajos en Altura. El OHS verifica esta actividad.
- f) El Supervisor de Servicio y/o Proyecto inspecciona las escaleras a utilizar ya sean de ABB o del Cliente, usando el formato de ABB. El OHS verifica esta actividad.
- g) El Operador señala la zona de trabajo con cintas o mallas, para alertar y evitar que el cliente o persona ajena al trabajo sufra algún accidente por ingresar a la zona demarcada.
- h) El Supervisor de Servicio y/o Proyecto y Operadores revisan el buen funcionamiento de los equipos eléctricos, mecánicos, etc. a utilizar en cada proceso.
- i) El Supervisor de Servicio y/o Proyecto verifican las áreas energizadas y trazan las distancias de seguridad para evitar inducción, además identifican las líneas y sistemas energizados.
- j) El Supervisor del Servicio y/o Proyecto y Operadores verifican que todos los equipos eléctricos tengan su puesta a tierra con el fin de minimizar riesgos de descarga ya que se está trabajando en áreas energizadas.
- k) El Supervisor Servicio y/o Proyecto y Operadores verifican que recuente en el área de trabajo con un extintor de tipo PQS para atender un eventual incendio.

3.4.6 Condiciones de medio ambiente

Se establece lo siguiente:

- a) El Supervisor Servicio y/o Proyecto y Operadores aseguran de contar con contenedores adecuados (en buen estado y debidamente rotulados) para el almacenamiento temporal de los diferentes tipos de residuos y proceder posteriormente a su disposición final en los depósitos de residuos ubicados en las instalaciones del cliente.
- b) Al finalizar la jornada de trabajo, el Operador procederá a limpiar la zona. Por ningún

motivo, los residuos tendrán como receptor final los cursos de agua.

3.4.7 Equipos y materiales

Son los siguientes:

- a) Una cámara Termográfica, marca FLIR, modelo P680 y T200.
- b) Software de procesamiento de datos de Termografía Fllir Report, Computadora Portátil.
- c) Cámara digital.

3.4.8 Método

Este tema se divide en: a) Condiciones Previas, b) Ejecución de la Inspección.

a. Condiciones Previas

Los equipos a inspeccionar deberán encontrarse energizados y en operación continua, habiendo alcanzado sus parámetros de operaciones nominales: Corrientes, Temperatura de apoyos, Presión, etc., y presentar condiciones limpias que no obstruyan las imágenes de cada Termograma.

b. Ejecución de la Inspección

Se divide esta sección en: 1) Planificación de la inspección, 2) Medición, 3) Análisis.

b.1 Planificación de la inspección

Se debe:

- Inspeccionar y verificar visualmente las características técnicas y físicas de la máquina y/o equipos a evaluar (Ubicación, condiciones de operación, Línea de Alimentación Eléctrica, Marca, Modelo, etc.).
- Colocar en cada punto de apoyo, elemento y/o dispositivo a evaluar una cinta eléctrica de emisividad conocida, por lo general se usa papel platino.

b.2 Medición

- Evaluar la condición del equipo y/o termogramas como Termografía infrarroja, tomando tanto elemento mediante sea necesario en toda la máquina y/o Tablero Eléctrico.
- Adicionalmente evaluar mediante Láser la temperatura global del elemento evaluado.
- Transferir los datos obtenidos de Termografía a una PC,

b.3 Análisis para el diagnóstico final de la condición de la máquina.

Los resultados obtenidos, serán evaluados por el Inspector a cargo.

3.4.9 Registros

Registro internos de Inspección.

3.5 LEAP (Programa de análisis de expectativa de vida)

Esta prueba se explica con los siguientes ítems: 1) Colección de datos, 2) Análisis de datos, 3) Cálculo de las tensiones.

3.5.1 Colección de datos

Datos de operación, pruebas de mediciones e información de la máquina que está

siendo colectada por el paquete de mediciones.

3.5.2 Análisis de datos

Los datos colectados son analizados e identificados en el proceso de degradación del aislamiento. ABB se ha convertido en la única herramienta analítica que identifica, caracteriza y cuantifica defectos que se encuentran presentes dentro del sistema de aislamiento.

3.5.3 Cálculo de las tensiones

Para el cálculo de las tensiones se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Realizar el análisis de expectativa de vida identificando los factores y condiciones que afectan al tiempo de vida.
- Estimar la vida útil del aislamiento y el mantenimiento basado en condiciones.
- Que el tiempo de vida debe ser estimado con diferentes niveles de confianza dependiendo del paquete LEAP.
- Planes más claros para las posteriores inspecciones posibles, mantenimientos, reemplazo incluso las mejoras se elaboran.

El cálculo de las tensiones descrito corresponde al nivel 2 del estándar LEAP. Se detallan las mediciones DC y las mediciones AC a continuación.

a. Mediciones DC

Para las mediciones DC se realiza el análisis de corriente de polarización y despolarización (PDCA). Además de la corriente de salida y de la absorción, la prueba PDCA brinda una idea del almacenaje de la carga, de la cantidad y de la localización dentro de la máquina, identificando la contaminación aun cuando los valores de IR (índice de absorción) e IP (índice de polarización) son aceptables. También determina el estado del aislamiento de los devanados, soldaduras, envejecimiento. Parámetros derivados son:

- Constantes de tiempo: T1, T2, T3
- Almacenaje de carga: Q1, Q2, Q3 (Figura 3.3)
- Cociente de dispersión del Factor de envejecimiento: $(1+Q1+Q2+Q3) < 1.25$
- Volumen de resistencia.

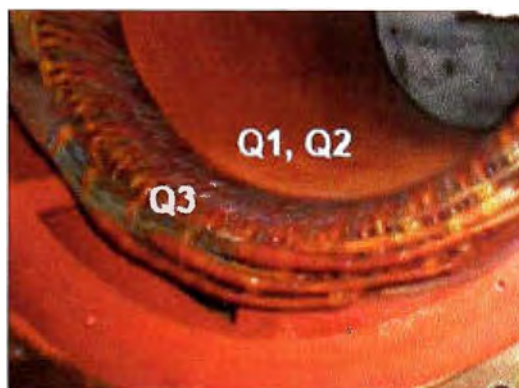


Figura 3.3 Cargas acumuladas

Observación

Las mediciones convencionales de IR y IP mayormente tienen valores satisfactorios incluso con alta contaminación de los devanados.

b. Mediciones AC

- Confirma el resultado de las mediciones en DC.
- Determina la condición del protector de efecto corona.
- Determina el grado de de-laminación ó el contenido vacío en términos de porcentajes del volumen de aire de descarga al volumen de aislamiento.
- Determina la condición del sistema de gradiente de esfuerzo en el final de las ranuras.
- La tendencia del efecto del envejecimiento.

Se describe a continuación: 1) tangente delta y análisis de capacitancia, 2) análisis de descargas parciales, 3) análisis del comportamiento no lineal, 4) análisis de esfuerzos por elementos finitos.

b.1 Tangente delta y Ensayo de capacitancia

Antes del inicio de las tensiones de descarga, las medidas de capacitancia y tangente delta divulgan lo siguiente:

- El estado de la cura de la resina.
- La presencia de Humedad.
- La presencia de contaminación.
- Bobinas flojas.
- Las características del sistema de alivio de tensiones.

Posterior a los inicios de las tensiones de descarga, las medidas de capacitancia y tangente delta divulgan la presencia de descargas parciales (en la superficie y en la región de la ranura).

b.2 Análisis de descargas parciales

Todas las máquinas sufren esfuerzos eléctricos en función de las descargas parciales, incluso en los sistemas de aislamiento nuevo. Los niveles de descargas aumentan con el tiempo hasta que ocurre la falla. Una muestra de descarga parcial es útil para:

- Determinar la naturaleza / localización de descargas parciales.
- Calcular el nivel riesgo debido a descargas parciales.

