

Monitorización de máquinas eléctricas mediante descargas parciales

Juan Carlos Cano - Sergio Rodríguez Ruiz

La monitorización de máquinas eléctricas es una filosofía a la que se tiende cada vez más en el mantenimiento, las ventajas de esta son múltiples, como ejemplo, la evaluación de la vida real del aislamiento de forma no invasiva, la detección y seguimiento de la evolución de los defectos desde su estado incipiente. En este artículo se presenta la monitorización de máquinas eléctricas mediante el uso de la técnica de descargas parciales, la cual permite la evaluación del aislamiento de máquinas eléctricas. En el artículo se incluyen casos reales en los que la aplicación de estas medidas ha permitido la detección de defectos.

Electrical Machines Monitoring is a philosophy that is being more and more accepted in maintenance, the application of these techniques has a lot of advantages as the life evaluation non-intrusively and the detection and evolution evaluation of defects. This paper presents the monitoring of electrical machines using the Partial Discharge technique, which allow the evaluation of insulation of Electrical Machines. Real Cases are included in the paper as samples in which this technique has been useful to detecting defects.

DESCARGAS PARCIALES

En las máquinas eléctricas cuya tensión es mayor de 3000 V, se producen en mayor o menor medida descargas parciales. Estas descargas parciales, son pequeños arcos que no puentean totalmente el devanado, que generalmente son de baja energía pero que al darse con frecuencias que podríamos llamar elevadas, dan lugar a la degradación del aislamiento. En la práctica, los materiales aislantes según su composición, son más o menos sensibles a las mismas, así por ejemplo en el caso de máquinas rotativas, uno de los componentes del aislamiento es la mica, que soporta niveles elevados de descargas parciales; sin embargo en el caso de transformadores de aceite, el nivel de descargas parciales soportado por el papel que compone parte del aislamiento del mismo, es reducido.

Las descargas parciales son pulsos de un tiempo de subida muy corto, del orden de nanosegundos y de ancho de pulso menor de 100 ns, la evaluación de mismas, se realiza por medio de sensores que captan las altas frecuencias que suponen las descargas parciales, y con un equipo de medida, una de las exigencias de estos equipos es la de discernir entre descargas parciales y ruido, tal como el producido por ondas

de radio, tiristores, corona, conmutaciones en las escobillas, etc. Con este fin, y según los fabricantes, existen distintos anchos de banda para la detección de descargas parciales. Como norma general, a mayor frecuencia de detección de descargas parciales mayor es la cantidad de descargas parciales detectables con relación al ruido, sin embargo la atenuación es mayor, por lo tanto la elección del equipo con un ancho de banda y frecuencia de corte superior adecuados es de vital importancia.

Las descargas parciales, siempre se producen en ángulos definidos respecto a la tensión aplicada al aislamiento, siendo estos entre 0 y 90° y entre 180 y 270°, por lo que la representación de las mismas, respecto a la tensión resulta sumamente útil como ayuda a la diagnosis, figura 1.

La medida de descargas parciales es un indicador de la degradación del aislamiento, por lo que el seguimiento de estas permite conocer el estado del aislamiento.

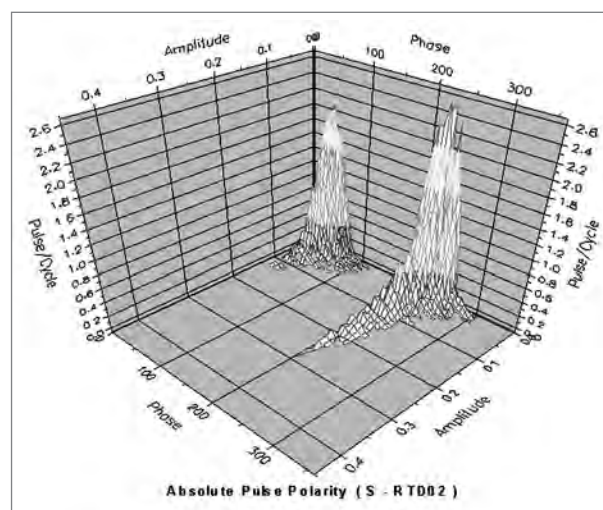


Figura 1: Representación de descargas parciales en función de la fase de la tensión.

