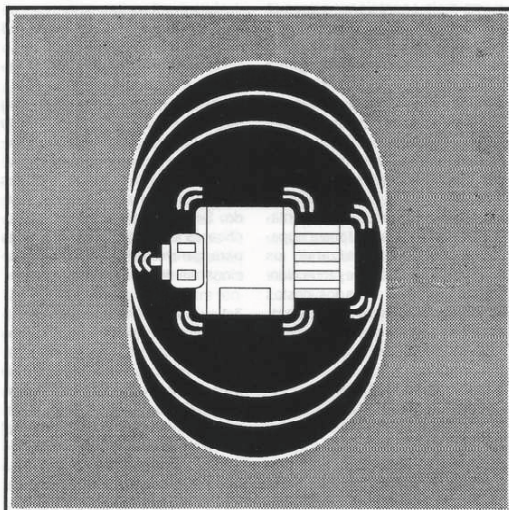


Fallas en los motores eléctricos de inducción

Causas, diagnósticos y medidas preventivas



□ Héctor Enrique Peña
González
Ingeniero Electricista

Ingeniero de Planta
Laboratorio Tecno-Eléctrico
Jaime Amaya M.
Cali

□ Carlos Hernando Ramírez
Gutiérrez
Ingeniero Electricista
Jefe de Planta
Laboratorio Tecno-Eléctrico
Jaime Amaya M.

□ Edison Mahecha Ledezma
Ingeniero Electricista
Ingeniero de Mantenimiento
Propal S.A. Yumbo
Colombia

RESUMEN

En este artículo se resaltan los cuidados que se deben tener para no disminuir la vida útil del motor y los procedimientos de mantenimiento necesarios para minimizar los paros de producción, como consecuencia de las fallas en los motores. También se describen los métodos de prueba más utilizados y algunas recomendaciones útiles para el personal de mantenimiento de la industria.

ABSTRACT

This paper remarks the electrical motors carefull and manteinance procedúres to minimize the downtime in factory. The more usual failures and testing methods are described too, as so as some practical considerations to the manteinance people.

1. INTRODUCCION

Los motores eléctricos son el soporte esencial en la industria. Además de su sencillez, eficiencia, bajo costo y fácil instalación, el motor de inducción se ha popularizado con el uso, cada vez más frecuente, de controles electrónicos de velocidad por lo que mantiene su liderazgo en todos los procesos industriales. Sin embargo, el motor eléctrico es uno de los elementos más exigidos en los procesos de producción, pero

solo hasta el momento en que se presenta una falla y como consecuencia, una parada de producción, se le presta la debida atención. Año tras año, las fábricas pierden gran cantidad de tiempo y dinero como consecuencia de estos problemas.

2. CAUSAS DE FALLA MAS COMUNES

Son innumerables los factores que pueden producir daños a los motores eléctricos. La importancia de prevenir y diagnosticar a tiempo una falla obliga a investigar permanentemente los factores que las producen. Las averías más frecuentes en los motores son ocasionadas por problemas de tipo eléctrico, pero también existe un porcentaje apreciable producido por daños mecánicos u otros factores.

Con base en la experiencia, se puede afirmar que las fallas más comunes en el aislamiento son producidas por los siguientes factores:

- Calor o frío excesivos.
- Humedad
- Acumulación de polvo y suciedad.
- Medio ambiente corrosivo.
- Vibraciones excesivas.
- Envejecimiento por tiempo de servicio.
- Sobrecarga.

2.1. Fallas eléctricas

Las fallas eléctricas generalmente son ocasionadas por el deterioro del sistema de aislamiento de los devanados, como resultado de sobrecargas prolongadas, operación del motor en una sola fase, voltajes de alimentación desbalanceados y envejecimiento del material aislante. Estos defectos pueden ser causados por malas conexiones, contactos débiles y/o sucios, mala operación de los fusibles, incorrecta calibración en los sistemas de protección, etcétera.