En la Figura 3.4 se muestran dos tipos de señales, la sinusoidal corresponde a las tensiones y la otra corresponde a la descarga parcial.

b.3 Análisis del comportamiento no lineal

La prueba no lineal informa detalladamente una no linealidad dentro del aislamiento en función de:

- Envejecimiento del aislamiento.
- Falta de contacto de la bobina con el núcleo.
- Cargas móviles y actividad iónica en la región de la ranura.
- Presencia de acumulación de cargas o mecanismos de conducción.
- Contaminación.
- Descargas parciales.

La Figura 3.5 muestra la asimetría de las ondas de tensión que no coinciden. Esto implica la presencia de falla en el aislamiento.

Observación:

Las pruebas DC son sensitivas a la condición de superficie (humedad, contaminación, etc.) y las pruebas AC proporcionan mayor información sobre el volumen del aislamiento.

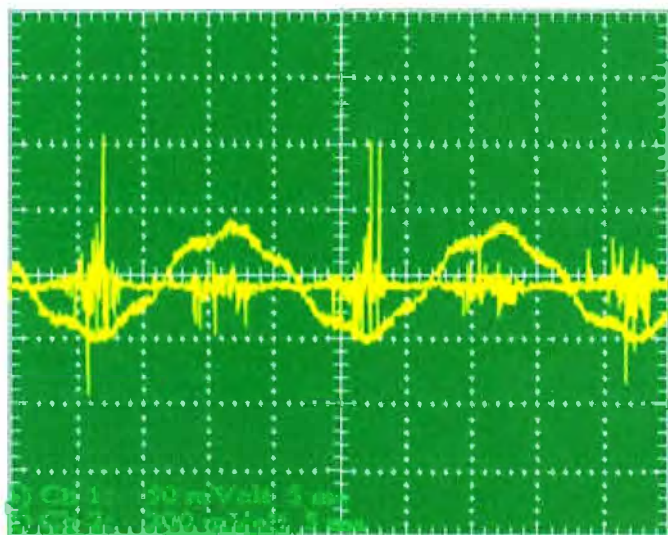


Figura 3.4 Descargas parciales

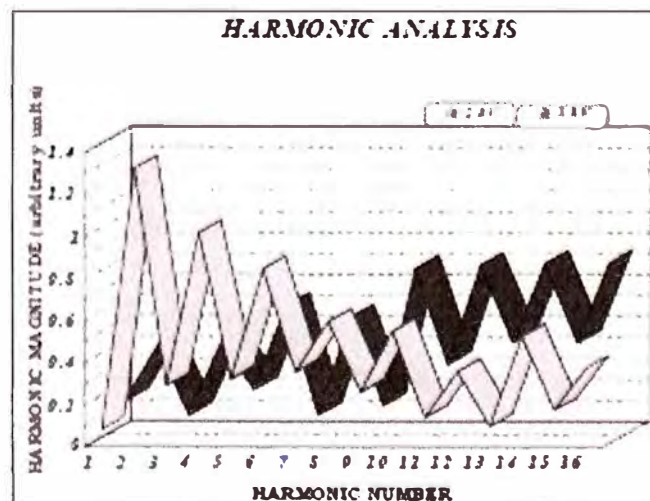


Figura 3.5 Análisis de armónicos

b.4 Análisis de esfuerzos por elementos finitos

Una bobina es modelada a través de elementos finitos de datos geométricos colectados. Los amarres de las cabezas de bobina restringen el movimiento de la bobina.

La Figura 3.6 muestra el análisis de puntos de esfuerzos finitos. En la de la izquierda se puede apreciar en color amarillo la parte geométrica de los amarres de las cabezas de bobinas, y en color azul es el conductor. La parte derecha de la figura (líneas rectas) muestra la longitud activa de la bobina en color celeste.

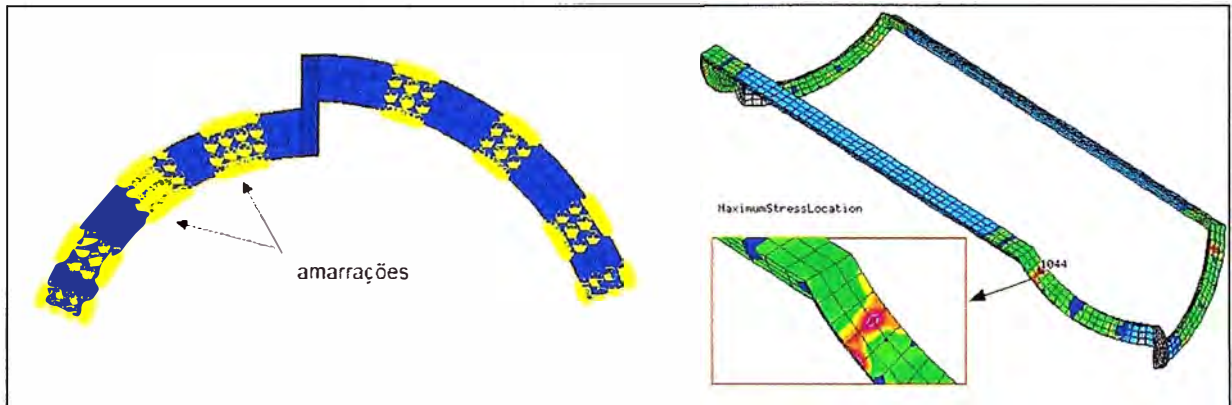


Figura 3.6 Análisis de puntos esfuerzos por elementos finitos

3.6 Monitoreo en línea (pruebas eléctricas)

Esta prueba se explica con los siguientes ítems: 1) Objetivo y alcance, 2) Documentación de referencia, 3) Definiciones y abreviaturas, 4) Responsabilidades, 5) Equipo y materiales, 6) Método, 7) Registros.

3.6.1 Objetivo y alcance

El siguiente procedimiento tiene por objetivo describir los lineamientos generales referentes a la calificación de la condición de los equipos mediante el Monitoreo en línea, según las normas y los estándares nacionales e internacionales vigentes que son descritos en el siguiente ítem.

3.6.2 Documentación de referencia

Son los siguientes:

- Solicitud de intervención en instalaciones eléctricas del cliente señalizando los bloqueos respectivos.
- IPER (Identificación de Peligros y evaluación de control de riesgos) de la compañía cliente.
- Planos Eléctricos Brindados por el Cliente.
- Normas IEC77B.- Compatibilidad Electromagnética de impedancias de la red para el cálculo de la penetración de armónicos y la evaluación de los componentes armónicos de tensión.
- Normas CENELEC.
- Límites de armónicos recomendados por la IEEE.

3.6.3 Definiciones y abreviaturas

Para la comprensión de esta prueba es necesario tener claros los siguientes

conceptos:

- a) Calidad de la Energía Eléctrica.- Concepto está relacionado con las perturbaciones electromagnéticas y eléctricas que pueden afectar las condiciones eléctricas de un suministro (tensión y/o corriente) y ocasionar el mal funcionamiento o daño de equipos eléctricos y procesos industriales.
- b) Carga.- Se llama carga a cualquier dispositivo que usa corriente de una determinada fuente de poder eléctrica.
- c) Armónicos.- Son tensiones y corrientes con frecuencias múltiplos enteros de la frecuencia fundamental. Los armónicos son generados por cargas no lineales.
- d) Distorsión Armónica (THD).- Las corrientes armónicas al circular por el sistema de potencia producen caídas de tensiones armónicas que son capaces de distorsionar la onda de tensión de suministro.
- e) Espectro.- Conjunto de armónicos en valor relativo respecto a la fundamental, en un punto específico.
- f) Sobre tensión.- Esta perturbación sucede cuando existen incrementos en el valor de la tensión rms en más de 5% de la tensión nominal, con una duración mayor a 1 minuto.