PARAMETROS TÍPICOS DE LA MEDIDA DE DESCARGAS PARCIALES

Los principales parámetros para definir las descargas parciales, son los siguientes.

- Carga aparente. Es la carga eléctrica (en Culombios), que inyectada en terminales de una máquina, produce una tensión igual a la que produce en los mismos terminales una descarga parcial.

- Repetición de los pulsos. Para evaluar las descargas parciales se usa este parámetro con el fin de conocer el número de pulsos que se producen en una unidad de tiempo o en un ciclo. Se miden en pulsos por ciclo o pulsos por segundo.
- Nivel de descargas parciales o máxima descarga detectada, (Qmax), es la máxima carga recurrente, detectada durante la observación continua de la medida de descargas parciales.
- Intensidad de descarga (PDI). Es la suma de la energía suministrada por la fuente de tensión a las descargas individuales, dividida por el tiempo de medida. Esta magnitud se mide en mW.

$$PDI = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^{i=n} Q_i * V_i$$

VARIABLES QUE INFLUYEN EN LAS DESCARGAS PARCIALES

Existen ciertas variables, que ejercen una influencia en la aparición de descargas parciales, tales como las siguientes:

- Temperatura. Esta variable tiene una importancia notable en el caso de los aislamientos, este es el principal parámetro que limita la vida del aislamiento, por lo que su seguimiento es esencial. Adicionalmente, dependiendo del tipo de defecto origen de las descargas parciales, su relación con la temperatura, puede ser positiva o negativa.
- Humedad. Generalmente, a medida que aumenta la humedad, aumenta el nivel de descargas parciales.
- Carga. Según la máquina que estamos monitorizando, el hecho de

que exista correlación entre la carga de la máquina con los niveles de descargas parciales, nos da idea del origen del defecto. Como ejemplo, en un alternador, una correlación las descargas parciales positiva con la carga puede ser indicativo de aflojamiento de las cuñas o de las cabezas de bobina.

- Presión de hidrógeno. En el caso de alternadores refrigerados por hidrógeno, la variable de humedad se puede sustituir por la de presión de hidrógeno, para realizar la correlación con las descargas parciales.

MAQUINAS A LAS QUE APLICA LA MONITORIZACIÓN DE DESCARGAS PARCIALES

Las descargas parciales son fenómenos asociados a media/alta tensión. Desde el punto de vista práctico, los equipos que directamente son objeto de esta tecnología, en los que se está realizando monitorización de descargas parciales son los siguientes:

- Alternadores (turboalternadores e hidroalternadores)
- Motores de media tensión
- Embarrados y cabinas de media tensión
- Transformadores de distribución
- Barras de fase aislada

Los sensores utilizados son los siguientes, figura 2.

- Condensadores de acoplamiento. Suponen un camino de baja impedancia a las altas frecuencias que son las descargas parciales.
- Sensores de radiofrecuencia. Instalados en las mallas de los cables, permiten la detección de las descargas

parciales que circulan por la misma.

- Regletas de medidores de temperatura. En el caso de máquinas rotativas (motores de media tensión y alternadores), los sensores de temperatura ya instalados en las máquinas, se pueden utilizar como antenas para medir localmente las descargas parciales, para ello sustituimos la regleta existente de los mismos, por otra que incluye filtros que posibilitan el uso de la RTD como sensor.
- Sensores de variables externas. Permiten el seguimiento de variables que afectan a las descargas parciales:
 - Sensores de temperatura
 - Sensores de humedad.
 - Sensores de carga de la máquina.

CASOS REALES

Se exponen a continuación varios ejemplos reales, en los que la utilización de estos equipos, ha propiciado la detección de defectos incipientes.

Caso 1: Subestación de 35 kV con 4 equipos de monitorización instalados.

En el bus E de la subestación, en uno de los sensores apareció una medida de descargas parciales superior al nivel de alarma, pero por debajo del nivel de alerta. La medida que da alerta, es la fase A, figura 3, los sensores que indican alarma son los CT07 y CT09, en la cabina 8, que es la del transformador de tensión, no se instalaron sensores.

