

# CASOS COMBINANDO ANÁLISIS ONLINE Y OFFLINE

David L. McKinnon, PdMA Corporation, *Miembro de la IEEE*

**Abstracto** - En este artículo presentamos casos de tres estudios usando análisis en línea y fuera de línea del motor para prevenir fallas catastróficas del motor. El análisis en línea y fuera de línea en nuestros casos de estudio utiliza una serie de pruebas eléctricas estándar incluyendo el análisis de señal de corriente (CSA) y análisis desmodulado del espectro de corriente (DCSA).

**Términos del índice** - análisis de la señal de corriente (CSA), análisis desmodulado del espectro de corriente (DCSA), Test chequeo de la influencia del rotor (RIC), motores DC., pruebas de armadura, pruebas del campo, pruebas del motor y medidas.

## I. INTRODUCCIÓN

El análisis de la firma de corriente (CSA) se ha convertido en el estándar para detectar barras rotas del rotor mediante el análisis de las bandas laterales alrededor de la línea frecuencia. Otra herramienta útil es el análisis de espectro desmodulado de corriente (DCSA) que realiza la capacidad de detectar barras rotas del rotor especialmente motores de dos polos. Nuestro primer caso de estudio presentará una situación donde CSA y DCSA fueron utilizados para detectar barras rotas del rotor en un motor de dos polos

El índice de la polarización ( $\pi$ ) es una medida estándar en el estándar de IEEE 43-2000 para la prueba del aislamiento. El  $\pi$  es la relación de la medida de la resistencia en diez minutos dividido por la medida de la resistencia en un minuto. Esta relación se puede utilizar para analizar el estado general del sistema del aislamiento del motor. En nuestro segundo caso de estudio, se presenta una modificación a la prueba estándar del índice de la polarización. Trazando la medida de la resistencia cada cinco segundos, un gráfico llamado un perfil del índice de la polarización (PIP) es obtenido. El perfil resultante de la PIP se puede entonces utilizar para el análisis adicional del sistema del aislamiento que no se puede obtener a partir del índice estándar de la polarización.

La calidad de la energía es una medida de la calidad del voltaje y de la corriente que proveen al motor u a otra carga. Analizando los armónicos, y el desbalance de voltaje y corriente, por encima o por debajo del voltaje, y en condiciones de sobre corriente un técnico puede determinar qué puede causar hundimientos, voltajes swell o sags, y otras situaciones relacionadas al sistema de potencia que se va a examinar en nuestro tercer caso de estudio.

## II. CASO DE ESTUDIO 1 – BARRAS ROTAS DEL ROTOR

Especificaciones del motor: 3500 HP, 2 Polos, Inducción AC, 4160 Volts, 3590 RPM.

### Problema

Durante la prueba de rutina EMAX en junio del 2003, se observo del pico decibel de la banda lateral del polo pasante era 0.7419 DB, que supera el punto de ajuste de alarma de 0,3 dB (Figura 1). Se sospecharon problemas en la barra del rotor, sin embargo, cuando se realizo el análisis de vibraciones los resultados indicaron un motor sano. Debido al conflicto entre las indicaciones del EMAX y la prueba de vibración, se tomo la decisión de monitorear la evolución del motor y de los resultados de las pruebas.

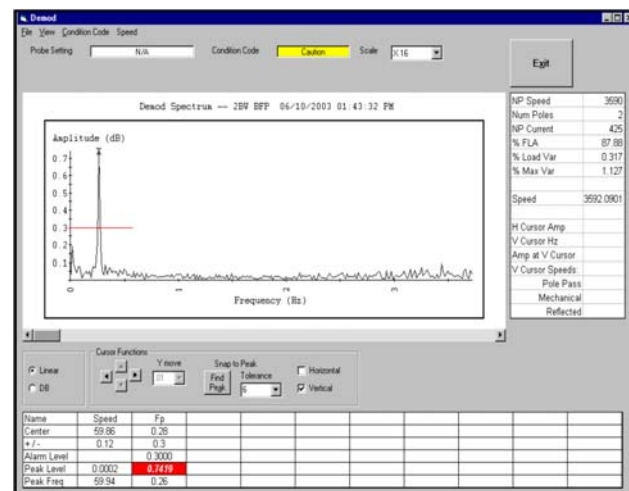


Figura 1- Espectro desmodulado de que muestra la banda lateral del paso del polo 0.7419 DB.