3.6.4 Responsabilidades

Se establece las siguientes responsabilidades:

- a) Jefe de servicios de máquinas.
- b) Ing. Jefe de Servicios Externos.- Responsable de la emisión de los informes y procedimiento, coordinación con el cliente. Responsable de la ejecución de las actividades descritas en el presente procedimiento.
- c) Ing. Inspector de Mantenimiento.- Responsable de las mediciones y apoyo al Jefe de Servicios Externos

3.6.5 Equipo y materiales

Se utiliza el equipo Explorer 3000, marca Backer Instrument Company de serie #1079.

3.6.6 Método

Se explica con los siguientes ítems: a) Condiciones Previas, b) Ejecución de la Inspección.

a. Condiciones Previas

Los equipos a inspeccionar deberán encontrarse energizados y en operación continua, habiendo alcanzado sus parámetros de operaciones nominales: Corrientes, tensiones, porcentaje de carga, etc.

b. Ejecución de la Inspección

Se divide en las siguientes fases: 1) Planificación de la Inspección, 2) Instalar el

Monitoreo en línea, 3) Medición, 4) Análisis de los resultados.

b.1 Planificación de la Inspección

Inspeccionar y verificar visualmente las características técnicas y físicas de la máquina a evaluar (ubicación, línea de producción, marca, modelo, potencia).

b.2 Instalar el Monitoreo en línea

Especificando los parámetros necesarios a utilizar para evaluar cada máquina. Luego transferir la data al equipo Explorer 3000.

b.3 Medición

Se debe:

- En el centro de control de máquinas eléctricas (CCM) indicar los puntos estratégicos para la toma de valores en la alimentación de corriente y tensión en condiciones de operación para cada máquina a evaluar.

- Toma de datos eléctricos operacionales del motor, evaluando lo siguiente:

Calidad de la energía (sobre tensión, desbalance de tensión, distorsión de armónicos, medida de armónicos, medida de potencias)

Performance del motor (factor de servicio, condición de operación).

Condiciones de la corriente (sobrecorriente, desbalance de corriente)

Análisis de espectros (armónicos, corriente, torque)

Análisis de la carga (%de la carga, variación del torque)

Análisis de la eficiencia energética (Eficiencia, medidas de potencia)

Torque (Espectro de torque, torque riple)

- Se realizan consecutivos test de pruebas para un mejor diagnóstico final de la condición de la máquina.

b.4 Análisis de los resultados

Serán evaluados por el inspector a cargo.

3.6.7 Registros

Los registros a considerar son los siguientes:

a) Registro de inspección: Incluido en el informe final.

b) En el caso de que se requiera de mayor información, en cuanto a valores filtrados y espectros, este será brindado previa solicitud del cliente y aprobación del Jefe de servicios de máquinas.

3.7 Pruebas convencionales (pruebas de aislamiento)

Para explicar esta prueba se tienen los siguientes ítems: 1) Objetivo, 2) Alcance, 3) Documentos de referencia, 4) Responsabilidades, 5) Condiciones de seguridad, 6) Condiciones de medio ambiente, 7) Equipo y materiales, 8) Teoría y propósito de la prueba, 9) Método de prueba, 10) Registros.

3.7.1 Objetivo

Esta prueba tiene por objeto establecer el procedimiento para efectuar la prueba de impulso en las bobinas del generador. Este procedimiento tiene por objeto verificar el buen estado del aislamiento entre espiras.

3.7.2 Alcance

Esta prueba tiene fin único, comprobar el estado de aislamiento entre espiras de alambre de una bobina.

3.7.3 Documentos de referencia

Se tienen en cuenta los siguientes:

- a) Norma IEEE 432 "Guide for Insulation Maintenance for Rotating Electrical Machinery (5HP to less than 10 000HP)"
- b) Norma IEEE 522 "Guide for Testing Turn-to-Turn Insulation on Form-Wound Stator Coils for Alternating Current Rotating Electrical Machines"

3.7.4 Responsabilidades

El responsable de la implementación y cumplimiento de este procedimiento y de proveer los recursos para cumplir satisfactoriamente su trabajo, así como también, de indicar las actividades al grupo de trabajo conformado por operadores técnicos y/o ayudantes es el Supervisor Eléctrico e Instrumentista y/o Supervisor del Montaje.

Supervisor Prevencionista de la compañía eléctrica, para verificar el presente procedimiento.

3.7.5 Condiciones de seguridad

Se debe tener en cuenta lo siguiente:

- a) El OHS planifica y coordina los requisitos de seguridad para ingreso del personal a realizar cualquier trabajo operativo en las instalaciones del cliente, como charla de inducción, charla de medio ambiente, examen medico, etc.
- b) El Supervisor de Servicio y/o Proyecto, asesorados por OHS elaboran el Análisis de Seguridad en el Trabajo AST en el formato de ABB. Si el cliente tiene otro formato que tenga la misma función de éste, entonces se realizará esto en el formato del cliente.
- c) El Supervisor de Servicio y/o Proyecto, verifica que el personal, se encuentre con todos sus implementos de seguridad de acuerdo a la actividad a realizar.
- d) El Supervisor de Servicio y/o Proyecto realiza la inspección todas las herramientas e instrumentos a intervenir en los trabajos.
- e) El Supervisor de Servicio y/o Proyecto, inspecciona antes del uso, los arneses para trabajos en Altura. El OHS verifica esta actividad.
- f) El Supervisor de Servicio y/o Proyecto inspecciona las escaleras a utilizar ya sean de ABB o del Cliente, usando el formato de ABB. El OHS verifica esta actividad.

- g) El Operador señala la zona de trabajo con cintas o mallas, para alertar y evitar que el cliente o persona ajena al trabajo sufra algún accidente por ingresar a la zona demarcada.
- h) El Supervisor de Servicio y/o Proyecto y Operadores revisan el buen funcionamiento de los equipos eléctricos, mecánicos, etc. a utilizar en cada proceso.
- i) El Supervisor de Servicio y/o Proyecto verifican las áreas energizadas y trazan las distancias de seguridad para evitar inducción, además identifican las líneas y sistemas energizados.
- j) El Supervisor del Servicio y/o Proyecto y Operadores verifican que todos los equipos eléctricos tengan su puesta a tierra con el fin de minimizar los riesgos de descarga ya que se está trabajando en áreas energizadas.
- k) El Supervisor Servicio y/o Proyecto y Operadores verifican que se cuente en el área de trabajo con un extintor de tipo PQS para atender un eventual incendio.

3.7.6 Condiciones de medio ambiente

Para esta prueba las condiciones de medio ambiente a tomar en cuenta son las siguientes:

- a) El Supervisor Servicio y/o Proyecto y Operadores aseguran de contar con contenedores adecuados (en buen estado y debidamente rotulados) para el almacenamiento temporal de los diferentes tipos de residuos y proceder posteriormente a su disposición final en los depósitos de residuos ubicados en las instalaciones del cliente.
- b) Al finalizar la jornada de trabajo, el Operador procederá a limpiar la zona. Por ningún motivo, los residuos tendrán como receptor final los cursos de agua.

3.7.7 Equipo y materiales

Estos se dividen en los siguientes ítems: a) Equipamiento de la prueba de Impulso, b) Equipamiento de seguridad, c) Puntos de control, d) Personal a intervenir en dicha labor, e) Trabajos a realizar

a. Equipamiento de la prueba de Impulso.

