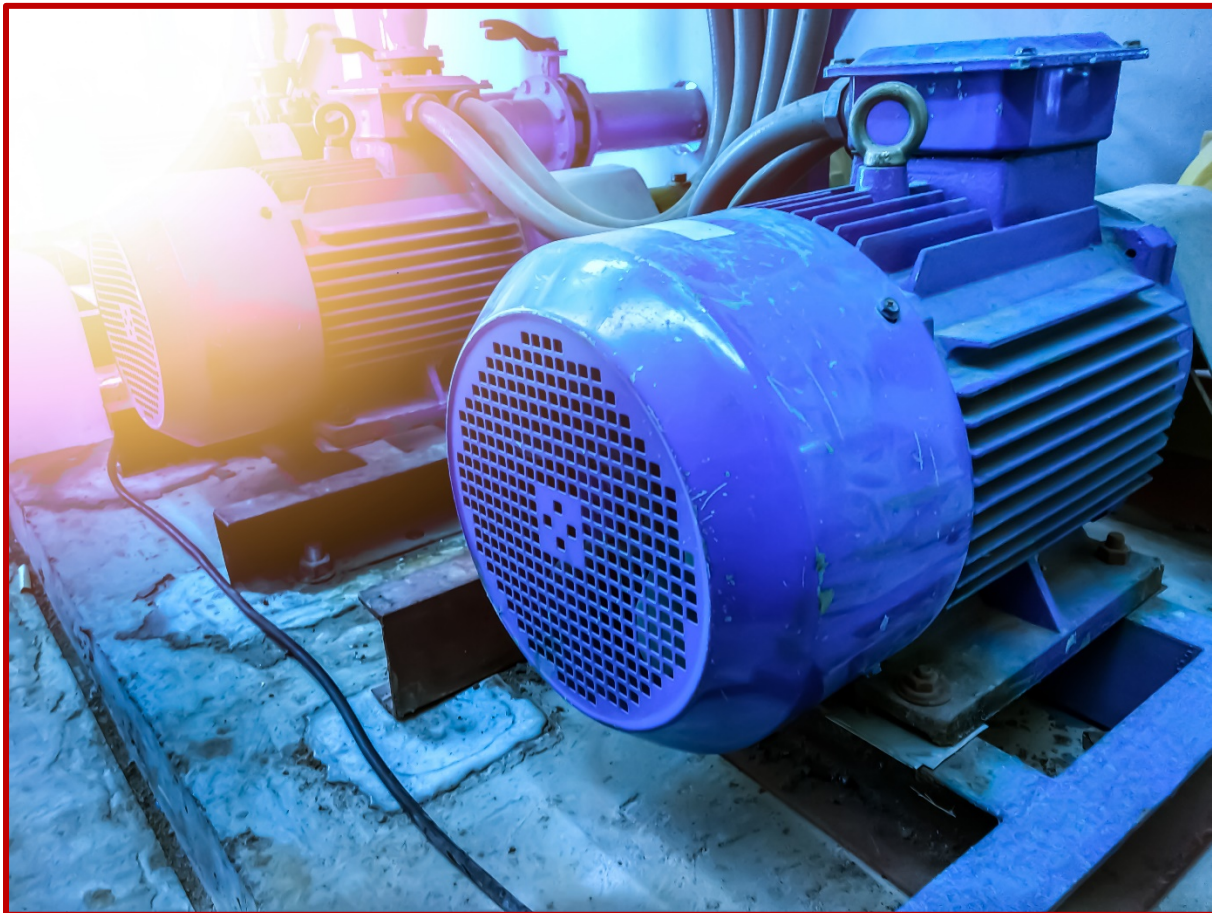




Monitoreo de Máquinas y cómo la Tecnología ESA puede potenciar la confiabilidad de su planta

