

## Análisis de Firma Eléctrica (ESA) realizado en motores de bomba de turbina vertical para uso municipal

Elaborado por William Kruger, Director técnico y de capacitación de ALL-TEST Pro, LLC, y Alex Panattoni, Técnico de nivel II de Sistemas de control de la Sección eléctrica del Departamento de servicios públicos de la ciudad de Henderson.

### Antecedentes

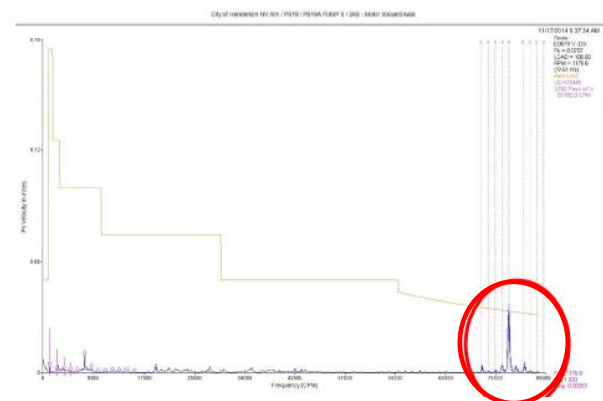
Inicialmente puesta en funcionamiento en 1999, la Estación de Bombeo P-19A suministra agua potable a la Ciudad de Henderson, la segunda ciudad más grande en Nevada. Abasteciendo a una población de más de 270.000 personas, P-19A es una de las estaciones de bombeo de agua potable más importantes operadas por la ciudad. Al iniciar sus operaciones, la estación de bombeo utilizaba tres bombas, pero en 2006, otras dos bombas verticales fueron instaladas en la estación de bombeo (Bombas 1 y 5).

Información sobre la bomba de turbina vertical	
Fabricante de equipo original:	Goulds
Modelo:	VTC-1
Galones por minuto:	7400 GPM
Número de fases:	5 fases
Tamaño:	20x20 GHC-5
Tamaño de la succión:	20 pulgadas
Revoluciones por minuto:	1200 RPM

### Motivo de preocupación

En 2006, el tamaño de la bomba fue aumentado, pero la potencia del motor continuó siendo la misma. Los motores tienen un factor de servicio de 1,15 y con frecuencia exceden el 105% de amperaje de carga completa (FLA, por sus siglas en inglés) indicado en la placa de identificación. Aunque esto está dentro de las capacidades de los motores, éstos operan cerca de su máximo rendimiento.

Como parte del programa de mantenimiento predictivo de la planta, en noviembre de 2014 se realizó un análisis de vibraciones. Si bien los resultados de esas pruebas sugirieron la posibilidad de una degradación prematura de los cojinetes del Motor 5, la frecuencia de paso de barras del rotor estuvo dentro del rango (**ver Figura 1**). El informe de vibraciones determinó que los sistemas estaban operando dentro de los límites aceptables y ninguna actividad de mantenimiento debería ser realizada en ese momento.



**Figura 1.** 17 de noviembre de 2014 - 2AS - Motor de flujo axial - Vibración aceptable - Nota: Vibración de alta frecuencia ~ 81.102 ciclos por minuto es la frecuencia de paso de barras del rotor. No se recomienda ninguna acción de mantenimiento en este momento. Continuar monitoreando.

Dos meses después, en enero de 2015, el Motor 5 exhibió signos de sobrecalentamiento, alcanzando temperaturas que excedían los 160° C. Mientras que las otras bombas no mostraron síntomas similares a los del Motor 5, el equipo de mantenimiento intervino iniciando una investigación interna de los cinco motores de bombas en los que estaban siendo utilizados los equipos de mantenimiento predictivo.

## Prueba integral para evitar el fallo del motor

El equipo de mantenimiento interno utilizó sus instrumentos portátiles ALL-TEST PRO 31™ y ALL-TEST IV PRO™. Estos instrumentos de alta tecnología, usados para pruebas a equipo des-energizado, están diseñados para detectar posibles fallas en bobinas y para proporcionar indicaciones de problemas del rotor. Primero fueron utilizados el ALL-TEST PRO 31™ y el ALL-TEST IV PRO™ para realizar pruebas de bobinado y confirmar que las bobinas estaban en buenas condiciones. Luego fueron utilizados para realizar las pruebas de «aislamiento a tierra» a fin de demostrar que el aislamiento no fue puesto a tierra. A continuación, se realizó una prueba de inductancia del rotor, que mide la inductancia de las tres fases de un motor con el rotor en diferentes niveles de posición. Durante la prueba, el rotor es colocado en intervalos exactos, como se ve en la imagen de la derecha.

