

Transformación del proceso de Gerenciamiento de Confiabilidad en plantas Industriales a través del uso de herramientas digitales.

Eduardo Cote es Gerente de confiabilidad de GE Digital para América Latina, cuenta con 23 años de experiencia en mantenimiento, confiabilidad y gestión de activos en la industria de Gas, Petróleo y generación de Energía.

Resumen

Una de las principales tareas de la ingeniería de mantenimiento, confiabilidad y la gestión de activos es obtener los mejores resultados de los proceso a través de mejoras en la productividad, reducción de costos, cumplimiento de indicadores y aumento de los índices de eficiencia; en la búsqueda de estos objetivos se hace fundamental romper el círculo vicioso del mantenimiento reactivo y tener una gestión de mantenimiento proactiva, tradicionalmente esto no ha sido fácil de lograr, pero no es imposible. Este artículo muestra como de la mano de sus clientes, General Electric con el uso de sus herramientas digitales, el Internet industrial y un proceso de gerenciamiento de confiabilidad ha conseguido transformar organizaciones para obtener excelentes resultados en la gestión de sus activos.

Introducción

Desde siempre la labor de la ingeniería de mantenimiento y confiabilidad ha sido aumentar los índices de confiabilidad y disponibilidad de los activos, hacer un mayor uso de los recursos disponibles y mitigar los riesgos; todos estos esfuerzos combinados se conocen comúnmente

como Gestión de Activos, el dilema no es cómo se llame sino cómo se logran los resultados esperados; esa es la gran pregunta, es lo que muchas organizaciones no han podido descubrir porque existen paradigmas que no se los permiten como por ejemplo creer que nunca se tienen los recursos suficientes, creer que todo debe estar funcionando bien para comenzar a generar cambios, que se requieren grandes inversiones para lograr que las cosas mejoren; en realidad es así y se ha logrado demostrar que despojándose de estos paradigmas, con una metodología adecuada, disciplina, voluntad de cambio y constancia, los resultados finalmente se logran obtener.

Con el paso de los años y después de mucha investigación y trabajo de campo, General Electric descubrió como lograrlo de la mano de las herramientas digitales que ha desarrollado para llevar adelante sus procesos de Gerenciamiento de Confiabilidad algo que está dando resultados sorprendentes para nuestros clientes alrededor del mundo, particularmente en la industria de Generación de Energía, plantas de Gas y Petróleo, plantas de minería y otras, General Electric desarrollo un sistema que integra personas, procesos y tecnología para transformar las organizaciones; los resultados hablan por si solos, incrementos de disponibilidad que llegan hasta un 6%, mejores en índices de confiabilidad tiempo de corrida de planta excepcionales superiores a los 200 días de operación ininterrumpida, reducción de costos de

mantenimiento y operación de hasta un 15% en promedio. Con el uso del software APM (Asset Performance Management) powered by predix* y el proceso de gerenciamiento de confiabilidad RM (Reliability Management) desarrollado por General Electric, nuestros clientes han logrado orientar sus esfuerzos de operación, mantenimiento e ingeniería de manera proactiva y han cambiado la forma como se analizan, se responde y se actúa frente a las alertas que a través de APM se presentan en los componentes, equipos, sistemas y plantas; no es un cambio que se logre de un día para otro, pero si se actúa de forma correcta se obtienen resultados en corto tiempo y con la disciplina adecuada se obtiene la transformación cultural que hace que dichos resultados se den de manera permanente.

A continuación, describiremos los detalles de cada uno de los componentes del sistema:

Tecnología

Las herramientas digitales hoy día hacen más fácil la tarea de procesamiento de datos y su correlación algo que en el pasado requería mucho tiempo de análisis y era casi imposible hacerlo en tiempo real y de manera permanente.

APM (Asset Performance Management) powered by predix* es la plataforma digital de gestión de activos de General Electric la cual procesa los datos que se reciben de los activos y a través de modelos, algoritmos y reglas genera estimados que son comparados con los datos medidos en tiempo real, se detectan

desviaciones que generan alertas tempranas las cuales son analizadas por especialistas para tomar acciones proactivas y evitar el desarrollo de modos de falla que afecten el funcionamiento de los activos.