Por: William Kruger, ALL-TEST Pro



Más de 300 millones de motores eléctricos son usados globalmente en infraestructura, grandes edificios y en la industria. Estos motores cuentan para dos tercios del consumo de energía en la industria. La electricidad se requiere en casi todas las áreas de la planta para proveer la fuerza motriz que, ya sea que opere el equipo que produce los productos, o que proporcione los servicios para los cuales fueron construidos estos equipos. La electricidad es un producto único que requiere flujo continuo, no puede ser almacenado de manera conveniente y normalmente no es inspeccionada previo a su uso. La mayoría de la gente cree que la confiabilidad eléctrica termina con la entrega exitosa de la energía a la planta, si la luz se enciende el motor arranca cuando se activa el interruptor o se presiona el botón de encendido, y entonces la energía es confiable. Pero en muchos casos, la calidad de la energía suministrada al sistema del motor es probablemente la causa de paro o falla. El resultado de la mala “calidad de la energía” se da usualmente a largo plazo, y a menudo, se pasa por alto como fuente contribuyente al problema. Conocer la calidad de la energía entrante, junto con la condición mecánica y eléctrica del motor, y la condición mecánica del controlador/variador es importante en las plantas para mantener la actividad y ahorrar energía. Esto significa que las plantas han implementado programas de pruebas, monitoreo de condiciones o mantenimiento predictivo (PdM por sus siglas en inglés). Muchos instrumentos de prueba están disponibles y proporcionan las mediciones, gráficas y reportes que entregan advertencias y alertas más que las respuestas a la condición de los motores. La tecnología ESA proporciona las respuestas relacionadas con la salud de los motores, controladores y la energía, proporcionando respuestas rápidas, confiables mientras la máquina está en operación.

El Análisis del Circuito del Motor -MCA- proporciona la condición sobre la salud de los bobinados del motor y del aislamiento de manera confiable, mientras el sistema está sin energía. Algunas máquinas trabajan de manera continua, para evaluar estos equipos, la industria ha implementado programas de mantenimiento predictivo en las plantas, para identificar las fallas de los equipos antes de que resulten en un costoso paro del equipo o en una falla catastrófica. Entonces, esto requiere de tecnologías que puedan probar el equipo mientras está en operación. Todas las tecnologías predictivas como análisis de vibraciones de maquinaria (AVM), termografía, ultrasonido, han proporcionado información valiosa identificando fallas específicas, ya sea en la distribución de las plantas o en el equipo rotativo mientras este está en operación.

Sin embargo, no todos los programas de PdM son iguales y los programas más efectivos reconocen la necesidad de múltiples tecnologías. Estos programas tienen 3 fases:

- 1) detección
- 2) análisis
- 3) corrección

El propósito principal de la fase de detección es la de actuar como filtro de maquinaria. Es usado para identificar cualquier máquina que haya desarrollado un cambio en la condición o salud. En esta fase la tecnología PdM debe ser fácil de usar, probar la mayor cantidad de máquinas lo más rápido y preciso posible mientras se identifican la mayor cantidad de fallas potenciales posibles. Toda la fase consiste en la cantidad de tiempo requerido para reunir datos del equipo operado, descargar y revisarlos en la computadora para evaluar los resultados.

Fase de Detección en Mantenimiento Predictivo:

- 1) Escanear la mayor cantidad de máquinas posibles
- 2) Identificar la mayor cantidad de problemas potenciales posibles
- 3) Proporcionar el mayor diagnóstico posible

La fase de análisis sigue a la fase de detección donde ha identificado el equipo que ha mostrado cualquier degradación en la salud. Esta fase requiere pruebas adicionales más detalladas usando la misma tecnología, o en algunos casos otras tecnologías para determinar que condición ha cambiado o qué falla ha ocurrido en la máquina. En algunas tecnologías el proceso inicial de detección tal vez proporcione algunas indicaciones como la causa de la anomalía. Por lo tanto, siempre hay una fina línea entre la fase de detección y análisis para la tecnología PdM óptima.

