

Año 2, N° 15, Mayo 2016

# PREDICTIVA 21

**EAM “ENTERPRISE ASSET MANAGEMENT  
FOR INDUSTRY 4.0”**

**INDUSTRIA 4.0 Y EL SECTOR FARMACÉUTICO**

**7MA JORNADADA INTERNACIONAL IBEROAMERICANA  
DE GLOBAL ASSET MANAGEMENT:  
IMPULSARÁ LA SUSTENTABILIDAD EMPRESARIAL**

**LA IMPORTANCIA DE MEDIR LAS COSAS  
CORRECTAS DE MANERA CORRECTA**

**ESTUDIO NPR DE MODOS DE FALLO EN AMFEC**

**PRONTUARIO DE LUBRICACIÓN:  
GUÍA DE LUBRICACIÓN DE MOTORES PARA NO EXPERTOS**

**REPERCUSIÓN DE LA HIPERTENSIÓN ARTERIAL  
EN LA CONFIABILIDAD HUMANA**



RESPALDAMOS TU ENERGÍA  
ALIMENTAMOS TELECOMUNICACIONES

• ENERGÍA PARA TELECOMUNICACIONES •

• ACONDICIONAMIENTO TERMICO •

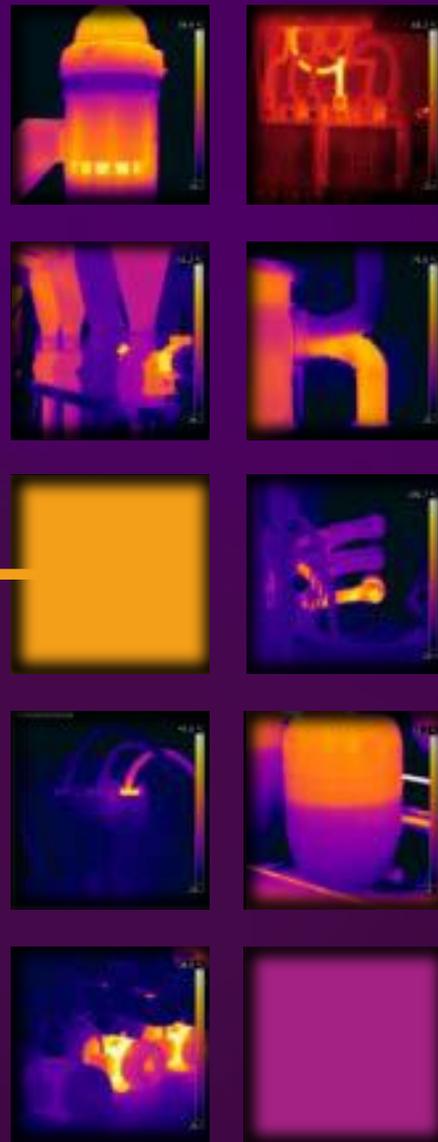
• SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA •

• DATA CENTER •

# THERMOTECH®

Hacemos Visible Lo Invisible...

SOMOS UNA ORGANIZACIÓN  
**VENEZOLANA**  
CON BASE INTERNACIONAL  
CON LA MISIÓN DE OFRECER  
SOLUCIONES EFECTIVAS  
A NUESTROS CLIENTES  
POR MEDIO DE  
**TERMOGRAFÍA INFRARROJA**



## SERVICIOS:

- CONSULTORÍA INFRARROJA
- VENTA DE CÁMARAS TERMOGRÁFICAS
- ESTUDIOS DE CALIDAD DE ENERGÍA
- ANÁLISIS POR VIBRACIONES MECÁNICAS
- MANTENIMIENTO EN BAJA Y MEDIA TENSIÓN
- INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Servicios en:  
▪ Venezuela  
▪ Colombia  
▪ Estados Unidos

[www.thermotechvzla.com](http://www.thermotechvzla.com)

 Thermotechvzla

 @thermotechvzla

 Thermotechvzla

Av. Libertador con calle 29   
Barquisimeto - Lara  
Rif J-40199898-4

 thermotechca@gmail.com  
 +58 251 2732401 | 251 2735188  
+58 424 5043858 | 414 5150823

## JUNTA DIRECTIVA

**Publisher / Editor:**

Enrique González

**Director de Mercadeo:**

Miguel Guzmán

**Directora Editorial:**

Alimey Díaz

**Periodista Editor:**

Maite Aguirrezabala

**Diseño y Diagramación:**

María Sophia Méndez

**Digitalización y Web Master:**

Edgar Guzmán

Crisnar Rivero

**Community Manager:**

Daniela Angulo

**Colaboradores:**

Luis Amendola

Brau Clemenza

Rocio Martin

Victor Manriquez

Jaime Zamora

Marc Gardella

Martin Ivan Cevallos

Manuel Hernandez

Barbaro Giraldo

Luigi Rondon

---

*Predictiva21 no se hace responsable por las opiniones emitidas en los artículos publicados en esta edición. La línea editorial de esta publicación respetará las diversas corrientes de opinión de todos sus colaboradores, dentro del marco legal vigente.*

- 07** | EDITORIAL
- 08** | EAM "enterprise Asset Management For Industry 4.0"  
*Artículo técnico*
- 14** | CIFMERS LATAM 2016:  
Encuentro para Facility Managers  
*Nota de prensa*
- 15** | Eventos  
*Infografía*
- 16** | Si Usted No Construye Su Filosofía De Mantenimiento Ninguna Estrategia Que Utilice Le Servirá Completamente  
*Artículo*
- 18** | Industria 4.0 Y El Sector Farmacéutico  
*Entrevista*
- 22** | Una Fabrica Inteligente  
*Nota de prensa*
- 26** | 7ma Jornada Iberoamericana de Global Asset Management  
*Nota de prensa*
- 28** | La Importancia De Medir Las Cosas Correctas De Manera Correcta  
*Artículo*
- 32** | Desbalance Resistivo En Conexiones Eléctricas De Un Motor Eléctrico  
*Artículo técnico*
- 38** | Estudio Npr De Modos De Fallo En AMFEC  
*Artículo técnico*
- 46** | Prontuario De Lubricación: Guía De Lubricación De Motores Para No Expertos  
*Artículo técnico*
- 48** | ANÁLISIS P21
- 50** | VI Jornada Técnica sobre Seguridad en Operaciones de Mantenimiento  
*Nota de prensa*
- 52** | Influencia De Los Parámetros Pasivos De Vibración En El Comportamiento Dinámico De Equipos  
*Artículo técnico*
- 59** | Repercusión De La Hipertensión Arterial En La Confiabilidad Humana  
*Artículo técnico*
- 68** | Evaluación De Desempeño De Compresor Axial De Turbinas De Gas Después De Lavado En Línea De Una Planta De Inyección De Agua Mediante Pruebas En Campo  
*Artículo técnico*



E&M Solutions, C.A.  
www.eymsolutions.com

@eymsolutions

E&M Solutions, C.A.

+58 291-643-7055



## Soluciones Efectivas para la Gestión de Activos

Ofrecemos soluciones especializadas en ingeniería y gestión de activos para el área petrolera, gasífera, petroquímica, siderúrgica y generación de energía.

### Nuestras líneas de negocios:

- Ingeniería y Construcción
- Mantenimiento y Confiabilidad
- Servicios Profesionales

Contacta a E&M Solutions, C.A.

**Respaldo Profesional para la Confiabilidad Industrial**

## LO CERTIFICO

Nos da mucho gusto presentarles nuestra edición número 15 que, como las anteriores, ha sido preparada para ustedes con todo el compromiso con la calidad que nos caracteriza, impulsados por el espíritu de llevar a nuestro querido público lector lo más novedoso, interesante y útil del mundo del mantenimiento.

Una de las ideas que cursan esta edición y que hemos tratado someramente en nuestra sección Análisis P21 es la importancia de certificarse, independientemente del certificado al cual se aspire. La implantación y eficiencia que pueda tener un sistema de calidad en determinada empresa es avalado (o no) por organismos internacionales autorizados para ello. Al llegar a este punto, es un hecho notable que la comunidad de mantenedores haya evolucionado hasta este grado, logrando tanto la cohesión de criterios y voluntades como de parámetros válidos en todo el mundo, para medir lo bien hecho y establecer lo que es seguro para la industria y la gente. Eso, sin duda, habla muy bien de la madurez que, como sociedad de profesionales, ha alcanzado la ingeniería de mantenimiento a estas alturas del siglo XXI. Las ciencias, entre ellas la ingeniería, se ubican dentro del campo del saber que en filosofía se denomina "saberes empírico-rationales"; en estos, lo sabido se sustenta en lo experimentado. Y, sin derecho a discusión, ciertamente la ciencia del mantenimiento y el asset management, así como las normas que determinan sus procesos eficaces, están sustentados por millones de horas hombre de experiencia. Los estándares de calidad, como por ejemplo la enorme familia ISO, dan fe de la seguridad de un proceso, o de un producto. Certificarse, en primera instancia, da a la empresa y a los profesionales un bien ganado estatus de seguridad, confiabilidad, de eficacia. Esto supone mayores y mejores negocios, en pro de mayores ingresos y beneficios. Pero, a otro nivel, los certificados de calidad están relacionados con la protección de las personas, de los bienes, del ambiente. En su aspecto más básico, la calidad de los procesos está intrínsecamente unida con lo que es mejor para todos. Es por eso que me apasiona la ingeniería, así como el incombustible impulso de mejorar esta noble ciencia día a día. Lo certifico.

**Enrique González**  
Director

# EAM: “Enterprise Asset Management for industry 4.0” ISO 55001 GESTIÓN DE ACTIVOS

*Una implementación exitosa significa ver más allá de qué software cuenta con mayor cantidad de características y funciones*

*El reciente análisis de software realizado con diferentes proveedores de EAM ha revelado nuevas tendencias auspiciosas en el área de los sistemas de gestión de activos (EAM) alineados a la ISO 55001 de Asset Management. En caso que usted deba reemplazar o realizar una actualización, existe una gran disponibilidad de opciones en cantidad y calidad en el mercado. Sin embargo, nunca fue difícil conseguir un sistema computarizado de gestión de activos que resultase bueno y completo. Es más, he descubierto a través de artículos, cursos, conferencias y seminarios que la mayoría de los usuarios admiten que usan sólo entre el 20 - 30% de las características del programa.*

El profesor Mendelson aborda la evolución de los modelos de negocio a la vez que examina el profundo impacto de las Tecnologías de la Información (TI). En una proyección a largo plazo, Mendelson prevé que las TI proseguirán en una mejora continua de rendimiento. Asimismo afirma que el efecto combinado de las tecnologías móviles, los dispositivos y los sensores vestibles, así como la computación en la nube y las tecnologías de los big data, refinarán la estructura de los modelos de negocio futuros. A partir de este planteamiento,

imaginemos tres escenarios posibles: agentes de proximidad, como representantes digitales de los clientes en el mercado que usan los datos para localizar y solicitar las soluciones más beneficiosas; coordinadores de cadenas de valor que adecuan la oferta y la demanda, creando soluciones personalizadas, y que adoptan la innovación electrónica impulsada por información de clientes; proveedores que participan cada vez más en las ventas en el mercado y en la innovación impulsada por la información. Para terminar, considera que las

formas tradicionales de innovación serán diferenciadores esenciales; primero, porque los modelos de negocio subyacentes requerirán innovación continua y ésta probablemente adquirirá una forma tradicional y, segundo, porque los nuevos productos seguirán precisando modos de innovación convencionales.