El principal objetivo de APM es identificar las desviaciones en la zona más a la izquierda del tradicional diagrama P-F, en la zona proactiva, esto permite realizar acciones más efectivas y así evitar que se presenten fallas. En la Figura 1 se muestra una representación gráfica de esta característica del sistema



Figura 1. Representación Gráfica de la zona del diagrama P-F donde trabaja APM

Para lograr esto APM hace una representación digital del activo lo que se conoce como el “gemelo digital” lo que le permite al software entender el funcionamiento correcto del activo y mediante modelos basados en similaridad predecir el comportamiento óptimo del mismo en un momento determinado.

El gemelo digital puede representar una máquina, un componente, un sistema integrado de activos o una flota completa.

Por ejemplo, una turbina de gas, una cámara de combustión, un tren de generación o un ciclo combinado, esto depende del tipo de variables que se quieren monitorear y de los indicadores de desempeño a controlar.

A continuación, explicaremos los principales componentes del gemelo digital

El Blueprint: Es una plantilla estándar que contiene todos los tipos de componentes de un tipo específico de activo y en algunos casos por tipo o modelo de activo.

Algunas de las características más importante de los Blueprints son:

- Agrupa los Tags o variables requeridas para crear un diagnóstico.
- Genera las alertas que utilizan un set de reglas estándares.
- Genera el nivel de severidad de las alertas.
- Tiene límites para las alertas predeterminados de acuerdo con el tipo de activo, sin tener en cuenta el fabricante del mismo.
- Tiene límites estándares para los residuales ósea las diferencias entre los valores reales y los estimados.

A continuación, en la figura 2 se presenta una representación gráfica de un gemelo digital o Blueprint de una turbina de gas GT7FA de GE.

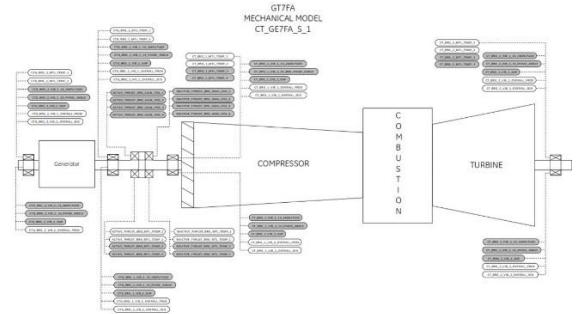


Figura 2. Blueprint de una turbina de gas GE7FA

Los Blueprints son genéricos, contienen todos los modelos y a su vez todas las variables para efectuar un monitoreo del activo y a su vez crear el gemelo digital del mismo. Están diseñados para el tipo de activo genérico sin importar su fabricante o su tamaño.

Los Modelos: Son estructuras formadas por Tags o variables y representan los subsistemas de la máquina o también por funciones específicas, por ejemplo, hay modelos específicos para partes del equipo o de performance, o de combustión, o eléctricos y otros que pueden tener variables cuyos sensores físicamente estén ubicados en diferentes partes de la máquina. Dichos Tags o variables interactúan entre sí, están relacionadas tanto desde la medición como en la etapa de análisis.

Los modelos utilizados por APM son modelos empíricos no paramétricos, esto quiere decir que están construidos por los datos mismos de las variables, no se asume nada y para esto se utiliza el método SBM (Similarity Base Model) el cual estima todo en función de los datos históricos que muestren la condición estable o deseada

por cada variable, aunque esto requiere mucho trabajo, es la mejor forma de crear un gemelo digital, debido a esto nunca los estimados para una cierta variable y para una maquina similar serán los mismos ya que se ven afectados por múltiples variables como condiciones medioambientales, funcionamiento propio de la máquina y otras.

En la medida en que los modelos van construyendo la matriz de datos correlacionados, el modelo mismo va volviéndose más preciso y los estimados son más exactos.

A continuación, en la figura 3 se muestran algunos de los principales modelos para una turbina de gas 7FA de General Electric.