La fase de corrección crea un plan de acción para la falla identificada. Por ejemplo, si la falla es desbalance, ¿se puede corregir en campo o es necesario balancear en el taller? Si se detecta un defecto en los baleros, la acción podría ser simplemente reducir los intervalos de monitoreo hasta que la máquina pueda detenerse económicamente según lo permita la operación, o detener inmediatamente dependiendo de varios factores, incluyendo el costo de falla vs pérdida de producción.

Herramientas más comunes para mantenimiento predictivo

Análisis de Vibración en Maquinaria – Vibración es una de las tecnologías más usadas en equipo rotativo. Por definición, vibración es el ir y venir, o subir y bajar del movimiento sobre un punto de descanso. Puede detectar e identificar una gran variedad de fallas mecánicas y de proceso. Las fallas típicas identificadas por el análisis de vibraciones son:

Desbalance Mecánico

Desalineación – incluyendo pie suave / pata coja

Rotor Excéntrico

Eje doblado



Eje fracturado

Soltura

Entre componentes no-rotativos

Entre componentes rotativos y no-rotativos

Componentes rotativos sueltos

Problemas de aspas y álabes

Problemas en la caja de engranes

Defectos de los elementos rodantes de un balero

Rozamiento de rotor

Problemas en el Proceso

Cavitación

Problemas de flujo o aerodinámicos

Problemas en Motores de Inducción CA

Problemas de Rotor

Fracturas de barras de rotor, rotor excéntrico (excentricidad dinámica), rotores térmicamente sensibles.

Problemas en el estator

Entrehierro desigual (excentricidad estática), pie suave/pata coja,

Problemas en el Controlador del Motor

Algunas fallas limitadas en el controlador VDF

Algunas fallas limitadas en el controlador CD

Las ventajas, son mediciones no-invasivas, datos de prueba fáciles de obtener, ampliamente usado y aceptado. Desventajas, no proporciona indicación sobre la condición de la calidad de energía o ningún otro problema eléctrico, depende de la Ley de Newton $F=m*a$ para indicar fallas incipientes. Esto significa que la habilidad de detectar fallas depende de la masa en la máquina, máquinas más grandes requieren mayor fuerza, en muchos casos las fallas se pierden por completo, especialmente en las primeras etapas. Por lo tanto, la severidad de las fallas basadas en los valores medidos

no es necesariamente comparables debido a la masa. Como ejemplo, si la misma fuerza creada por el desbalance en una máquina pequeña se aplica a una máquina grande la vibración resultante será menor, entonces las fuerzas aplicadas a los baleros serían las mismas.

Una consideración adicional al análisis de vibraciones es que la vibración es direccional y los sensores de vibración son también unidireccionales, así que solo miden el movimiento en dirección de la orientación. Además, estos sensores solo miden el movimiento en la ubicación o el punto de montaje. Para evaluar el movimiento en todas las direcciones del movimiento usualmente se requieren tres mediciones en cada punto. Además, no todos los sensores miden el mismo movimiento, y diferentes sensores tienen diferentes rangos de frecuencia. Usando el sensor incorrecto o medición, a menudo resulta en la evaluación inexacta de la salud de las máquinas.

Infrarrojo – el calor como la vibración es también un buen indicador de problemas en desarrollo en el sistema, y la termografía ha probado ser muy útil en el área eléctrica para problemas de conexiones. También es posible identificar otros problemas usando esta tecnología como desbalance de corriente y puntos calientes en diversas áreas del equipo, pero usualmente, para el tiempo en el que el calor generado es suficiente, la falla se ha desarrollado bastante y en algunos casos la temperatura puede incluso descender conforme progresa la falla. Las ventajas de la termografía es que es no intrusiva y fácil de realizar la toma de medidas. Las desventajas, tal vez la mayor desventaja es la línea de visión, ya que para identificar una falla la cámara debe ser capaz de ver el área, muchas veces la falla está oculta detrás de un panel, debajo de la cubierta de acoplamiento, dentro de un gabinete o conduit. Adicionalmente, la termografía tiene capacidades de diagnóstico limitadas. Cuando ocurre un incremento en la temperatura, potencialmente hay muchas causas, se requieren pruebas adicionales, tecnologías y posiblemente inspecciones para determinar o incluso verificar la causa.