2.2. Fallas mecánicas

Son originadas por vibraciones excesivas, mal alineamiento del mo-

tor y la carga acoplada, bases de montaje defectuosas, falta de lubricación en los cojinetes o problemas de ajuste en las partes constructivas del motor. Lo anterior pone de manifiesto que no basta con vigilar las condiciones eléctricas, sino que es también necesario verificar periódicamente el estado de las partes mecánicas del motor y de la máquina que impulsa.

Existen otras causas menos frecuentes que también influyen en el daño del motor. Las más relevantes son el funcionamiento del motor en condiciones locativas adversas y una mala operación y selección del motor.

Como referencia, un estudio efectuado por la **Electrical Research Association** (E.R.A.), de Letherland, Gran Bretaña, realizado en más de 9000 motores, indistintamente instalados en Inglaterra, Estados Unidos y Finlandia, determinó el porcentaje de fallas que se muestra en la tabla 1.

La mayoría de daños se presentaron en motores de potencia superior a 50 HP, aun utilizando los elementos normales de protección. Sólo en Gran Bretaña los costos originados por las paradas de producción ascendieron a más de 40 millones de dólares por año.

3. DIAGNOSTICO DE AVERIAS EN LOS DEVANADOS

El sistema de aislamiento del motor está compuesto por:

- El aislamiento entre los devanados y tierra.
- El aislamiento entre fases, grupos y bobinas.

Existen una serie de pruebas de aislamiento que se deben realizar periódicamente para prevenir choques eléctricos, garantizar la seguridad del personal y reducir o eliminar las pérdidas de tiempo por paradas intempestivas de las máquinas. Esto es beneficioso para ayudar a detectar deterioro en el aislamiento y programar a tiempo traba-

jos de reparación tales como limpieza en vacío, con aire o vapor, secado y rebobinado. Es también útil para evaluar la calidad de las reparaciones antes de colocar en operación un equipo.

Existen dos tipos de pruebas para verificar la integridad del aislamiento: Pruebas analíticas y pruebas tipo. Las pruebas analíticas verifican las condiciones del aislamiento a tierra. Estas pruebas son:

- Prueba de lectura puntual.
 - Prueba de índice de polaridad.
 - Prueba por voltajes escalonados.
- Las pruebas tipo son:
- Prueba de alto potencial DC (HIPOT).
 - Prueba por comparación de impulso de tensión.

Generalmente se piensa que para verificar el estado del aislamiento de un motor basta con una inspección visual de sus partes constructivas y con evaluar las condiciones de aislamiento a tierra del devanado. Sin embargo, es necesario verificar la integridad del aislamiento para garantizar el adecuado funcionamiento del motor.

3.1. Pruebas analíticas

Desde hace mucho tiempo, las pruebas de resistencia de aislamiento a tierra se realizan con un instrumento comúnmente denominado MEGGER. Este aparato genera un voltaje alto en su salida (del orden de cientos o hasta miles de voltios) y tiene una alta impedancia interna. Al aplicar el voltaje de prueba entre los devanados y tierra, la escala del megger sensa el voltaje entre sus terminales. Si alguna co-

CAUSA DE FALLA	%
Sobrecarga	30
Medio ambiente corrosivo	19
Operación en una sola fase	14
Daño en rodamientos	13
Término de la vida útil del aislamiento	10
Fallas diversas	9
Fallas en el rotor	5

riente fluye, se reduce la lectura en la escala, proporcionando el valor de la resistencia obtenido en megohms. El resultado de la prueba indica la presencia o ausencia de trayectorias de conducción alrededor o a través del sistema de aislamiento.

3.1.1. Prueba por lectura puntual.

Para esta prueba se utiliza un megger para efectuar las mediciones. Un voltaje es aplicado entre los devanados y tierra durante un período fijo de tiempo, usualmente 60 segundos, y se anotan los resultados. La interpretación adecuada de las lecturas tomadas requiere compararla con los resultados anteriormente obtenidos en otras pruebas por lectura puntual. Para obtener conclusiones definitivas es necesario garantizar que las pruebas sean realizadas durante el mismo período de tiempo y bajo las mismas condiciones de temperatura y humedad. Estas lecturas son utilizadas para dibujar una curva de historia de la resistencia de aislamiento, similar a la de la figura No. 1. Una curva que muestre tendencia descendente indica usualmente pérdida de la resistencia de aislamiento debida a condiciones desfavorables tales como humedad, acumulación de polvo, etcétera. Una caída muy pronunciada

indica falla de aislamiento.