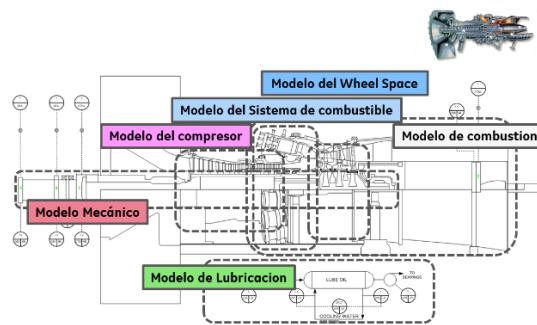


Figura 3. Modelos Genericos para una turbina de gas GE7FA de GE

Como se puede observar en la Figura 3 los modelos normalmente corresponden a los subsistemas físicos y operacionales más importantes de la máquina, esto con la finalidad de tener en control aquellos modos de falla que ocasionarían las mayores consecuencias.

Los Tags o variables: Los tags o variables que se monitorean son los más importantes para el cumplimiento de las funciones primarias y secundarias de los activos y sus subsistemas. Dichas variables son cada una de las señales que provienen de los sensores de la máquina, cada variable con su histórico contribuye a la generación constante de la matriz de datos que es la base de los modelos. Una misma variable puede formar parte de varios modelos a la vez, como por ejemplo la variable velocidad, la variable carga y otras que son importantes determinadores del estado de la maquina en términos operacionales, mecánicos y otros.

En las figuras 4 y 5 se muestran ejemplo de las variables que normalmente son medidas en una turbina de gas y sus equipos conducidos.

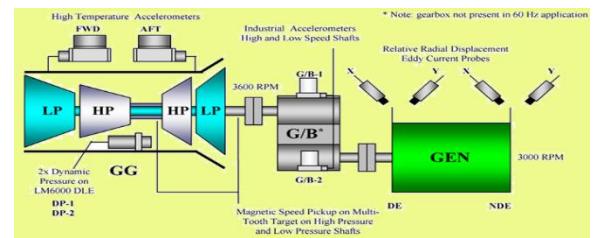


Figura 4. Ejemplo de tipos de variables monitoreadas en un tren de Generación con Turbina de Gas

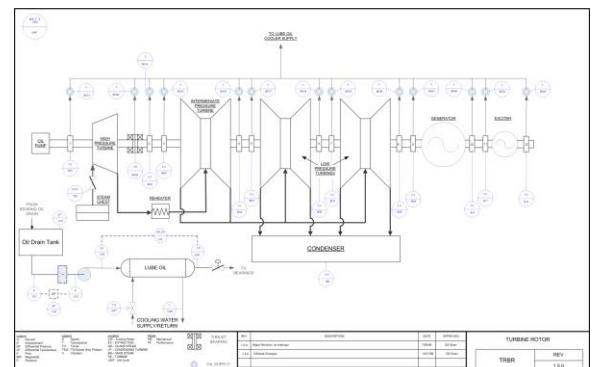


Figura 5. Ejemplo de tipos de variables monitoreadas en un tren de Generación con Turbina de Gas

Los datos de cada variable que vienen de los sensores, se mantienen siempre en la red industrial del cliente, y en la gran mayoría de los casos se almacenan en el repositorio de datos industriales del cliente; desde este repositorio se envían a la nube de GE y desde allí los toma APM para realizar los procesos de análisis y diagnóstico.

En la figura 6 se muestra una arquitectura típica del manejo que se le da a los datos dentro de proceso de Gerenciamiento de Confiabilidad, se pueden tener varias configuraciones ya sea on premix o cloud based que la utilizada por casi el 90% de nuestros clientes ya que es más económica y tiene menos requerimientos de recursos de IT.

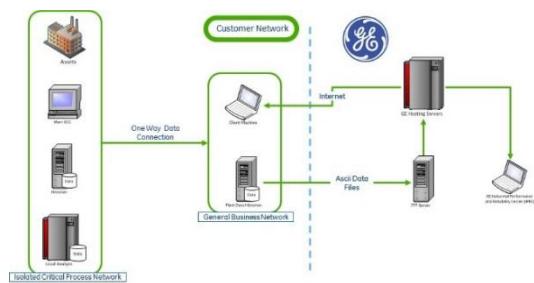


Figura 6. Arquitectura típica de manejo de datos por APM

APM hace realidad el Internet de las cosas, conectando las maquinas, haciendo manejo de los datos, creando gemelos digitales de las mismas y permitiendo que haya un monitoreo permanente que ayuda a tomar decisiones proactivas en pro de la mejora del proceso productivo.