### Acción tomada

El motor fue reexaminado periódicamente hasta el 5/12/2004, en ese momento fue retirado de servicio. Los datos obtenidos indicaron un aumento del 1420% en el nivel máximo de la banda lateral al pasar el polo de 0.1814 dB a una velocidad de 3591 RPM el 8/15/2001 a 2.5851 dB a una velocidad de 3592 RPM el 5/12/2004 (Figura 2). La tendencia de los datos de prueba tomados entre el 2001 y el 2004 mostró un incremento exponencial en los niveles pico de la frecuencia del paso de polo, que por lo general es un indicativo de por lo menos una o más barras rotas del rotor. En el espectro de frecuencia vs. amplitud (Figura 3) tomado en 5/12/2004 se aprecia un incremento en la actividad de la banda lateral alrededor de la frecuencia fundamental, que también indicó barras quebradas del rotor. Esta banda es la

misma frecuencia de paso de polos, vista desde otro espectro, en algunos casos es también llamada frecuencia del deslizamiento.

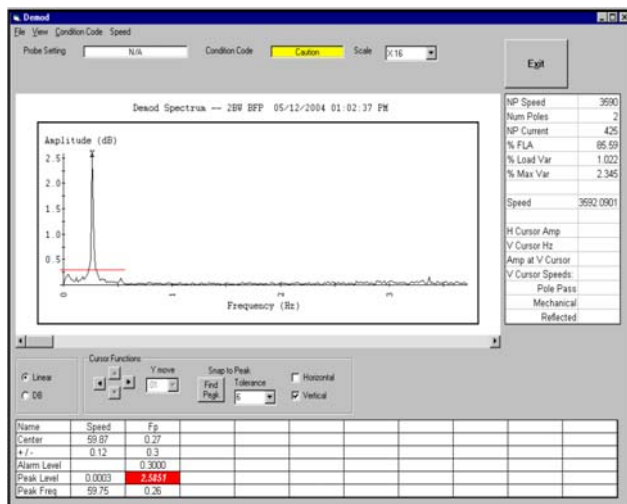


Figura 2 – Banda lateral al paso de polo de 2.5851dB a una velocidad de 3592 RPM

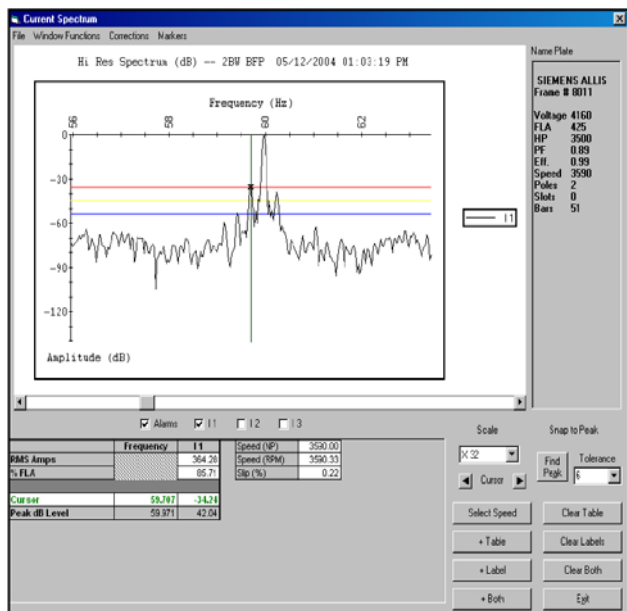


Figura 3 – Espectro Evaluación del Rotor compara la amplitud de la frecuencia fundamental versus la amplitud de la frecuencia del deslizamiento.

