

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS ÚLTIMAS VERSIONES DE LA TECNOLOGÍA PDA PARA LA MEDICION DE DESCARGAS PARCIALES EN LINEA EN MAQUINAS ELECTRICAS

Armando Salazar Godoy
CFE-LAPEM

ANTECEDENTES

Este artículo presenta algunas diferencias significativas de las últimas versiones, vigentes en el mercado, de la tecnología PDA; Aun y cuando aparentemente tienen la misma filosofía de medición, se encontró una no correlación en los diagnósticos emitidos con estos equipos. La inconsistencia de los primeros ensayos nos llevo a efectuar un programa de pruebas manteniendo exactamente las mismas condiciones de pruebas sobre el espécimen variando única y exclusivamente el detector de descargas parciales, corroborándose la hipótesis ya indicada. El paso siguiente fue definir algunas pruebas experimentales basadas en el principio de la tecnología PDA; es decir, se evaluó la atenuación y los tiempos de llegada de los impulsos de descargas parciales para conocer si el equipo estaba discriminando correctamente el ruido eléctrico de la descarga parcial.

INTRODUCCION

Las últimas versiones de la tecnología PDA presentan especificaciones comerciales muy similares, entre las más importantes:

- Compatibilidad con las primeras versiones PDA: PDA-H, PDA Estándar, Partner
- Análisis de la posición de fase donde esta ocurriendo la actividad de descargas parciales.
- Software amigable en ambiente windows.

La segunda característica es fundamental en el reconocimiento de posibles mecanismos de falla y/o procesos de degradamiento de los devanados del estator; por ejemplo, [1,2], el patrón de descargas parciales en ranura y en cabezales es muy diferente. Desafortunadamente en esta segunda característica, que es crucial para asistir al staff de la central en el diagnóstico, fue donde

Artículo recomendado y aprobado por el Comité Nacional de CIGRÉ-México para presentarse en el Segundo Congreso Bienal, del 13 al 15 de junio del 2001, en Irapuato, Gto.

se encontraron las diferencias más relevantes.

Posterior al estudio comparativo efectuado se analizo con mas detalle las especificaciones de cada equipo, se evaluó la información adquirida y algunas banderas de alarma que alertan al probador con respecto a la confiabilidad de la información adquirida.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS.

De acuerdo a la experiencia y a la literatura especializada [1] se han medido pulsos de descargas parciales tan rápidos como 3 ns, que contienen componentes en frecuencia hasta 100 MHz. Por lo anterior, se requiere que el instrumento de medición tenga una frecuencia de corte superior igual o mayor a 100 MHz para poder medir adecuadamente los pulsos de descargas parciales detectados por los acopladores capacitivos conectados a las terminales del devanado del estator. La siguiente tabla muestra las especificaciones técnicas de los equipos utilizados en este artículo.

ESPECIFICACION	EQUIPO A	EQUIPO B
Método de rechazo de ruido	Differential time of flight method	Digital Comparison of arrival time
Ancho de banda	1- 150 MHz	0.1- 350MHz
Rango dinámico	+/- 16 mV a +/- 6400 mV	+/-20 m a +/- 4000 mV
Polaridad	Dual: Positivo y negativo	Dual: positivo y negativo
No. ventanas fase	60	100
Simulador de DP integrado	Si	Si
Resolución	6 ns	6 ns
Impedancia de entrada	50 Ohms	50 Ohms
Compatibilidad del software	Windows 95 y 98	Windows 95 y 98

Considerando el principio de medición de la tecnología PDA, el problema principal asociado con la medición de descargas parciales en línea es distinguir selectivamente las señales de descargas parciales del ruido eléctrico, el cual es muy errático y difícil de cancelar. De acuerdo a lo anterior, la especificación técnica mas relevante entre ambos equipos es su método de cancelación del ruido interferente.

Cancelación de ruido utilizado por el PDA Estándar, PDA-H y similares:

Para que este sistema de medición pueda cancelar el ruido satisfactoriamente los pulsos de ruido deben llegar a los dos acopladores con un diferencial de tiempo menor a 5 ns y, deben coincidir aproximadamente en magnitud y forma para un rechazo de ruido confiable. En base a la experiencia obtenida y a la literatura publicada [5], principalmente en instalaciones con un alto nivel de ruido y en esquemas direccionales, se ha obtenido una gran variadas en formas de ondas de ruido y descarga parcial que difieren significativamente en magnitud y forma en su llegada al amplificador diferencial; lo cual implica una cancelación de ruido parcial y deficiente. El equipo de medición A "aparentemente" esta utilizando este esquema de cancelación de ruido, que considera únicamente los tiempos de llegada de los pulsos de descargas al amplificador diferencial, sin considerar la magnitud y/o forma de onda de los mismos.

Cancelación de ruido utilizando una comparación digital de los tiempos de llegada

El equipo de medición B utiliza un rechazo digital de ruido para discriminar entre descarga parcial y ruido. Este sistema utiliza comparadores digitales que consideran únicamente los tiempo de llegada al amplificador diferencial independientemente de la magnitud y forma de onda de los pulsos, discriminando en forma confiable el ruido eléctrico de la descarga parcial.