Proceso

APM nos da herramientas muy importantes que ayudan a ahorrar tiempo, a tener estimados basados en modelos y analíticos para tomar decisiones, pero organizar este flujo de información y que sea realmente útil es un gran reto, muchas de las herramientas con las que cuenta y ha contado la industria no han dado los resultados esperados por qué no se acompañan de un proceso de adopción adecuado, de un flujo de trabajo estándar y de un control constante que permita aprovechar el potencial de estas herramientas. En el caso de General Electric, existe un proceso estándar de gerenciamiento de confiabilidad que garantiza los resultados, los cuales en están enfocados a un cambio en la forma como la organización del cliente actúa frente a las alertas tempranas evitando que los modos de falla se desarrollen, se explicara en detalle el tipo de acciones que se deben realizar para lograr los resultados esperados.

En la figura 7 se ve el proceso general de gerenciamiento de confiabilidad diseñado por General Electric y que permite obtener los resultados mencionados.

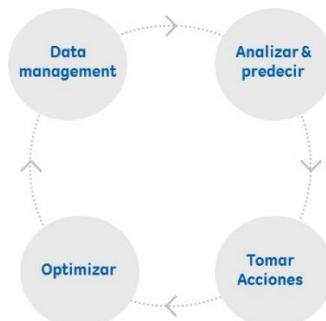


Figura 7. Proceso de Gerenciamiento de confiabilidad de General Electric

A continuación, se describe uno a uno los pasos de este proceso:

Data Management

Este subprocesso incluye la estructuración y contextualización de los datos dentro del blueprint y los modelos, permitiéndole a APM hacer un uso intensivo de los datos, liberando la inteligencia artificial de los mismos y generando un proceso automático de ingestión, modelado, mapeo y alertando en caso de que algo este fuera de los parámetros normales.

Los datos son ingestados en APM y de acuerdo con los analíticos y métodos basados en similaridad, APM grafica en líneas de tiempo los datos reales y los estimados para cada variable como se puede ver en la figura 8

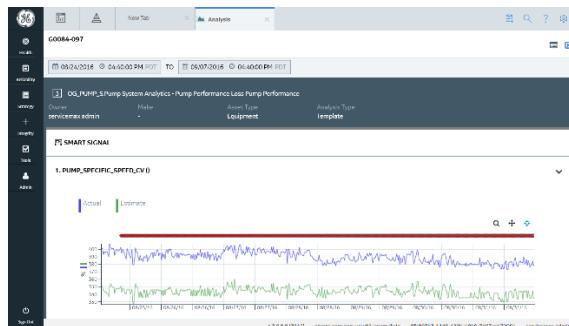


Figura 8. Ejemplo de representación gráfica de datos en APM

Una vez APM determina que hay una diferencia entre el dato real y el dato estimado por el modelo el sistema emite una alerta, la cual tiene una prioridad, un conteo y una densidad determinada. En la figura 9 se ve un ejemplo típico de cómo se presentan las alertas en APM

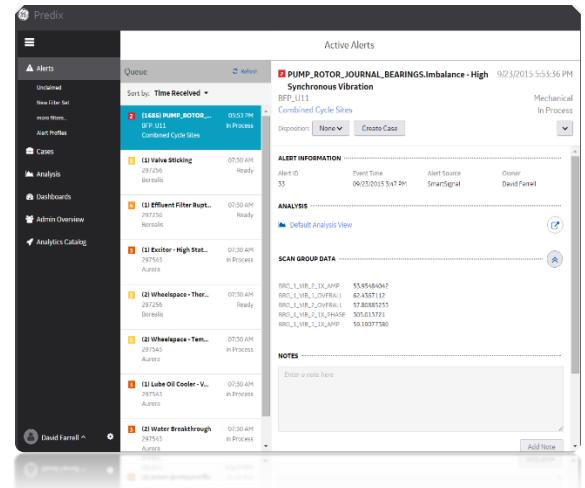


Figura 9. Ejemplo de presentación de las alertas tempranas en APM

En el ejemplo se puede ver que las alertas se presentan con un nivel de prioridad, una descripción del tipo de alerta y otros datos importantes que permiten al analista determinar si esta alerta amerita convertirse en un caso de análisis.