Todos los resultados de la prueba EMAX indicaron barras rotas en el rotor del motor. El motor fue retirado y una prueba de RIC (Rotor Influence Check) fue realizada, esta también indicó una anomalía en el rotor (Figura 4). El motor fue enviado al almacén, donde este fue desensamblado. Una inspección visual encontró de 22 a 51 barras rotas o fracturadas (ver figura 5).

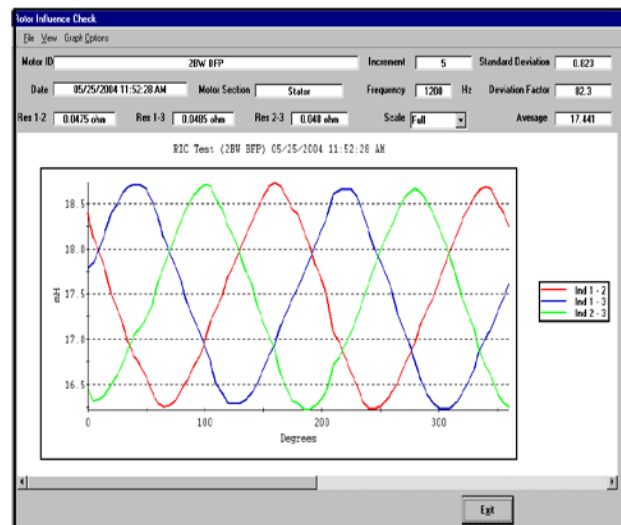


Figura 4 – Prueba de influencia del rotor (RIC) del motor antes del desmontaje. Note las variaciones repetidas en las formas de onda de la inductancia, las cuales son indicativas de barras quebradas del rotor

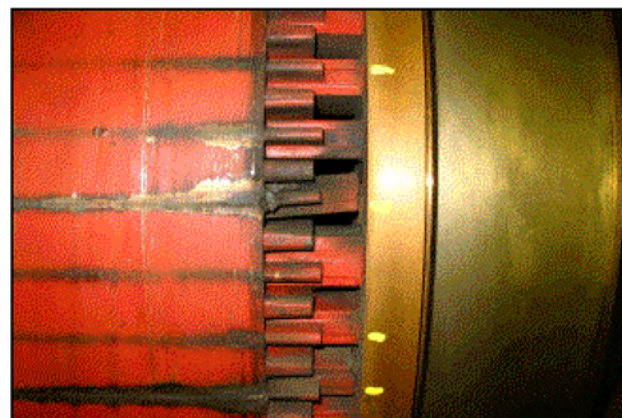


Figura 5 – Algunos de las barras rotas del rotor encontrados mediante pruebas en línea y fuera de línea

### Causa del origen

Se determinó que la mala soldadura de los empalmes entre las barras y el extremo de los anillos del rotor en una reparación realizada en el 2001 causó la ruptura y las fracturas de las barras del rotor.

### Ahorros

El costo de reparación del motor era \$90.000 (la reparación \$60.000 más \$30.000 previstos por tiempo muerto de inactividad de la planta). Hacer funcionar el motor con falla haría que el costo fuera \$370.000 (\$170.000 del nuevo motor nuevo más el tiempo muerto imprevisto \$200.000). Los ahorros totales fueron \$280.000

## II. CASO DE ESTUDIO 2 – PERFIL DEL INDICE DE POLARIZACION

### Problema

En marzo del 2005, una prueba P.I. (Indice de Polarización) fue desarrollada sobre un motor de inducción de un ventilador (ID) los resultados de la prueba se muestran en la Figura 6. Note el bajo valor de PI y el rápido aumento inicial de la resistencia a un valor total relativamente bajo en general. Estos son indicativos de un sistema de aislamiento que contiene una cantidad significativa de humedad. IEEE 43-2000 recomienda una resistencia de aislamiento de no menos de 100 Megohms y un valor de  $PI > 2,0$  para este motor.