Ultrasonido – es reconocida como una tecnología muy útil en Mantenimiento Predictivo. Los instrumentos ultrasónicos detectan ultrasonidos en el aire y en las estructuras, que son inaudibles para el oído humano y los alteran electrónicamente al rango audible. Estas señales alteradas, pueden entonces ser monitoreadas usando audífonos o pueden ser vistas en una pantalla ya sea como una forma de onda en un monitor o como una Transformada Rápida de Fourier (FFT - Fast Fourier Transform). Esto le permite al técnico capacitado identificar defectos en las primeras etapas en los elementos rodantes de los equipos rotativos, fugas de aire en sistemas de aire, efecto corona en conductores de alto voltaje o el rastreo en el sistema eléctrico. Las ventajas del ultrasonido es que es no-intrusivo, se realiza mientras el equipo opera, y es relativamente fácil de realizar. Las desventajas incluyen, problemas de detección

limitados, los ultrasonidos solo identifican algunas fallas y los resultados son muy subjetivos y dependen de la experiencia del técnico.

Ninguna de estas tecnologías comúnmente usadas proporciona indicaciones de todo el sistema del motor, comenzando con la energía entrante hasta el proceso mismo. En algunos casos, la única indicación de que la salud del motor va en declive es que el motor opera caliente o posiblemente se dispara.

Las plantas están rápidamente reconociendo las ventajas de usar el Análisis de la Firma Eléctrica (ESA – Electrical Signature Analysis) como elemento clave en sus Programas de Predictivo. Está comenzando a entender que el ESA no es una técnica de medición especializada usada para identificar anomalías eléctricas aisladas, muy raras o difíciles de identificar, pero es quizá la tecnología disponible más usada e integral para Predictivo.

Implementar el ESA como una tecnología para Predictivo comienza con el instrumento. El instrumento portátil ATPOL II, Figura 1; realiza una captura de datos de 50 segundos desde el controlador del motor para medir la condición total del sistema del motor. Este instrumento ligero y portátil, realiza y almacena capturas simultáneas de las tres fases de voltaje y corriente para análisis de calidad de energía, y una captura en tiempo real de 50 milisegundos de las formas de onda de las tres fases de voltaje y corriente para inspección visual de esta información tan importante, Figura 2; el ESA realiza internamente una conversión análoga a digital de estas formas de onda, y las almacena para descargarlas en la computadora.



Figura 1. ATPOL II

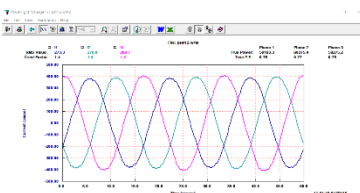


Figura 2. Forma de Onda 3F de Corriente en Tiempo Real – 50ms.

El Análisis de la Firma Eléctrica (ESA) es una tecnología de campo probada, simple y efectiva, que verifica la calidad de la energía entrante al motor, así como la salud del motor y el controlador.

Todos los datos capturados y almacenados pueden ser descargados a la computadora local usando la conexión Bluetooth, una tarjeta SD de 2Gb o el cable USB. Los programas incluidos Power System Manager (PSM) y ESA entregan gráficas, tablas, análisis y los reportes necesarios para proporcionar una herramienta PdM poderosa que entrega un análisis muy completo de todo el sistema del motor.