- Una fuente de Alimentación monofásica de 60 HZ.
- Equipo Analizador de aislamiento Surge Test / Hipot DC BAKER modelo D65R con rango de tensión de 0 a 15kV
- Maletines de herramientas, eléctricos

b. Equipamiento de seguridad

- EPP (equipo de protección personal: cascos, lentes, guantes dielécticos y Zapatos dielécticos)
- Cintas de seguridad
- Guantes dielécticos

- Equipos de comunicación, movilidad
- Arnés con línea de vida
- Andamios de Soporte
- Escaleras dieléctricas

c. Puntos de control

- Permisos de trabajos en caliente
- Trabajos preliminares, inspección de equipos
- Verificación del área de trabajo y señalización

d. Personal a intervenir en dicha labor

- Supervisor
- Técnicos especialistas en Pruebas Eléctricas

e. Trabajos a realizar

- Elaboración de hoja de identificación de peligros y evaluación de riesgos
- Elaboración de análisis seguro de trabajo
- Señalización del área de trabajo

3.7.8 Teoría y propósito de la prueba

La prueba de impulso es realizado para detectar daños de aislamiento entre espiras dentro de los devanados del generador. Este tipo de problemas de aislamiento no pueden ser encontrados por otro método que por el de la prueba de impulso.

La prueba de impulso consiste de aplicar en un corto tiempo, elevación rápida, altos impulsos de corriente al devanado. Este alto impulso con tiempo de subida induce, a través de la Ley de Lenz, una diferencia de tensión entre espiras adyacentes de alambre dentro del devanado.

Si el aislamiento entre dos espiras de alambre esta dañado o debilitado de alguna manera, y si la diferencia de tensión entre los alambres es suficiente, habrá un arco entre los alambres. El arco se detecta al observar un cambio en la forma de onda de sobre tensión. Ver Figura 3.1.

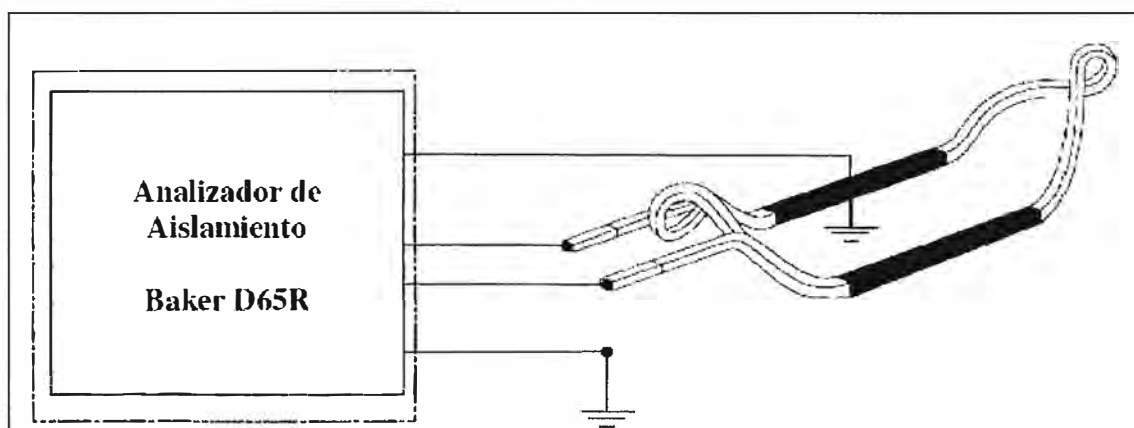


Figura 3.1 Esquema de conexión de la bobina

3.7.9 Método de prueba

El método se explica con los siguientes aspectos: a) Condiciones previas, b) Método, c) Cálculos justificativos, d) Interpretación.

a. Condiciones previas

Son dos a considerar:

- El rotor deberá estar desmontado del estator
- Se deberá contar con un punto a tierra

b. Método

Se debe tener en cuenta lo siguiente:

- El personal calificado deberá tener conocimiento de la tensión de trabajo de las bobinas a probar.
- El personal calificado realizará la conexión descrita en la figura 1.
- Se realizará la prueba iniciando con una bobina y registrando los valores de la forma de onda.
- El supervisor deberá de realizar la regulación de la tensión calculada.
- El personal calificado deberá de tomar los valores de la tensión y corriente que consume por un periodo de 1 minuto.

c. Cálculos justificativos

Según la IEEE 522, la tensión a aplicar será la siguiente: 60 – 80% de su Tensión nominal. Para nuestro caso tenemos lo siguiente: $V_n = 13.8\text{kV}$. Por lo tanto la tensión que se aplicara en la bobina será de: $V_{\text{prueba}} = 10\text{kV}$ en DC

e. Interpretación

Al realizar la prueba en las bobinas del generador, estas generaran una forma de onda, la cual será comparada con las demás bobinas que se requieran realizar la prueba.

Si estas ondas son similares, diremos que el aislamiento del bobinado está en buen estado, pero si alguna de estas formas de onda nos muestra un valor distinto a las demás formas de onda, diremos que esta bobina se encuentra en mal estado y será separada.

3.7.10 Registros

Aplican los registros internos de inspección de ABB

CAPÍTULO IV

CASOS DE ESTUDIO

En el presente capítulo son presentados dos casos de estudio, a manera de informe técnico. El primero es un mantenimiento en sitio, y el segundo un mantenimiento en taller.

4.1 Mantenimiento en sitio

El informe técnico tiene cómo cabecera la siguiente información:

- Fecha 7 de abril de 2010
- Relator Leandro Bazán Zarazú
- Instalación Unidad Minera Morococha
- Cliente Compañía Minera Argentum S.A.
- O. P. 180872
- Asunto mantenimiento de 01 motor eléctrico

Posteriormente se detalla los siguientes aspectos:

1. Objetivo y fecha de inspección eléctrica.
2. Producto.
3. Personal presente.
4. Resumen.
5. Indicaciones del cliente.
6. Datos del servicio.
7. Comprobaciones en el lugar.
8. Trabajos realizados.
9. Trabajos pendientes.
10. Acuerdos con el cliente.
11. Comentarios.
12. Recomendaciones.

Para hacer más didáctico el ejemplo, éstas serán agrupadas en tres secciones que son desarrolladas a continuación: 1) Aspectos preliminares, 2) Trabajos realizados, 3) Resultados obtenidos.

4.1.1 Aspectos preliminares

Son desarrollados a continuación los siguientes temas: a) Objetivo y fecha de inspección eléctrica, b) Producto, c) Personal presente, d) Resumen, e) Indicaciones del

cliente, f) Datos del servicio, y g) Comprobaciones en el lugar.:

a. Objetivo y Fecha de Inspección Eléctrica

Aquí se indica el elemento a inspección y la fecha. Por ejemplo

- Mantenimiento de 01 motor eléctrico, los cuales se efectuaron entre los días 24 al 26 de Marzo del 2010

b. Producto

Son especificados los datos de placa del motor. Según el ejemplo en se muestra en los datos de placa en la Tabla 4.1:

- Motor eléctrico tipo: Rotor bobinado.

Tabla 4.1 Características del motor

Ítem	Descripción
Marca	HYUNDAI
No. Serie	96MWTH2363
Tensión Primaria	440 V
Tensión Secundaria	602 V
Corriente Primaria	468 A
Corriente Secundario	299 A
Frecuencia	60 Hz
Potencia	299 kW
Velocidad	1191 RPM
Fases	3
Clase de aislamiento	F

c. Personal presente

Se describe al personal tanto de parte del cliente cómo del proveedor del servicio.

- Por ABB:

Jacinto Martínez Baylon Tec. Mecánico

Daniel Parra Zambrano Tec. Mecánico.