«Realizamos una extensa prueba de rotor - tomando lecturas cada 5 grados de rotación del eje con el ALL-TEST IV PRO™ - sólo entonces las indicaciones mostraron un problema, tanto la Bomba 1 como con la Bomba 5», explica Alex Panattoni, el Técnico de control de sistemas a cargo de la sección eléctrica de la Ciudad de Henderson del Departamento de Servicios Públicos. «Si bien las pruebas indicaron la posibilidad de un problema en el rotor, los resultados no mostraron el problema definitivo. Sabíamos que la corriente se estaba ajustando y le pusimos un registro de tiempo, pero teníamos que realizar pruebas más extensas», explica Panattoni. A solicitud del equipo de mantenimiento, un especialista externo visitó la estación de bombeo para realizar un análisis de vibraciones. Cuando el análisis de vibraciones indicó que no había ninguna falla eléctrica (bandas laterales a la frecuencia de paso de polos) en las firmas FFT de la vibración asociada (**ver Figura 2**), se tomó la decisión de traer personal de apoyo técnico de ALL-TEST Pro para realizar pruebas adicionales.



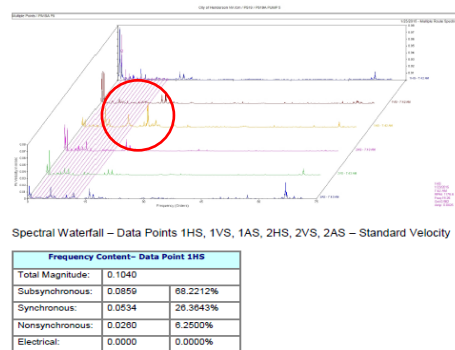
ALL-TEST PRO 31™ para las pruebas iniciales



Prueba de rotor a intervalos de 5 grados



ALL-TEST IV PRO™ para pruebas iniciales



**Figura 2.** 23 de enero de 2015 – El Análisis de Vibraciones del Motor 5 indica la presencia de energía asíncrona de baja amplitud en el Valor Pico en el dominio del tiempo de los datos obtenidos en el cojinete superior del motor. Sólo fue recomendado el monitoreo de los cojinetes para evitar una degradación mayor. El análisis de vibraciones no indicó ningún problema posible con el rotor.

William Kruger, Director técnico de capacitación de ALL-TEST Pro, visitó la estación de bombeo en enero para realizar el Análisis de la Firma Eléctrica (ESA, por sus siglas en inglés). El Análisis de la Firma Eléctrica es una tecnología de diagnóstico que utiliza el voltaje de suministro de los motores y la corriente de funcionamiento para identificar fallas existentes y en desarrollo en todo el sistema del motor. Para realizar el Análisis de la Firma Eléctrica, él llevó el ALL-TEST PRO On-Line II™. El ATPOL II™ es una herramienta para prueba de motores en operación que, en la modalidad de Análisis de la Firma Eléctrica, evalúa la condición de la energía entrante, el circuito de control, el motor y la carga accionada. Kruger solicitó que los datos del Análisis de Vibraciones de la Máquina (MVA, por sus siglas en inglés) fueran obtenidos simultáneamente mientras se realizaba el Análisis de la Firma Eléctrica.



ALL-TEST

PRO On-Line II™

### Análisis de la Firma Eléctrica revela barras de rotor rotas

Durante las pruebas de motor energizado, los datos fueron obtenidos en diferentes momentos; primero poco después de la puesta en marcha, luego después de que la bomba estuvo en funcionamiento. Fue muy importante el gran cambio que se produjo en la velocidad del rotor, con un cambio muy pequeño en la carga del mismo. El rotor estaba funcionando muy por debajo de lo especificado en la placa de datos; después de haber funcionado por aproximadamente treinta minutos, la velocidad del rotor era de 1171 RPM. Esto también fue confirmado por un sistema independiente de tacómetro proporcionado por un especialista externo, quien realizó los análisis de vibraciones. Mientras que los resultados del análisis de vibraciones no mostraron indicios de problemas del rotor, la velocidad y los datos del ESA obtenidos con el ATPOL II™ indicaron que varias barras del rotor estaban rotas (**verFigura 3**).

Datos del ESA obtenidos con el ATPOL II™		
	Bomba 1	Bomba 5
Velocidad de la bomba:	1183 RPM	1175 RPM
Demanda de energía:	738,98 HP	726,96 HP
Carga:	100,7%	99,1%
Carga de salida:	507,95 KW	495 KW
Índice de gravedad:	6 de 7	7 de 7

Los valores de las RPM mostradas en la tabla anterior son consistentes con las anomalías de las barras del rotor. Los motores 1 y 5 indican un aumento de la «frecuencia de deslizamiento».

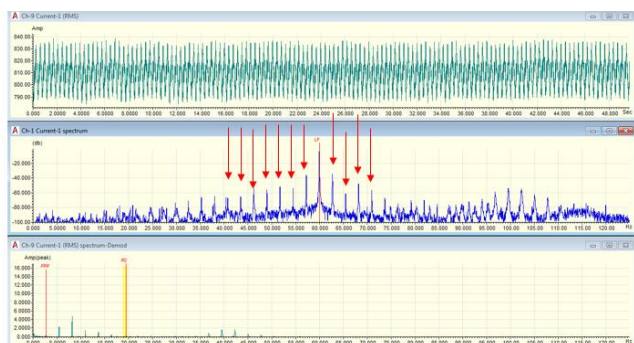


Figura 3. Enero de 2015 - Análisis de Firma Eléctrica utilizando el ATPOL II™ - (antes de la reparación) las bandas laterales a la frecuencia de paso de polos indica un daño severo en la barra del rotor; el consumo de corriente fue de 820 amperes, modulándose a 16 amperes aproximadamente.