PROGRAMA DE PRUEBAS EFECTUADO

1. Medición de la actividad de descargas parciales bajo las mismas condiciones de prueba variando única y alternadamente el detector de descargas parciales.
2. Medición de descargas parciales mediante la inclusión de un atenuador y un retardador de señal que nos permita evaluar la cancelación del ruido de acuerdo al principio de operación de la tecnología PDA.

La siguiente tabla muestra la secuencia de los ensayos efectuados.

#	Acoplador 1	Acoplador 2
1	No atenuador No retardo	No atenuador No retardo
2	No atenuador No retardo	Con atenuador No retardo
3	Con atenuador No retardo	No atenuador no retardo
4	No atenuador No retardo	Con retardo No atenuador
5	Con atenuador No retardo	No atenuador No retardo

La Hipótesis esperada, atendiendo al principio de medición PDA, es que ambos equipos no presenten diferencias significativas con la inclusión del retardador y del atenuador de señal con respecto a la prueba norma de rutina, en donde no se incluye ningún deformador de señal.

Efecto esperado con la inclusión del atenuador en uno de los acopladores

El propósito de este ensayo es verificar un porcentaje de atenuación en la magnitud de la descarga, sin deformación significativa de las graficas desplegadas por el detector.

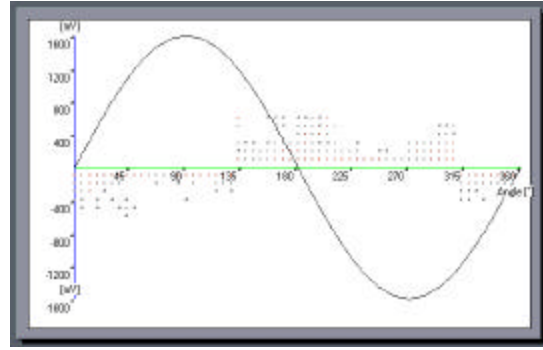
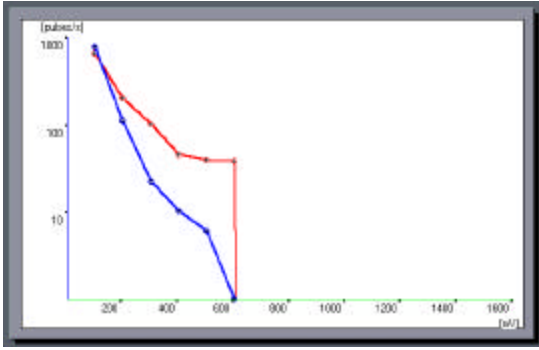
Efecto esperado con la inclusión del retardador de señal de 5 ns

De acuerdo al principio de medición PDA, el instrumento categoriza una señal descarga parcial cuando existe un diferencial de tiempo en las señales de los acopladores de 6 ns o mas, ya sea del acoplador C2 (el pulso de C2 llega 6 ns o mas antes que el pulso sea detectado en C1) o bien del acoplador C1 (el pulso llega a C1 6 ns o mas antes que el pulso de C2). Partiendo de lo anterior, se espera que agregando un retardo de 5 ns a la salida de uno de los acopladores, la señal categorizada como descarga parcial en cualquiera de los acopladores será la misma que la registrada sin el retardo de 5 ns.

PRUEBAS EFECTUADAS EN CAMPO

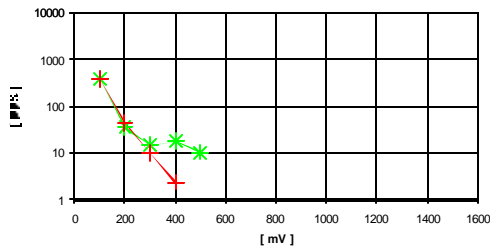
CASO ESTUDIO I: Esquema de medicion variando el detector DP's.

COUPLER A-C1: EQUIPO A

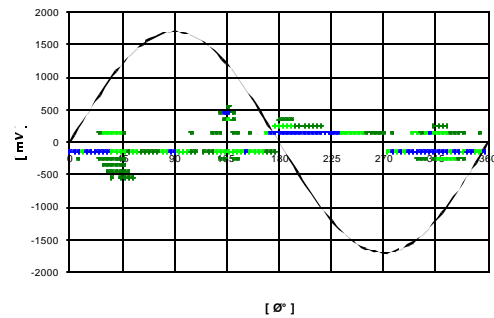


COUPLER A-C1: EQUIPO B

- + Phase:A,-Paralel 1/1U1-C1, Paralel 2/2U1-C2
8/8/2000 10:48:24PM/C1 +
- * Phase:A,-Paralel 1/1U1-C1, Paralel 2/2U1-C2
8/8/2000 10:48:24PM/C1 -



CFE/ZIMAPAN/U2(PEXPONLINE)-Epoxy Mica, 1995
Phase:A,-Paralel 1/1U1-C1, Paralel 2/2U1-C2
134.97 MW, 13.00 MVar, 16.52 KV, Temp: 95.20 °, 0.00 mH2O
G (100-1700mV) 5s, Ref. angle:90 deg.