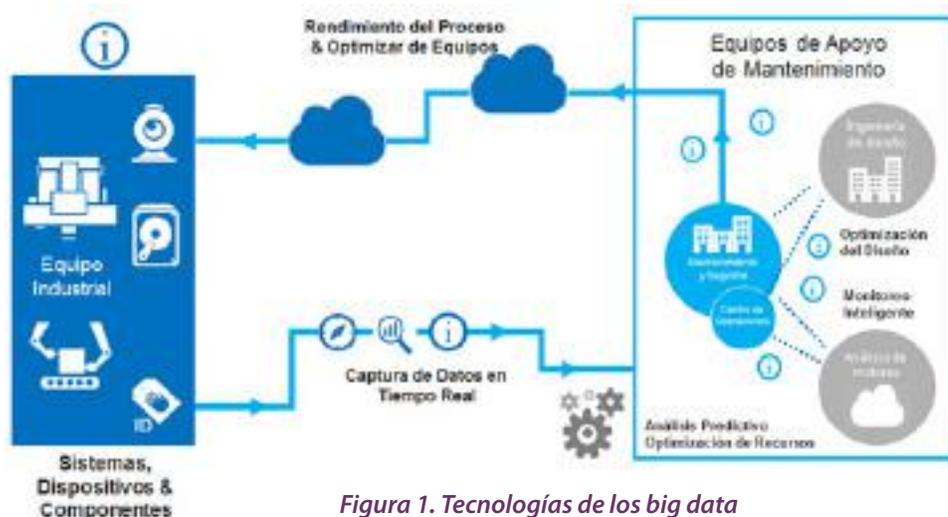


Figura 1. Tecnologías de los big data  
(Adaptada: Amendola, L, 2016)

Asimismo el “Big Data”, como tecnología de análisis de ingentes cantidades de datos que puedan ser reutilizados con “inteligencia”, ofrece grandes funcionalidades que pueden almacenarse y procesarse en tiempo real desde sistemas de computación en la “nube”, aquí es donde debemos apuntar de cara a la selección de un EAM “Enterprise Asset Management”.



Figura 2. Integración de la tecnología (Amendola, L., 2016)

**Tecnología:** gestionar el valor de los activos a través del ciclo de vida, mediante la racionalización de los procesos y el desarrollo de nuevos modelos de negocio que alinean las operaciones y el mantenimiento con las estrategias del negocio.

**Gestión Estratégica de Activos:** valorización de los activos mediante la optimización de sus beneficios, del costo del ciclo de vida, riesgo y rendimiento de los activos individuales, sistema de activos y portafolio de activos.

**Bases de Datos:** actividades coordinadas para la creación y gestión de datos e información digital en todo el ciclo de vida de los activos y compartir estos datos con todos los habilitadores internos & externos. ISO 55001 Asset Management - EAM “Enterprise Asset Management”.

## ISO 55001 GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN

**El requerimiento 7.5. Requisitos de información:** la organización debería

determinar las necesidades de información relacionadas con sus activos, su gestión de activos y su sistema de gestión de activos. Asimismo, la organización debería utilizar un enfoque sistemático para identificar la información de activos necesaria y establecer los repositorios adecuados de información. Por ejemplo, la organización debería emprender un análisis de necesidades, establecer prioridades, revisar las opciones de desarrollo del sistema y las estrategias de recopilación de datos, planificar la creación de repositorios de información y recopilación de datos, luego implementar según corresponda.

La ISO 55001 aborda los requisitos relacionados con la información en los tres siguientes subcapítulos:

- ISO 55001:2014, 7.5 “Requisitos de información”, aborda la determinación de la información requerida;
- ISO 55001:2014, 7.6 “Información documentada”, aborda los requisitos para el control de la información;
- ISO 55001:2014, 9.1 “Seguimiento, medición, análisis y evaluación”, aborda la determinación de requisitos para la información necesaria para la evaluación e información de desempeño.

**El requerimiento 7.6. Información documentada:** establece las necesidades de información documentada. La organización debería considerar la identificación y definición de la información documentada que será gestionada y mantenida a lo largo del ciclo de vida, tomando en cuenta su período de responsabilidad para los activos. La organización también debería considerar el requisito para mantener esa información documentada para cualquier período definido más allá de la disposición de los activos, de acuerdo con los requisitos del negocio, tanto legales como regulatorios. Los controles establecidos deberían ser adecuados para el tipo de información en apoyo de la actividad de la gestión de activos.

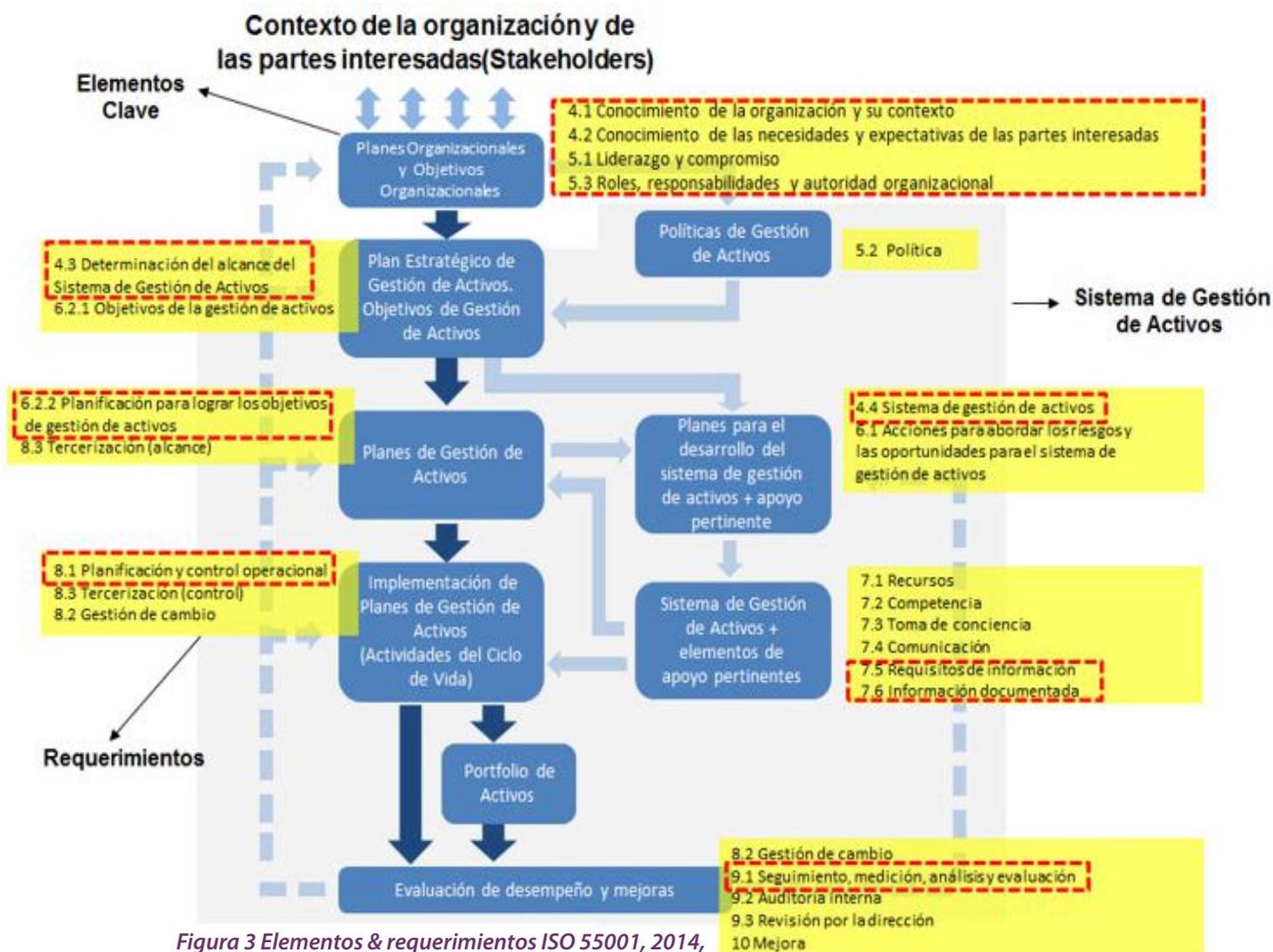


Figura 3 Elementos & requerimientos ISO 55001, 2014, Alineados al EAM "Enterprise Asset Management"

La organización debería determinar la información documentada requerida para asegurar la eficacia de su sistema de gestión de activos y para la actividad de gestión de activos. Diferentes tipos de información documentada pueden abordar elementos del sistema de gestión de activos, tanto para la gestión de activos como para un activo específico. La información requerida puede diferir de una organización a otra y debería ser proporcional a la complejidad de los activos y la actividad de gestión de activos.

### NO SÓLO FUNCIONALIDADES DEL EAM "ENTERPRISE ASSET MANAGEMENT"

Muchas de las empresas que buscan un nuevo software de gestión de activos lo hacen sumando la cantidad de funcionalidades que el sistema posee, lo cual no se considera una buena idea. Lo fundamental no es buscar la solución que incluya más funcionalidades y características, sino la que mejor se adapte a sus necesidades. Esto, muchas veces, resulta un trabajo engorroso y toma mucho tiempo, pero aumenta enormemente la posibilidad de que la implementación resulte exitosa.

Para garantizar el éxito y aprovechar al máximo su solución de EAM para la gestión de sus activos, usted primero debe determinar una estrategia general de gestión de activos y las medidas y metas específicas de desempeño para poder medir el éxito cuantitativamente. Después deben optimizarse procesos finales de áreas como finanzas, operaciones, mantenimiento, ingeniería, recursos humanos, medio ambiente y demás departamentos, considerando las metas y objetivos de la gestión de activos, estrategias del negocio, estrategias de gestión de activos, planes de gestión de activos su implementación, requisitos de información, información documentada y mejora continua, tal como lo especifica la ISO 55001.

Junto con los procesos de rediseño, se deben definir las especificaciones clave del software de gestión de activos que permitan llevar a cabo los nuevos procesos y que ayuden a cumplir con los objetivos de performance. Estas especificaciones se usan para seleccionar el sistema y proveedor más adecuado. Sin embargo, no se pueden definir los procesos efectivos y eficientes sin entender cómo un sistema y su tecnología pueden llegar a ser un gran beneficio. Por ello, a continuación se ofrece una lista y resumen de funciones y características:

### **ESTRATEGIA DEL PROVEEDOR**

Cada proveedor debe realizar sus elecciones de manera estratégica, exista o no un proceso formal de planeamiento. Al seleccionar un software de gestión de activos, no solo se debe evaluar el software, sino determinar cuál de las estrategias de los proveedores satisface mejor sus necesidades.

Las diferencias clave que se deben considerar son:

- **Servicio versus software:** Algunos proveedores trabajan con el sistema de 'empaquetado y venta' del software sin ofrecer nada más, mientras que otros ofrecen servicios de valor agregado como capacitación, soporte,

customización del software y servicios de implementación. En el primer caso, el software es funcionalmente más completo y/o más atractivo para una mayor cantidad de clientes, pero el proveedor se basa más en socios y/o revendedores para que provean los servicios de valor agregado. Ninguno de los casos es bueno ni malo, pero se debe saber lo que cada uno implica.

- **Gastos en Investigación y Desarrollo:** Se debe buscar a un proveedor que esté en la cabecera de los nuevos avances tecnológicos de la industria, como que el software permita el comercio electrónico.