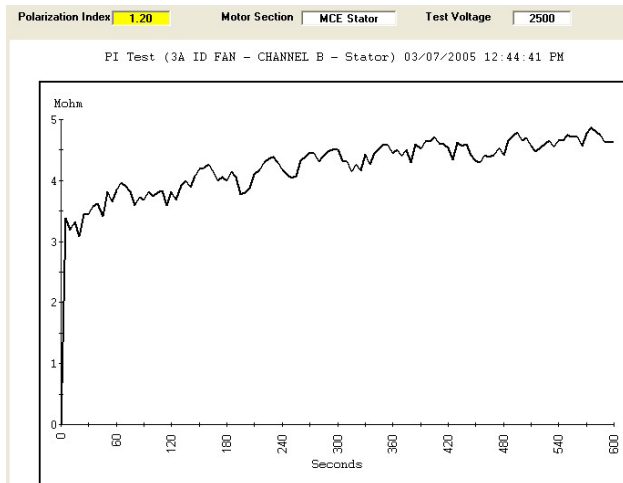


Figura 6 – Perfil de índice de (PIP) de un sistema de aislamiento que contiene una cantidad significativa de humedad

La Figura 7 muestra el grado de humedad alrededor del cable de potencia de entrada la cual causa un bajo valor de PIP en general y un bajo valor de PI



Figura 7 – Condiciones que causan un inaceptable PIP

La humedad fue secada de todos los cables, de los componentes, etc., y de otro PIP fue realizado algunos

días más adelante. La Figura 8 muestra el resultado de la PIP en seco. Esta PIP es indicativa de un motor con un saludable sistema de aislamiento.

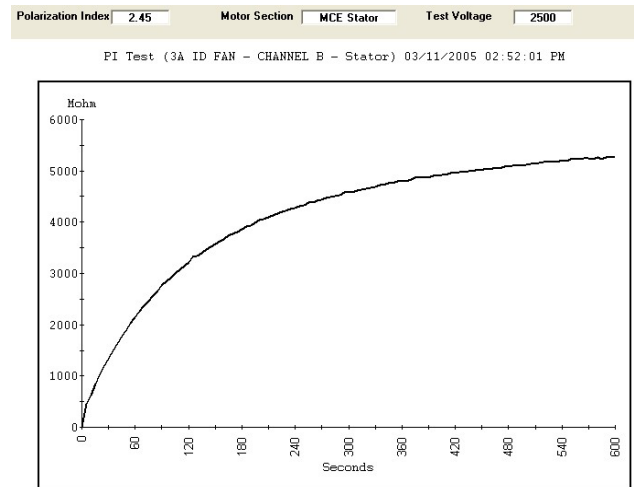


Figura 8 – Perfil de índice de Polarización de un saludable sistema de aislamiento.

Cuando los sistemas de aislamiento se contaminan con desechos tales como suciedad, polvo de carbón, etc, el PIP tendrá una importante cantidad de hundimientos a lo del perfil de la prueba, como se muestra en la Figura 9.

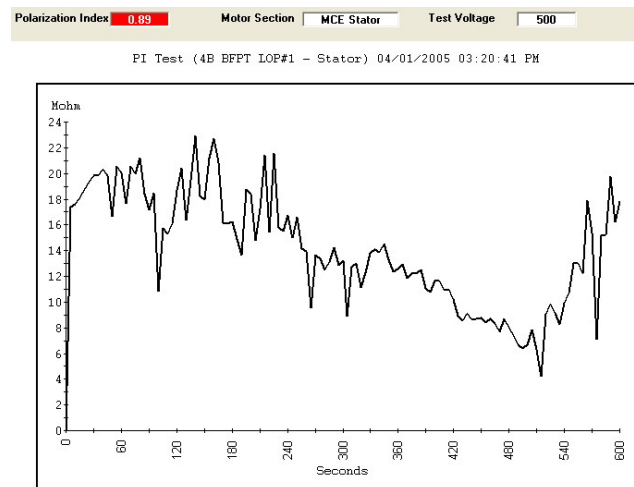


Figura 9 – PIP de un motor el cual tiene contaminado el sistema de aislamiento.