A consecuencia de esta medida, en el momento de la revisión se aprovechó para realizar una inspección visual del cubículo 8, en la que se encontró el defecto que aparece en la figura 4. Se realizó el cambio de transformador de intensidad por uno nuevo y se chequearon los pares de apriete del resto de conexiones en el embarrado.

Caso 2:

En el motor se instaló un equipo de monitorización, mediante sensores capacitivos y de RTDs. Desde noviembre de 2004 a septiembre del 2005 se obtuvieron 180 alarmas, figura 5. En el gráfico superior de la figura 5, se muestra la carga máxima en el condensador de la fase C entre diciembre y septiembre y en el gráfico inferior el valor de la carga máxima para cada

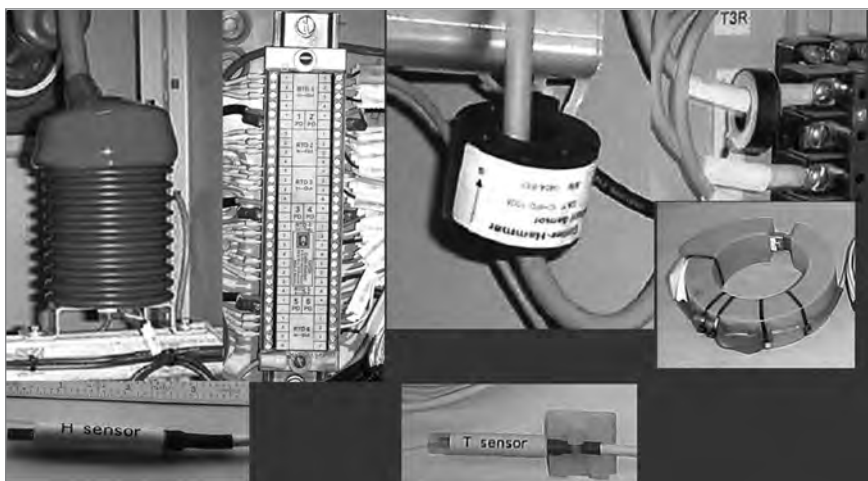


Figura 2: Sensores de medida de descargas parciales.

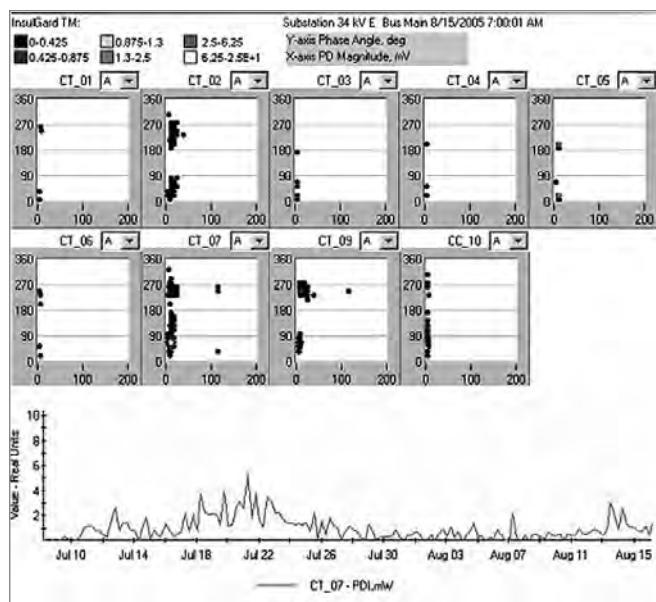


Figura 3: Representación de las descargas parciales en función de la fase y de la evolución de la intensidad de descargas parciales en el CT_07.



Figura 4: Transformador de tensión con "tracking" en la superficie debido a descargas parciales.

uno de los sensores instalados en la máquina, en la medida realizada en la línea de puntos de la figura superior.

En la figura 6, se muestra la evolución de la carga máxima, para cada uno de los sensores.

La figura 7, muestra la correlación entre las descargas parciales y las variables externas, temperatura, humedad y carga. Se observa que no hay ninguna correlación entre el condensador de la fase C y las variables externas. En el resto de sensores se observa la correlación típica de huecos internos.