- **Mercado Target:** No confíe en los proveedores que dicen especializarse en todo tipo de empresas. Es mejor cuanto más se diferencien respecto de:

- *Tamaño de la empresa:* Algunos proveedores resultan más adecuados para grandes clientes multi-nacionales, mientras que otros pueden ser más eficientes para negocios pequeños.

- *Especialización en tipo de industria:* Algunos sistemas están diseñados para industrias específicas como pulpa y papel, minería y municipalidades.

- *Especialización por funciones:* Esto incluye infraestructura (es decir rutas, puentes, desagotes, etc), instalaciones, mantenimiento de plantas y vehículos.

- *Especialización por región:* Algunos enfocan al mercado local o a empresas mundiales.

- **Arquitectura del producto:** Elija a un proveedor que pueda manejar sus requisitos, como posibilidad de Internet y compatibilidad de hardware.

- **Especialización del Producto:** Muchos proveedores han desarrollado módulos de especializaciones completos conforme a la demanda de los clientes. Ejemplo de esto son: programación de eventos, herramientas de

seguimiento y planeamiento de capital.

- **Integración:** Una diferencia clave entre los sistemas es cómo se integran verticalmente por medio de la cadena de suministros y horizontalmente en la empresa. Además, los proveedores deben poder integrarse al software de terceros como hojas de cálculo, dispositivos de código de barras y planeamiento de recursos empresariales.

- **Comercio electrónico:** Todos los proveedores están intentando incorporar la posibilidad del comercio electrónico en su oferta de software.

- **Precio:** Se debe elegir al proveedor que ofrezca la mejor solución costo beneficio, no necesariamente el software más barato. Esto significa que se debe realizar un trabajo preparatorio importante para determinar las metas y objetivos estratégicos, las medidas de desempeño, los procesos óptimos y los requisitos de soporte del sistema.

- **Uso:** Los sistemas varían enormemente con respecto a su facilidad de instalación, implementación, uso y mantenimiento.

- **Herramientas de pre-implementación:** Una implementación exitosa depende enormemente de la capacidad para rediseñar procesos y determinar cómo usar el sistema de la mejor manera como herramienta de soporte para los nuevos procesos optimizados. Algunos proveedores ofrecen herramientas de software suplementarias que pueden ayudar a analizar y documentar procesos. En algunos casos, los proveedores usan los flujos de proceso para ofrecer ayuda sofisticada de procedimiento dentro del software computarizado de mantenimiento, o aun para alimentar la lógica del negocio y el flujo de trabajo del sistema computarizado de mantenimiento.

- **Herramientas de implementación:** Una vez que comienza la implementación, los proveedores ofrecen herramientas como ayudas de capacitación, guías estándar de

tareas de procedimiento y de mantenimiento preventivo, ingreso rápido de datos y línea telefónica de soporte.

- **Diseño centrado en el usuario:** Una solución fácil de aprender y de usar puede ayudarle a ahorrar millones de dólares al disminuir la tasa de error y los gastos de capacitación, logrando así mejores niveles de uso y de productividad. Algunos proveedores diseñan sus productos con la ayuda de expertos en uso y/o con la participación de sus clientes. Esto provoca una gran diferencia en las características y funciones disponibles, incluyendo navegadores, instalaciones por default y uso de tabs y menús.

- **Adaptabilidad:** A medida que su negocio y ambiente cambian, la solución de gestión de activos debe ser lo suficientemente flexible como para adaptarse a las necesidades de cambio. Por ejemplo, la posibilidad de cambiar la escalabilidad debe ser sencilla.

- **Soporte del Proceso de Negocio:** El software de gestión de activos es una herramienta que cuenta con los siguientes procesos claves:

- Planeamiento, monitoreo y control. Características como presupuesto, seguimiento del compromiso, costeo basado en la actividad y seguimiento de proyecto le ayudan a lograr las metas y objetivos estratégicos.

- Recolección de datos de planta: Si los datos no son limpios, todas las herramientas de análisis y de reportes le resultarán inútiles. Para asegurarse de que los datos sean buenos, los softwares usan características como integración con sistemas de recolección de datos de producción, online wireless o ingreso en tandas de datos (usando dispositivos de recolección de datos), algoritmos sofisticados para chequear errores, seguimiento de aprobaciones y códigos de problema/causa/acción ligados a un activo en especial.

- Gestión de conocimiento: Los mejores

productos ofrecen un conocimiento mayor que se comparte más ampliamente y se adapta a un proceso definido y a las necesidades individuales. Usan características como el flujo de trabajo automatizado, gestión de documentos, libro de partes gráficas, análisis y reportes. Esta es probablemente la mayor área de diferenciación entre los distintos sistemas y la más crítica para garantizar que se alcancen las metas de performance. Los usuarios deben buscar (y usar) características tales como:

- Inteligencia de negocios (por ej. Gráficos de tendencias).
- Mantenimiento centrado en la confiabilidad.
- Gestión basada en las actividades.
- Análisis de performance del proveedor.
- Relevamiento del impacto de producción (por ejemplo costo de mantenimiento por tonelada producida).
- Costo total de titularidad.

AUTOR:

**Dr. Luis Amendola, Ph.D**

CEO & Managing Director PMM  
Managing Director Center for Innovation  
& Operational Excellence (CIEx), USA  
Investigador PMM Business School, Euro  
Managing Director PMM University, US.  
Research Universidad Politécnica  
de Valencia, España  
luigi@pmmlearning.com

# CIFMERS LATAM

## 2016 Encuentro para Facility Managers

*Maite Aguirrezabala/ Predictiva21*

Bogotá, Colombia, será la sede para el Congreso Internacional de Facility Managers, evento organizado por CIFMERS Global pautado para el 2 y 3 de junio de 2016. Tras el éxito de ediciones anteriores, CIFMERS coloca de nuevo en Iberoamérica esta plataforma comunicacional que busca el intercambio de conocimientos y nuevas técnicas entre Facility Management, proveedores, asociaciones y universidades ligadas al área.

Entre las actividades que incluye el congreso destacan las visitas a edificios emblemáticos, Bloques de Conferencias, Jornadas técnicas, Gathering de asociaciones y jornadas de Networking.

CIFMERS servirá como núcleo de encuentro para aquellos directores que quieran conocer las mejores prácticas de esta disciplina para sus organizaciones, evento propicio para integrarse a la dinámica del intercambio informativo, y aprovechar las ventajas del Networking que traen consigo este tipo de eventos.

Para mayor información ingresa a **[www.cifmers.com](http://www.cifmers.com)**, en donde encontrarás todos los detalles para participar en esta gran iniciativa.

# EVENTOS

Te mostramos los proximos eventos del mundo del mantenimiento



**CIFMers**

Congreso Internacional de Facility Managers



Del 2 al 3 de Junio de 2016  
**Congreso Internacional de Facility Managers CIFMERS 2016**  
info@cifmers.com Bogotá – Colombia

**lubmat**

2016

Del 7 al 8 de Junio de 2016

**Lubrication, Maintenance & Tribology**

Bilbao- España 2016 [www.lubmat.org](http://www.lubmat.org)

**Próximamente**

Del 1ro al 2 de Septiembre de 2016

**V Congreso STLE de Mantenimiento y Lubricación en Guatemala**

Contacto: Luis Urrutia

Cel: + 502 4006-0906

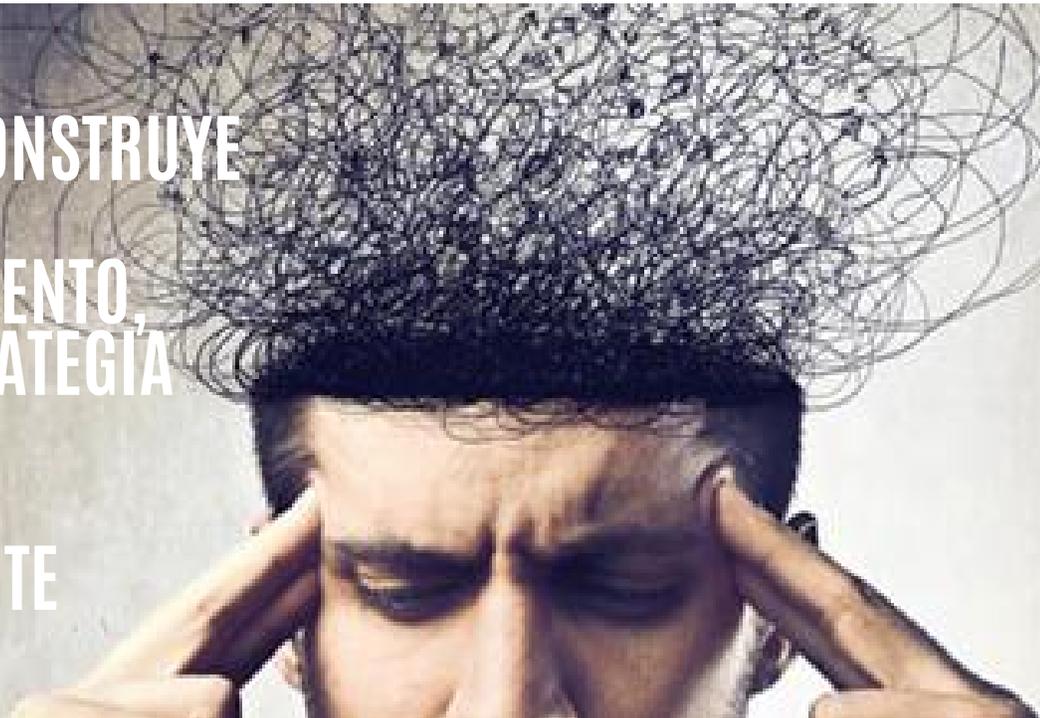
**global**

**Asset Management®**

Del 7 al 8 de Julio 2016 Santiago de Chile  
**7ª Jornada Internacional Iberoamericana de Global Asset Management**

info@globalassetmanagement-amp.com  
[www.globalassetmanagement-amp.com](http://www.globalassetmanagement-amp.com)

## SI USTED NO CONSTRUYE SU FILOSOFÍA DE MANTENIMIENTO, NINGUNA ESTRATEGIA QUE UTILICE LE SERVIRÁ COMPLETAMENTE



La gente que está involucrada en el Mantenimiento reconoce que ésta es la función más dinámica que hay en una planta, debido a que tenemos una gran cantidad de equipos por mantener, y cada uno de ellos tiene una enorme variedad de protocolos de mantenimiento. Adicionalmente a ello, requerimos de una gran cantidad de partes, materiales y repuestos para ejecutar el mantenimiento, diversidad de mano de obra; así mismo, debemos monitorear condiciones con precisión para aquellos activos críticos, controlar el Backlog. Igualmente tenemos que planificar, programar ejecutar y registrar en los históricos que tengamos, ya sean en un software o simplemente en archivos manuales de mantenimiento. Indudablemente son demasiadas actividades que de no llevarlas correctamente, el mantenimiento dejaría de cumplir sus cometidos principales: lograr que los equipos operen la mayor cantidad de tiempo posible correctamente, menos paradas, rápidos tiempos para reparar, mayor seguridad y costos mínimos. Igualmente a todo esto se le suma, que los productos son diferentes, ubicaciones de las plantas en condiciones agresivas y un ingrediente muy importante: La Cultura de la Gente. Quizás podríamos encontrar muchas más razones que refuerzan lo que he dicho al principio de este artículo, pero

pienso que son las principales.