La siguiente figura (Figura 10) muestra la contaminación en las bobinas del estator del motor.



Figura 10 - Estator del motor que con el sistema de aislamiento contaminado.

#### IV. CASO DE ESTUDIO 3 – CALIDAD DE LA ENERGIA

##### Problema

Los datos de prueba iniciales sobre la corona de un motor indicaron que los armónicos del voltaje eran mayores al 5% y el de carga completa en amperios (FLA) en el 107% como se ve en la Figura 11.

Voltage			
	Fund RMS	Tot RMS	THD
Voltage 1-2	462.62	463.96	1.44
Voltage 2-3	461.97	463.43	1.44
Voltage 1-3	460.34	461.81	1.45
Average	461.65	463.07	
% Imbalance	0.28	0.27	
%NEMA Derating	100.00	%NEMA Derating	100.00

Power			
	kW	kVar	kVA
Phase 1	37.51	22.70	43.84
Phase 2	36.54	23.22	43.30
Phase 3	35.09	21.98	41.40
Total	109.13	67.90	128.54
Power Sequence	109.13	66.75	127.93

Efficiency			
	Efficiency	HP Output	kW Output
Voltage 1	266.34	267.15	1.48
Voltage 2	267.28	268.07	1.48
Voltage 3	265.97	266.84	1.48
Average	266.53	267.35	
% Imbalance	0.28	0.27	

Current			
	Fund RMS	Tot RMS	THD
Current 1	163.85	164.77	1.42
Current 2	161.24	161.58	1.41
Current 3	154.90	155.16	1.42
Average	155.99	160.25	
% Imbalance	3.19	3.19	
% FLA	107.38	107.56	

Impedance			
	Real	Magnitude	Angle
Phase 1	1.40	1.63	30.75
Phase 2	1.41	1.66	32.02
Phase 3	1.46	1.72	31.60
% Imbalance	2.87		

Sequence			
	Positive	Negative	Zero
Volt Phase-Phase	481.64	1.35	0.00
Volt Phase-Neutral	286.53	0.78	0.00
Current	159.98	3.78	1.08

Self Impedance			
	Self	Angle	Mutual
Zero	1.67	31.46	1.67
Positive	0.04	260.06	0.04
Negative	0.02	189.20	0.02

Figura 11 - Página de resultados de los ensayos con los devanados en ejecución.

##### Acciones tomadas

El sistema de distribución de energía a MCC M4-50 fue investigado para identificar qué pudo causar los armónicos. El transformador #31 un 13.8KV a 480 voltios, transformador de 2500 KVA es la alimentación para el MCC M4-50's servicio de 460 voltios. El sistema de distribución de energía a MCC M4-50 fue investigado para identificar lo que podría estar causando los armónicos. Transformador #31 de 13.8KV a 480 voltios, transformador

de 2500 KVA es la alimentación para el MCC M4-50 460 voltios de servicio. Hay ocho motores, líneas de UPS y cinco unidades de DC en el sistema. Esto es lo único en este sistema de distribución de energía. La demás energía suministrada por las otras unidades de DC, los transformadores de energía. No se utilizaban conjuntamente con los motores de CA. Esto sugirió que los cambios de la calidad de la energía se puedan generar por las mismas unidades de DC.

50749(Emax / Power)		
Test Date	01/14/2004	01/15/2004
Test Time	12:55:54 PM	11:25:53 AM
Voltage 1-2 (Fund RMS)	475.53	454.28
Voltage 2-3 (Fund RMS)	475.68	454.29
Voltage 1-3 (Fund RMS)	475.12	451.72
Average Ph-Ph	475.44	453.43
Voltage Imbalance Ph-Ph	0.07	0.38
Nema Derating (%)	100.00	100.00
Voltage 1-2 (THD)	0.94	7.47
Voltage 2-3 (THD)	0.77	7.56
Voltage 1-3 (THD)	0.93	8.09
Voltage 1 (Fund RMS)	274.36	261.29
Voltage 2 (Fund RMS)	274.68	262.78
Voltage 3 (Fund RMS)	274.45	261.30
Average Ph-N	274.50	261.79
Voltage Imbalance Ph-N	0.07	0.38
Current 1 (RMS)	154.86	162.90
Current 2 (RMS)	155.45	162.75
Current 3 (RMS)	161.10	158.95
Average Current	157.14	161.53
% Full Load Amps	105.46	108.41
% Current Imbalance	2.52	1.60
Current 1 (THD)	1.62	5.96
Current 2 (THD)	1.16	5.60
Current 3 (THD)	0.97	6.22
Self Imped Imbalance	2.13	2.33