La corriente del motor actúa como un transductor muy eficiente y efectivo sin las limitantes asociadas a los sensores de vibración. Cualquier fuerza cíclica o interrupción en el sistema del

motor causa que la corriente del motor se module a la frecuencia de la fuerza o interrupción. Las anomalías que ocurren en la corriente de los motores son causadas aguas abajo del controlador del motor, mientras que las anomalías en el voltaje vienen de la energía entrante (aguas arriba). Al identificar cualquier diferencia en los datos de voltaje y corriente, las causas de falla pueden separarse entre la energía entrante (hacia arriba del controlador) o relacionarse con el motor, máquina impulsada, o el proceso (hacia abajo del controlador). ***El ESA evalúa la salud de todo el sistema del motor mientras la máquina opera a cualquier carga en menos tiempo del requerido para medir la vibración en un rodamiento usando maquinaria para vibración.***

El poderoso software de análisis ESA realiza la transformada rápida de Fourier (FFT) de las formas de onda digitalizadas y traduce estos datos en las herramientas, gráficas y pantallas requeridas para análisis profundo de todo el sistema de motor. El análisis identifica fallas, disturbios o anomalías iniciando en la energía de entrada (datos de voltaje) hacia el equipo eléctrico, la máquina impulsada y el proceso mismo. Los algoritmos patentados se aplican a estos datos traducidos e identifican fallas.

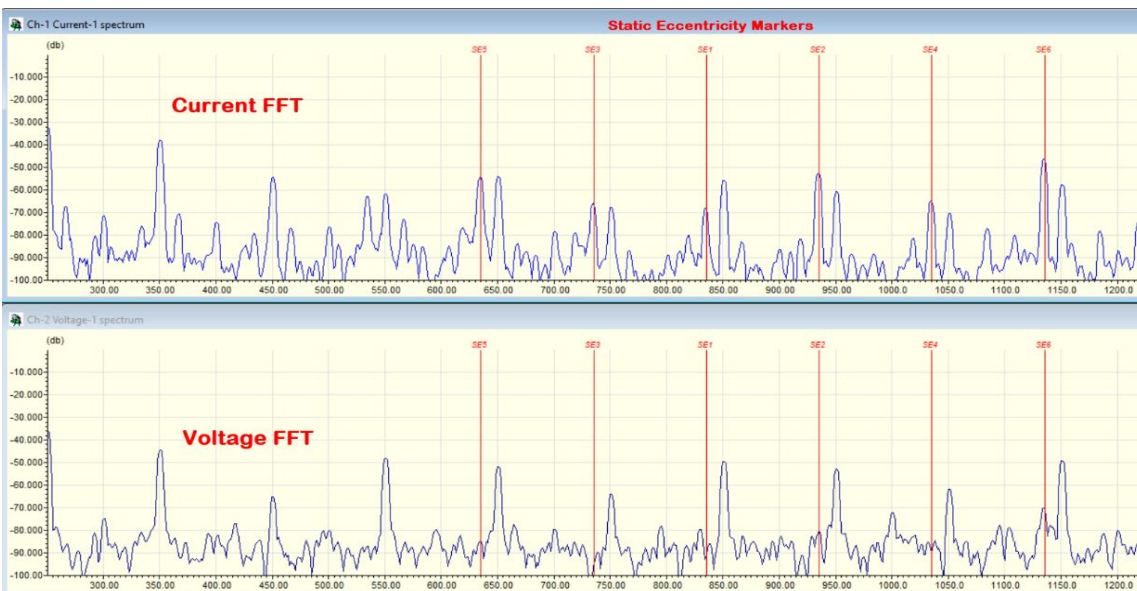


FIGURA 2 MARCADORES DE FALLA

Muchas fallas que previamente fueron difíciles de detectar son identificadas fácilmente usando las características automáticas de análisis. Al introducir detalles de la máquina, que son fáciles de obtener mediante la placa de datos del motor, el ESA genera la evaluación total del sistema del motor. Se ingresa en el software la información como la velocidad del motor, voltaje,