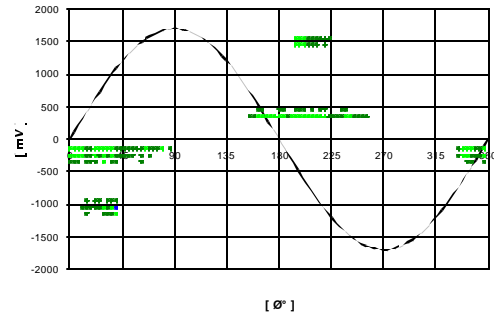
Bipolar C1
CFE/ZIMAPAN/U2(PEXPONLINE)-Epoxy Mica, 1995
Phase:A,-Paralel 1/1U1-C1, Paralel 2/2U1-C2 8/8/2000 10:48:24PM
134.97 MW, 13.00 MVar, 16.52 KV, Temp: 95.20 °, 0.00 mH2O
G (100-1700mV) 5s, Ref. angle:90 deg.

ANÁLISIS:

Grafica lineal: El equipo A muestra una predominancia positiva de 1.5, lo que implica problemas de descarga superficial en ranura. Contrariamente el equipo B muestra predominio negativo de 1.67 lo que implica actividad próxima a los subconductores de cobre debido a problemas de impregnación y/o ciclos de carga.

Grafica de distribución: El Equipo A presenta un tren de DP + de magnitud estable en ambos semiciclos desde 135° a 315°, patrón similar a la distribución de ruido extraído por el equipo B. El equipo B presenta concentraciones bien definidas a 135°, 180° y 315° no incluidas en la grafica de ruido. El patrón errático en ambos equipos presenta problemas de contaminación y acoplamiento entre fase por problemas de espaciamento entre bobinas de diferente tensión.

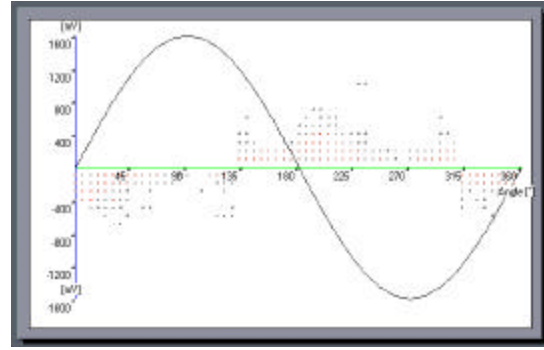
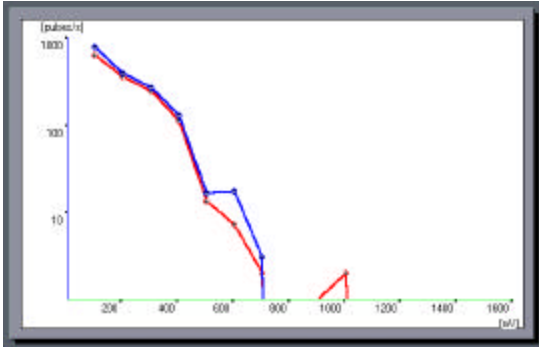
RUIDO EXTRAIDO POR EQUIPO B



Bipolar Noise
CFE/ZIMAPAN/U2(PEXPONLINE)-Epoxy Mica, 1995
Phase:A,-Paralel 1/1U1-C1, Paralel 2/2U1-C2 8/8/2000 10:48:24PM
134.97 MW, 13.00 MVar, 16.52 KV, Temp: 95.20 °, 0.00 mH2O
G (100-1700mV) 5s, Ref. angle:90 deg.

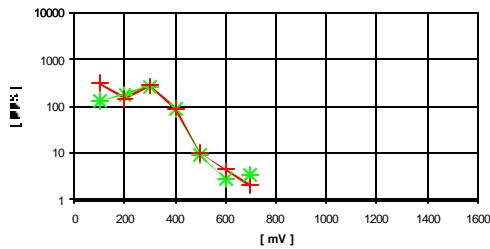
Condiciones de prueba: 138 MW, 3.32 MVAR, 16.5 kV, 95 °C

COUPLER A-C2: EQUIPO A

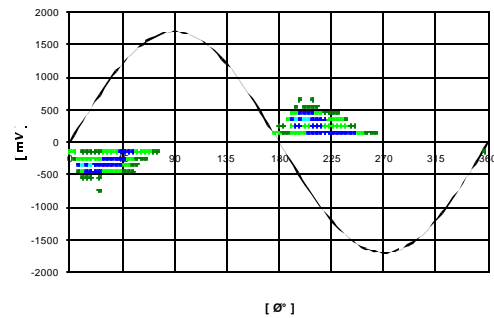


COUPLER A-C2: EQUIPO B

- + Phase:A,-Paralel 1/1U1-C1, Paralel 2/2U1-C2
8/8/2000 10:48:24PM/C2 +
- * Phase:A,-Paralel 1/1U1-C1, Paralel 2/2U1-C2
8/8/2000 10:48:24PM/C2 -



CFE/ZIMAPAN/U2(PEXPONLINE)-Epoxy Mica, 1995
Phase:A,-Paralel 1/1U1-C1, Paralel 2/2U1-C2
134.97 MW, 13.00 MVar, 16.52 KV, Temp: 95.20 °, 0.00 mH2O
G (100-1700mV) 5s, Ref. angle:90 deg.