Luis Atala de la Cruz Tec. Electricista

- Por el cliente:

Ing. Carlos Cieza Barrantes - Planeamiento Mecánico y Eléctrico

d. Resumen

Se resumen los trabajos realizados, por ejemplo:

- A solicitud del cliente se efectuó los trabajos de limpieza, tratamiento térmico, barnizado del devanado al motor eléctrico en mención.

- Se realizaron las medidas de resistencia de aislamiento, resistencia óhmica, toma de vibraciones, verificación de medidas de asiento de rodamiento, alineamiento entre ejes.

- El detalle de las pruebas se aprecia en el acápite 8 (en este documento es 4.1.2)

e. indicaciones del cliente

Por ejemplo: Emitir el informe técnico con las observaciones y recomendaciones.

f. Datos del servicio

Por ejemplo:

- Mantenimiento de motor eléctrico del molino [8' x 10']

g. Comprobaciones en el lugar

Se detallan algunos aspectos resaltantes de cómo se encontró el motor, por ejemplo:

- El motor se encontró fuera de servicio
- El motor se encontró acoplado y montado en su base
- El motor se encontró conectado a su fuente de alimentación

4.1.2 Trabajos realizados

Estos consisten de las siguientes actividades: a) Inspección visual, b) Limpieza de devanados del motor, c) Tratamiento térmico, d) Medida de resistencia óhmica, e) Medida de resistencia de aislamiento, f) Medida de los asientos de los rodamientos realizados antes del montaje, g) Alineamiento Láser, h) Medida de Parámetros eléctricos, i) Medidas de parámetros vibracionales, y j) Medidas de temperatura. Estas son desarrolladas en las siguientes subsecciones. La información contenida en cada ítem corresponde directamente al caso de estudio.

a. Inspección visual.

De las inspecciones efectuadas se apreció lo siguiente:

- Devanados del Motor impregnados de carbón.
- Anillos deslizantes con desgaste asimétrico.
- Cables de salida del estator recalentados.

b. Limpieza de devanados del motor

- Limpieza superficial de los devanados, contaminados de carbón.
- Luego de la limpieza superficial se procedió a limpiar los devanados con solvente dieléctrico Biodegradable Agesolve.

c. Tratamiento térmico

Con la finalidad de eliminar la humedad en los devanados del motor, aislamiento de los anillos deslizantes y sistema porta escobillas se procedió a efectuar el tratamiento térmico de los devanados por espacio de 06 horas continuas, a una temperatura de 64°C, posterior al secado se procedió a realizar las mediciones de la condición de aislamiento

d. Medida de resistencia óhmica

- Instrumento de medición : Microohmímetro digital – Marca Megabrass Termómetro digital Raytek
- Temperatura ambiente : 10°C

Tabla 4.2 Valores medidos

RESISTENCIA OHMICA DEVANADO ESTATOR		RESISTENCIA OHMICA DEVANADO ROTOR	
Bornes de medición	Valor	Bornes de medición	Valor
U-V	10.6 mΩ	U-V	16.3 mΩ
V-W	10.6 mΩ	V-W	16.3 mΩ
W-U	10.6 mΩ	W-U	16.3 mΩ

e. Medida de resistencia de aislamiento

- Instrumento de medición : Megger Digital AEMC Termómetro digital Raytek
- Temperatura ambiente : 10°C

Tabla 4.3 Medidas del rotor y el estator, antes y después del mantenimiento

Medidas antes del mantenimiento –Estator						
Bornes de medición	Tensión de prueba	Tiempo de prueba en minutos			IP	I fuga
		1/2	1	10		
Bobina/masa	500 Vdc	10500MΩ	12703 MΩ	39790 MΩ	3.13	0.24 μa

Medidas después del mantenimiento –Estator						
Bornes de medición	Tensión de prueba	Tiempo de prueba en minutos			IP	I fuga
		1/2	1	10		
Bobina/masa	500 Vdc	44600MΩ	107300 MΩ	608391MΩ	5.67	0.04 μa

Medidas antes del mantenimiento –Rotor						
Bornes de medición	Tensión de prueba	Tiempo de prueba en minutos			IP	I fuga
		1/2	1	10		
Bobina/masa	500 Vdc	27MΩ	34 MΩ	66 MΩ	1.94	0.71 μa

Medidas después del mantenimiento –Rotor						
Bornes de medición	Tensión de prueba	Tiempo de prueba en minutos			IP	I fuga
		1/2	1	10		
Bobina/masa	500 Vdc	100000MΩ	122300 MΩ	783000MΩ	6.41	0.09 μa

Tabla 4.4 Medidas del portaescobilla

Medidas del portaescobilla			
Bornes de medición	Tensión de prueba	Tiempo de prueba	Resistencia de aislamiento
Portaescobilla / masa	500 Vdc	1 min	15340 MΩ
Entre/ portaescobilla	500 Vdc	1 min	13130 MΩ

Referencia: IEEE Std 43-2000 Table 2 – Recommended Minimum Values of Polarization Index for all Machines.

f. Medida de los asientos de los rodamientos realizados antes del montaje

- Instrumento de medición: Micrómetro de interior y exterior – Mitutoyo

Tabla 4.5 Medidas de diámetros

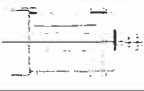
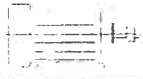
Medida de diámetros en mm			
Tapa L.O.C	Tapa L.C	Eje L.O.C	Eje L.C
280 (-0.01)	300 (-0.025)	130 (+0.03)	140 (+0.03)

* Estos valores se tomaron luego del metalizado de los asientos de rodamientos en las tapas.

g. Alineamiento Láser

- Instrumento: Alienador Láser – Damalini D 525

Tabla 4.6 Medidas de alineamiento Láser

Plano	Desviación final		Observaciones
	Paralelo	Angular	
	0.02	0.03/100 mm	El eje del motor eléctrico se dejó 0.10 mm arriba del eje conducido
	0.10	0.02/100 mm	

- Tolerancia:

Tabla 4.7 Tolerancia

VALORES DE ALINEAMIENTO		
RPM	PARALELO	ANGULAR
Hasta 1000	0.13 mm	0.10/100 mm
1000 – 2000	0.09 mm	0.06/100 mm
2000 – 3000	0.06 mm	0.04/100 mm
3000 – 4000	0.04 mm	0.02/100 mm



Nota:

La desviación paralela vertical de 0.10mm mayor, se considero teniendo como referencia la dilatación térmica en el eje conducido (Caja reductora) es mayor al del eje del motor eléctrico.

h. Medida de Parámetros eléctricos.

- Instrumento de medición: Panel de control Power-Measurement ABB

Tabla 4.8 Medida de parámetros eléctricos en vacío ay a 70% de carga

Valores tomados en Vacío				
Bornes	Tension Prim.	Corriente Prim.	RPM	Giro
U-V	441	152	1198	
V-W	443	147		
W-U	441	152		
Valores tomados a 70% de Carga				
Bornes	Tension Prim.	Corriente Prim.	RPM	Giro
U-V	445	422	1189	
V-W	448	416		
W-U	446	418		

Nota:

No se efectuó las medidas de tensión y corriente en el bobinado secundario, debido a la limitación de acceso.

i. Medidas de parámetros vibracionales.