Las barras del rotor son barras sólidas continuas que funcionan a través de las láminas de acero del rotor, las cuales están espaciadas para permitir el flujo de aire que enfría el rotor. Una vez que el equipo de mantenimiento recibió el informe del Análisis de Firma Eléctrica, que mostró indicios graves de problemas en las barras del rotor (la Bomba 1 tenía un nivel de gravedad 6 de 7, y la Bomba 5 tenía un nivel de gravedad 7 de 7). El Motor 5 fue retirado, y se encontró que el **30% de las barras del rotor estaban de hecho rotas.**



*La barra del rotor rompe todo lo producido en las tres filas de láminas centrales.*



## Reconstrucción del rotor con diferente metalurgia

Después de discutir los problemas con el fabricante del motor y con la empresa externa de reparación de motores, el equipo de mantenimiento eligió reconstruir el Motor 1 y el Motor 5 con barras de rotor de cobre. Las barras del rotor de las Bombas 2, 3 y 4 eran de cobre, y éstas no tuvieron los mismos problemas que las Bombas 1 y 5.

Las barras del rotor originales en las Bombas 1 y 5 fueron fabricadas en aluminio. Se cree que ésta fue la raíz del problema. Debido a que los motores en P-19A normalmente funcionan entre un 100% y un 110% de carga, existe una corriente alta circulando a través del rotor. Esto produce calor, el cual ocasiona expansión y contracción. Con el paso del tiempo, las barras de rotor fabricadas en aluminio se rompen por la tensión y se produce la formación de arcos en el punto de la ruptura. Entonces las corrientes son forzadas a través de las barras restantes, poniendo más carga en ellas, causando más barras rotas y debilitando la fuerza de todo el rotor. Este problema habría producido eventualmente un cortocircuito en el bobinado del estátor debido al aumento de la temperatura de funcionamiento o a la formación de arcos en el metal del rotor, y habría generado la necesidad de un rebobinado o posible desguace de todo el motor, además de la reparación o sustitución del rotor. La reconstrucción de los motores con barras de rotor de cobre permitió que el equipo de mantenimiento evitara un fallo catastrófico en las bombas de sus motores de turbina vertical.

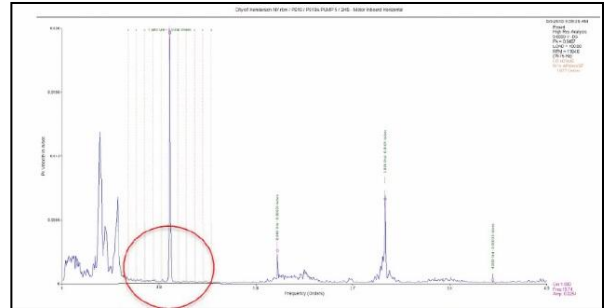
El Motor 5 fue reconstruido e instalado en mayo de 2015. Inmediatamente después de la instalación, se realizó otra ronda de pruebas del MVA y del ESA para asegurar un funcionamiento adecuado. Las firmas eléctricas obtenidas en mayo informaron que el rotor se encontraba en excelentes condiciones (*ver Figura 4*). Esto también mostró que la velocidad del rotor aumentó, mientras que la corriente total se redujo. En septiembre de 2015 fue instalado el Motor 1 recién reconstruido y fue realizada una tercera ronda de pruebas.



**Figura 4.** 5 de mayo de 2015 - Análisis de firma eléctrica utilizando el ATPOL II™ - (después de la reparación) la frecuencia de paso de polos desapareció y el consumo de corriente era de 754 amperes modulándose a 2 amperes.

## Lecciones aprendidas

Es importante tener un programa de mantenimiento predictivo y herramientas de diagnóstico adecuadas. Es esencial proporcionar a su equipo herramientas de mantenimiento de última generación, a fin de incrementar la efectividad de su Programa de Mantenimiento Preventivo. Herramientas como el ATPOL II™ existen para que usted pueda realizar pruebas de alto nivel, tales como el Análisis de la Firma Eléctrica, el cual ha demostrado ser una tecnología muy eficaz para la detección de fallas antes de que puedan ocasionar pérdidas catastróficas.



*Gráfica del análisis de vibraciones realizado por un especialista externo en mayo de 2015: Los problemas de las barras del rotor producen series de bandas laterales de baja amplitud espaciadas en la «frecuencia de paso de polos». El círculo rojo destaca la localización de las bandas laterales calculadas de la frecuencia de paso de polos (líneas verticales). La ausencia de estas bandas laterales indica que el rotor del motor está en buen estado, tal como se esperaba con un rotor recién reconstruido.*