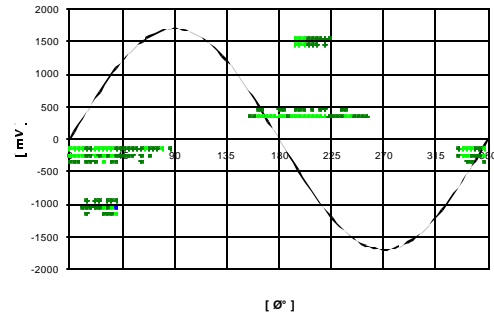
Bipolar C2
CFE/ZIMAPAN/U2(PEXPONLINE)-Epoxy Mica, 1995
Phase:A,-Paralel 1/1U1-C1, Paralel 2/2U1-C2 8/8/2000 10:48:24PM
134.97 MW, 13.00 MVar, 16.52 KV, Temp: 95.20 °, 0.00 mH2O
G (100-1700mV) 5s, Ref. angle:90 deg.

ANÁLISIS

Gráfica lineal: A primera vista la tendencia del equipo A e B son muy similares, sin embargo observe la oscilación errática del orden de 1000 mV a 0 pps del equipo A, la cual no esta siendo registrada en el equipo B. La oscilación de DP + coincide con la magnitud máxima de ruido + extraído por el equipo B a 230°. Sin considerar la oscilación del equipo A, no se aprecia predominancia alguna de DP + o - por lo que la actividad de DP es interna al asilamiento principal.

Gráfica de distribución: El equipo A muestra 5 concentraciones de descarga por analizar: 0-90°, 135-180, 180-270, 270-315 y 315-360°, patrón muy similar al acoplador A-C1, que implica descarga parcial en cabezales por contaminación y/o acoplamiento entre fases. El equipo B muestra solo dos regiones bien definidas: 0-90° y 180-270°, sin predominio de polaridad; es decir, la actividad de DP es interna al asilamiento principal. Superponiendo la grafica de ruido extraída por el equipo B con la grafica de DP del equipo A, se observa una influencia significativa del ruido en la medición de A.

RUIDO EXTRAÍDO POR EQUIPO B



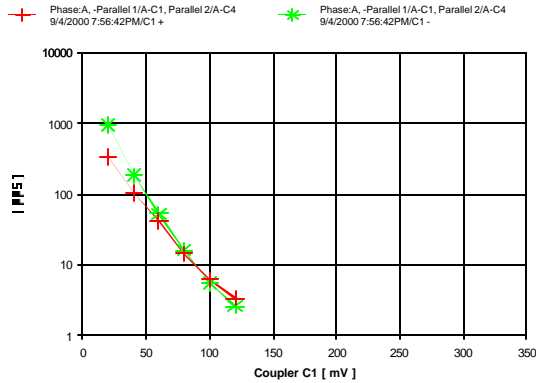
Bipolar Noise
CFE/ZIMAPAN/U2(PEXPONLINE)-Epoxy Mica, 1995
Phase:A,-Paralel 1/1U1-C1, Paralel 2/2U1-C2 8/8/2000 10:48:24PM
134.97 MW, 13.00 MVar, 16.52 KV, Temp: 95.20 °, 0.00 mH2O
G (100-1700mV) 5s, Ref. angle:90 deg.

CASO ESTUDIO II: Análisis del retardo

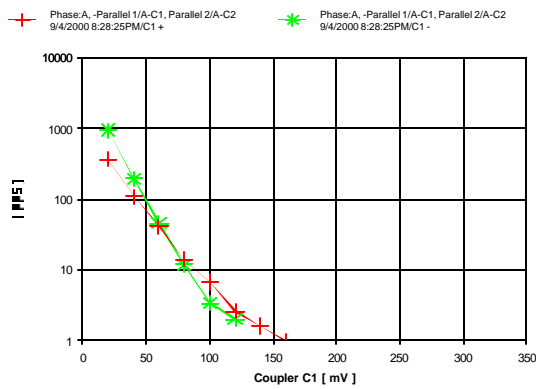
EQUIPO B

COUPLER A-C1:

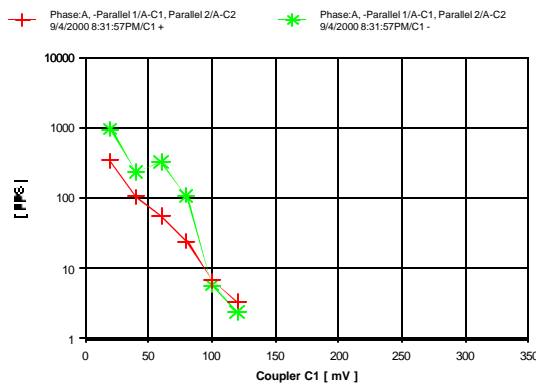
PRUEBA NORMAL



PRUEBA CON RETARDO EN A-C2



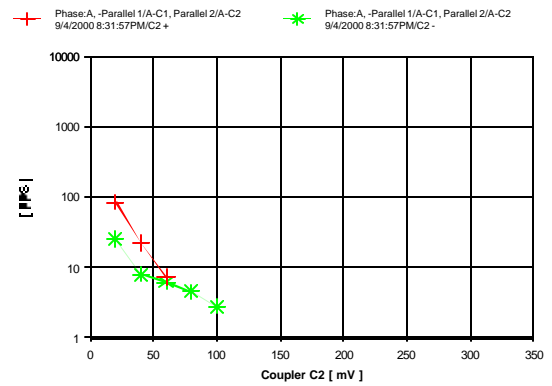
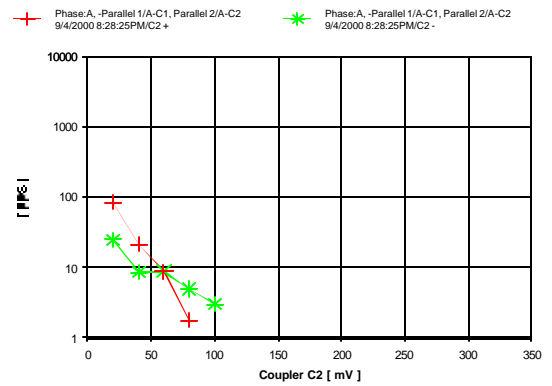
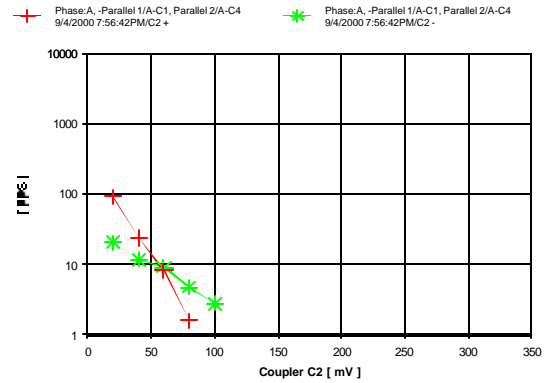
PRUEBA CON RETARDO EN A-C1



Generador 160 MW, 0.98 F.P., 13.8 kV

Condiciones de prueba: 126.5 MW, 25.6 MVAR, 13.7 kV, 76°C

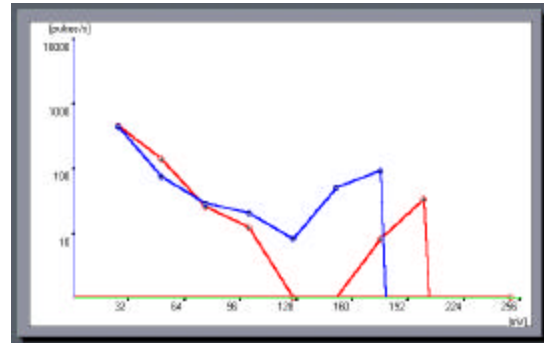
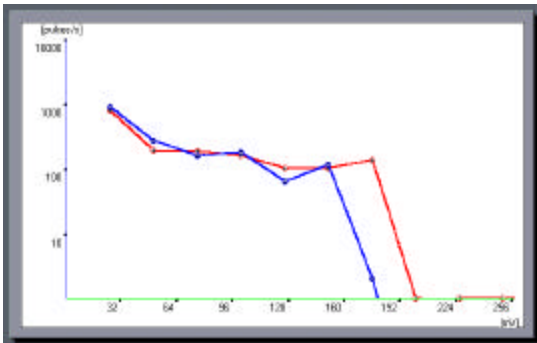
COUPLER A-C2



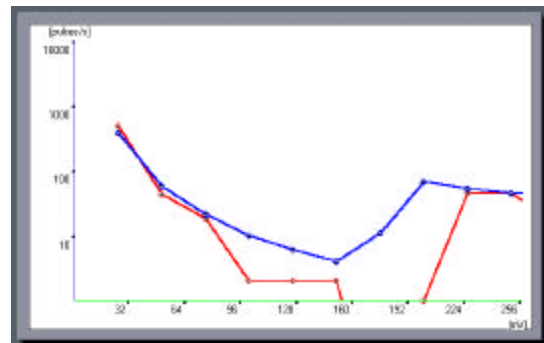
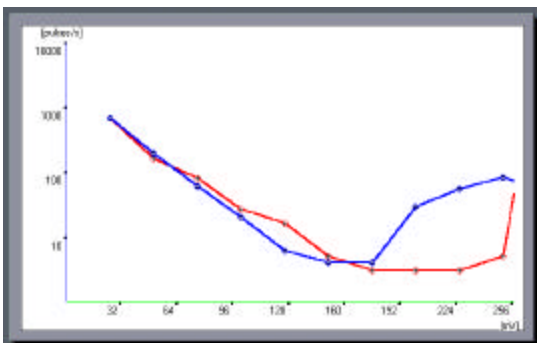
EQUIPO A

