

Diagnóstico y Pronóstico a Full Escala de Maquinarias Rotativas

Parte-1

Autor: Ernesto Primera, MSc

CMRP - VAIII - CSSGB - CQRM

ASME American Society of Mechanical Engineers. Global Instructor & Speaker Bureau.

PlanetRAMS Knowledge Network. Machinery Reliability Author

Email: primeram2@asme.org

Palabras Claves: Maquinarias Rotativas, Diagnostico, Condición, Pronostico, Confiabilidad, Desempeño, Eficiencia.

Abstract

A través del presente artículo queremos demostrar la importancia de observar el estado de salud de una máquina rotativa desde diferentes perspectivas, entendiendo estado de salud como el rango entre la capacidad e incapacidad de cumplir con sus funciones primarias y secundarias dentro de un específico contexto y entorno de trabajo, con límites previamente establecidos y con una misión previamente definida.

Mediante esta forma de observar el estado de salud de la máquina, llamada "Diagnóstico y Pronóstico a Full Escala" se considerarán todos los aspectos claves que permitan determinar un estado entre Óptimo e Inaceptable, con el objetivo de elevar los niveles de certidumbre para una adecuada toma de decisiones sobre la administración de la vida útil del activo, enfocados en la productividad del mismo.

En esta Parte-1 nos centraremos en la descripción del proceso individual y el enfoque integral, para la Parte-2 desarrollaremos un caso práctico, una aplicación para un mejor entendimiento.

1. introducción.

En primer lugar, tenemos que entender que hablar de Maquinarias Rotativas estamos hablando de un Tren de máquinas que cumplen una función específica, cuyo tren puede estar compuesto por diversos tipos de conductores como Motores Eléctricos, Motores de Combustión, Turbinas a Vapor, Turbinas a Gas, etc. y conducidos tales como Bombas, Compresores, Generadores, etc. y transmisiones o variadores de potencia o velocidad como Cajas de Engranajes, Acoples Hidráulicos, etc. e incluidos sus sistemas auxiliares y de soporte como sistemas de sellado, lubricación y protección.

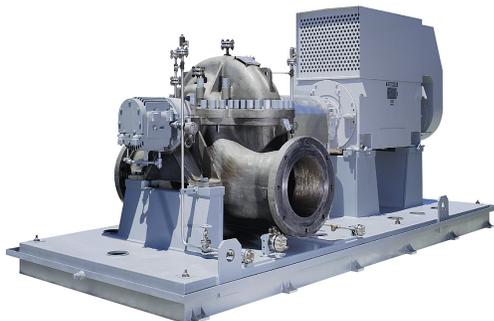


Imagen:1 Ejemplo de un Tren de Maquinaria (Motor Eléctrico y Bomba Centrífuga)

Fuente: Flowserve

2. La Condición Mecánica.

La industria Manufacturera (Bebidas, Pulpa y Papel, Cementera, entre otras), de Petróleo, Gas, Petroquímica, Generación de Energía y Minera, ha evolucionado en los últimos 20 años en materia de evaluación de sus maquinarias rotativas, teniendo hoy en día robustos sistemas de Monitoreo de Condición, como ejemplo de ello me referiré a mis propias experiencias. A inicios del año 2000 recuerdo realizar mis rutas de recolección de datos de vibraciones y temperatura dentro de las instalaciones de un campo petrolero para producción de 240 MBPD de crudo extra pesado, información que provenía de trenes de Bombeo de Petróleo compuestos por Motores Eléctricos acoplados de forma directa a bombas de desplazamiento positivo (doble tornillo horizontal), en aquellos años utilizaba un colector/analizador de vibraciones portátil de dos canales y un pirómetro laser para medir temperatura, todos los datos eran almacenados en el equipo portátil mientras hacia el trabajo en campo, otros los ingresaba de forma manual a través del teclado alfanumérico del instrumento. Esto le llamábamos y le seguimos llamando "Monitoreo de Condición".



Imagen 2: Colector/Analizador de Vibraciones 1999.

Fuente: SKF

Luego había una segunda fase, que consistía en ir a mi oficina, y estando en mi estación de trabajo, descargar toda esa información en un software en mi computadora para mirar en primer lugar la proximidad del valor resultado de la inspección en campo con los niveles de alarmas preestablecidos según referencias de estándares y buenas practicas, esto determinaba la "Severidad" de la condición, en segundo lugar observaba las tendencias de cada una de esas variables en función del tiempo, ya que esa variabilidad podía ser utilizada para predecir el comportamiento futuro de la máquina en términos de esa variable (Típicamente Vibración y Temperatura) a este proceso le llamábamos "Mantenimiento Predictivo" ya en ese entonces los software te permitían hacer extrapolaciones lineales de las medidas históricas, significa que hace 17 años ya estábamos haciendo "Pronósticos" de condición.