En el punto "A", el efecto de la envejecimiento y acumulación de polvo se evidencia por los valores decrecientes. En el punto "B" se presenta una caída pronunciada en el valor medido en el aislamiento, lo cual nos indica una falla del mismo. En el punto "C" se presenta el valor de la resistencia de aislamiento, después de que el motor fue rebobinado.

3.1.2. Prueba de índice de polaridad y absorción dieléctrica.

Esta prueba se efectúa con el megger. Para ello, el voltaje de prueba es aplicado entre los devanados y tierra, durante un período de tiempo de diez (10) minutos, con el fin de polarizar o «cargar» la alta capacitancia del sistema de aislamiento (figura 2). El operario toma una lectura cada 10 segundos durante el primer minuto y después cada minuto hasta completar los diez. Con estos valores se dibuja una curva que muestre la resistencia de aislamiento a tierra contra tiempo de prueba (figura 3). La relación entre la lectura obtenida a los diez minutos y el valor leído al primer minuto de la prueba se conoce como índice de polarización.

$$IP = \frac{\text{Lectura } M \Omega_{10 \text{ min}}}{\text{Lectura } M \Omega_{1 \text{ min}}}$$

La pendiente de la curva obtenida indicará la condición del aislamiento bajo prueba. Un buen aislamiento mostrará un incremento continuo de la resistencia (curva D). La presencia de humedad, polvo u otro agente contaminante se manifiesta en una curva que se acentúa rápidamente (curva E).

Con base en lo anterior, la experiencia ha determinado que índices de polarización superiores a 2.5 son un indicativo de aislamientos secos y limpios. Una baja lec-

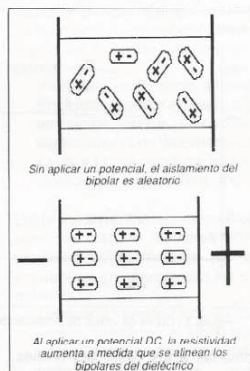


Figura 2.- Polarización del aislamiento.

tura de megger acompañada de un bajo valor de índice de polarización se obtiene en aislamientos húmedos y/o contaminados. Es importante anotar que en máquinas de alto voltaje y gran potencia es necesario utilizar un megger con amplia escala de medición—preferiblemente en Gi-gaohms— ya que debido a los altos valores de resistencia esperados es necesario diferenciar las lecturas tomadas al primer minuto de prueba con las obtenidas en el último minuto, lo que hace confiable la prueba.

3.1.3. Prueba por voltajes escalonados

En esta prueba el operario aplica dos o más niveles de voltaje progresivos por encima de la tensión nominal de la máquina. La relación de los niveles de tensión es de 2 a 5 y deben ser de la misma duración, generalmente sesenta segundos para cada paso. La aplicación de un incremento de voltaje crea diferencias de potencial en las fisuras internas del aislamiento que puede revelar envejecimiento y daños físicos, aún en aislamientos secos y limpios, lo que no podría ser apreciado con bajos voltajes. Se deben comparar las lecturas

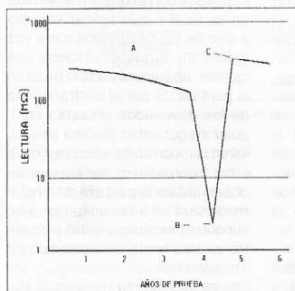


Figura 1.- Ejemplo de la variación de la resistencia de aislamiento a través del tiempo

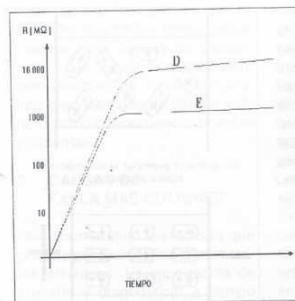


Figura 3. Curva de índice de Polarización.

tomadas a los diferentes niveles de voltaje con el fin de observar si existe una excesiva reducción en el valor de resistencia de aislamiento al aplicar los voltajes mas altos. En un aislamiento seco, limpio y sin daños físicos, se obtendrán aproximadamente los mismos valores de resistencia de aislamiento. Si ésta decrece sustancialmente al probar con los niveles altos de tensión esto será una alarma que la calidad del aislamiento se este deteriorando debido al polvo, humedad, envejecimiento, etcétera.

