

motor tico

BOLETÍN BI-MENSUAL PREPARADO POR WWW.MOTORTICO.COM, COSTA RICA

JULIO-AGOSTO 2016

Relevancia del monitoreo de condición en el aislamiento de Máquinas Rotativas Media Tensión

El monitoreo de condición en máquinas rotativas de media tensión (MT) ha ganado gran aceptación, ya que por medio de un conjunto de pruebas es posible establecer el estado del motor/generador, lo que puede apoyar la toma de decisiones. Con esto se busca minimizar los riesgos de fallas, y que estas no se extiendan a otros sistemas dentro de la planta de producción, y también se espera extender la vida útil de la máquina. El uso correcto de las técnicas de monitoreo de condición permitirá reparar componentes que presenten deterioro (incipiente, medio o aumentado) antes que una falla mayor se presente. Con esto se puede programar lo siguiente: solicitar partes de repuestos con anticipación, programar la mano de obra, y planificar otras reparaciones durante la parada programada. Sin embargo, hay evidencia estadística internacional que la identificación de fallas o defectos no se realiza correctamente, y no se están encontrando fallas durante las pruebas de mantención.

Revisión de estudios de fallas

Estudios de fallas realizados en máquinas rotativas de MT por el IEEE y el EPRI de USA, han encontrado que la distribución de fallas es la siguiente: 40-50% del total corresponden a fallas en rodamientos (descansos); cerca del 30% se presentan en el bobinado de estator; 20-30% se dan en otras partes de la máquina. Esto significa que entre el 70-80% de las fallas se presentan en el conjunto rodamientos+estator. En definitiva, esto debe motivar los mayores esfuerzos hacia este conjunto por parte de los encargados de la correcta operación de este tipo de equipos industriales. Efectivamente, el personal a cargo tiene a su disposición distintas técnicas de monitoreo de condición para el diagnóstico de máquinas de MT. Siguiendo con el estudio, también se logró demostrar que cerca del 60% de las fallas reportadas en rodamientos fueron descubiertas en ensayos durante las pruebas de mantenimiento predictivo. Sin embargo, en el caso del devanado de estator, sólo un 8% de las fallas se encontraron en las rutinas de pruebas. Se nota así una enorme brecha entre la eficacia de las pruebas para evaluar los rodamientos (principalmente ensayos de vibración), y las realizadas en el diagnóstico del estator. Evidentemente, se requieren mejoras en los siguientes aspectos: i) los criterios de evaluación para la detección de problemas; ii) las herramientas y equipos con que se prueban las máquinas; finalmente, iii) las normas y procedimientos utilizados.

Monitoreo de condición y diagnóstico de falla

El monitoreo de condición tiene como objetivo central el diagnóstico del sistema técnico en evaluación, en este caso, la máquina rotativa de MT, la cual está formada por distintos componentes. Al final, se espera conocer cómo se va degradando la máquina en todas sus partes. Para esto, es esencial evaluar el desarrollo o formación de defectos, así como el tamaño o dimensión de dichos defectos, para dar seguimiento a su crecimiento, y también cómo éstos pueden degradar otras partes de las máquinas. El resultado final, será la caracterización y comprensión del comportamiento del defecto encontrado, que afecta el desempeño de la máquina como un sistema completo. Para lograr este objetivo mayor, se requiere el concurso de distintas disciplinas técnicas, que en conjunto aportan para una mejor comprensión de la evolución del defecto, que puede llegar a una falla catastrófica, si no se efectúan medidas preventivas o correctivas. En muchas ocasiones, este análisis deberá hacerse posterior a una falla, recurriendo a todos los registros de ensayos realizados.

Técnicas de evaluación del estator en máquinas de MT

Cualquier problema que se presenta en el sistema de aislamiento de la máquina eléctrica es producido por dos mecanismos, que operan de forma individual o en conjunto, estos son: conducción y polarización. En primer lugar, el fenómeno de la *Polarización* se relaciona con la

característica de los materiales aislantes de tener muy pocas cargas libres, siendo ellas de tipo ligadas, formando partículas llamada dipolos. Los dipolos tienen posibilidad de girar o desplazarse levemente de su posición, pero sin capacidad de movimiento como las cargas libres. La polarización se ve afectada por lo siguiente: las descargas parciales, envejecimiento, arcos, oxidación, contaminantes como lubricantes y químicos, productos corrosivos, calor, y humedad. Por otro lado, el mecanismo de *Conducción* se relaciona con el movimiento de cargas por el aislante, lo cual se ve afectado por: la humedad, los contaminantes, como el carbón, partículas metálicas o fibras naturales, que forman caminos de fuga por medio de los materiales aislantes. Para detectar la presencia de este tipo de mecanismos, que operan la mayoría de veces de manera "silenciosa", el personal de mantención tiene a su disposición una serie de ensayos que se resumen en la Tabla I.