Diagnóstico y Pronóstico a Full Escala de Maquinarias Rotativas

Parte-1

Autor: Ernesto Primera, MSc

CMRP - VAIII - CSSGB - CQRM

ASME American Society of Mechanical Engineers. Global Instructor & Speaker Bureau.

PlanetRAMS Knowledge Network. Machinery Reliability Author

Email: primeram2@asme.org

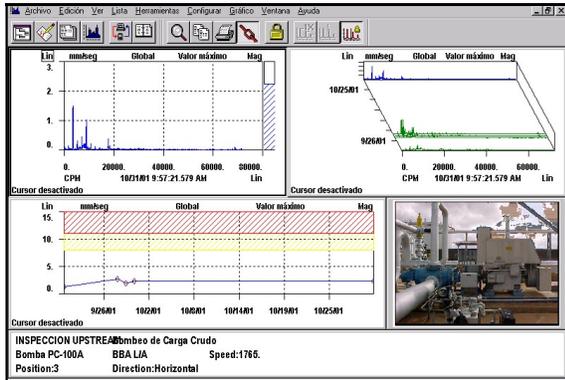


Imagen 3: Tendencia de Vibraciones de Maquinaria Rotativa
Software Emonitor Odyssey Entek-IRD
Fuente: Texaco Petroleum

Cabe destacar que todas las maquinas monitoreadas con instrumentos portátiles eran aquellas cuyo nivel de criticidad era medio, ya que las maquinarias criticas estaban equipadas con instrumentos, cables, cajas de conexiones, PLC, entre otros accesorios que permitían observar casi en tiempo real los valores medidos en el campo, en nuestras PC dentro de nuestras estaciones de trabajo.

Hoy en día hemos avanzado en la forma de recolectar la data, ya utilizamos dispositivos inalámbricos y la información viaja hasta nuestros teléfonos inteligentes, monitoreamos en tiempo real, almacenamos la información en nubes virtuales y puede ser analizada en cualquier lugar alrededor de nuestro globo.

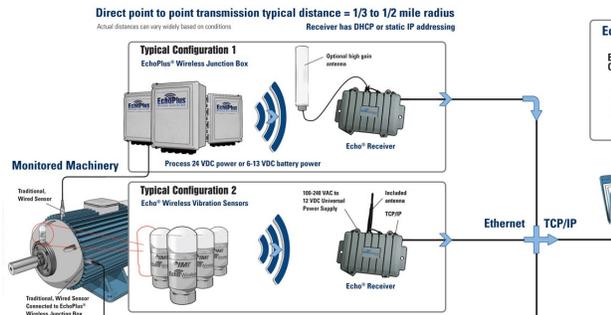


Imagen 4: Sistemas de Monitoreo Inalámbrico
Fuente: IMI Sensors © 2017 PCB Group, Inc.

Volviendo a mis propias experiencias, recuerdo mientras trabajaba en una planta de procesamiento de petróleo con procesos de Destilación e Hidrocrackeo entre otros, de más 200 MBPD de producción, donde habíamos implementado lo que llamamos el “**Mantenimiento Predictivo Integral**”, esto mismo me fue reforzado durante el transcurso de mi Maestría en Mantenimiento Predictivo en la Universidad de Sevilla en España. Se trataba de la combinación de varias técnicas predictivas, aplicadas a un mismo tren de maquinarias:

- Análisis de Vibraciones.
- Termografía Infrarrojo.

- Análisis de Aceites Lubricantes y Tribología.
- Ruido Ultrasónico.
- Análisis Eléctrico de Motores

Estas inspecciones de mantenimiento predictivo integral las ejecutaba hace más de 15 años.

3. El Desempeño y La Eficiencia.

Dependiendo del tipo de maquinaria que componen el tren, existen otras ramas de la ciencia que juegan un papel muy importante durante la evaluación, diagnóstico y pronóstico dentro de su ciclo productivo, y estas son la Hidráulica, la Neumática y la Termodinámica.