Mi larga trayectoria por más de treinta años en el medio industrial como ingeniero de planta, gerente, consultor, investigador y profesor me ha reafirmado que “si usted no construye su propia filosofía de trabajo de mantenimiento, ninguna estrategia le servirá o simplemente no le sacará su máximo provecho”. Ahora bien, a qué me refiero con esto; la respuesta es que al igual que las personas, no hay dos iguales. Con ello quiero decir que no hay dos plantas iguales, aunque sean idénticas, y la razón radica en las personas. Quizás muchos no hayan oído hablar del psicólogo estadounidense Abraham Maslow, pero a los que sí han escuchado o leído sobre él, recordarán que fue quien desarrolló la famosa teoría de la Pirámide de Maslow y sus Jerarquía de necesidades.



Sumado a esto, tenemos la teoría de los factores Higienicos y Motivacionales de Frederick Herzberg, que están relacionado con la satisfacción e insatisfacción. Los factores Motivacionales son los que producen satisfacción: logros, reconocimiento, independencia laboral, responsabilidad y promoción. Los factores Higiénicos son los que producen la insatisfacción: Sueldo y beneficios empresariales, política de la empresa y su organización, relaciones con los compañeros de trabajo, ambiente físico, supervisión, estatus, seguridad laboral, crecimiento, madurez, consolidación.

Muy bien, a lo mejor preguntarán, ¿Y qué tiene que ver todo esto con el mantenimiento? Pues les digo que mucho, debido a que un mantenimiento de calidad producto de su propia filosofía de trabajo está íntimamente relacionado con las personas a todos los niveles jerárquicos, desde la alta gerencia hasta el último técnico u obrero de la planta.

Ahora bien, uno de los artículos que desarrollé en esta revista, tenía que ver con **La Actitud y La Aptitud** de las personas hacia el mantenimiento y explicaba en su momento que había cuatro maneras de estar en el mantenimiento y era que:

- La gente no le interesa el mantenimiento
- La gente no sabe hacer mantenimiento
- La gente no puede hacer mantenimiento
- La gente no quiere hacer mantenimiento

En ese artículo indicaba que pasaba cuando las personas se encontraban en cada uno de esos escenarios y qué debíamos hacer para dar respuesta con una salida razonable. Ustedes se preguntarán nuevamente qué tiene que ver esto con el mantenimiento; y nuevamente les digo que mucho, porque el mantenimiento gira en torno a la Actitud y Aptitudes de las personas. Imagínense todo ese cúmulo de actividades de las cuales comentamos al inicio de este artículo sino las hacemos con mucha **“Disciplina, Constancia, Mística, Responsabilidad, Control y Seguimiento”**; y

que son el resultado de cuán bien estemos ubicados o estrechamente relacionados con la teoría de los factores y la Jerarquía de Necesidades comentadas anteriormente. Indudablemente de no profundizar en esto, estamos en el camino correcto al fracaso. **“Recuerde no hay nada más peligroso para el mantenimiento que una persona confusa, desubicada, desorientada, distraída como resultado de uno o varios problemas: psíquicos, emocionales o físicos”**.

Cuando me refiero a construir su filosofía de trabajo, me refiero hasta dónde quiere llegar con su mantenimiento, qué es lo que realmente le interesa y qué quiere alcanza. Tiene que ver con la planificación estratégica: dónde estamos hoy, dónde queremos estar en el futuro y el medio para hacerlo. Ese medio es su **“Filosofía de Mantenimiento”** para lograr lo que quiere. Es el vector que debe utilizar para llegar a su posición deseada con el mantenimiento. Es hacerse un traje a su medida. En este sentido, cómo podemos utilizar una estrategia de: actividades predictivas, SMED, POKA YOKE, TPM, mantenimiento centrado en confiabilidad, o encaminarse a una implantación de la norma ISO 55000, etc. Si estamos o somos débiles con la condición de nuestra gente. Sé que algunas de estas estrategias de trabajos contemplan el Factor Humano, pero indudablemente tenemos que revisar en profundidad y no verlo como una simple condición para implantar cualquier estrategia de mantenimiento. Pienso que va mucho más allá, significa entender sin ningún tipo de duda que nuestro principal recurso es la gente, porque los equipos son inanimados, les damos vida cuando los operamos y mantenemos; y sin nuestra primera energía que es la gente no sería posible esta cruzada de **“Construir una Filosofía de Trabajo de Mantenimiento Exitosa”**.

AUTOR:

**BRAU CLEMENZA**

Consultor, Investigador, Articulista



# INDUSTRIA 4.0 Y EL SECTOR FARMACÉUTICO: EL CASO PRÁCTICO DE PFIZER

*Madrid, 1 de Abril de 2016 "Hay mucha información en internet, pero realmente cuesta encontrar la implementación práctica de la Industria 4.0 más allá de lo que uno hace en su fábrica"*

*Entrevistamos a Rocío Martín Ten, Process Automation Manager - Ingeniería Global de PFIZER que participará como ponente en la conferencia "Fábrica Inteligente & Conectada: hacia la Industria 4.0" donde presentará el CASO PRÁCTICO DE PFIZER "Cómo utilizar la Realidad Aumentada para mejorar los procesos de producción. Objetivo: 0 defectos" el próximo 21 de Abril en Madrid.*

## ¿Cuál es tu definición de Industria 4.0?

La industria 4.0 (denominación Europea) o el Smart Manufacturing (denominación estadounidense) es un apasionante momento de cambio en la industria tal y como la conocemos. Técnicamente, la posibilidad de tener todo conectado (Internet of Things), la gran cantidad de datos disponibles (Big Data), los innovadores smart wearables, dispositivos móviles y sensores (gafas de realidad virtual, impresoras 3D, smart watches, tablets, smart mobiles, etc.), las nuevas arquitecturas de la información (la virtualización, la nube, la ciberseguridad), los nuevos desarrollos en robótica y automatización (instrumentación inteligente, sistemas conectados, etc.) están generando y generarán nuevas maneras de fabricar y en definitiva de hacer negocios. Maneras que todavía hoy no podemos imaginar. Y en el centro de esta revolución estamos las personas: permanentemente conectadas y con una presencia digital cada vez mayor (medios sociales, comunicaciones instantáneas, redes de opinión, etc.) lo que produce una cantidad ingente de datos cada vez más cualificados (sobre nuestros gustos, actividades y necesidades). El mundo ha cambiado y hemos

dejado de ser una sociedad en la que se nos paga por hacer lo que se supone es nuestro trabajo, para afortunadamente animarnos a pensar, innovar y arriesgarnos. Este momento es único para crecer y mejorar.

## ¿Está la Industria Española preparada para la Nueva Revolución Industrial? ¿Qué queda por hacer?

Creo que estamos preparados en ciertos aspectos, pero que al mismo tiempo aún queda mucho por hacer y existe ante nosotros todo un mundo de infinitas posibilidades. Esta es una revolución que puede causar mucha satisfacción, pues cualquiera puede aportar su grano de arena en un mundo en el que la democratización del acceso a la información es cada día mayor.

## ¿Qué dificultades encuentra la Industria en su camino hacia la digitalización industrial?

Creo que una de las dificultades que tenemos es que todos tenemos tanto trabajo, y tantas cosas que hacer en el día a día (o eso creemos), que pocos profesionales sacan el tiempo para innovar y aportar nuevas soluciones en la manera de realizar su trabajo. La innovación no

sólo tiene que venir de los departamentos y especialistas en I+D o de los altos niveles directivos de nuestras compañías, sino que debe surgir también de todos los profesionales que trabajan día a día en todos los niveles de nuestras organizaciones.

### ¿Qué obstáculos debe superar?

A los humanos no nos gusta el cambio. De modo que los obstáculos que la industria va a tener que superar van a ser los que nos pongamos nosotros mismos por no querer perder estabilidad y resistirnos a los cambios que inevitablemente son la esencia de la evolución del ser humano (hemos pasado de una generación en la que se tenía un trabajo de por vida, la llamada generación de los Baby Boomers, a otra en la que puedes trabajar en y para cualquier lugar del mundo, los Millennials).



**ROCÍO MARTÍN TEN**  
Process Automation Manager  
Ingeniería Global PFIZER

Con respecto a otros países de la Unión Europea ¿en qué posición situaría a las fábricas españolas en lo que a la Industria 4.0 se refiere?

Somos la séptima potencia mundial en densidad de nuestro parque de robótica industrial pero ninguna empresa española está dentro del selecto grupo que suministra el 80% de las ventas anuales de robots. Nuestra industria está progresando para seguir dando mejores servicios y productos (más baratos, con más calidad y menos time to market) – invertimos sabiendo claramente el ROI-, y estamos enfocados a la usabilidad de las tecnologías que fabrican otros. Pero necesitamos invertir en más I+D+i en España para por ejemplo, ser parte de los suministradores de estas tecnologías

innovadoras.

¿Cree realmente necesario este salto? ¿Por qué? ¿Qué nos lleva a ello?

Es un salto totalmente necesario, porque ya está pasando, de modo que si no formas parte de él, realmente te quedarás atrás. Las personas estamos constantemente evolucionando, lo

que es parte de nuestra naturaleza. Como al terminar pensad, y ejemplo, en la deslocalización de la industria, que está haciendo que todos nos volvamos más competitivos a través de la innovación y la tecnología. En el pasado habíamos confiado en que la calidad con la que se trabaja en el primer mundo era suficiente para mantener las industrias en sus países de origen. Hemos visto que el abaratamiento de los costes ha inclinado la balanza a la deslocalización y estamos

reaccionando para ser competitivos en ese sentido, manteniendo la calidad al mismo tiempo. Nos valemos de cualquier oportunidad de mejora para volver a posicionar nuestras industrias donde estaban hace unos años, y esta revolución industrial comprende el conjunto de herramientas que necesitamos para mejorar nuestros procesos y abaratar, en definitiva, nuestros costes.

¿Qué supondría quedarse fuera de esta nueva Revolución Industrial?

Quedarse fuera de esta revolución industrial supone perder una oportunidad de avanzar, en la que el nivel de exigencia cada vez mayor nos dará oportunidades para crecer, pero también nos enfrentará a riesgos que pondrán en peligro el futuro de nuestras organizaciones.

### ¿Qué cambios se han ido introduciendo en los procesos productivos?

El incremento de la automatización y la robótica empezó hace años, y todavía continua porque dependiendo de la industria hay un mayor o menor grado de automatización. Ello permite incrementar la fabricación, ahorra costos de fabricación y permite tener mayor disponibilidad. Los sistemas de visión permiten comprobar automáticamente que el producto que se empaqueta corresponde al que se referencia en las cajas y prospectos, evitando contaminaciones cruzadas que pueden afectar a la calidad del producto recibido por el paciente. Se están conectando las redes de control a las redes corporativas permitiendo analizar los datos en tiempo real y poder tomar decisiones lo antes posible (Business Intelligence, OEE, sistemas de track and trace, sistemas de mantenimiento predictivo, almacenes automatizados con generación automática de inventarios)

### ¿Qué nuevas herramientas o "habilitadores digitales" se están utilizando?

Robots y arañas para la inserción de piezas, por ejemplo, en líneas de empaquetado. Drones para la revisión de tejados de las distintas fábricas, a los que se quieren añadir cámaras térmicas. iPads para la realización de mantenimientos preventivos y predictivos. Instrumentación inteligente que con autodiagnóstico permite saber, por ejemplo, cuándo es necesario calibrar. Esto es algo que en la industria se hacía cada cierto tiempo, según las recomendaciones de los proveedores y que podía implicar mucho tiempo de parada de fabricación, ya que los re-arranques pueden conllevar muchas semanas. Así pues, si en realidad no necesitas recalibrar, porque el instrumento está bien, tienes más disponibilidad de tu fábrica para hacer aquello para lo que ha sido diseñada: producir. Transporte de materiales mediante AGVs, enlazados con SAP que permiten saber el stock y la localización de los productos en todo momento.