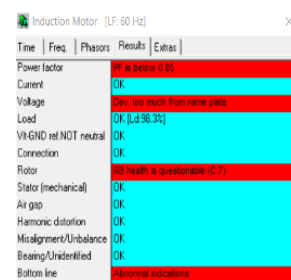
corriente a plena carga y potencia nominal, el cual crea un reporte de análisis fácil de entender. Para análisis más detallados, se ingresa información como el número de barras de rotor y ranuras del estator que proporciona el diagnóstico más extenso relacionado con la condición interna del motor, confirmando rápidamente fallas como excentricidad dinámica y estática al usar los marcadores relacionados con estas (Figura 3).

Las fallas mecánicas pueden detectarse automáticamente simplemente ingresando información adicional de la máquina como número de baleros; circunferencia de la polea, tamaño de las bandas; número de aspas o álabes en impulsores; o el número de dientes en engranes, en el software de análisis ESA las fuerzas creadas por los defectos de un elemento rodante en un balero, engranes engranados, aspas del ventilador, paso de álabes de la bomba o problemas con las bandas, pueden detectarse fácilmente al calcular las fuerzas creadas cuando ocurren cualquiera de estas fallas. Se insertan marcadores fáciles de reconocer en las pantallas para resaltar los picos en el espectro que identifican estas fuerzas y así analizar la máquina impulsada de forma fácil y precisa. Todas las fallas que se detectan con el análisis de vibraciones pueden ser identificadas usando el ESA.

El ESA usa el porcentaje de interrupciones de corriente y voltaje relacionados con el voltaje suministrado o la corriente del motor para identificar fallas, esto permite que las fallas se puedan detectar antes con el ESA, ya que la respuesta a estas fuerzas no se ve afectada por la masa de la máquina y no está limitada por los problemas asociados con la respuesta a la frecuencia de los sensores de vibración.

Además de identificar las fallas y anomalías eléctricas estándar, se pueden aplicar formulas eléctricas para evaluar rápidamente los efectos energéticos adversos que crean estas fallas.

Caso de Estudio: para enfatizar el poder del ESA, se muestra una revisión rápida del análisis realizado en un motor CA trifásico 700HP impulsando una bomba vertical en una planta de agua. El motor operaba caliente al tacto y los resultados de las pruebas de vibración recientemente realizados mostraron que los niveles generales de vibración eran muy bajos y se consideraba que operaba sin problemas, la recomendación proporcionada por el análisis de vibración del sistema del motor era “no se requiere mantenimiento”. Se realizaron varias pruebas adicionales durante los siguientes meses, pero persistieron dudas sobre la causa del problema. Luego,



Item	Status
Power factor	OK - Below 0.85
Current	OK
Voltage	OK - No phase-to-phase error
Load	OK (1.456 3%)
V/GND rel NOT neutral	OK
Connection	OK
Rotor	NO - Health & performance OK
Stator (mechanical)	OK
Air gap	OK
Harmonic distortion	OK
Misalignment/Unbalance	OK
Bearing/Unidentified	OK
Bottom line	Abnormal conditions

FIGURA 3 REPORTE DE ANÁLISIS AUTOMÁTICO

se decidió hacer el ESA al motor en cuestión, se realizaron pruebas de ESA de 2 -50 segundos simultáneamente con las pruebas de vibración en la maquinaria.

Se crearon el análisis y reporte completo de ESA (Figura 4) mientras aún se colectaban los datos de vibración. Dos semanas después, el análisis de vibración aún daba indicación de que la bomba vertical no requería ninguna acción de mantenimiento. El reporte automático y generado a la vista por el ESA, identificó varias barras de rotor dañadas, Figura 5. El sistema de clasificación automático indicó severidad C:7 de un nivel de 7 y recomendó la reparación inmediata. El motor operaba en una condición de sobre corriente.