Analizar

Las alarmas generadas por APM son analizadas por un equipo de ingeniería de confiabilidad quienes se encargan de clasificarlas, revisarlas y finalmente determinar si es algo que este referido a datos, al modelo o si es alguna condición que merezca ser analizada con un mayor grado de profundidad, después de este análisis se determina si se requiere la creación de un caso para ser discutido con el cliente durante la llamada semanal de monitoreo.

Predecir

APM es un software Analítico-Predictivo que utiliza un modelo empírico no paramétrico conocido como modelo basado en similaridad (SBM), el cual

utiliza datos históricos en buenas condiciones para cada situación operativa y va construyendo una matriz que simula los datos futuros, con esto se construye un estimado para cada variable.

Cada variable cuenta con su valor estimado y su valor en tiempo real, la diferencia entre estos dos datos y/o la correlación con otras variables pueden generar una alerta, la cual es diagnosticada por los ingenieros de confiabilidad. Como el sistema no trabaja en base a límites de alarmas estáticos sino principalmente en función del residual ósea la diferencia entre el valor real y el estimado, las alertas se presentan con mucha más anticipación que en un sistema de monitoreo y/o control tradicional, por esto la frecuencia de revisión, análisis y toma de acciones sobre las desviaciones de las variables se realiza con periodicidad semanal ya que está comprobado que este intervalo es suficiente para seguir el proceso y evitar que se desarrollen los modos de falla asociados.

El análisis de las alertas, la correlación con otras variables y la observación de toda la data permiten a los ingenieros de confiabilidad predecir un comportamiento errado unido a las alarmas, ya que se trabaja con base en las diferencias entre los datos reales y los estimados los niveles de predicción son bastante elevados y anticipados y en esto se basa el éxito de este tipo de monitoreo.

En la figura 10 se presenta una descripción grafica del residual que es el valor que diferencia al valor real del estimado.

- Verde (estimado) BUENO
- Azul (actual) es VERDAD
- Rojo es RESIDUAL



Figura 10. Representación grafica de las tendencias en APM y el residual

Tomar Acciones

Manejo de los casos

No todas las alarmas se convierten en casos, algunas de las alarmas obedecen a procesos propios de APM y deben ser resultas haciendo mantenimiento de los modelos o ajustando niveles de alarma de acuerdo con los cambios de condiciones medioambientales u operativas, algo que poco a poco los modelos van aprendiendo y cada vez hay que hacer con menor frecuencia.

Una vez se crea un caso, el mismo es discutido semanalmente con el equipo de ingeniería de confiabilidad de GE y del cliente; se determinan las acciones a seguir, las cuales debido a la anticipación con la que el sistema las detecta son de baja intensidad y de tipo operacional o de mantenimiento, con esto se evita que los modos de falla asociados se continúen desarrollando. Es así donde realmente se ve el valor que el proceso agrega.

Acciones proactivas

Es la parte más importante de todo el proceso, las acciones que se toman para restituir el funcionamiento normal de las variables que generaron las alertas y los

casos son determinantes para detener el avance de los modos de falla, este es el verdadero objetivo del proceso y la única forma de romper el círculo vicioso del mantenimiento reactivo.

Cuando se inicia el proceso de monitoreo, lo normal es que se deban realizar muchas acciones relacionadas con la instrumentación o los sensores esto pone a tono la instrumentación y permite tener toda la información necesaria para que los modelos trabajen de manera adecuada, esto en general se convierte en una puesta a punto de la instrumentación general de la planta y se considera unos de los beneficios más tempranos del proceso. Las acciones proactivas que persigue el proceso son las de tipo operativo como ajuste de variables de proceso o pequeños ajustes en campo, que devuelvan las condiciones a las esperadas, obviamente algunas veces deben realizarse intervenciones de tipo mecánico, eléctrico etc. Para restituir las condiciones deseadas pero la verdad es que el éxito del proceso se obtiene cuando no se ha desarrollado un modo de falla y no se requiere de una intervención intensiva.