Tabla I Resumen de las técnicas de ensayos dieléctricos para máquinas de media tensión

Prueba	Descripción	Alcance-Comentarios
Resistencia Aislamiento (IR)	En corriente continua (CC), duración 1 minuto, y se debe corregir por temperatura	Adecuada para detectar humedad y contaminación. Predomina la resistividad del aislante. No detecta vacuolas de aire o malos procesos de curado de la resina
Índice Polarización (PI)	En CC, relación IR 10min/1min, o 5min/1min	Adecuada para detectar humedad y contaminación. Algunos mecanismos de deterioro no son detectados, como aislantes quebradizos. Se recomienda usar el perfil de 10 min, o gráfica IR vs. Tiempo, que debería crecer de manera uniforme con el tiempo
Polarización/Depolarización (PDC)	En CC, perfil de la corriente de carga y descarga	Útil para detectar falta de curado, envejecimiento térmico, daños mecánicos o absorción de humedad
Descarga Dieléctrica (DD)	En CC, mide la característica de descarga a 1 min	Útil para detectar falta de curado, envejecimiento térmico, daños mecánicos o absorción de humedad. Puede usarse para vigilar procesos de secado de devanados que se limpiaron
Capacitancia (C)	La capacitancia a tierra se incrementa con el paso del tiempo.	Adecuada para detectar contaminación y cambios en las propiedades dieléctricas. Predomina efecto de la permitividad del aislante.
Tangente Delta y Tip-Up (Tanδ)	En corriente alterna (CA), mide la respuesta dieléctrica del devanado	Detecta presencia de vacuolas de aire y delaminación, grado de curado de la resina, y el estado de la cinta conductora. La presencia de humedad también afecta la prueba
Impulso (Surge)	Frente de onda entre las fases del devanado	Evalúa la condición del aislamiento entre la vueltas dentro del devanado
Alto Potencial (Hi-Pot)	Frente de onda entre el aislamiento y tierra	Prueba de recepción en fábrica, no es de uso extendido como prueba predictiva
Descargas Parciales (PD)	Se excita el devanado en CA, cerca voltaje operación	Deterioro localizado dentro del aislamiento, útil para encontrar puntos con deterioro. La actividad de PDs acelera los procesos de envejecimiento en el sistema de aislamiento

Estudio de caso

El siguiente caso ilustra el tema tratado en este artículo. Se trata de un motor de MT, 4.16kV, 10polos. Esta máquina presentó problemas tras unos meses de operación, pero algunos ensayos estaban según las normas, y uno no. Los ensayos realizados fueron: IR, PI, Surge y Tanδ/Tip-Up, sin tener historial de base. Los resultados son los siguientes:

1. Ensayo en CC:

Prueba de resistencia de aislamiento según norma IEEE 43-2013 entrega los siguientes valores:

IR_{1 min} : 1,28 GΩ @ 40°C

IR_{10 min} : 6,54 GΩ @ 40°C

PI : 5,1.

Resultados OK !!!!

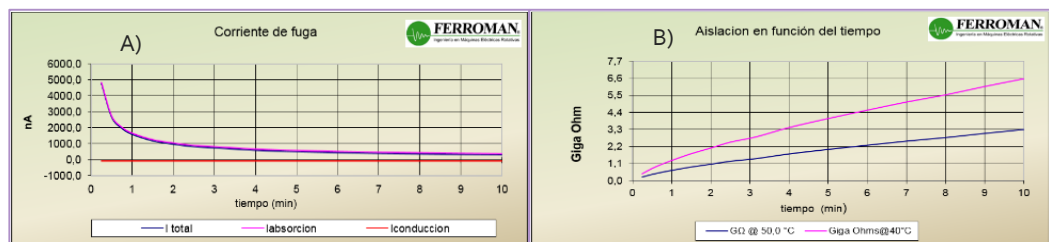


Figura 1 Prueba de resistencia de aislamiento en CC (Cortesía Ferroman S.A.)

El gráfico A) muestra las corrientes en nA (nano amperios), y el gráfico B) presenta la IR en función del tiempo para 10 minutos. Los resultados están según las recomendaciones de la norma.

2. Impulso:

La prueba de impulso, o surge, se realizó según la norma IEEE 522, con los siguientes resultados:

Resultados OK !!!!