- Instrumento de medición : Analizador de vibraciones CMVA 65 – SKF

- Soporte : Software Prisma 4 SKF

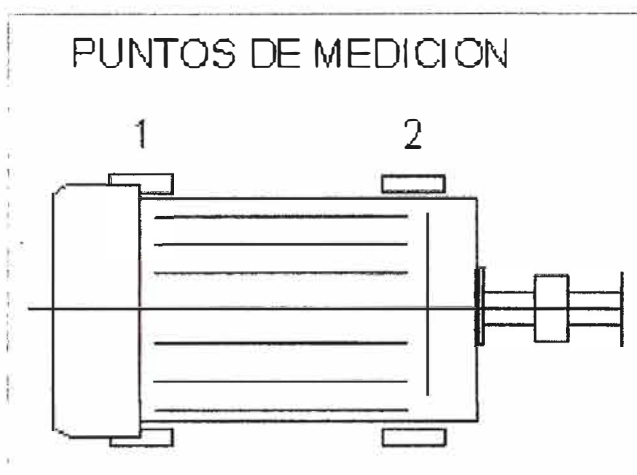


Figura 4.1 Puntos de medición

Tabla 4.9 Valores de vibración en vacío

Valores de vibración en Vacío		
Puntos de medición	Dirección	Valor total RMS mm/s
1	Horizontal	0.1981
	Vertical	0.0887
	Axial	0.156
2	Horizontal	0.2765
	Vertical	0.3396
	Axial	0.1902

Tabla 4.10 Valores de vibración a 70% de carga

Valores de vibración tomados a 70 % de carga		
Puntos de medición	Dirección	Valor total RMS mm/s
1	Horizontal	3.56
	Vertical	1.53
	Axial	2.14
2	Horizontal	6.072
	Vertical	2.742
	Axial	1.354

Referencia: ISO 10816-3 Evaluation Standard for vibration monitoring

Nota:

La amplitud vibracional en el punto 2H, es inducido desde la caja reductora, debido al desgaste de dientes en los engranes, los cuales están afectando al motor eléctrico.

j. Medidas de temperatura

- Instrumento de medición: Termómetro digital Raytek

Tabla 4.11 Medidas de temperatura

Medidas tomadas en vacío			
Ambiente	Lado acople	Lado Opuesto al Cople	Tiempo de Prueba
-2°C	10°C	1°C	1 hora
Medidas tomadas a 70% de carga			
Ambiente	Lado acople	Lado Opuesto al Cople	Tiempo de Prueba
9°C	27°C	12°C	50 min

Nota:

Los valores de temperatura reflejan el buen estado de operación de los rodamientos, en relación al montaje y lubricación.

4.1.3 Resultados obtenidos

En esta sección se agrupan los datos restantes: a) Trabajos pendientes, b) Acuerdos con el cliente, c) Comentarios, d) Recomendaciones

a. Trabajos pendientes

- Ninguno

b. Acuerdos con el cliente

- Emitir el informe técnico con las observaciones y recomendaciones del motor

c. Comentarios

- Los devanados del motor se encontraron con impregnación de carbón en especial el devanado del rotor.
- Luego de los trabajos de limpieza y tratamiento térmico, la condición de operación del aislamiento de los devanados del motor se encuentran en buen estado de operación.
- No se apreció soltura en las cuñas de fijación de devanados

d. Recomendaciones

- Programar la pronta corrección de la caja reductora ya que afecta de forma indirecta al motor produciendo un desgaste prematuro de los rodamientos.
- Rectificar los anillos rozantes.
- Controlar los parámetros eléctricos de tensión y corriente de operación en el motor.
- Cambiar los cables de salida del estator porque presentan recalentamiento
- Efectuar el monitoreo cada 4 meses de la condición de operación del motor, efectuando inspecciones predictivas programadas (Análisis vibracional, Análisis de la condición de aislamiento, inspección en línea).

4.2 Mantenimiento en taller

En este caso el informe técnico tiene cómo cabecera la siguiente información:

- Fecha Lima, 12 de julio del 2010

- Relator : Leandro Bazán Zarazú
- Instalación : Taller de máquinas eléctricas de ABB
- Cliente : Volcán Cia Mra SAA
- O. P. : 915073
- Asunto : Mantenimiento Motor AC – ASEA

Posteriormente se detalla los siguientes aspectos:

1. Objeto
2. Resumen
3. Comprobaciones en el taller
4. Trabajos a realizar
5. Trabajos pendientes
6. Personal a disposición
7. Comentarios
8. Anexo

4.2.1 Objeto

Son especificados los datos de placa del motor, para el ejemplo la Tabla 4.12.:

Motor de las siguientes características de placa:

Tabla 4.12 Características del motor

Ítem	Descripción
Marca	ASEA
Modelo	MAM 355 MA8
No. Serie	6695160
Tensión Primaria	440 V
Tensión Secundaria	555 V
Corriente Primaria	230 A
Corriente Secundaria	120 A
Frecuencia	60 Hz
Potencia	110 kW
Factor de Potencia	0.78
Velocidad	875 RPM
Clase de aislamiento	B / F

4.2.2 Resumen

Se hace una sinopsis del trabajo realizado. Para el ejemplo

- El motor en mención llegó a nuestro taller el 21 de Junio del 2010, el motor llega para su evaluación y mantenimiento.
- En la evaluación del estator se encontró la superficie impregnada de suciedad con su aislamiento dentro de lo tolerable. El sistema porta escobilla se encontró impregnada de suciedad con resistencia de aislamiento dentro de lo tolerable.
- En la evaluación del rotor, se evidenció huellas de suciedad en su periferia así como su

resistencia de aislamiento dentro de lo tolerable.

- Se procedió a realizar su mantenimiento dando como resultado niveles de resistencia por encima de lo tolerable.

4.2.3 Comprobaciones en el taller

Se hace primero una breve descripción

- El motor se recibió desarmado.
- Se procedió a evaluar cada una de sus partes.

Luego se detalla lo realizado. En este caso se divide en tres partes: a) Evaluación Eléctrica (iniciales), b) Evaluación Mecánica, c) Evaluación Eléctrica (finales)

a. Evaluación Eléctrica (iniciales)

Esta se divide en estator y rotor:

a.1 Estator

Se ven las siguientes partes: 1) Medida de Resistencia Óhmica, 2) Medida de Resistencia de Aislamiento, 3) Impedancia del Bobinado, 4) Núcleo Magnético, 5) Porta escobillas.

- Medida de Resistencia Ohmica

Instrumento de medición : Micro - Ohmímetro AEMC – 5600

Tabla 4.13 Valores tomados

VALORES TOMADOS			
Bornes de prueba	Temperatura Ambiente	Resistencia Ohmica	Observación
L1 – L2	19°C	22.87 mΩ	Los valores se tomaron de los cables de conexión.
L2 – L3		22.85 mΩ	
L3 – L1		22.89 mΩ	

- Medida de Resistencia de Aislamiento

Instrumento de medición: Analizador de Aislamiento AEMC – 5070

Tabla 4.14 Valores tomados

VALORES TOMADOS				
Bornes de prueba	Condiciones ambientales	Tensión de prueba	Resistencia de aislamiento entre fases	Resistencia de aislamiento a masa
L1 – L2	19°C	500 VDC	2.49 GΩ	1.380 GΩ
L2 – L3		500 VDC	2.49 GΩ	1.380 GΩ
L3 – L1		500 VDC	2.49 GΩ	1.380 GΩ

Referencia:

Norma IEEE Std-43 - Recommended practice for testing insulation resistance of rotating machinery.

Para el análisis se hace referencia a los valores de polarización mínimos recomendado según las clases de aislamiento, Tabla 4.15, y los valores de resistencia de aislamiento recomendadas a 40°C, Tabla 4.16.