Figura 12 - Resultados de las pruebas con el winder apagado (1/14/2004) y con el winder en operación (1/15/2004).

Una prueba adicional fue realizada para comparar los resultados de la prueba cuando el winder en estático (apagado) y con el winder en dinámico (operando). Como se muestra en la Figura 12, cuando el devanado estaba fuera de línea (1/14/2004), los armónicos de corriente (THD) eran los < 2%, los armónicos del voltaje < 1%, la corriente de carga completa era del 105% en promedio de la corriente nominal, y el voltaje del sistema era de 475 voltios. Con el devanado en marcha (1/15/2004), las corrientes armónicas (THD) > 5%, los armónicos del voltaje > 7%, corriente de carga completa era del 108% en promedio de la corriente nominal, y un sistema de tuvo una caída de tensión de 21 voltios.



Estos eventos relacionados con la calidad de la energía fueron divulgados a los jefes de servicio apropiados y después archivados. A principios de este año, el supervisor de E/I (Electricidad e Instrumentación) vino a la oficina de la confiabilidad de E/I para preguntar por el informe de la calidad de la energía sobre MCC M4-50. Un nuevo microprocesador basado en el sistema de muelle para acoplarlo al tractor de ocho bahías había sido comprado y una nueva fuente de alimentación de energía para los reguladores había sido proporcionada por el equipo del supervisor de E/I. El sistema había sido instalado por el proveedor y estaba bajo garantía.

El sistema trabajó muy bien la mayoría del tiempo, pero en otras veces las cerraduras se abrían y se cerraban por si solas. El controlador de campo del fabricante incluyendo su ingeniero diseñador había realizado varios viajes a la fábrica. Ellos reemplazaron varias tarjetas electrónicas y dos controladores completos.

El supervisor del equipo de E/I consiguió la nueva alimentación de energía para la de MCC M4-50. El supervisor de E/I ahora recordó el informe y preguntó si los eventos de la calidad de la energía pudieron todavía estar en la fuente de M4-50.



Figure13 – Filtros de línea instalados en el nuevo controlador.

Después de revisar el informe, los filtros de línea fueron instalados en todos los nuevos controladores, como se muestra en la Figura 13. El problema del regulador de la cerradura del muelle desapareció.

Tres casos de estudios se presentaron; barras rotas del rotor, perfil de índice de polarización, y calidad de la energía.

En nuestro primer caso, barras rotas del rotor se puede detectar mediante una serie de pruebas en línea y fuera de línea. En línea la prueba incluye el análisis de demodulación de corriente y análisis de señal de corriente. Fuera de línea se incluyen pruebas de influencia del rotor, que indican gráficamente las barras rotas del rotor.

En nuestro segundo caso de estudio, una modificación a la prueba estándar del índice de la polarización proporcionó una ventaja muy buen beneficio en el análisis de la salud de los sistemas del aislamiento.

En nuestro ultimo caso de estudio, la calidad de la energía fue utilizada para analizar un sistema de energía y las correctos eventos de armónicos causadas por la instalación de variadores de frecuencia VFD's.



**David L. McKinnon** es ingeniero eléctrico de New Mexico State University en 1991 y tiene un MBA de University Of Phoenix en 2002. Ha trabajado en campos magnéticos por más de 15 años. Durante los últimos cinco años se desempeña como ingeniero de proyectos en el area de Desarrollo de Nuevos Productos en PdMA Corporation.

## V. RESUMEN