Lo más importante de las acciones es que en su mayoría deben ser proactivas, poco intensivas y que se documenten adecuadamente para cerrar el ciclo de feedback o retroalimentación que facilite el mejoramiento.

Feedback

Retroalimentar el sistema es muy importante para el proceso, es la base de la optimización, documentar las acciones que se realizaron y que permitieron cerrar los casos servirá de referencia para futuros eventos, al confirmar que alguna acción se

ha realizado, se establece una nueva línea base para el modelo, este a su vez aprende de este hecho, lo correlaciona con otras variables y permite que cada vez funcione de mejor manera la predicción.

Personas

Las personas son el gran diferenciador de la metodología de gerenciamiento de confiabilidad de General Electric ya que las decisiones basadas en información son tomadas por un equipo de personas tanto de General Electric como por parte del cliente; personas con amplia experiencia en operación, mantenimiento e ingeniería de plantas y equipos.

Con el paso del tiempo, este equipo humano va afinando su interacción con el proceso y el software, los modelos funcionan cada vez mejor, cada vez las alarmas son más precisas y los casos de más efectivos; todo esto se logra gracias a la disciplina y el rigor que se sigue en el proceso y esto a su vez depende de la decisión verdadera de cambio que tienen las personas involucradas.

En la figura 11 se ve el proceso que se lleva con frecuencia semanal y que facilita el cambio de una visión de atención reactiva a una acción proactiva ante cada alerta con el fin de evitar que los modos de falla se comiencen a desarrollar.

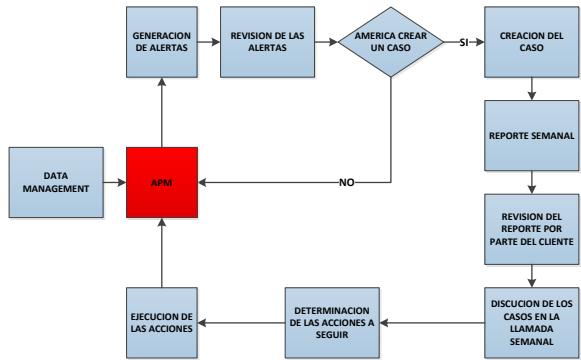


Figura 11. Subproceso de manejo de alertas y casos de RM (Reliability Management)

CONCLUSIONES

Las organizaciones industriales durante los últimos años en aras de mejorar su productividad han tomado iniciativas de control de costos de operación, mantenimiento que buscan el incremento de la confiabilidad y disponibilidad de los activos críticos productivos. Muchas de estas iniciativas no dan los resultados esperados por diversas razones, entre las más importantes están:

- Falta de entendimiento por parte de los líderes de las compañías o su cambio constante.
- Muchas de las iniciativas están centradas en costos a corto plazo y no en la visión a largo plazo.
- No existe una claridad en los objetivos propuestos.
- Falta de entendimiento por parte de las organizaciones de las tecnologías asociadas.
- No hay conciencia que el proceso está dirigido por la disciplina y las acciones son tomadas por las personas.

- Se quiere esperar a que todo esté bien para comenzar los procesos de cambio.

- Se privilegian los procesos y las herramientas tecnológicas sobre la interacción de las personas y su importancia en la toma de decisiones.

El enfoque basado en personas, proceso y tecnología o herramientas digitales que propone General Electric para afrontar los retos de la industria da un balance perfecto para que los resultados se mantengan en el largo plazo, solo de esta manera hay seguridad y control en el tipo de soluciones que se proponen y un análisis real de la efectividad de estas y del proceso en general.

Algunas cosas es difícil hacerlas solo manualmente

En teoría las plantas podrían hacer una revisión diaria a todas sus variables, establecer una correlación entre las mismas y determinar si algo está sucediendo, después de esto realizar las investigaciones correspondientes para determinar la causa de lo que está sucediendo y tomar acciones para corregir el comportamiento de algunas variables; suena bien, pero esto además de requerir del concurso de varios expertos, tomaría mucho tiempo y hacerlo de forma continua resultaría casi imposible, es por esto que el uso de las herramientas digitales acompañadas de la experiencia y el compromiso de las personas y bajo un proceso bien definido ayuda a tomar las mejores decisiones lo cual que permite a través de la gerencia de confiabilidad gestionar los activos de manera eficiente y romper el círculo vicioso del mantenimiento reactivo.