La figura No.4 ilustra las curvas características para este tipo de pruebas.

La curva F muestra una tendencia descendente en los valores registrados al incrementar el voltaje; esto indica un problema en el aislamiento. La curva G muestra el comportamiento del aislamiento del mismo motor, una vez que ha sido rebobinado.

3.2 Pruebas Tipo

Las pruebas tipo son realizadas con equipos más sofisticados y sirven para someter a esfuerzos más severos la calidad del aislamiento bajo prueba.

3.2.1 Prueba de alto potencial DC (HIPOT).

En esta prueba, el voltaje aplicado a los devanados se incrementa len-

ta y uniformemente hasta el valor de prueba calculado para el motor. El voltaje de prueba ha sido establecido por la norma IEEE Std. 43-1974 como dos veces el voltaje nominal del equipo más 1000 V.

$$V_p = 2 \cdot V_n + 1000$$

Donde V_n es la tensión nominal de la máquina.

Es importante anotar que la fórmula ante-

rior sólo se aplica en motores nuevos o recién reparados. La experiencia ha demostrado que para motores con mucho tiempo en funcionamiento es suficiente con un porcentaje del voltaje recomendado por la norma (generalmente un 60 o 75%). De todas formas, la única manera de garantizar que un aislamiento no va a fallar, a un determinado voltaje, es aplicándolo y observando los resultados.

Durante esta prueba, la corriente de fuga es leída por un microamperímetro. Un aislamiento sano se manifiesta con un incremento moderado de la corriente a medida que se incrementa el voltaje de prueba, hasta obtener finalmente una lectura estable. Mediante la ley de Ohm, se puede determinar la resistencia de aislamiento para el voltaje de prueba aplicado. Un incremento abrupto y desproporcionado de la corriente de fuga (**Leakage Current**) indica que el aislamiento está próximo a fallar si se continúa con la prueba y que el motor está propenso a quemarse en un futuro próximo. La prueba debe ser abortada y el motor puede ser temporalmente regresado al servicio pero será necesario recondicionar el aislamiento o rebobinarlo. Sin embargo, se pueden tomar las medidas remediales a tiempo para minimizar el efecto de la parada del motor, por ejemplo

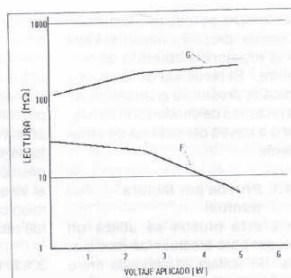


Figura 4. Variación de la resistencia de aislamiento a medida que se incrementa el voltaje de prueba

conseguir un motor de repuesto o programar una parada para evitar traumatismos en la producción.

3.2.2 Prueba de impulso por comparación

Esta prueba verifica el aislamiento entre espiras, bobinas y entre fases, mediante un procedimiento que se basa en el principio de impedancia balanceada.

El probador de impulsos por comparación, es básicamente un generador de ondas de alta frecuencia con una impedancia y una capacitancia de entrada apreciable, que aplica los pulsos a dos devanados a la vez, desplegando las ondas oscilantes en una pantalla de osciloscopio. Los pulsos aplicados son obtenidos con el disparo alternado de los SCR's, que aplican el pulso a uno de los devanados cada vez (figura 5). Si los devanados son iguales, aparecerá un solo trazo en la pantalla. Si por el contrario, uno de los devanados presenta cualquier irregularidad (bobina abierta, invertida, con corto entre espiras o entre bobinas), el patrón que se observará en la pantalla de ningún modo será un trazo uniforme, a no ser que ambos devanados presenten exactamente el mismo tipo de irregularidad.