Proyectos de futuro. ¿Se han establecido

### pautas de cara al futuro? ¿Existe un plan definido de reconversión de la factoría?

Todas las plantas con las que trabajo tienen su Site Master Plan a 3 o 5 años, en el que se analizan entre otras cosas las previsiones de fabricación para definir sus proyectos tecnológicos. La automatización tiene mucho peso en esos planes, pero prácticamente todas las fábricas de mi organización en el mundo están altamente automatizadas.

Corporativamente, hay proyectos para conectar cada vez más todas las plantas en el mundo y recoger datos. Pfizer tiene un software corporativo que recoge datos de los productos desde que se fabrica la materia prima en EEUU, por ejemplo, hasta que sale por la puerta de nuestra planta en España, donde se ha hecho un llenado aséptico y se ha empaquetado el producto para distribuirlo en cadena fría para todo el mundo. Eso nos permite tener una gran trazabilidad de lo que pasa con cada lote globalmente. Además ponemos muchos recursos en garantizar que compartimos el conocimiento, que las lecciones aprendidas llegan al mayor público posible, lo que permite repetir casos de éxito sin caer en el efecto de reinventar la rueda una y otra vez, y ocupando nuestros esfuerzos compartidos en mejorar o aplicar lo ya "inventado". Cuando cualquier persona hace un proyecto innovador en nuestra organización, puede compartirlo con los demás en los distintos CoP (Community of Practice) para su réplica en otras fábricas en y localizaciones.

Por último, uno de los proyectos recientes en los que Pfizer ha colaborado junto con GEA y G-CON, que va a revolucionar la manera, ya no sólo de fabricar, sino de localizar nuestras plantas, es el proyecto PCMM (Portable Continuous Miniature & Modular). PCMM es un sistema de fabricación modular y en continuo para la fabricación de orales, premontadas y prevalidadas que permiten un transporte y ensamblado de las mismas en días – versus los meses que puede conllevar cualquier proyecto clásico construcción de una fábrica. <https://youtu.be/Xys-L9aMm6k>. Esto, en primera instancia, puede servir para algunos mercados emergentes cuya legislación no te permite

vender un producto si no tienes una de tus fábricas en sus territorios. Así pues, PCMM es un desarrollo innovador para poder llegar a muchos más países y ayudar a muchas más personas.

### En lo que se refiere al evento *Fábrica Inteligente & Conectada*, ¿Por qué puede resultar interesante?

Es interesante porque este es un tema innovador y en auge del que se lleva tiempo hablando, pero más allá de la automatización y la robótica, no sabemos mucho de otras áreas relativas a la Industria 4.0.

### ¿Qué es lo que más le atrae de este encuentro?

Lo que más me atrae de este encuentro es el networking con otros profesionales de distintas industrias a las mías, para saber qué están haciendo ellos y poder replicarlo en mis centros de fabricación.

### ¿Son necesarios puntos de encuentro y puesta en común como este?

Claro que sí. Las Comunidades de Prácticas son interesantísimas para ver más allá de tu día a día, para mejorar, hacer crecer a tu organización y tu negocio. Además de, por supuesto, aportar tu grano de arena a la sociedad si tú estás haciendo algo interesante. Somos una sociedad que se divide entre ser competitivos para al mismo tiempo ser colaborativos, porque así podemos crecer y evolucionar más rápido.

### ¿Es importante conocer otras experiencias y casos de éxito?

Es importante conocer los casos de éxito por lo que he dicho antes, pero también los casos de fracaso y de esos no se habla tanto. Si algo no ha funcionado, también está bien saberlo para ir por otros caminos. En definitiva, emplear más el termino lessons learned y no solo success stories.

¿Cómo se accede a la información sobre las últimas tendencias, nuevos habilitadores, etc.? ¿En qué medida encuentros como este facilitan la posibilidad de conocer lo

### último que se está haciendo?

Hay mucha información en internet, pero realmente cuesta encontrar la implementación práctica de la Industria 4.0 más allá de lo que uno hace en su fábrica. Yo pertenezco a una comunidad de buenas prácticas de fabricación y eso me permite saber cómo está la industria, los problemas que hay y las soluciones que se están implementando o que hay disponibles en el mercado.

*Rocío Martín Ten es Process Automation Manager - Ingeniería Global PFIZER y participará como ponente en la conferencia "Fábrica Inteligente & Conectada: hacia la Industria 4.0" donde presentará el CASO PRÁCTICO - PFIZER "Cómo utilizar la Realidad Aumentada para mejorar los procesos de producción. Objetivo: 0 defectos" el próximo 21 de Abril en Madrid*

*+20 Representantes de factorías presentarán sus casos de éxito y cómo consiguieron:*

- Más flexibilidad y agilidad
- Mejor rendimiento
- Menos costes y número de incidencias
- Mayor customización del producto
- Más generación de valor para el negocio

*Dispositivos, infraestructuras, tecnologías y sistemas para las Operaciones Industriales*

- Industrial Big Data
- Robótica/IA/Drones
- Industrial IoT
- Impresión 3D/Realidad Aumentada
- ERP/MES/APS
- LEAN/World Class Manufacturing

El evento contará también con el patrocinio de Aetech y de Kyocera Document Solutions. Para más información:

[http://www.iir.es/Producto/default.asp?IdProducto=5469&utm\\_source=Medios&utm\\_medium=PRNTPfizer&utm\\_campaign=BF204](http://www.iir.es/Producto/default.asp?IdProducto=5469&utm_source=Medios&utm_medium=PRNTPfizer&utm_campaign=BF204)

O contacta con:  
Diana Mayo

Relaciones con los Medios  
prensa@iirspain.com  
+ 34 644 466 710

¡Participa en el debate! Síguenos en:  
@Industria40\_iir #I40iir



# UNA FÁBRICA INTELIGENTE, LO ES, GRACIAS A LAS PERSONAS QUE TRABAJAN CON ESAS MÁQUINAS Y QUE SON CAPACES DE TRANSFORMAR LA INFORMACIÓN EN UNA MEJORA CONTINUA.

*Prensa iiR España*

*Madrid, 25 de Abril de 2016.* La firma iiR celebró el evento de FABRICA INTELIGENTE & CONECTADA – Hacia la Industria 4.0 en Madrid, España. Este evento contó con más de 80 profesionales de fábrica preocupados por liderar activamente la transformación del Sector Industrial español.

Ponentes de empresas como Nestlé, Iberdrola, Pfizer, Sesderma, Air Liquide, SPB, Kellogg Manufacturing, FAC Seguridad y Trasluz participaron en un evento único en España que además contó con el patrocinio de Grupo Eulen, AEtech, Kyocera y Mercanza.

Para comenzar, Pablo Oliete presentó como principios básicos de la Industria 4.0, la interoperabilidad, virtualización, descentralización, el tiempo real, el servicio y la modularidad, sin olvidar su principal objetivo, que es, fabricar más, mejor y más barato.

Durante esta jornada, los distintos profesionales animaron a sus colegas a impulsar el desarrollo de habilitadores tecnológicos e integrarlos en sus procesos productivos pero sin olvidar en ningún momento que una Fábrica Inteligente, lo es, gracias a las personas que trabajan con esas máquinas y que son capaces de transformar la información en una mejora continua.

Por otro lado, Fernando Jiménez de SRG Global Europe y Ángel García Bombín de Sonae Industria estuvieron debatiendo sobre Industrial Big Data y hablaron del



*Pablo Oliete, experto en Industria 4.0 durante su ponencia en "Fábrica Inteligente y Conectada" recomendó varios libros a los asistentes.*

desafío que supone enfrentarse a millones de indicadores que nos hablan sobre lo que pasa en fábrica. Según estos expertos es trascendental saber preguntar, saber filtrar qué información es relevante y saber interpretar estos datos.

Muy interesantes fueron también los casos prácticos de Pfizer, la cual presentó su

experiencia piloto en la utilización de Realidad Aumentada para los procesos de limpieza. Rocío Martín-Ten, Process Automation Manager, sorprendió con una ponencia fresca y muy ilustrativa después de la cual tuvo la oportunidad de mostrar a la audiencia las Smart Glasses con las que están trabajando, como soporte a la estandarización de procesos. En este caso concreto, las nuevas tecnologías ayudan recordando a los operadores todas las tareas de control a realizar en el cambio de modelo en una línea de producción.

Por otro lado, Mariano Girona de Sesderma explicó cómo habían sido capaces de adaptar su proceso productivo a las necesidades del cliente prácticamente en tiempo real.

Oriol Fortià de AEtech habló de las funcionalidades de MES y de las ventajas que reporta un entorno Cloud para controlar los costes y desvincular a los profesionales de planta de las incidencias que surgen en el seguimiento de los sistemas.



*Rocío Martín Ten, de Pfizer mostró a los asistentes las Smart Glasses con las que están trabajando.*

Sin duda la fabricación aditiva, la robótica, la realidad aumentada, Cloud, Big Data, IOT y Machine Learning serán las tecnologías que revolucionarán las plantas industriales del futuro. Sin embargo, los ponentes que participaron en la mesa de Ciberseguridad presentaron y demostraron que la Seguridad es fundamental para las plantas y que toda inversión tecnológica tiene que ir acompañada de unos sistemas robustos de seguridad que eviten ciberataques que pongan en peligro la actividad de la Planta.

Las fotos del evento pueden ser descargadas en el link:

<https://www.flickr.com/photos/iirspain/sets/72157667434093865>



# CIFMers

Congreso Internacional  
de Facility Managers



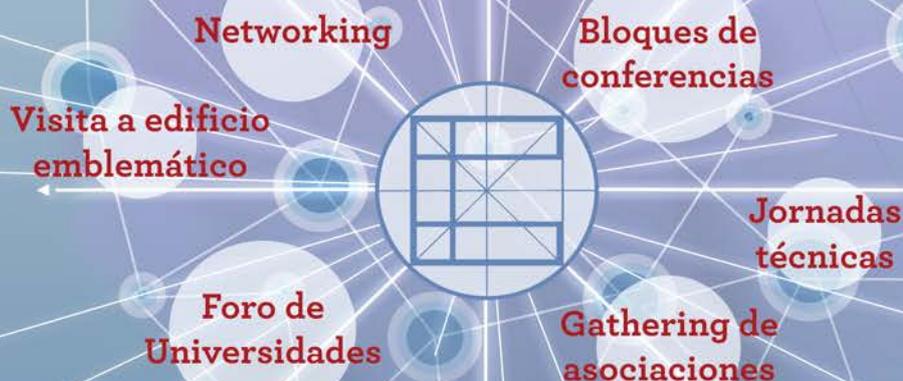
# 2016

## Bogotá, Colombia · 02 y 03 de Junio

Participe en CIFMers LATAM 2016

Tras el éxito de las anteriores ediciones de CIFMers, el Congreso Internacional de Facility Managers vuelve a sus orígenes iberoamericanos celebrando su próxima edición en Bogotá.