En la figura 8, se muestran medidas puntuales en cada sensor, representando el número de descargas parciales

(en función del color), el nivel de descargas parciales, y la fase de la tensión en las que se producen. Se observa que las descargas son fase tierra y fase fase en la fase C. Se procedió a realizar una inspección visual del motor y se encontró el origen de las descargas parciales, estas aparecen en el anillo de conexión de las fases, figura 9.

Caso 3: Hidroalternador de 13.5 kV

En el alternador aparece continuamente un nivel elevado de descargas parciales,

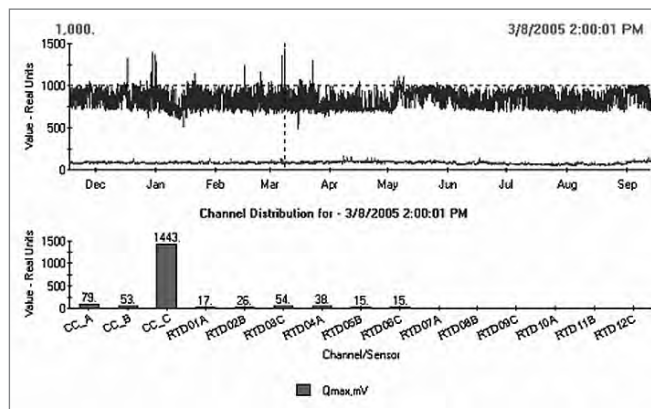


Figura 5: Evolución de las descargas parciales en el motor.

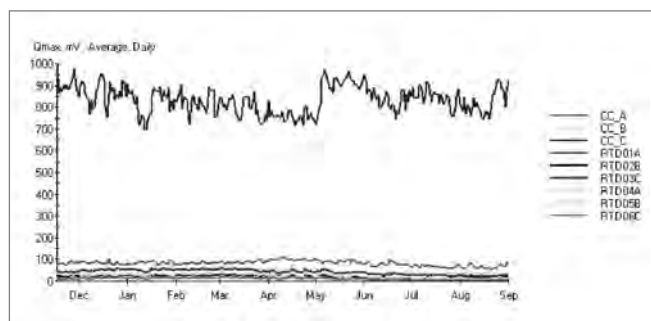


Figura 6: Evolución de la carga máxima en cada uno de los sensores.

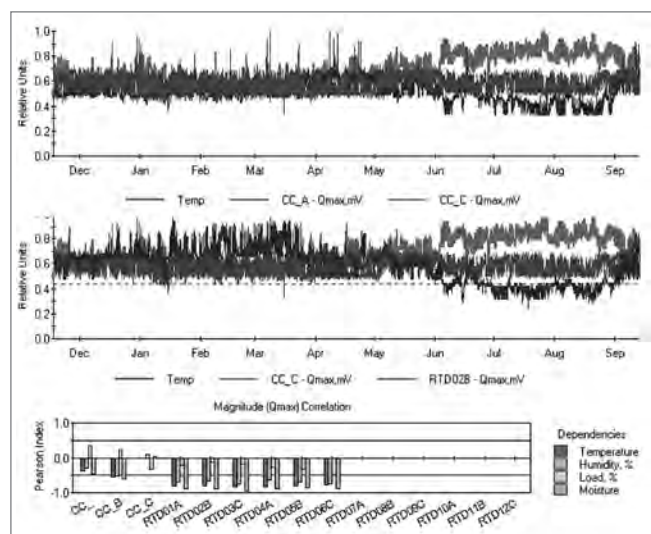


Figura 7: Correlación entre descargas parciales y variables externas.

les, entre la fase A y C. Una posterior inspección visual permitió localizar el origen de las descargas parciales, figura 10. En la misma figura se muestra la medida una vez solucionado el problema mediante una modificación de diseño. La medida descargas parciales, una vez solucionado el problema, muestra que el número de descargas ha disminuido sensiblemente (el color muestra el número de descargas en cada ciclo, siendo el color negro el de menos densidad).

CONCLUSIONES

Se ha presentado la técnica de descargas parciales como una herramienta muy útil en el mantenimiento predictivo. Se han definido parámetros asociados a las mismas, y parámetros que influyen en su comportamiento. Se han presentado varios casos reales en los que la utilización de esta

técnica ha permitido la detección de defectos, que de otra forma hubieran quedado velados y a la larga hubieran dado lugar a problemas irreversibles. Adicionalmente, la monitorización de equipos, permite el acceso remoto a los datos, desde cualquier lugar del mundo, dando señales de alarma, y el acceso a los resultados y a la configuración del equipo en cualquier momento.