Lead	Peak Voltage (V)	PP EAR Status	Max P-P EAR%
1	6840	PASS	3,7%
2	6780	PASS	3,9%
3	6780	PASS	3,3%

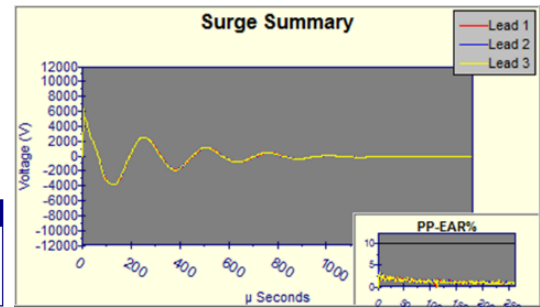
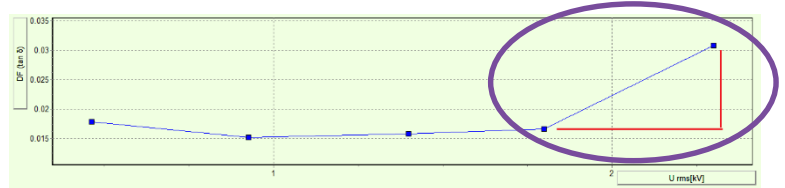


Figura 2 Prueba de impulso (Cortesía Ferroman S.A.)

3. Tangente Delta:

La prueba de Tangente Delta ($Tan\delta$) se realiza en CA, según la norma IEEE 286, con 5 escalones de voltaje, según lo siguiente:

U rms	DF (tan δ)	DF%(tanδ)@20°C	Cp(Zx=Cp/Rp)	Frequency	Ieff Test	Real Power @10kV
463 V	+0.0179	+1.79 %	244.7 nF	50.04 Hz	35.63 mA	137.99 W
926 V	+0.0152	+1.52 %	245.8 nF	50.05 Hz	71.56 mA	117.18 W
1.40 kV	+0.0158	+1.58 %	246.0 nF	50.05 Hz	108.4 mA	122.21 W
1.80 kV	+0.0166	+1.66 %	246.3 nF	50.05 Hz	139.4 mA	128.30 W
2.30 kV	+0.0308	+3.08 %	249.6 nF	50.07 Hz	180.4 mA	241.95 W



Escalón Vn	Tan δ	Δ Tan δ por pasos	95%; 0,0300	0,5 * (tδ @ 0,6 Vn - tδ @ 0,2 Vn) // 95%; 0,005
------------	-------	-------------------	-------------	---

Precaución !!!!!

Conjuto 3 Fases	Escalón Vn	Tan δ	Δ Tan δ por pasos	Cumple	
				SI	NO
	0,2	0,0179		SI	
	0,4	0,0152	-0,0027	SI	
	0,6	0,0158	0,0006	SI	
	0,8	0,0166	0,0008	SI	
	1,0	0,0308	0,0142	NO	

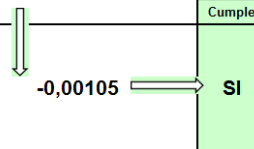


Figura 3 Prueba de $Tan\delta$ y Tip-Up (Cortesía Ferroman S.A.)

Se detectó un aumento considerable de la $Tan\delta$ en el último escalón de voltaje (último Tip-Up), según Fig. 3.

Diagnóstico:

Al revisar los datos, los valores de IR y PI están según la normativa, y se pueden considerar normales. No obstante, al usar otras variables, por ejemplo, la razón de absorción ($Razón\ de\ Absorción = Corriente\ de\ Absorción\ @\ 1\ min / Corriente\ de\ Absorción\ @\ 10\ min$), se esperaría magnitudes mayores de este parámetro para un aislamiento tipo Mica-Epóxico, a pesar de satisfacer la norma IEEE 43. Por otro lado, la prueba de Surge no se deja ver nada que pueda indicar algún defecto incipiente. Sin embargo, el factor de disipación hay que mirarlo con mayor detenimiento, puesto que en general todo va bien hasta el último Tip Up, el cual tiene algo que decir. Se aprecia que es la única variable que se incrementó anormalmente. Dicha condición podría ser asociada a descargas parciales internas, en virtud de la existencia de vacuolas entre capas del aislamiento y delaminación. Las investigaciones posteriores, una vez desarmada la máquina, se determinó que el bobinado no era original y carecía de impregnación adecuada (ver Fig. 4). Solamente por medio del ensayo de Tip Up se logró detectar con claridad el problema.



Figura 4 Inspección del devanado mostrando la falta de resina