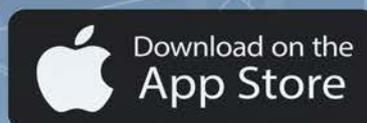
Se convertirá de nuevo en referencia dentro del sector y servirá de plataforma de comunicación entre facility managers, proveedores, asociaciones y universidades.



SIGA EL EVENTO A TRAVÉS DE NUESTRA APP

## “CIFMERS”

VER · INTERACTUAR · GEOLOCALIZAR



Disponible en App Store y Google Play · Busque por CIFMERS

## DESCÁRGUELA



# CIFMers

Congreso Internacional  
de Facility Managers



## 2016

### PROGRAMA

#### JUEVES 02 DE JUNIO, 2016 – VISITA GUIADA Y FOROS SECTORIALES

11:30 – 12:30	VISITA GUIADA
15:00 – 15:30	REGISTRO
15:30 – 17:30	FORO DE UNIVERSIDADES
17:30 – 18:00	COFFEE BREAK - NETWORKING
18:00 – 19:00	GATHERING DE ASOCIACIONES

#### VIERNES 03 DE JUNIO, 2016 – JORNADA DE CONFERENCIAS

07:00 – 07:30	REGISTRO
07:30 – 09:00	CONFERENCIAS: BLOQUE 01 · David Martínez - CIFMERS GLOBAL / <i>Director General</i> · Paulo Alfredo Marchioni - EY / <i>LATAM Associate Director Real Estate &amp; Procurement</i>
09:00 – 10:30	CONFERENCIAS: BLOQUE 02 · Representante de GRUPO EXITO · Javier Forero - CIRSA / <i>Gerente de Mantenimiento y Servicios LATAM</i>
10:30 – 11:00	COFFEE BREAK - NETWORKING
11:00 – 12:30	CONFERENCIAS: BLOQUE 03 · Héctor Martín Berrocal - COPAAIRLINES / <i>Real Estate &amp; Facilities Manager</i> · Carolina Huertas - MICROSOFT / <i>Real Estate &amp; Portfolio Manager</i>
12:30 – 13:30	LUNCH - NETWORKING
13:30 – 14:30	JORNADAS TÉCNICAS
14:30 – 16:00	CONFERENCIAS: BLOQUE 04 · Angela Muñoz - BT GLOBAL / <i>Regional Manager - Andean and MeCa Regions Head</i> · Juan Carlos Hernández - CITI / <i>Facilities Management Head LATAM &amp; Mexico</i> · Ricardo Ríos - PETROBRAS / <i>Gerente de servicios generales</i>
16:00 – 16:15	CLAUSURA

### LUGAR

JUEVES 2 DE JUNIO: HOTEL FOUR POINTS BY SHERATON BOGOTA. *Carrera 18 No. 93A – 83. Bogotá*  
VIERNES 3 DE JUNIO: SALA COMPENSAR 68. *Avenida 68 No.49A – 47. Bogotá*

Inscríbese en [cifmers.com](http://cifmers.com)

Si desea información adicional contacte con nosotros a través de [info@cifmers.com](mailto:info@cifmers.com)

#### Acerca de CIFMERS GLOBAL

CIFMERS GLOBAL nace con el objetivo de promocionar y fomentar la disciplina del Facility Management de una forma ética, íntegra y profesional. El alcance internacional a través de sus 3 plataformas de difusión, **CIFMers**, el congreso internacional, **CIFMers CONFERENCE**, la conferencia que recorre distintas ciudades del mundo y **LSDFM**, La Semana Del Facility Management, ha convocado entre sus eventos a más de 2300 personas y profesionales del sector, que han declarado estar satisfechos o muy satisfechos en el 98% de los casos. Estos datos son sin duda el reflejo de la calidad, transparencia y atención por el detalle que se muestra, proporcionando acceso gratuito a través de la web a más de 100 ponencias con contenido específico de FM en español e inglés, de la mano de los expertos y usuarios finales, CIFMERS GLOBAL se ha posicionado como el principal medio de difusión de Facility Management a nivel internacional.

**Predictiva21**  
Industria

**PREDICTIVA21**  
MANTENIMIENTO | CONFIABILIDAD  
GESTIÓN DE ACTIVOS

www.predictiva21.com

Registrarte Te gusta Mensaje Hootlet

Biografía Fotos Información Videos Me gusta

Industria

Busca publicaciones en esta página

A 24 personas les gusta esto

Invitar a amigos a que indiquen que les gusta la página

INFORMACIÓN

Preguntar por la dirección

Preguntar

Estado Foto/video

Escribe algo en esta página...

Predictiva21 agregó 7 fotos nu  
EXPO  
14  
7mo Ce



# YA ESTAMOS EN FACEBOOK ¡SÍGUENOS!

**7<sup>th</sup>-8<sup>th</sup> JUNE 2016**  
EUSKALDUNA CONFERENCE CENTRE  
**BILBAO SPAIN**

**LUBRICATION,  
MAINTENANCE  
AND TRIBOLOGY**



---

**CALL FOR ABSTRACTS OPEN**

---

**THE CLOSEST ENCOUNTER BETWEEN  
INDUSTRY AND SCIENCE**

[www.lubmat.org](http://www.lubmat.org)

**ORGANIZED BY**

---

**IK4**  **TEKNIKER**  
Research Alliance

 **uclan** | **Just Institute for  
Tribotechnology**  
University of Central Lancashire



# La importancia de medir las cosas correctas de manera correcta

Los indicadores son asunto de todos los días en la organización de mantenimiento y confiabilidad. Un indicador alejado de las metas puede causar la caída de una jefatura, ocasionar la resolución de un contrato, resultar en premios o penalidades y en la búsqueda de explicaciones de los desvíos.

El Cuerpo del Conocimiento (BoK) de la SMRP (Society of Maintenance and Reliability Professionals) está compuesto de 5 pilares del conocimiento. El primer pilar “Gestión del negocio”, en el ítem 1.3 nos refiere a la medición del desempeño y nos recuerda y/o recomienda entre otras cosas:

- Los indicadores claves de desempeño (KPI) elegidos deben estar relacionados con los objetivos de la organización.
- Medir las cosas correctas de la manera correcta es la clave para cualquier proceso exitoso de mantenimiento y confiabilidad.
- Cada KPI debe ser el resultado de múltiples dimensiones que verifiquen tanto cantidad como calidad.

Voy a referir tres casos en que la incorrecta medición del indicador puede llevar a decisiones erróneas y un caso en que la elección del indicador no es la adecuada. Como suelen decir en el cine o la literatura: “Esta historia es real, sin embargo, algunos nombres y lugares

han sido cambiados para proteger la identidad de sus verdaderos protagonistas”.

## CASO 1

En una empresa de servicios de mantenimiento, el planner entrega la información mensual para el cálculo del backlog al analista de confiabilidad, tal como está establecido en el flujo de trabajo de esta empresa. El analista realiza el cálculo y encuentra los valores del Backlog, con la expresión:

$$\text{Backlog (Listo)} = \frac{\text{Trabajo Listo}}{\text{Capacidad de personal disponible}} \text{ (semanas)}$$

Con la información recibida de planeamiento el valor del cálculo para este indicador nunca superaba la unidad, variaba entre 0,6 y 0,8 semanas. El analista decide informarse cuál es el mejor valor en su clase y encuentra que este es de ¡2 a 4 semanas! (Guía SMRP 5.4.9).

Es decir el valor del backlog para este servicio de mantenimiento era lo mejor. Duda de este valor, puesto que otro indicador que es el cumplimiento de los trabajos programados en horas no superaba el 50% en promedio para un mejor valor en su clase de 90%. Entonces, cómo entender que por un lado el backlog indicara que, la cantidad de trabajo programado para su ejecución fuera tan baja y el indicador de trabajo programado presentara tan bajo

cumplimiento.

El siguiente paso fue revisar la definición de backlog y encontrar que para la SMRP habían ahora dos tipos de Backlog: el Backlog Listo (Ready) y el Backlog Planeado (Planned). De ambas, el Backlog listo es el que se corresponde con la definición "clásica" de Backlog. La definición del Backlog listo es como sigue:

***"Trabajo que ha sido preparado para ejecución, es decir, el planeamiento necesario ha sido completado, los materiales procurados y los requerimientos de personal han sido estimados".***

De esta definición se desprende que el Backlog no es solo el trabajo atrasado de la semana anterior que no se completó por falta de recursos de horas-hombre sino también el trabajo que está programado para la semana que inicia. Adicionalmente, la información sobre el trabajo programado no ejecutado (atrasado) el planner lo limitaba al del último mes. Finalmente los trabajos eran computados sobre las horas cronológicas de la orden de trabajo (OT) y no las horas hombre del personal involucrado. Estas tres distorsiones o si queremos llamarlas "no conformidades" producían los errores en el cálculo del Backlog, que resultaba en valores bajos, que no se correspondían con la realidad del trabajo de mantenimiento.

Hechas las correcciones, el valor del backlog pasó a estar en el orden de las 5 semanas, un valor acorde con el estado de la programación de los trabajos en este servicio.

En resumen, los errores en el cálculo del backlog en este caso fueron:

- No inclusión de las horas programadas de la semana presente.
- Limitar las horas programadas no

ejecutadas al último mes precedente.

- Usar horas cronológicas de la OT en lugar de las horas hombre de las OT.
- Desconocimiento en las definiciones y elementos del cálculo del Backlog.

## CASO 2

Nuevamente fui consultado por otro caso de Backlog, igualmente dentro de un servicio de mantenimiento tercerizado. Esta vez el valor de Backlog era alto en el orden de las 5 a 7 semanas. Esto motivaba el reclamo del cliente a la empresa contratista del servicio de mantenimiento. Este atraso en el cumplimiento de los trabajos, reflejado en el Backlog, implicaba que la contratista del servicio debiera proveer mayor cantidad de personal para ejecutar los trabajos del Backlog a su costo.

Según estaba establecido en el contrato del servicio, las órdenes de trabajo son planeadas por el personal del cliente y enviadas al contratista para programación. Procedieron a revisar la condición de las OT enviadas para programar y se constató que estas OT distaban mucho de ser un trabajo planeado en el sentido de la definición que podemos encontrar en la guía SMRP 5.3.1:

***"Trabajo en el cual todas las labores, materiales, herramientas, consideraciones de seguridad y coordinación con el responsable del activo han sido estimadas y comunicadas antes del inicio del trabajo".***

La revisión de las OT recibidas para programar mostraba un alto porcentaje de ellas sin incluir materiales, otras incluyendo materiales no requeridos, o incluyendo materiales sin stock en almacén. Las horas planeadas estimadas para los trabajos estaban subestimadas. Es decir, se enviaban a programación órdenes que no habían sido integralmente planeadas

contradiendo la definición de trabajo planeado. Esto simplemente conducía a que estas OT ya estuvieran destinadas a formar parte de Backlog desde el momento en que fueron recibidas por Programación.

Adicionalmente, debido a la deficiente información de las horas estimadas para las OT, se usaba un extraño algoritmo ad hoc que multiplicaba el número de OT en el Backlog por unas horas-hombre promedio estimadas por especialidad. Los errores del cálculo del backlog en este caso fueron:

- Planeamiento no conforme de las órdenes de trabajo enviadas a programación.
- No uso de las horas hombre estimadas en las órdenes de trabajo, sino de una equivalencia arbitraria.