COUPLER A-C1

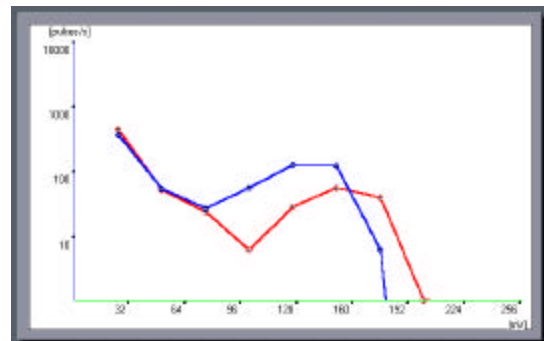
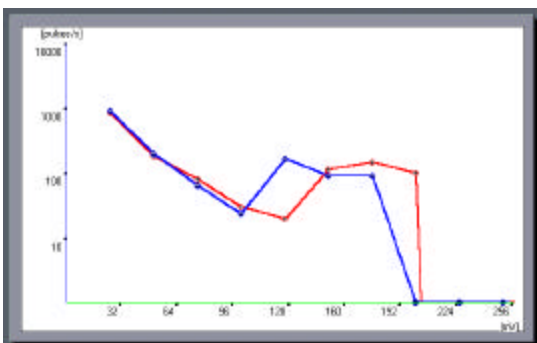
PRUEBA NORMAL



PRUEBA CON RETARDO EN A-C2



PRUEBA CON RETARDO EN A-C1



Generador 160 MW, 0.98 F.P., 13.8 Kv

Condiciones de prueba:
126.5 MW, 25.6 MVAR, 13.7 kV, 76°C

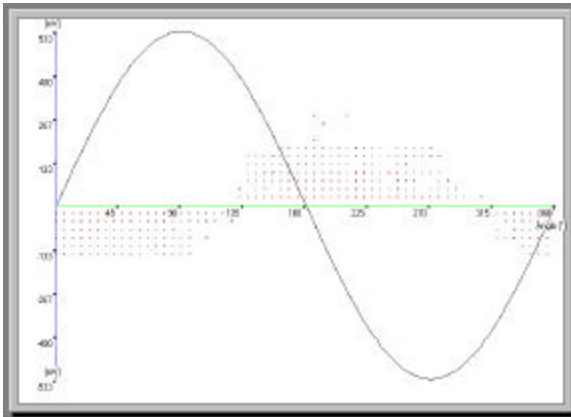
COUPLER A-C2

CASO ESTUDIO III: Análisis atenuación

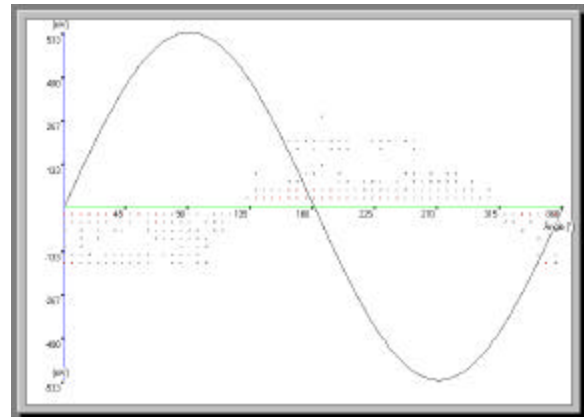
EQUIPO A

ACOPLADOR A-C1

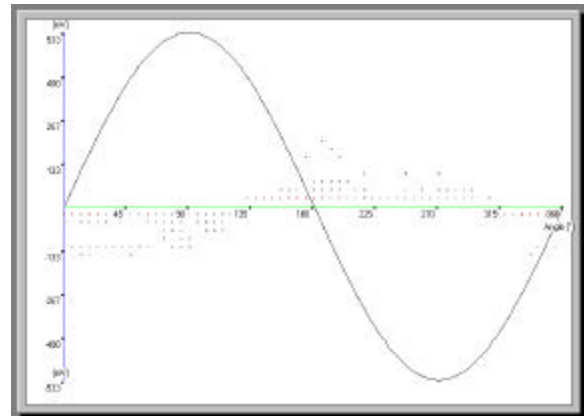
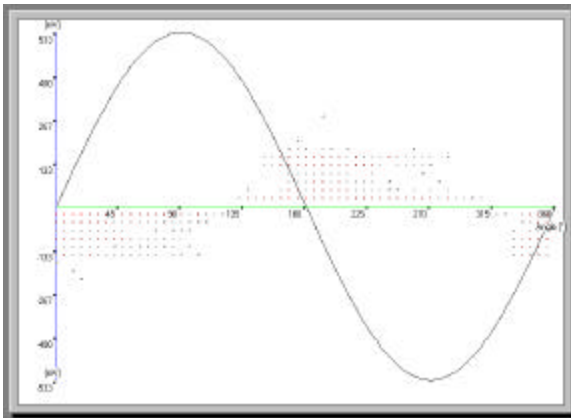
PRUEBA NORMAL