Si nos referimos a una bomba, su capacidad de cumplir su función principal que es entregar una cantidad de fluido no compresible en unidades de volumen dentro de un determinado tiempo dependerá de su desempeño hidráulico y eficiencia, ya que estos son capaces de alterar el sistema donde opera y hasta el desempeño de su equipo conductor. Los sistemas de Bombeo son seleccionados para trabajar en un punto hidráulico conocido como el **BEP “Best Efficiency Point”** con unos márgenes conocidos como **ventana operacional** preferida y aceptable, además de específicos valores de potencia consumida para cada uno de los puntos de operación dentro y fuera de la ventana operacional, expresados en unidades de potencia absorbida. Adicionalmente los conductores como motores eléctricos son seleccionados para los mismos puntos de operación, estos son seleccionados luego de la bomba y sus márgenes de potencia están alineados a estas ventanas operacionales, por eso podemos tener casos de bombas ineficientes que su alto consumo de potencia para poder hacer el trabajo requerido, puede generar un paro imprevisto activado por la protección del motor a alta temperatura del devanado.

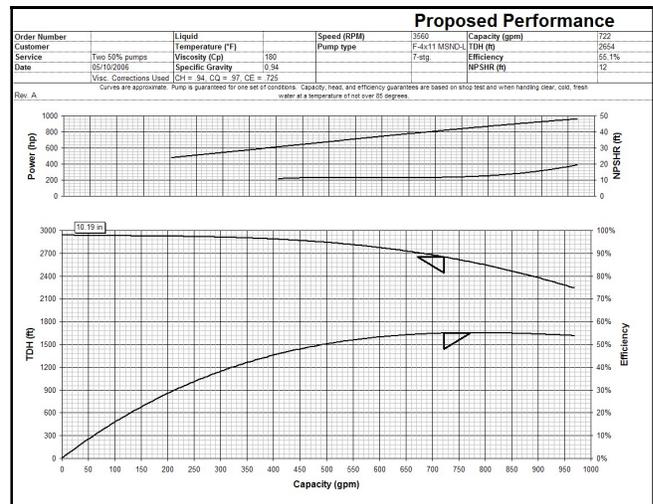


Imagen 5: Curva de Desempeño de una Bomba Centrífuga
Fuente: Flowserve

Diagnóstico y Pronóstico a Full Escala de Maquinarias Rotativas

Parte-1

Autor: Ernesto Primera, MSc

CMRP - VAIII - CSSGB - CQRM

ASME American Society of Mechanical Engineers. Global Instructor & Speaker Bureau.

PlanetRAMS Knowledge Network. Machinery Reliability Author

Email: primeram2@asme.org

En los compresores centrífugos construidos bajo estándares API-617, una de las evaluaciones más importantes para determinar si este puede cumplir con su función primaria, es la **eficiencia termodinámica** del mismo expresada como eficiencia isotrópica o politrópica, A demás uno de los puntos operativos más importante se conoce como la línea de "Surge" punto donde el compresor puede sufrir un paro o inesperado a causa de sus sistemas de protección, o, pero aun un daño mayor. Aquí también encontraremos regiones operacionales con límites preestablecidos, llamadas también ventanas. La evaluación termodinámica de los compresores es aún más compleja que la de las bombas, uno de los factores más importantes es conocer la composición del gas que circula a través del compresor y a su vez su peso molecular, ya que de esta característica depende su eficiencia. Las temperaturas y las presiones son imprescindibles, sin ellas no podrías saber cómo se comporta la eficiencia del compresor, las mediciones deben ser precisas ya que pequeñas variaciones afectan el resultado. Este análisis de desempeño y eficiencia es capaz de determinar la fecha en la que se necesite ejecutar el próximo mantenimiento mayor (Overhaul) del compresor, esto a través de la evaluación y proyección de tendencia de la desviación de la eficiencia en el tiempo en función de su línea base de referencia. Estamos hablando de una muy importante decisión para planificación e inversión. A través de estos análisis estamos realizando Diagnósticos y Pronósticos.