### CASO 3

Me explicaba un ingeniero de confiabilidad que en su planta de fabricación de envolturas de plástico medían el MTBF (Tiempo medio entre fallas) por línea de producción. Los valores eran bastante bajos, en particular el último mes había registrado 48 horas de MTBF.

La expresión para el cálculo del MTBF es como sigue:

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Horas de operación}}{\text{Número de Fallas}} \text{ (Horas)}$$

Con el tiempo de operación no había problema, era registrado por el horómetro de la línea. La diferencia estaba en el número de fallas. Cuando revisamos la lista de eventos de paradas no programadas presentadas en el último mes, de los 15 eventos registrados, 10 de ellos señalaban que se había presentado una alarma en el panel del control, pero que no habían producido la parada de la línea, la señal fue reseteada, la producción continuó sin detención ni pérdida.

La definición de falla (failure) en la norma ISO 14224:2006 en el ítem 3.15 dice: "Fin de la

capacidad de un ítem para desempeñar la función requerida". Entonces, de acuerdo con esta definición, los 10 eventos de señal de alarma sin parada no calificaban como falla porque la línea de producción no perdió su capacidad de desempeñar la función requerida, que es la de producir las envolturas de plástico.

Luego, para el cálculo del MTBF solo correspondía considerar los 5 eventos que ocasionaron que la línea de producción parara y "dejara de desempeñar la función requerida" en este caso producir. El valor del MTBF debía ser en este caso de 144 horas.

Esto no deja de lado que la causa o causas de los eventos de señal de alarma (sin parada) deban ser investigadas, evaluadas y corregidas en una parada programada de mantenimiento.

El error en el cálculo del MTBF fue:

- Considerar como fallas, eventos que no califican como tales, incrementando el denominador en la fórmula con el decremento en el valor del MTBF.

### CASO 4

Un ingeniero de confiabilidad y mejora continua en una planta cementera comenta que el indicador de la función mantenimiento es el MTBF, pero que este es calculado sobre todos los equipos de la planta. La justificación de la gerencia es que si el mantenimiento mejora en cada equipo esto se reflejara en toda planta y este "MTBF global" también se reducirá.

Es cierto que si solo se quiere tener un "número" para mostrar en reuniones, esto funciona a la perfección, pero la pregunta es si este indicador nos servirá para tomar medidas preventivas o correctivas para la mejora continua de nuestra gestión de mantenimiento.

El MTBF como lo indica en su nombre está ligado al número de fallas, y los modos y efectos de las fallas están relacionadas con el tipo de equipo bajo análisis. Por ello, el MTBF es mejor utilizado al nivel de activos o componentes y

para comparar la confiabilidad de tipos similares de activos. No como se utiliza en el caso reseñado, como un indicador de mantenimiento de una planta en que trabajan equipos diferentes como chancadoras, molinos, hornos, ciclones, ventiladores, transportadores entre otros.

En este caso, el error viene de la etapa de selección del indicador, donde el elegido (MTBF) no es el más adecuado.

En conclusión, al momento de seleccionar los indicadores para medir la gestión del mantenimiento y confiabilidad es recomendable:

- Definir los objetivos que buscamos para nuestra gestión de mantenimiento y confiabilidad. Usar objetivos del tipo SMART es una buena opción. SMART son las siglas en inglés para Específico (Specific), Medible (Measurable), Obtenible (Attainable), Relevante (Relevant) y Base en el tiempo (Time).
- Elegir los indicadores que se asocien mejor con los objetivos que pretendemos alcanzar.
- Utilizar indicadores estandarizados como son los de las guías de la SMRP (67 indicadores) o los de la norma europea EN 15341:2007 (71 indicadores).
- Establecer procedimientos o instructivos internos donde se precise las fórmulas y consideraciones para el cálculo de los indicadores.
- Entrenar al personal responsable de la recolección, procesamiento y cálculo de la data para minimizar las no conformidades.

AUTOR:

**VÍCTOR D. MANRÍQUEZ**

Ingeniero Mecánico.

CMRP – Mag. Energías Renovables

Ingeniero de Confiabilidad

Docente IPEMAN

vmanriquez62@yahoo.es

Perú



## CASO PRÁCTICO:

# "Desbalance Resistivo en conexiones eléctricas de un motor eléctrico".

El motor eléctrico es la máquina eléctrica rotativa con mayor presencia en la industria y en conjunto con una bomba u otra máquina, mueven una carga que da origen a un producto final.

No es extraño que un motor eléctrico sea parte de un sistema crítico, por tanto dotar al sistema de disponibilidad a través de una alta confiabilidad, debe ser una función que el motor eléctrico también debe cumplir.

Es habitual medir la resistencia de aislamiento de un motor eléctrico y si su valor está de acuerdo al estándar, se pone en servicio. Sin embargo, al poco tiempo de funcionamiento empieza a presentar problemas hasta fallar afectando la disponibilidad del sistema generando costos de ineficiencia.

El caso que se presenta a continuación pudo haber sido uno de esos, si no es porque aplicaron pruebas adicionales que permitieron evidenciar el problema.

### **ANÁLISIS ESTÁTICO DE MOTORES ELÉCTRICOS**

El análisis estático de motores eléctricos consiste en efectuar una serie de mediciones eléctricas al motor cuando está detenido. Entre estas mediciones se encuentran:

- Resistencia de aislamiento a tierra.

- Capacitancia a tierra.
- Índice de polarización (IP).
- Índice de absorción (DAR).
- Resistencia eléctrica entre bobinas.
- Inductancia entre bobinas.

Estas mediciones permiten efectuar un análisis más completo de un motor eléctrico, lo cual ayuda al analista a mejorar sustancialmente el diagnóstico del motor y así, poder evitar fallas inesperadas.

### **LAS SEIS ZONAS DE FALLA**

PDMA Corporations, desarrolló el concepto de las 6 zonas de falla de un motor, las que se muestran a continuación:

#### *Las seis zonas eléctricas de falla:*

- Calidad de la Alimentación
- Circuito de potencia
- Aislamiento
- Estator
- Rotor
- Entrehierro

### **LA ZONA DE FALLA AFECTADA**

La zona de falla en donde se detectó el problema corresponde al circuito de potencia y el cual se define como:

El circuito de potencia: Se refiere a todos los conductores y conexiones que existen desde el punto donde se realice la prueba hasta los bornes terminales del motor. Esto puede incluir interruptores, fusibles, contactores, protecciones contra sobrecarga, seccionadores y bornas.

**EL PROBLEMA DETECTADO**

Durante el mantenimiento mayor de una planta de proceso, correspondía realizar el mantenimiento preventivo de un motor eléctrico de 380 (V), 50 HP y 2965 RPM que forma parte del conjunto bomba de carga a una planta de proceso.

Una vez entregado el motor por la empresa mantenedora y antes de realizar el montaje en planta, se realizó con el instrumento MCE Max de PDMA el test denominado AC Auto, el cual realiza de forma automática la medición de resistencia e inductancia de bobinas, curva tiempo resistencia, IP, DAR, resistencia de aislamiento a tierra y capacitancia a tierra.

La medición se realizó en los cables terminales de la caja de conexiones del motor, la imagen 1 muestra el punto de conexión.



Imagen 1, cables terminales de conexión.

Al efectuar el análisis de la medición se detectó un aumento de resistencia en la fase 3 provocando un desbalance resistivo anormal de un 18.31%. La IEEE Std 1415™ 2006 en el punto 4.3.40 establece que el desbalance resistivo

debe estar entre un 3% y un 5% de la resistencia promedio, cualquier valor sobre debe ser investigado. Sin embargo, la IEEE Std 1068™ 2015 indica que el desbalance resistivos no prodrá ser superior a un 1% después que un motor ha sido sometido a mantención. PDMA Corporations, recomienda que el desbalance resistivo para motores nuevos o rebobinados debe ser inferior a un 1% y para motores en servicio debe ser menor a un 3%. La imagen N° 2 muestra el reporte de medición.

AC Standard	Polarization Index	RIC	Step Vc
A			
Test Date	11/5/2015		
Test Time	8:01:16 AM		
Test Location	Motor Leads		
User	Administrator		
Tester Serial			
MTAP ID			
	Baseline		
Frequency	1200		
Charge Time	600		
Voltage	500		
Motor Temp	15		
Measured Mohm	50780.00		
Corrected Mohm	9000.00		
pF Ph 1 to Ground	12750		
ohm Ph 1 to 2	0.1280		
ohm Ph 2 to 3	0.1300		
ohm Ph 3 to 1	0.1680		
mH Ph 1 to 2	2.610		
mH Ph 2 to 3	2.600		
mH Ph 3 to 1	2.580		
Average Inductance	2.595		
% Res. Imbalance	18.31		
% Ind. Imbalance	0.64		

Imagen 2, reporte de medición 1.

Al revisar los cables de conexión, se evidenció que entre los cables de las bobinas del motor y los cables de conexión a la fuente de alimentación existía un manguito de conexión, ver imagen N° 1.

Con el objeto de descartar que el problema no estuviese en la conexión que ejerce el manguito entre ambos cables, se midió nuevamente la resistencia de las bobinas conectando el instrumento sobre el manguito de conexión de las tres fases, ver imagen N° 3.

El reporte de la medición 2, indica que la resistencia de la fase 3 y el desbalance resistivo todavía siguen elevados, ver imagen N° 4.



Imagen 3, Medición 2.

AC Standard	Polarization Indeltage
	B
Test Date	11/5/2015
Test Time	9:10:31 AM
Test Location	Motor Leads
User	Administrator
Tester Serial	
MTAP ID	
Frequency	1200
Charge Time	600
Voltage	500
Motor Temp	15
Measured Mohm	62680.00
Corrected Mohm	11100.00
pF Ph 1 to Ground	12750
ohm Ph 1 to 2	0.1250
ohm Ph 2 to 3	0.1280
ohm Ph 3 to 1	0.1580
mH Ph 1 to 2	2.615
mH Ph 2 to 3	2.605
mH Ph 3 to 1	2.585
Average Inductance	2.600
% Res. Imbalance	15.33
% Ind. Imbalance	0.64

Imagen 4, reporte de medición 2.

Con la idea de detectar cual era el problema que provocaba la alta resistencia en la fase 3, se procedió a retirar el manguito de conexión. En el retiro se evidenció que existía una conexión deficiente entre el maguito y el cable de la bobina 3, provocado por el no retiro del barniz

aislante del conductor de la bobina, ver imagen N° 5.

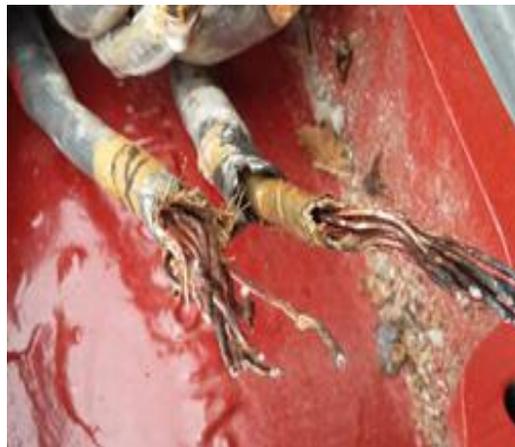


Imagen 5, cable bobina de motor.

En la imagen 5, se aprecia que la conexión entre la bobina del motor y el cable de conexión a la fuente de alimentación, se realizaba solo por el contacto entre las puntas sin aislamiento de ambos conductores.