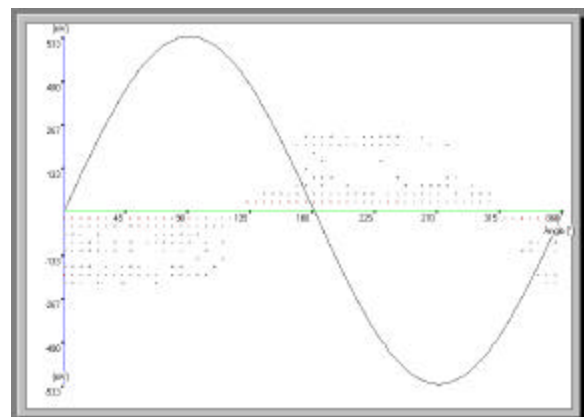
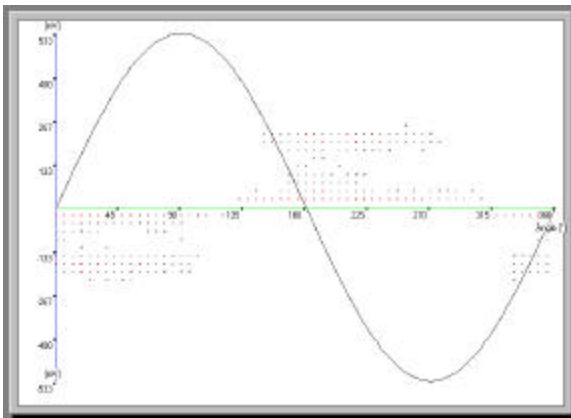
ACOPLADOR A-C2



PRUEBA CON ATENUADOR EN A-C2



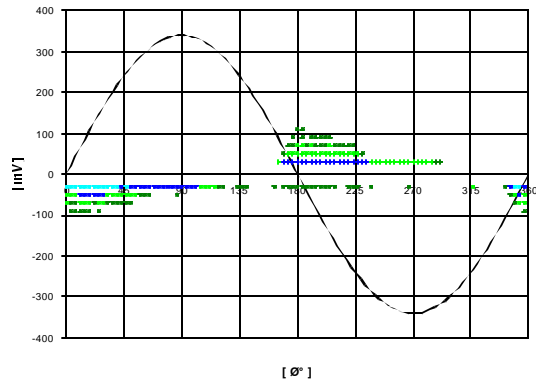
PRUEBA CON ATENUADOR EN A-C1



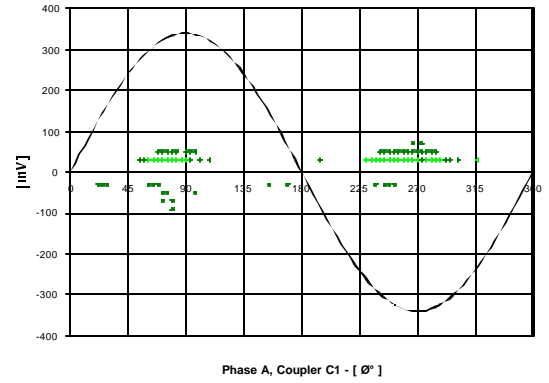
EQUIPO B

ACOPLADOR A-C1

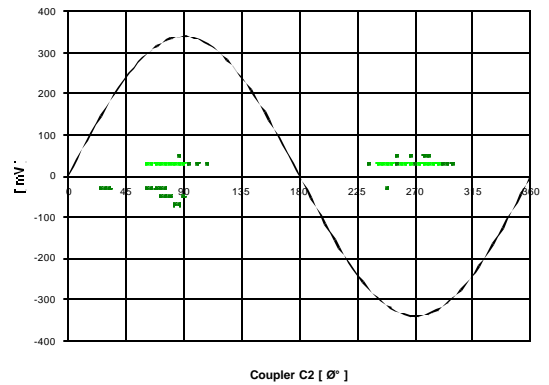
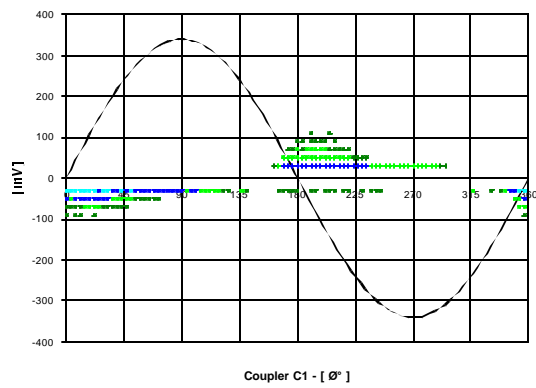
PRUEBA NORMAL



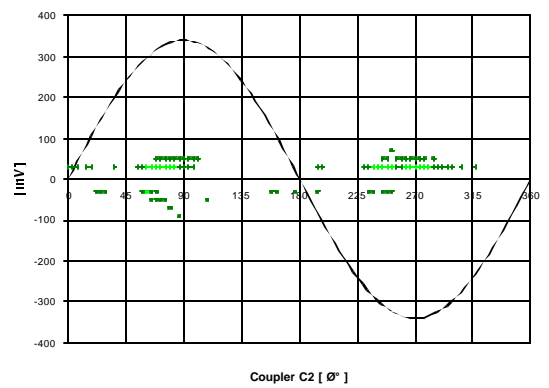
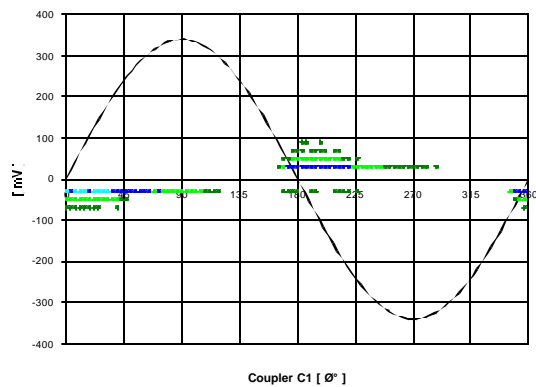
ACOPLADOR A-C2



PRUEBA CON ATENUADOR EN A-C2



PRUEBA CON ATENUADOR EN A-C1



ANÁLISIS DE RESULTADOS

Caso de estudio I: Mediciones simultáneas bajo las mismas condiciones de prueba

En la mayoría de las mediciones efectuadas el equipo A midió magnitudes significativamente mayores que el equipo B. Esta diferencia en magnitud influye la condición actual del devanado cuando se quiere compara con unidades similares, debido a que ambos equipos comparten la misma filosofía de medición y la misma base de datos para diagnóstico.