Lo mismo podemos hacer con Turbinas a gas, Turbinas a Vapor entre otros equipos rotativos.

más de 2000 bombas y más de 90 compresores con los cuales tengo el placer de interactuar actualmente en Refinerías y Petroquímicas en la costa del golfo de USA. Cada uno de ellos es administrado actualmente en un sistema de gestión de mantenimiento (CMMS) y hasta en sistemas de gestión de activos (EAM) y desde hace más de 30 años las personas relacionadas con el mantenimiento y la operación de estos equipos, han venido registrando en los mencionados sistemas, cada una de las actividades asociada a cada equipo del tren de maquinaria, cada uno de estos equipos tiene un número que los diferencia el uno del otro, números conocidos como Tag, Ubicación Técnica, etc. Dichas actividades han sido bien clasificadas como Fallas o Reparos, entre otras. Para el caso de las fallas, con sub clasificaciones que llegan hasta el Mecanismo de Daño y Deterioro del componente afectado, también conocido como ítem mantenible. Estas fallas acumuladas en el tiempo, representan la confiabilidad de la máquina, para lo que también contamos con sistemas informáticos para cálculos de confiabilidad utilizando los tiempos para falla de cada uno de los componentes de la maquina (los que han fallado), pero no solo los introducimos en el software para que a través de un test me indique la distribución de probabilidad que más se ajusta a los datos para el análisis, o le decimos al software que calcule los parametros de la ecuación por métodos de mínimos cuadrados o máxima verosimilitud, NO, también revisamos el mecanismo de falla activo y lo comparamos con las estudios a equipos similares en la misma industria, que han determinado parámetros para distribuciones de probabilidad partiendo del mecanismo de daño, tal como los que encontramos en los libros escritos por Heinz Bloch y los muchos artículos de Paul Barringer. Es en esta fase donde estamos buscando precisión a través de la comparación y la verificación de los resultados del software, más un, el que analiza la máquina, la conoce o trabaja en equipo con el experto que la conoce, ya que los resultados de una estimación de cuándo podría ocurrir la próxima falla de un componente, generada por el mismo mecanismo de daño, debe ser lógica y coherente para los ojos del experto en el equipo. Si todo este análisis que le llamamos **"Análisis de Confiabilidad"** resulta con éxito, podríamos estar ajustando frecuencias de inspección o mantenimiento, podríamos estar adelantando procuras y revisando abastecimientos, todo esto gracias a la posibilidad de hacer **"Pronósticos de Fallas"**. Por supuesto, no todo el pronóstico llega hasta aquí, también disponemos de muchas herramientas para cuando los escenarios de datos no son tan robustos, y allí podríamos explicar cómo utilizar bases de datos disponibles y modelos de simulación y pronóstico matemático como el método de Monte Carlo, otros modelos como Cadena de Markov y Teorema de Bayes, pero eso lo dejaremos para un próximo artículo, ya que estoy tratando de ser más practico que teórico y no abrumar a mis colegas de plantas con tanta abstracción.

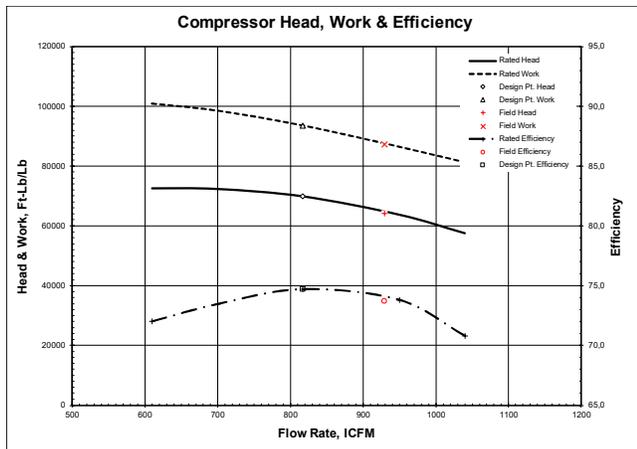


Imagen 6: Curva de Desempeño y Eficiencia de un Compresor Centrifugo

Fuente: Gas Flex® Software. (Flexware, Inc.)

4. La Confiabilidad.

Cada uno de los equipos de los cuales hemos comentado en los párrafos anteriores, a los cuales hacemos monitoreo de condición y análisis de desempeño y eficiencia, muchos de ellos tienen más de 40 años en operación, tal es el caso de las

Diagnóstico y Pronóstico a Full Escala de Maquinarias Rotativas

Parte-1

Autor: Ernesto Primera, MSc

CMRP - VAIII - CSSGB - CQRM

ASME American Society of Mechanical Engineers. Global Instructor & Speaker Bureau.