Summary of Rotor Bar Health				Power line dB diff.		RB Hlt Index
	Se, fund	Se, harm	Level %	Upper SB	Lower SB	
Measured	2.757	4	2.0	-32.771	-35.435	5.328
Severity level	Rotor Condition Assessment			Recommended Corrective Action		
7	Multiple broken rotor bars and end rings very likely. Severe problems throughout			Overhaul or replace ASAP		

FIGURA 4 REPORTE DE LA SALUD DE LAS BARRAS DEL ROTOR

La traza de tiempo de la corriente del motor indicaba que la corriente se estaba modulando a 50 Amperes, de 775 a 825A (Figura 6). La corriente del motor también operaba 15 RPM por debajo del dato de placa. Aplicando la ley de Joule mostrada abajo, la falla estaba causando que el motor modulara a 55HP (Figura 6). La FFT mostró que la frecuencia de la modulación

estaba a la frecuencia de paso de polos (PPF, Pass Pole Frequency), que es el indicador primario de problemas en las barras del motor.

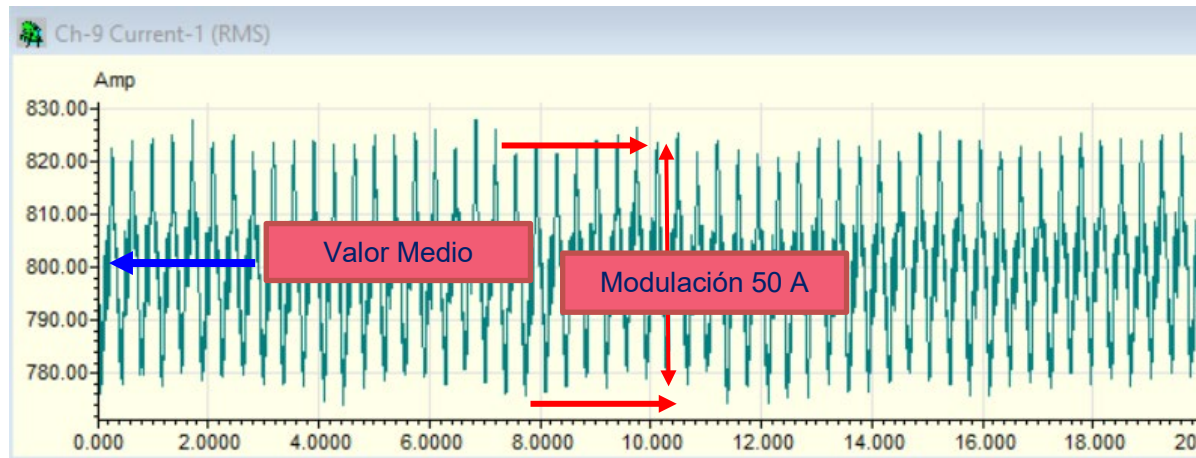


FIGURA 5 TRAZA DE CORRIENTE RMS ANTES DE LA REPARACIÓN

Ley de Joule para 3 fases en Watts. Potencia = Voltaje (V) * Corriente (I); $P = V \times I \times 1.73$

Sobre la inspección, más del 30% de las barras del rotor se encontraron dañadas, el motor fue enviado al fabricante para reconstruir el rotor y reemplazar las barras del rotor. Después de las reparaciones, la corriente del motor estuvo en rango normal cayendo de 800A a 757A sin

modulación. La velocidad del motor subió al rango esperado y el motor operó a temperatura normal (Figura 7).

Sin embargo, los datos previos de vibración proporcionaron un certificado de la salud del motor limpio previo a la reparación, los niveles generales de vibración se redujeron por más del 50% después de la reparación.