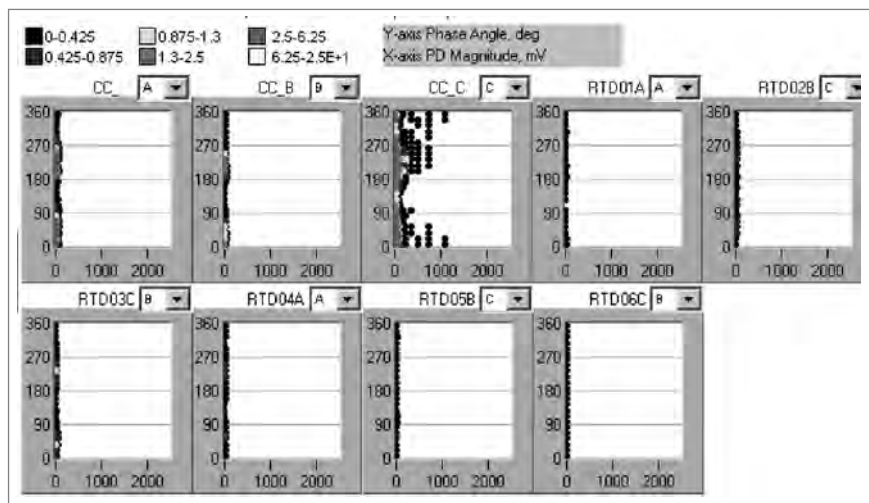


Figura 8: Representación PRPDD en cada sensor.

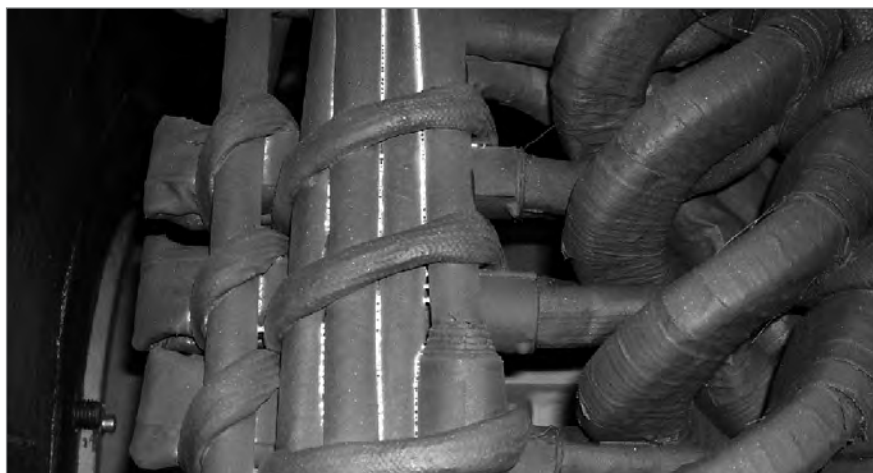


Figura 9: Origen de las descargas parciales.



Figura 10: Descargas parciales en el anillo entre las fase A y C



Juan Carlos Cano es ingeniero industrial por la Universidad Politécnica de Madrid, en la especialidad de Electrotecnia. Se incorpora en TECNATOM en 1995 como ingeniero de ensayos eléctricos. Desde el año 2000 ocupa el puesto de Responsable de la Unidad de Ensayos Eléctricos, realizando actividades en el campo del Mantenimiento Predictivo de estos equipos en Centrales de Producción de Energía Eléctrica.



Sergio Rodríguez Ruiz es ingeniero técnico industrial en su especialidad de máquinas eléctricas por la escuela de ingenieros técnicos industriales de la universidad politécnica de Madrid. Se incorpora a Tecnatom en Enero del 2004 en la unidad de ensayos eléctricos, donde se encarga de la realización e interpretación de ensayos eléctricos predictivos en máquinas eléctricas, proyectos de extensión de vida de cableado eléctrico en CNN's y monitorización de equipos eléctricos mediante descargas parciales.