

motor tico

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



NOVIEMBRE-DICIEMBRE 2017

Diagnóstico de máquinas rotativas de media tensión usando ensayos dieléctricos

Las máquinas rotativas cumplen un papel clave en distintas aplicaciones, sea ésta una industria de producción, una generadora o edificación. Se reconoce así su criticidad en los procesos productivos y servicios, ya que de éstas depende gran parte de su desempeño. Por lo tanto, cada día se da mayor importancia a los aspectos de confiabilidad y diagnóstico.

Introducción

Cuando una máquina opera, sea un motor o generador, se espera que no presente salidas inesperadas que provoquen interrupciones en su funcionamiento, con las consecuencias que conlleva. Por lo anterior, se sugiere llevar a cabo una serie de mediciones periódicas de distintas variables, que evalúen el estado de condición, con lo cual se permite establecer su riesgo de operación, junto con las posibles medidas correctivas a implementar en caso de ser necesarias, y en el momento oportuno. Esto se constituye en un **diagnóstico de máquinas**, donde los aspectos dieléctricos, relacionados al aislamiento, son de los más importantes.

Para la evaluación se pueden desarrollar mediciones en el tiempo, lo que se conoce como "**diagnóstico basado en datos históricos**", llamado por muchos como **Análisis de Tendencias**. El objetivo es conocer cómo evoluciona la formación de defectos dentro de la máquina, y definir efectos en otras partes. El concepto "diagnóstico" se ha desarrollado en el último tiempo con distintos enfoques, el que nos interesa se relaciona con ser un medio para la detección temprana de fallas. Específicamente, se habla de detectar, aislar e identificar una condición de falla inminente o incipiente, sin que se detenga la operación de la máquina. Es decir, el componente afectado sigue funcionando, aunque se encuentre en modo degradado. El proceso se divide en:

- 1) *Detección de falla*: Descubrir una condición incipiente anormal de funcionamiento.
- 2) *Aislamiento de falla*: Determinar qué componente (subsistema, sistema) está fallando o ha fallado.
- 3) *Identificación de falla*: Estimar la naturaleza y extensión de la falla.

Aplicado al sistema de aislamiento, los responsables de la correcta operación de máquinas cuentan con una serie de ensayos, destinados a determinar su condición, clasificados en: *i)* parámetros dieléctricos medidos; *ii)* parámetros combinados; y, *iii)* parámetros derivados de las magnitudes medidas. El objetivo final del diagnóstico será que una "**falla potencial**" (incipiente), no se convierta en una "**falla funcional**", que impida la operación de la máquina.

Ensayos dieléctricos para diagnóstico de máquinas

Los devanados de máquinas incluyen un sistema de aislamiento que busca lo siguiente: *i)* evitar el contacto entre conductores y tierra; *ii)* conducir el calor fuera de la máquina; y, *iii)* dar soporte mecánico a los conductores frente a la vibración. Así, sus componentes fundamentales son:

- Aislamiento entre conductores.
- Aislamiento entre vueltas.
- Aislamiento con la pared de la ranura (a tierra).

Para construir cada uno, se cuenta con una serie de materiales seleccionados según el tipo de máquina, tensión de trabajo, medio en que opera, y otros. Además, se adicionan otros materiales, que tienen funciones específicas. Es de esperar que los materiales aislantes conserven sus capacidades no sólo durante los ensayos, cuando la tensión aplicada puede exceder a la nominal, sino también durante la vida útil de la máquina. Para evaluar el sistema de aislamiento, se cuenta con una serie de ensayos normados. Estas normas entregan criterios de evaluación para el análisis

de resultados. La interpretación debe combinarse con la experiencia y conocimiento del usuario. La Tabla 1 presenta los métodos fuera-de-línea (*off-line*) en máquinas de media tensión.