El equipo A presenta en la mayoría de gráficas obtenidas oscilaciones de magnitud muy alta (gráfica 2D) con una baja tasa de repetición, menor 10 pps, que en base a la experiencia adquirida se deben generalmente a chisporroteos y/o arcos en el bus, que son inofensivos al devanado del generador. Esta observación no fue registrada por el equipo B.

En el primer caso de estudio, y en varios otros ya experimentados, la predominancia de polaridad entre ambos equipos fue totalmente opuesta, equipo A con predominancia positiva y equipo B con predominancia negativa, lo cual impacta rotundamente los diagnósticos emitidos de cada equipo; es decir, equipo A diagnostica problemas de descarga externa mientras que el equipo B diagnostica problemas de descarga parcial interna.

Caso de estudio II y III: Verificación de la cancelación del ruido mediante la introducción de un atenuador del 40% y un retardo de 5 ns intencional en uno de los acopladores en forma secuencial y alternada para cada par de acopladores.

Respuesta al retardo aplicado: El equipo A cambió radicalmente en magnitud y forma las curvas obtenidas inicialmente sin la inclusión del retardo, cuando lo esperado era mantener aproximadamente la misma magnitud y forma de las gráficas obtenidas. El equipo B mostró ligeras variaciones en magnitud, conservando una tendencia muy similar en las curvas obtenidas con y sin la inclusión del retardador

Respuesta al atenuador aplicado: Comparando las gráficas obtenidas sin y con atenuador (atenuador en C1), se observa que el equipo A registró un incremento en la actividad de descarga parcial negativa de ambos acopladores, de 133 a 193 mV. De acuerdo a lo esperado, el equipo B registró atenuación únicamente en el acoplador que incluyó el atenuador, manteniendo aproximadamente la misma magnitud y distribución de descarga parcial en los acopladores que no incluyeron dicho atenuador.

CONCLUSIONES

Partiendo de un análisis de medición bajo las mismas condiciones de prueba, variando únicamente el instrumento de medición de descargas parciales:

La distribución gráfica de la descarga parcial, de cada uno de los equipos analizados, nos permite ver una diferencia más significativa de los resultados obtenidos, que lo que se puede observar en las gráficas lineales. Tal distribución nos permite ver el ángulo al que está ocurriendo la actividad de la descarga, permitiéndonos con esto una mejor identificación del mecanismo de falla que se está presentando en el equipo probado.

En centrales con un nivel de ruido eléctrico significativo, cuya probabilidad de causar daños al generador es insignificante, el equipo A (caso de estudio II y III) tiende a categorizar ruido como descarga; es decir, el usuario asume que las señales de los acopladores son debidas a descargas parciales del generador, cuando en realidad la fuente de la señal es (usualmente) ruido eléctrico que no representa ningún riesgo de falla al generador. Lo anterior conduce a que el ingeniero de mantenimiento asuma un degradamiento mayor de su equipo al que realmente tiene. Esta falsa indicación sugiere al responsable del generador sacar la máquina de servicio para un mantenimiento y revisión mayor, lo cual es completamente innecesario, sin mencionar el alto impacto económico que esto representa.

BIBLIOGRAFIA

1. Kurtz M. A partial discharge Test for generator insulation. Research Quarterly, Ontario Hydro, 1973; 25 (4).
2. Kurtz M, Stone GC. In service partial discharge testing of generator insulation, IEEE Trans on Electrical Insulation, EI-14, April 1979: 94-100.
3. M. Henriksen, G.C. Stone and M. Kurtz, "Propagation of Partial Discharge and Noise Pulses in Turbogenerators" IEEE Trans. on Energy Conv. Vol. EC-1, No. 3 Sept. 1986.
4. R. E. James, T. Phung and R. Miller, "The effect of End-windings Configurations on the transmission of Steep Pulses Through H.V. Generator Stator Windings" 5th ISH

Paper 93-02 Braunschweig, 1987,
93.02

5. W. Mc Dermid and J.C. Bromley
"Experience with Directional Couplers
for Partial Discharge Measurements
on Rotating Machines in Operation",
IEEE Transaction on Energy
Conversion, Vol 4, No. 2, June 1999.

CURRICULUM VITAE

Armando Salazar Godoy. Ingeniero
Mecánico Electricista egresado de la
Universidad Autónoma de Guadalajara en
1990, Ingreso al LAPEM en 1993 en donde
labora hasta la fecha en la Oficina de
Sistemas Eléctricos.