Los pulsos de alta frecuencia son importantes ya que como la inductancia (L) del devanado es muy

baja, al aplicar una señal de alta frecuencia el valor total de la reactancia (wL) aumenta, evitando así que la corriente de fuga sea excesiva y pueda causar un daño mayor al devanado.

Las formas de onda patrones para cada tipo de falla se muestran en la figura 6. Para interpretar los resultados obtenidos se compara la onda resultante con las ondas patrones para diagnosticar el estado del devanado. Es recomendable que el rotor del motor sea girado, al menos una revolución durante la prueba, si es posible, ya que en algunos diseños la posición del rotor puede afectar la presentación de las ondas en la pantalla, dando lugar a una interpretación errada de los resultados. En este caso, el devanado es confirmado como bueno si al variar la posición del rotor se obtienen trazos simétricos y estables.

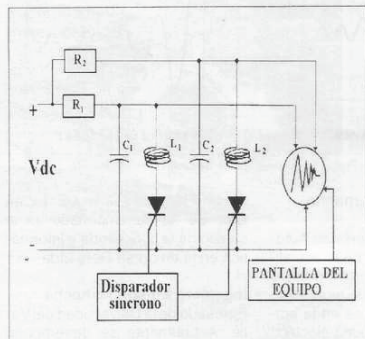


Figura 5 - Circuito del generador de impulsos

Es importante anotar que, si periódicamente se realizan pruebas a una máquina en particular, el operador puede simular las correspondientes fallas y graficar las formas de onda obtenidas con el propósito de diagnosticar rápidamente una falla futura. La tensión de prueba es la misma utilizada para la prueba de HIPOT.

4. MEDIDAS PREVENTIVAS

Al efectuar una inspección de rutina en el taller, se deben verificar todas las partes eléctricas y mecánicas que puedan tener alguna influencia en el funcionamiento del motor.

Las partes que se deben verificar son las siguientes:

- Estado de los devanados. Se debe observar si existen vestigios de humedad, polvo, grasa acumulada o cualquier agente contaminante en los devanados. Se deben realizar las pruebas eléctricas de rigor descritas y verificar el estado de los cables y el sistema de alimentación.
- Elementos de protección del motor (interruptor, guardamotor, ajustes de los elementos de protección)
- Inspección y prueba de la jaula de ardilla del motor.

- Revisión del estado de los cojinetes y su adecuada lubricación.
- Verificar en un torno la centricidad del rotor.
- Revisión de los ajustes en el eje del rotor y en los escudos (tapas) del motor, así como el ajuste y el estado del acople con la carga impulsada.
- Inspección general de las demás partes constructivas del motor (ventilador, tapa de ventilador, bornera de conexiones, tornillería, etcétera).

Todas las mediciones eléctricas y la verificación de los ajustes mecánicos deben ser realizadas por personal idóneo y con instrumentos de precisión adecuados. Al armar nue-

vamente el motor, y antes de colocarlo en servicio, se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Verificar el aislamiento a tierra.
- Energizar el motor en vacío a la tensión de servicio para observar los valores de la corriente en vacío y la ausencia de ruidos vibraciones o golpes extraños.

Los procedimientos recomendados para efectuar un mantenimiento predictivo de los motores que se encuentran en servicio son los siguientes:

- Lubricación periódica de los cojinetes, utilizando el lubricante en los intervalos de tiempo indicados por el fabricante. En el caso de no disponer de esta información, se debe recurrir al vendedor del equipo o en su defecto, al fabricante.
- Medición periódica de los niveles de vibración, tanto del motor como de la máquina impulsada, para detectar cualquier anomalía en el funcionamiento normal. Esto debe realizarse por lo menos cada seis meses.
- Monitoreo de las corrientes y voltajes de alimentación del motor para detectar cualquier desbalance valor excesivo en los mismos.
- Cambio de rodamientos de acuerdo al tiempo de servicio de los mismos (viene estipulado en horas por el fabricante).
- En el caso de contar con un equipo de prueba especial, denominado MOTOR CHECK, éste puede ser empleado para verificar el estado de la jaula y los entrehierros del motor. Esta prueba se debe realizar cada seis meses.
- En zonas de alta influencia electromagnética, o en sitios en los cuales los motores presentan problemas reiterados en los rodamientos, es conveniente verificar la existencia de paso de corriente a través de los mismos. Esto puede detectarse to-

mando medidas periódicas de corriente en el cable de puesta a tierra del motor.