Tabla 1. Ensayos dieléctricos fuera-de-línea para máquinas rotativas

| Método de Ensayo | Normativa recomendada | Tipo de tensión | Componente probado y observaciones |
|--------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|---|
| Resistencia de Aislamiento (RA) | IEEE 43-2013 | Corriente Continua | Encuentra contaminación y defectos en la aislación fase-tierra. Principalmente detecta la presencia de humedad. |
| Índice de Polarización (IP) | NEMA MG-1 | | |
| Descarga Dieléctrica (DD) | IEEE 43-2013 EDF | Corriente Continua | Evalúa sistemas de múltiples capas aislantes, detecta defectos en la aislación fase-tierra, y humedad. |
| Alto Potencia en CC (Hi-Pot CC) | IEEE 95-2012 IEC 34-1 NEMA MG-1 | Corriente Continua | Encuentra contaminación y defectos en la aislación fase-tierra. |
| Comparación de Impulsos (Surge) | IEEE 522-2004 NEMA MG-1 | Impulso | Encuentra defectos en la aislación espira-contra-espira. |
| Descargas Parciales (DP) | IEEE 1434-2014 IEC 60034 | Corriente Alterna | Encuentra deterioro en la aislación fase-tierra y espira-contra-espira, localizando la zona con el defecto. |
| Factor de Disipación (Tan δ) | IEEE 286-2000 IEC 60894 | Corriente Alterna | Encuentra deterioro en la aislación fase-tierra y espira-contra-espira. |

Caso de estudio

Para aplicar la teoría revisada, se presenta el análisis de un motor de **2500[HP]/6,6[kV]**, Jaula de Ardilla, Clase de Aislamiento F. El mismo fue evaluado utilizando ensayos dieléctricos. Los principales parámetros medidos se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Ensayos dieléctricos realizados al motor (Fuente: Ferroman S.A., Chile)

| Fecha del ensayo | Ensayo dieléctrico y resultado | | | | | |
|------------------|--------------------------------|-----|------------------------------------|-----|-----|---|
| | RA [G Ω] | IP | Prueba Surge – Max. P-P EAR [%] | | | Tan δ @ 0,2V _n [%] |
| Diciembre 2015 | 10,7 | 7,7 | 2,5 | 3,0 | 2,5 | 0,4 |
| Septiembre 2016 | 4,8 | 2,8 | 2,9 | 2,4 | 2,4 | 0,7 |
| Agosto 2017 | 8,7 | 7,4 | 2,5 | 3,0 | 3,3 | 0,5 |

Para realizar el diagnóstico según las normas de la Tabla 2, se utilizan los siguientes valores de referencia:

- **RA: 100[M Ω] @ 40[°C]. (Mínimo).**
- **IP: 2,** por ser motor Clase de Aislación F. (Mínimo).
- **Max. P-P EAR: 10[%],** según recomendación del fabricante del equipo para prueba con el motor armado. (Máximo). El EAR (del inglés *error area ratio*, cuantifica la diferencia entre las curvas de cada fase. Es de esperar que las tres fases tengan una coincidencia completa, pero se permite una leve diferencia. Se indicó como máximo un 10[%], pero algunos fabricantes lo establecen en 5[%].
- **Tan δ @ 0,2V_n: 3[%]. (Máximo).**

Se concluye que todos los parámetros cumplen los valores esperados (ver Tabla 2). Sin embargo, se puede ver un comportamiento diferente en el 2016, al presentarse una desmejora del RA, IP y Tan δ . En este caso, si bien no se superaron las referencias, fueron las fluctuaciones lo que indicó que algo no estaba bien. Inicialmente, se revisaron los valores de humedad relativa registrado, y presentaban niveles similares en las tres pruebas. Con esto en mente, se programó un ensayo de DP en agosto-2017. Los resultados por fase se muestran en Fig. 1.