PlanetRAMS Knowledge Network. Machinery Reliability Author

Email: primeram2@asme.org

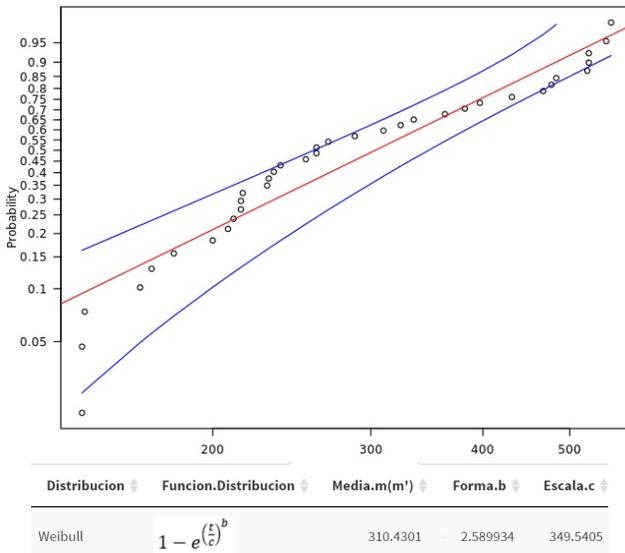


Imagen 7: Grafica de Confabilidad
Fuente: Planet RAMS

4. Full Escala.

Finalmente, la imagen número 8, muestra los tres elementos fundamentales para poder diagnosticar y pronosticar problemas en maquinarias rotativas, no mirarlo de forma integral, a FULL-ESCALA, sería subestimar la importancia de alguno de estos tres elementos. Muchas veces la visión independiente de cada elemento sin considerar el otro durante un análisis de Diagnóstico o Pronóstico, se basa en la falta de competencias integrales en las tres ramas del mapa mental y peor aún la falta de la creación de la cultura de trabajo en equipo para poder cubrir con diferentes personas cada una de estas áreas, siendo esta la forma más fácil y sencilla de realizar un Diagnóstico y pronóstico a FULL-ESCALA.

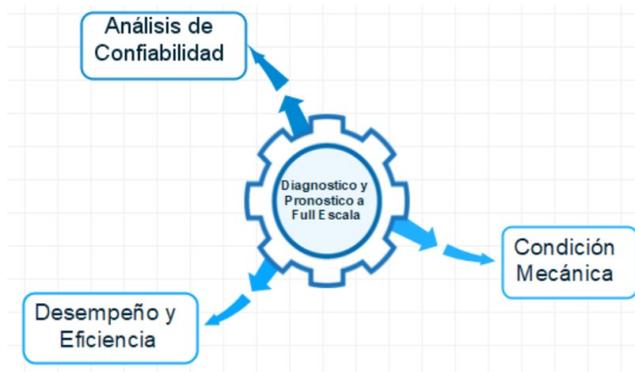


Imagen 8: Diagnostico-Pronostico a Full Escala
Fuente: Machinery & Reliability Institute - MRI

5. Conclusiones.

A pesar de los grandes avances en materia tecnológica dentro del Monitoreo de Condición y Mantenimiento Predictivo, esto no es suficiente para conocer el estado de salud de la máquina y tomar decisiones con alto nivel de certidumbre, ya que nos hemos enfocado en un grupo de variables específicas sin profundizar cuales son el total de ellas y otros elementos que intervienen y modifican el estado de salud de tu maquinaria.

Es inadecuado querer Diagnosticar el estado de salud de un equipo rotativo o Pronosticar una falla sin conocer su desempeño hidráulico o termodinámico.

Los análisis de confiabilidad deben venir acompañados con un específico conocimiento sobre el equipo a analizar, si logramos cubrir esta expectativa, podríamos hasta utilizar modelos matemáticos complejos para pronóstico de cualquiera de las variables que representan el estado de salud de la maquinaria. Estos tres elementos permiten redefinir el Mapa de Competencias de un Profesional de Confiabilidad de Equipos Rotativos enfocado a una visión más integral, o simplemente tener más personas con cada una de estas competencias en nuestra organización e impulsar el trabajo en equipo.

6. Referencias y Fuentes Bibliográficas.

Flowserve Corp. (2005) Pump Division. www.flowserve.com

SKF Group. (2001) Condition Monitoring Division. www.SKF.com

Texaco, Inc. (1999) Vibration Report. www.texaco.com

PCB Group, Inc. (2017) IMI Sensors®. www.imi-sensors.com

Flexware, Inc. (2017) Gas Flex® Software. www.flexwareinc.com

Planet RAMS. (2017) Análisis de Datos RAMS. www.planetrams.org

MRI. (2017) D & P Full-Scale Guide. www.machineryinstitute.org