Con el propósito de obtener una información detallada de los problemas y daños que ha presentado el motor, durante su tiempo de servicio, se debe consignar en la hoja de vida de cada motor los resultados obtenidos en las mediciones y los trabajos realizados en cada mantenimiento, con nombres y fechas de los operarios y/o contratistas que ejecutaron los mismos, para futuras consultas en el caso de presentarse problemas posteriores.

[5. BIBLIOGRAFIA

- [1] REVELT, Jean, High Heat Hurts Motors. Lincoln Electric Co. USA 1993.
- [2] VINCENT, Cyril. El cuidado y la prevención de fallas en motores. Dinamo and Motors Repair Ltd. Wembley, Inglaterra. 1993.
- [3] ABB. Instalación, operación y mantenimiento de motorreductores. México, 1994.
- [4] LAWRIE, R.J. Biblioteca Práctica de Motores Eléctricos. Tomo 2. Editorial Océano. 1984.
- [5] VIBRAN & CIA. Curso BAKER. Bogotá, Colombia. 1992.
- [6] BAKER INSTRUMENTS CO. Manual de Referencia para el usuario del equipo por comparación de impulso. 1992.

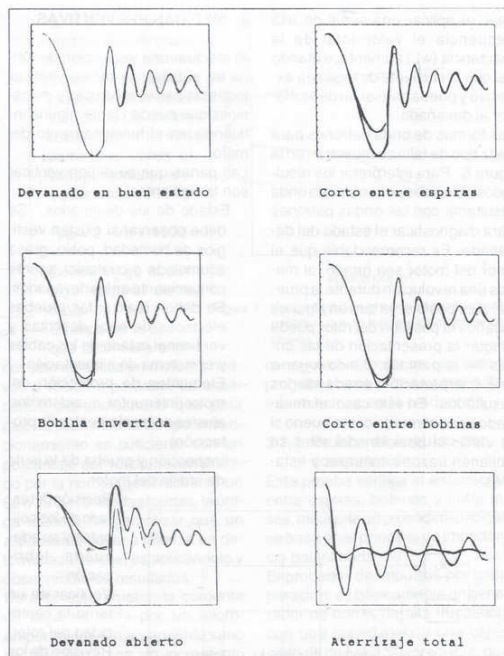


Figura 6. Formas típicas de onda.

Ingeniero Carlos Hernando Ramírez

Egresado de la Universidad Autónoma de Occidente. En la actualidad se desempeña como ingeniero director de la planta de reparación de máquinas eléctricas en la empresa Laboratorio Tecno-eléctrico Jaime Amaya, en Cali. Ha participado en proyectos, pruebas y mantenimientos predictivos en máquinas de corriente alterna y continua, en la industria en general.

Ingeniero Héctor E. Peña G.

Egresado de la Universidad del Valle. Actualmente se desempeña como ingeniero electricista en la planta de reparación de máquinas eléctricas en la empresa Laboratorio

Tecno-Eléctrico Jaime Amaya, en Cali. Se ha desempeñado en el campo de la consultoría e informática en la empresa Gers Ltda.

Ingeniero Edison Mahecha

Egresado de la Universidad del Valle. Actualmente se desempeña como ingeniero electricista de mantenimiento predictivo total en la empresa Propal S.A., en Cali y ha participado en la solución de problemas técnicos en máquinas eléctricas en la planta. Actualmente trabaja en el desarrollo e implementación de nuevos programas de mantenimiento predictivo con base en la experiencia acumulada a lo largo de su desempeño profesional.