Tabla 4.15 Valores de polarización mínimos según clases de aislamiento

Clases de aislamiento	Índice de Polarización mínimo
Clase A	1.5
Clase B	2.0
Clase F	2.0
Clase H	2.0

Tabla 4.16 Valores de resistencia de aislamiento mínima

Valores de resistencia de aislamiento mínima	Espécimen de las prueba
IR 1 min = kV + 1	La mayoría de bobinados realizados antes de 1970, todas las bobinas y los no mencionados abajo
IR 1 min = 100	Para la mayoría de armaduras DC y bobinados AC contruidos después de 1970.
IR 1 min = 5	Para la mayoría de las maquinas con estator y bobinas con tasas por debajo de 1kV

Nota: Se observa un buen nivel de aislamiento entre fases y entre el bobinado y masa.

Impedancia del Bobinado

- Instrumento de medición: Multímetro Digital FLUKE – 189, Amperímetro Digital KYORITSU – 2009^a

Tabla 4.17 Valores tomados

Fases	Tensión (V)	Corriente (A)
L1-L2-L3	75.1 – 74.8 – 74.1	219.8 - 233 - 239

Núcleo Magnético

- Instrumento de medición: Multímetro Digital FLUKE – 189, Amperímetro Digital KYORITSU – 2009A

- Tensión aplicada : 27.9 V

- Corriente : 127.7 A

- Tiempo : 15 min

- Temp. Amb. : 19°C

- Temp. Normal : 26°C

- Temp. Defectuosa : 28°C

- Condición : Buen Estado

Porta escobillas (Medida de Resistencia de Aislamiento):

- Instrumento de medición: Analizador de Aislamiento AEMC – 5070

Los valores tomados son mostrados en la Tabla 1.18

4.18 Valores tomados en la resistencia de aislamiento

VALORES TOMADOS			
Bornes de prueba	Condiciones ambientales	Tensión de prueba	Resistencia de aislamiento a masa
Portesc - masa	19°C	500 VDC	2.093 GΩ

a.2 Rotor

Aquí se hace la medida de la resistencia: 1) Óhmica y 2) De aislamiento.

Medida de Resistencia Óhmica

- Instrumento de medición: Micro Ohmímetro AEMC – 5600

Tabla 4.19 Valores de la resistencia óhmica

VALORES TOMADOS			
Devanados	Temperatura Ambiente	Resistencia Óhmica	Observación
L1 – L2	19°C	60.1 mΩ	Los valores se tomaron de los cables de conexión.
L2 – L3		59.8 mΩ	
L3 – L1		58.4 mΩ	

Observación:

Los valores de resistencia ohmica, se encontraron simétricos en los devanados del rotor, por lo que se considera estar en buen estado de acuerdo a ésta prueba.

Medida de Resistencia de Aislamiento:

- Instrumento de medición: Analizador de Aislamiento AEM - 5070

Tabla 4.20 Valores de la resistencia óhmica

VALORES TOMADOS			
Bornes de prueba	Temperatura Ambiente	Tensión de prueba	Resistencia de aislamiento a masa
Anillos - Masa	19°C	500 VDC	2.093 GΩ

b. Evaluación Mecánica

Se resume con la Tabla 4.21.

Tabla 4.21 Evaluación mecánica

Descripción	Lado Acople	Lado No Acople	Recomendación
Alojamiento de rodajes	240.04 mm	240.02 mm	<i>Metalizado</i>
Asiento de rodajes (eje)	110.030	110.035	<i>Ninguna</i>
Rodamientos	N322 E	6322 C3	<i>Cambiar</i>

Observación: Las medidas de los asientos de rodajes se encuentran fuera de las medidas recomendadas.

Referencia: Recomendaciones de SKF

c. Evaluación Eléctrica (finales)

En esta evaluaciones realizan las siguientes actividades: 1) Medida de Resistencia de Aislamiento (Motor Armado), 2) Prueba de Relación de Transformación, 3) Prueba en Vacío, 4) Pruebas HIPOT DC, y 5) Pruebas de Surge.

c.1 Medida de Resistencia de Aislamiento (Motor Armado)

- Instrumento de medición: Analizador de Aislamiento AEMC - 5070

Los valores tomados se muestran en la Tabla 4.22.

Tabla 4.22 Valores de resistencia de aislamiento con motor armado

VALORES TOMADOS			
Bornes de prueba	Condiciones ambientales	Tensión de prueba	Resistencia de aislamiento a masa
Estator – masa	18 °C	1000 VDC	>4.00 GΩ
Rotor – masa		1000 VDC	>4.00 GΩ
Portesc – masa		1000 VDC	>4.00 GΩ

c.2 Prueba de Relación de Transformación

- Instrumento de medición: Multímetro Digital FLUKE – 189

Tabla 4.23 Valores de obtenidos en la prueba

Tensión primaria	Tensión secundaria
221 – 221 - 220	289 – 289 -290

c.3 Prueba en Vacío

- Instrumento de medición: Multímetro Digital FLUKE – 189, Amperímetro Digital KYORITSU – 2009^a

Tabla 4.24 Valores de obtenidos en la prueba

Tensión Nominal	442 – 443 – 440 V
Corriente en Vacío	123 – 120 – 118 A
Perdidas en Vacío	2.51 KW
Velocidad	875 RPM
Temp. Ambiente	18 °C
Temp. Aloj. Rodaje LA	44 °C
Temp. Aloj. Rodaje LNA	20 °C
Tiempo de Prueba	1 Hora

c.4 Pruebas HIPOT DC

- Instrumento de medición: Analizador de Aislamiento D65R – Baker

- Prueba con 1 minuto de duración.

Tabla 4.25 Valores de obtenidos en la prueba HIPOT DC

VALORES TOMADOS				
Bornes de prueba	Ambiente	Tensión de prueba	Tiempo de prueba	Observaciones
Estator – masa	19 °C	2.0 KV	1 minuto	Ninguna
Rotor – masa		2.0 KV	1 minuto	

c.5 Pruebas de Surge

- Instrumento de medición: Analizador de Aislamiento D65R - Baker

- Son aplicamos impulsos de tensión (350V > Vp. < Vhipot.) entre los terminales del devanado, determinando una simetría en las ondas de cada fase.

Tabla 4.26 Valores de obtenidos en la prueba Surge

VALORES TOMADOS				
Bornes de prueba	Ambiente	Tensión de prueba	Forma de onda	Observaciones
Estator – masa	19 °C	2.0 KV	simétricas	Las ondas resultantes concluyen que el motor se encuentra en buen estado.
Rotor – masa		2.0 KV	simétricas	

Referencia:

Norma IEEE – Std 522: Guide for Testing Turn Insulation of Form – Wound Stator Coils for Alternating – Current Electric Machines.

4.2.4 Trabajos a realizar

Son descritos los trabajos realizados para volver a poner operativo el motor:

- Mantenimiento del estator.
- Mantenimiento del rotor.
- Barnizado del estator.
- Barnizado del rotor.
- Rectificado de anillos rozantes.
- Balanceo dinámico.
- Mantenimiento de porta escobillas.
- Cambio de rodamientos.
- Mantenimiento de las tapas laterales.

4.2.5 Trabajos pendientes

- Los mencionados en el ítem anterior.

4.2.6 Personal a disposición

- Personal de ABB de servicios de máquinas.

4.2.7 Comentarios

El motor llevo desmontado.

- Se encontró dentro del estator muestras de suciedad por lo que se procedió a realizar su mantenimiento, elevando su nivel de aislamiento.
- El rotor es del tipo bobinado, se encontró muestras de suciedad en su periferia por lo que se procedió a su mantenimiento. Se rectificó los anillos rozantes. Se procedió a su balanceo dinámico.
- Se realizó el mantenimiento al sistema porta escobillas y se le realizó el cambio de rodamientos, suministrados por el cliente.