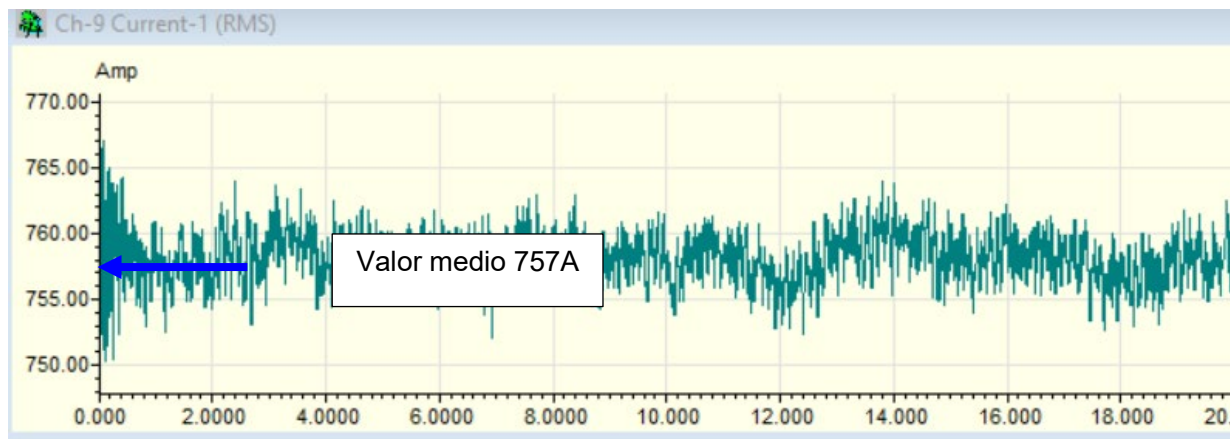


FIGURA 6 TRAZA DE CORRIENTE RMS DESPUÉS DE LA REPARACIÓN

Conclusión: Ya que el ESA usa el voltaje y la corriente del motor como transductor para determinar la condición eléctrica y mecánica del equipo eléctrico, se está reconociendo rápidamente como la herramienta de detección ideal tanto para las fallas eléctricas como mecánicas requeridas para mantenimiento predictivo en sistemas con equipo eléctrico. Esto significa que los motores, generadores o transformadores, pueden probarse. El ESA también proporciona la habilidad de analizar fallas complejas o anomalías entre el sistema de distribución eléctrica. Esta poderosa herramienta puede usarse en todas las variedades de motores CA, excepto en cualquier equipo eléctrico como una indicación de la salud total del sistema. En menos de un minuto se compila toda la información requerida para una evaluación completa del sistema del motor, proporciona una tabla de calidad de energía (Figura 8) definiendo la condición de la energía entrante, la carga y la eficiencia del motor. La captura de la forma de onda le permite al analista identificar la ruptura del aislamiento o conexiones sueltas en cualquier parte del sistema eléctrico. La clave principal para analizar con precisión las fallas eléctricas y mecánicas en equipo rotativo, usando el ESA es la velocidad real de

Induction Motor [LF: 60 Hz]

Results	Time	Freq.	Phasors			Units
			Phs-1	Phs-2	Phs-3	Total
Power factor			0.797	0.796	0.752	0.781
Real Pwr.			177.4	183.5	176.9	537.8
Reactive Pwr.			134.2	139.4	155.2	428.9
Apparent Pwr.			222.4	230.5	235.4	688.3
Running Crt.			800.4	823.5	839.1	821.0
Line Voltage			481.9	486.3	484.2	484.1

Horse Power

Motor output

Motor load 98.3 %

Motor efficiency 95.4 %

Motor output torque 2980.90 Ft.Lb

Motor output power 496.59 KW

*Note: Motor load value is based on power

FIGURA 7 TABLA DE CALIDAD DE ENERGÍA



operación del motor, generalmente se puede calcular a partir los datos capturados con 1RPM. Al igual que con las demás tecnologías de Mantenimiento Predictivo, mientras más usuarios implementen nuevas tecnologías, se descubren usos adicionales, técnicas y capacidades. Ya que esta es una tecnología relativamente nueva, se están desarrollando nuevas capacidades.