Los resultados son reales y sostenibles

General Electric mantiene un seguimiento general a los indicadores de éxito de nuestros clientes que nos permiten entre otras cosas afirmar lo siguiente*:

- En la industria pesada un incidente tiene un costo promedio de USD95k de los cuales USD72k son por perdida de producción y USD23k por reparaciones.
- En promedio para una planta de generación de energía hablamos de USD25 por MW por hora los que para una planta que genera 500MW la perdida de producción equivalente es de 300k por día.
- Se han logrado reducción de incidentes de HSE de entre el 4% y el 30%
- Crecimientos de disponibilidad real de entre el 2% y el 6%
- Entre el 10% y el 40% de reducción en mantenimiento reactivo
- Entre el 5% y el 10% de reducción en costos de inventario.
- Entre el 5% y el 25% de incremento en la productividad del personal.
- 95% de mejora en el manejo de las alarmas después de un aproximadamente un año de uso de APM

**Based on GE Digital's APM client case studies and industry best practices and value drivers.*

APM y el proceso de gerenciamiento de confiabilidad de General Electric ha cambiado la forma de actuar frente a las alertas presentadas por los activos y ha permitido a nuestros clientes obtener resultados sostenibles e implantar una cultura de proactividad en sus procesos industriales.

Bibliografia

APM Performance Managemet from GE Digital Brochure. San Ramon California. 2016.

GE Digital Playbook 2017. San Ramon California. 2017.

GE Newsroom, "E.ON Achieves More Output from 469 Wind Turbines through GE's Wind PowerUp* Services," October 2014.

Industrial-iot.com, "Duke Energy Avoids Unplanned Downtime and Improves Reliability with IIoT and Predictive Maintenance," December 2016.

enel.com, press release, "Enel group presents 2017–2019 enhanced strategic plan, focused on digitisation and customers", published in November 2016.

Gertler, J. 1998, *Fault Detection and Diagnosis in Engineering Systems*, Marcel Dekker, Inc. New York.

Holtan, T. & Wheeler, T. 2003, 'Using Real-Time Predictive Condition

Monitoring to Increase Coal Plant Asset Availability', in *Coal-Gen*, August 6-8.

Mott, J., Young, R. & King, R. 1987, 'Pattern-Recognition Software for Plant Surveillance', in *Proceedings of the International Meeting on Nuclear Power Plant Operation*, August 30-September 3.

Nieman, W. & Olson, R. 2001, 'Early Detection of Signal or Process Variation in the Co-Generation Plant at U.S. Steel, Gary Works', in *Proceedings of Turbo*

Expo: Land, Sea, Air, New Orleans, LA, June 4-7.

Bogota, Colombia

Singer, S., Gross, K., Herzog, J., Wegerich, S. & King, W. 1997, 'Model-Based Nuclear Power Plant Monitoring and Fault Detection: Theoretical Foundations', in *Proceedings of the 9th International Conference on Intelligent Systems Applications to Power Systems*, Seoul, Korea, July 6-10.

Talbott, C. 2000, 'Diagnostics and Prognosis of Large Horsepower Electric Submersible Pumps', in *13th International Congress, Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management*, Houston, TX, December 3-8.

Wegerich, S., 2004, 'Similarity Based Modeling of Time Synchronous Averaged Vibration Signals for Machinery Health Monitoring', in *Proceedings of the IEEE Aerospace Conference*, Big Sky, MT, March 6-13.

Wegerich, S., Wilks, A. & Pipke, R. 2003, 'Nonparametric Modeling of Vibration Signal Features for Equipment Health Monitoring', in *Proceedings of the IEEE Aerospace Conference*, Big Sky, MT, March 8-15.

Wegerich, S., Singer, R., Herzog, J. & Wilks, A. 2001, 'Challenges Facing Equipment Condition Monitoring Systems', in *Maintenance and Reliability Conference Proceedings*, Gatlinburg, TN, May 8-10.

Autor: Eduardo Cote Botero
Telefonos
Celular: 317-435-7277
Oficina: 7425636
Direccion: Av Cr 72 No. 80-94 Piso 12
Centro Empresarial Titan