4.2.8 Documento anexo del informe técnico de mantenimiento en el taller

- Estator Se encontró en su interior rastros de polvo mineral. Se procedió a su mantenimiento. Figura 4.2.
- Rotor. Se encontró impregnado de polvo mineral en su periferia por lo que se procedió a su mantenimiento. Figura 4.3

- Anillos rozantes Se observa huellas de desgaste por lo que se procedió a su rectificado.
Figura 4.4

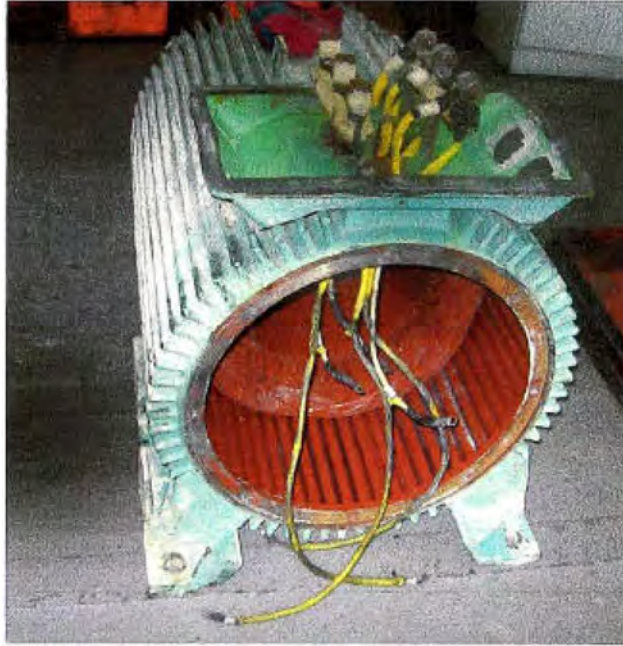


Figura 4.2 Estator



Figura 4.3 Rotor



Figura 4.4 Anillos rozantes

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. Los procedimientos técnico operativos para el diagnóstico predictivo de las ME
 - Optimizan el planeamiento del mantenimiento para maquinas eléctricas.
 - Apoyan los esfuerzos para prolongar ciclo de vida de la maquina alcanzando la rentabilidad de la inversión.
 - Facilitan la toma de decisión para el mantenimiento a corto y largo plazo a razón del funcionamiento o sustitución de la ME.
 - Logran reducir al mínimo los tiempos inoperativos
 - Provee bajos niveles de riesgos.
 - Proporciona información para la valoración del costo del ciclo de vida.
2. Se logra un nivel de confiabilidad del análisis de expectativa de vida según los niveles de soluciones:
 - Básico, al 65%.
 - Estándar, al 80%.
 - Avanzado, al 85%.
 - Premium, al 90%.

Recomendaciones

1. Se deben monitorear parámetros eléctricos y mecánicos que nos puedan permitir tomar decisiones para la intervención de un mantenimiento o una evaluación mayor.
2. Se recomienda que los instrumentos de medición estén correctamente calibrados por una institución que las evalúe y certifique.
3. Las inspecciones deben ser lo suficientemente detalladas, del mismo modo el informe que se entrega al cliente, con la finalidad de evitar malentendidos sobre el estado del motor.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Marta Argueso Montero, Tesis de Doctorado. "Caracterización del envejecimiento de los aislantes en maquinas rotativas de baja tensión". Universidad Carlos III de Madrid. España. 2005.
- [2] M. Fernández, M. Gracia, G.A. Orcajo, J. Cano, J. Solares. "Técnicas para el mantenimiento y diagnostico de maquinas eléctricas rotativas". Barcelona. Marcombo, 1998, pp. 121-153
- [3] Fernando Villada Duque, et al. "Estudio del comportamiento de motores de inducción ante fallas estatóricas". Revista Universidad de Antioquia, Junio 2007, numero 040, Medellín, Colombia, pp. 76-94.
- [4] More, J. "Vibrations des Machines et Diagnóstico de Leer Etat Mécanique" Editions Eyrolles. 1992.
- [5] White, G.D. "Introducción a la Vibración en Maquinas", DLI, Engineering Corp. 1995.
- [6] Harper, Gilbert E. "Control de motores Eléctricos". 1ª Edición. México: Limusa, 1998.
- [7] Thearte, E.L., "Dynamic Balancing of Rotating Machinery in the Field", Trans. ASME, 56, pp 745-753 (Oct. 1934).
- [8] "Manual para motores y generadores de inducción". ABB oy Machines. P.O. Box 186. 2006. FIN-00381HELSINKI. FINLAND.
- [9] Ronald L. Eshleman. "Vibraciones Básicas de Maquinas". 199. Traducido por Ing. Ciro Martinez T. Lima. Perú.
- [10] Salvador Carreras. "Mantenimiento predictivo en los denavados de las maquinas eléctricas rotativas de alta tensión", Talleres Petit, S.A., Noviembre 1998.
- [11] Joan Puigmal Pairot. "Diagnostico del estado del aislamiento en grandes maquinas eléctricas rotativas mediante el estudio de la capacidad del bobinado". Universidad de Girona. Enero-Febrero 1995.
- [12] M.F. Cabañas et al. "Técnicas para el mantenimiento y diagnostico de maquinas eléctricas rotativas". Marcombo editores S.A. Barcelona 1998. pp. 166-344.
- [13] J.C. Urresty. "Diagnostico de rotura de barras en un motor de inducción de Jaula de ardilla mediante la aplicación del método de Elementos finitos". Trabajo de grado. Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Cali. 2006. pp. 17-62.
- [14] F. Villada et al. "Estudio del comportamiento de motores de inducción ante fallas estatóricas". Rev. Fac. Ing. Antioquia. N° 40. 2007. pp. 76-94.
- [15] F. Martínez Domínguez, "Reparación y bobinado de motores eléctricos", 2001.
- [16] ABB SACE "Manual de instalaciones y mantenimiento maquinas de anillos deslizantes" AMK 400-500. Octubre 2006. pp. 1-121.

- [17] ABB Oy Machines. "Manual para motores y generadores de inducción". P.O. Box 186. Fin-00381 HELSINKI. FINLAND. Dic. 2006. pp. 1-141.
- [18] Balakumar Balachandran, Edward B. Magrab. "Vibraciones". Thomson Editores S.A. 2006. México. Pp. 1-581.
- [19] Juan José Manzano Orrego. "Mantenimiento de maquinas eléctricas". Thomson Editores Sapin. Paraninfo S.A. 4ta. Ed. 3002. Magallanes. Madrid. España, pp. 1-145.
- [20] Dennis H. Shreve. "Introduction to vibration technology". Columbus, Ohio 43229. Nov. 1994, pp. 1-18.
- [21] Paresh Girdhar Beng, Girdhar and Associates. "Practical Machinery Vibration Analysis and predictive maintenance". Edited by C. Scheffer PhD, Meng, SAI MechE. Copyright 2004, pp. 1-255.
- [22] Edward H. Cawern, P.E. Artículos técnicos "Baldor Motors, Drives & Generators". P.O. Box 2400. Fort Smith, AR 72902-2400 USA, pp. 1-116.
- [23] Austin H. Bonnett. "Quality and Reliability of Energy-Efficient Motors". IEEE Industry Applications Magazine. Enero – Febrero. 1997, pp. 22-31.
- [24] Darío Díaz et al, "Análisis del cortocircuito entre espiras de un motor de inducción tipo jaula de ardilla mediante la aplicación del método de elementos finitos". Escuela de FIEE – Universidad del Valle. Colombia. 2009, pp. 16-23.
- [25] Felipe Villegas Pizarro. "Caso aplicado de análisis eléctricos LEAP maquina eléctrica rotativa contaminada con acido". ABB S.A., Chile. Dic. 2007, pp. 1-10.