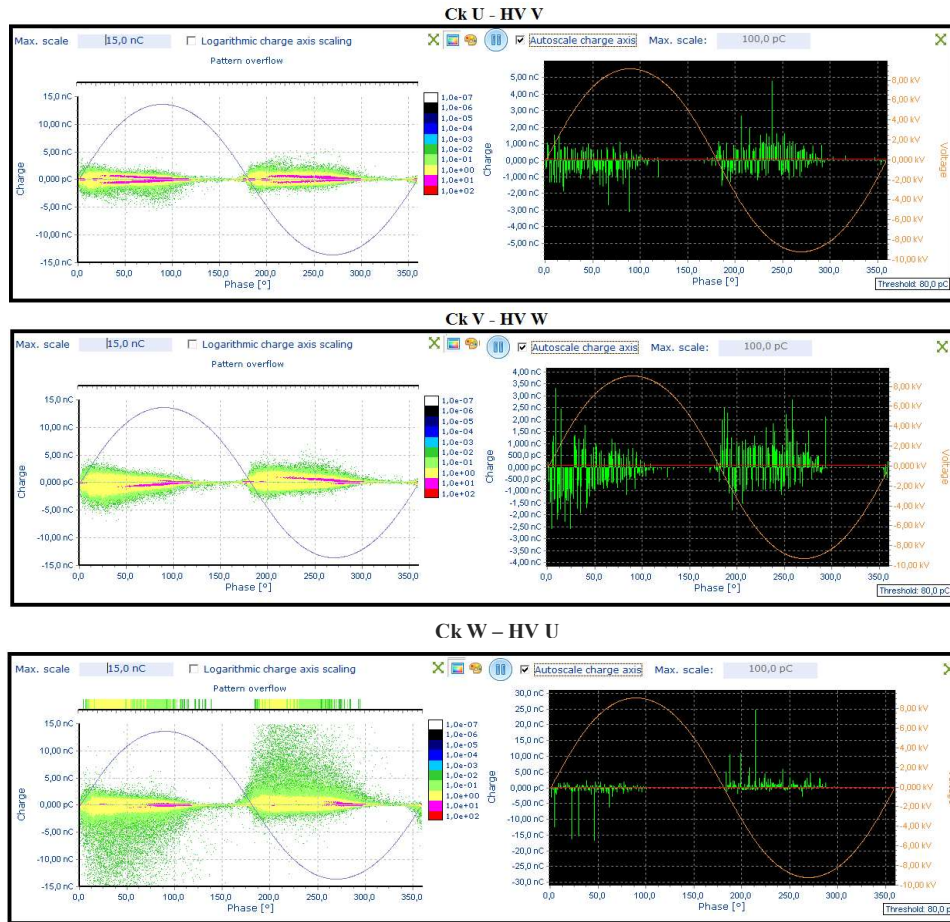


Figura 1. Resultados del ensayo de DP por fase (Cortesía de Ferroman S.A, Chile)

De la Fig. 1 se observa que los patrones de DP poseen una simetría en el semi-ciclo positivo con el negativo, además de la polaridad de sus pulsos. Por lo tanto, no indica una falla puntual, más bien se considera un envejecimiento térmico. Por otro lado, los patrones de las fases N°1 y N°2 son similares, no así, el de la fase N°3, que muestra una actividad de DP mayor. Esto hace presumir que la fuente de DP se encuentra muy cercana a la entrada de fase, debido a su elevada amplitud y baja repetitividad. Con este diagnóstico se recomendó realizar una inspección visual, para comprobar anomalías. El motor se llevó al centro de servicio, donde se desarmó y encontró el daño. La Fig. 2 muestra el problema presentado.



Figura 2. Vistas del estator: A) Chapas finales sueltas, B) Daño producido en fase N°3 (Cortesía de Ferroman S.A., Chile)

Al desarmar el motor, se observó que las chapas de estator **NO** contaban con los sujetadores axiales del laminado (en inglés Fingers), lo que permitió **su movimiento y rozamiento del aislamiento**. Esto al final provocó el debilitamiento de las paredes aislantes en la salida del estator (mayormente en la fase N°3). La prueba de DP anticipó la falla. Las otras pruebas mostraron que algo sucedía internamente, pero no fueron contundentes.

Conclusión

Considerando los resultados de los ensayos, por las fluctuaciones en las variables RA, IP y Tanδ, se optó por realizar un ensayo de DP junto con una inspección visual. El patrón de DP de la fase N°3 fue sensible a la condición anormal. En las pruebas en terreno fueron detectados los daños en la superficie de las bobinas, lo que derivó en el desarme del motor, donde, finalmente, se detectó la causa-raíz del daño en el devanado.