Se retira el barniz aislante de los cables de conexión de la fase 3 del motor, se unen y se efectúa una nueva medición, ver imagen N° 6.



Imagen 6, medición 3.

Esta vez, la resistencia de la fase 3 disminuye y también el desbalance resistivo a un 9.86%,

pero todavía está por sobre el máximo aceptable, ver imagen N° 7.

AC Standard	Polarization Ind	D
Test Date		11/7/2015
Test Time		1:26:33 PM
Test Location		Motor Leads
User		Administrator
Tester Serial		
MTAP ID		
Frequency		1200
Charge Time		60
Voltage		500
Motor Temp		21
Measured Mohm		37140.00
Corrected Mohm		10000.00
pF Ph 1 to Ground		13000
ohm Ph 1 to 2		0.1250
ohm Ph 2 to 3		0.1410
ohm Ph 3 to 1		0.1500
mH Ph 1 to 2		2.630
mH Ph 2 to 3		2.620
mH Ph 3 to 1		2.605
Average Inductance		2.620
% Res. Imbalance		9.86
% Ind. Imbalance		0.51

Imagen 7, reporte de medición 3.

Para asegurar que el alto desbalance resistivo tenía como causa una deficiencia en la conexión de la fase 3, se efectúa una cuarta medición, pero esta vez, se mejora la conexión instalando una prensa partida, ver imagen N° 8.



Imagen 8, instalación de prensa partida.

Esta vez, la resistencia y el desbalance resistivo de la fase 3 disminuyen. El desbalance resistivo lo hizo de un 9.85% a un 3.07%, valor que está cercano al máximo recomendado, ver imagen N° 9.

AC Standard	Polarization Index	E
Test Date		11/7/2015
Test Time		1:46:25 PM
Test Location		Motor Leads
User		Administrator
Tester Serial		
MTAP ID		
Frequency		1200
Charge Time		60
Voltage		500
Motor Temp		21
Measured Mohm		35260.00
Corrected Mohm		9400.00
pF Ph 1 to Ground		13000
ohm Ph 1 to 2		0.1170
ohm Ph 2 to 3		0.1180
ohm Ph 3 to 1		0.1230
mH Ph 1 to 2		2.630
mH Ph 2 to 3		2.620
mH Ph 3 to 1		2.605
Average Inductance		2.620
% Res. Imbalance		3.07
% Ind. Imbalance		0.51

Imagen 9, reporte de medición 4.

Con la última medición se comprueba que el problema de desbalance resistivo tenía como causa una deficiencia en la conexión eléctrica de la fase 3 del motor. Finalmente, se decidió instalar una bornera de conexiones en el motor, para efectuar una conexión óptima de los cables de fuerza con las bobinas del motor. La imagen N° 10 muestra la bornera de conexiones instalada.

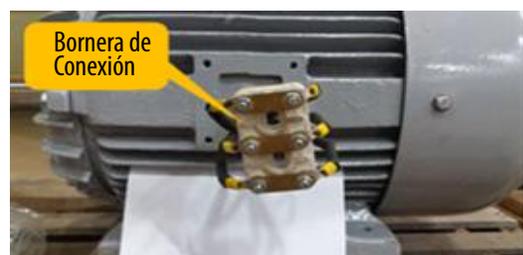


Imagen 10, motor reparado.

Instalada la bornera de conexiones, se efectúa la quinta medición y se comprueba que la resistencia de la fase 3 disminuye a valores muy similares de las otras dos fases, a su vez, el desbalance resistivo disminuyó de 3.07% a un 0.89%, valor que está muy por debajo del 1% recomendado, ver imagen N° 11.

AC Standard	Polarization Index	F
Test Date		11/14/2015
Test Time		7:53:39 AM
Test Location		Motor Leads
User		Administrator
Tester Serial		
MTAP ID		
Frequency		1200
Charge Time		600
Voltage		500
Motor Temp		15
Measured Mohm		247.30
Corrected Mohm		43.70
pF Ph 1 to Ground		12750
ohm Ph 1 to 2		0.1110
ohm Ph 2 to 3		0.1130
ohm Ph 3 to 1		0.1120
mH Ph 1 to 2		2.540
mH Ph 2 to 3		2.540
mH Ph 3 to 1		2.535
Average Inductance		2.540
% Res. Imbalance		0.89
% Ind. Imbalance		0.13

Imagen 11, reporte de medición 5.

### CONCLUSIONES

• En función a los resultados del análisis y a la evidencia presentada, se concluye que el elevado desbalance resistivo que presentaba el motor, fue provocado por una deficiencia en la conexión eléctrica entre las bobinas del motor y los cables de conexión a la línea de fuerza.

• Aplicar una tensión a un motor con desbalance resistivo, dará origen a corrientes de secuencia negativa. Estas corrientes causan calentamiento en los bobinados del motor. Es así como un desbalance de tensión de un 3.5% provocará un aumento de la temperatura en el motor de un 25%. También, la conexión con mayor resistencia dará origen a una anomalía térmica provocando una elevación de T° de la conexión, la que afecta al material aislante pudiendo

provocarse un cortocircuito a tierra en la caja de conexiones del motor.

### RECOMENDACIONES

• La simple medición de la resistencia de aislamiento en un motor, no es suficiente para indicar la condición del mismo, sino, que es necesaria la medición de una serie de variables que en conjunto permiten hacer un diagnóstico con mayor confiabilidad del motor. Hoy en día la tecnología permite que con un solo click se puedan medir todas las variables de una sola vez, además de su registro para un análisis de tendencia.

• Considere siempre que debe proveer al analista la instrumentación y capacitación adecuada, y la oportunidad de medición. Cada medición que se realice mejora la curva de aprendizaje del analista, hasta convertirse en un experto.

### ESTÁNDARES APLICABLES

• IEEE Std 1415™-2006, IEEE Guide for Induction Machinery Maintenance Testing and Failure Analysis.

• IEEE Std 1068™-2015, IEEE Standard for the Repair and Rewinding of AC Electric Motors in the Petroleum, Chemical, and Process Industries.

AUTOR:

**JAIME ZAMORA C.**

Ingeniero Eléctrico

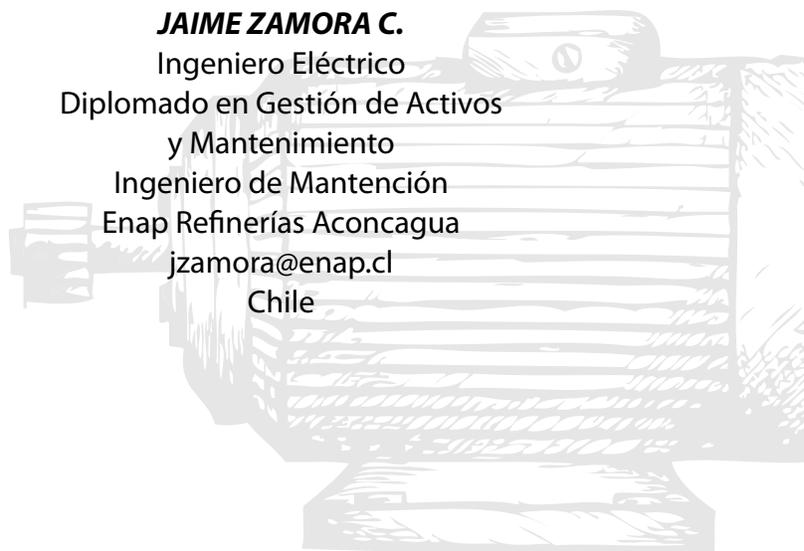
Diplomado en Gestión de Activos  
y Mantenimiento

Ingeniero de Mantención

Enap Refinerías Aconcagua

jzamora@enap.cl

Chile





**INGENIERÍA**  
**GESTIÓN DE ACTIVOS**  
**CONFIABILIDAD**  
**MONITOREO DE CONDICIÓN**



**Proveemos Soluciones  
orientadas a mejorar  
la Seguridad, Rendimiento,  
Confiabilidad y Costos durante  
el Ciclo de Vida de sus Activos**

Soluciones de Ingeniería  
y Mantenimiento, S.L.  
Paseo de la Castellana, 95, 15ª 28046  
Madrid ESPAÑA

**www.sim-sl.com**  
**+34 914 185 070**  
**+34 917 577 400**  
**info@sim-sl.com**

# ESTUDIO NPR

(NÚMERO DE PONDERACIÓN DEL RIESGO)

## DE MODOS DE FALLO

### EN AMFEC

De cara a realizar un Plan de Mantenimiento Optimizado se pueden utilizar diferentes técnicas, seleccionar los manuales de mantenimiento de los fabricantes, programar tareas por experiencia, planes basados en monitoreo de la condición, planes basados en análisis de causa raíz (RCA), entre otros y también utilizar el Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad (RCM-Reliability Centred Maintenance), una de las partes es la famosa hoja AMFEC (Análisis de Modos de Fallos Efectos y Consecuencias) o FMEAC. El desarrollo de modos de fallos recoge conceptos del RCA, el objetivo es encontrar la estructura de todos los modos de fallos, desde más estratégicos a más detallados, de cómo un sistema puede dejar de cumplir su función. Para poder dar un valor de severidad de cada uno de los modos de fallos encontrados existe el indicador NPR (Número de Ponderación de Riesgo), que engloba los multiplicando de 1 a 10 Gravedad, Frecuencia de Fallos y Detectabilidad, con lo que el NPR puede ir desde el valor mínimo 1 ( $1 \times 1 \times 1 = 1$ ) al 1000 ( $10 \times 10 \times 10 = 1000$ ).

Este trabajo muestra cómo puede afectar en el NPR los diferentes cambios de condiciones de operación de un sistema, ya que normalmente se calcula el NPR del AMFEC, para unas condiciones óptimas de trabajo, o simplemente para unas condiciones de estado del activo concreto; pero, si cambian, ¿Qué pasa con el

valor del NPR? ¿Debería variar? La respuesta es afirmativa, con lo que se describe el NPR variable, en función de si un sistema trabaja más cargado o menos, es más nuevo o no tanto, etc. De esta forma se pueden configurar hojas AMFEC variables acordes con las realidades científicas e ingenieriles de los procesos físicos y químicos de los sistemas de las máquinas e instalaciones que los mantenedores gestionan. Todo lo descrito lo podrán constatar con un caso de estudio real.

### INTRODUCCIÓN

En la realización de un estudio de AMFEC (Análisis de Modos de Fallos Efectos y Criticidad), se determina todos los fallos que pueden surgir en el funcionamiento de un activo; así como, su impacto en seguridad y medio ambiente, calidad, producción y mantenimiento. Posibilita asimismo una valoración de cada uno de estos fallos y cuantificarlos con un número que agrupa dicha valoración. Éste es el NPR, Número de Ponderación de Riesgo. Utilizado para cuantificar el riesgo que conlleva un fallo en una máquina o instalación. Se divide en tres componentes:

- **GRAVEDAD:** Impacto en seguridad y medio ambiente según el fallo ocurrido.
- **FRECUENCIA DE FALLOS:** Inversa del periodo o tiempo transcurrido entre fallos ocurridos en un equipo o instalación.

• **DETECTABILIDAD:** Mayor o menor dificultad de asociar un suceso ocurrido, a una causa o modo de fallo.

La ecuación 1.1 indica el valor del NPR para un modo de fallo determinado.

$$NPR = G \cdot F \cdot D \quad [1.1]$$

Siendo:

- **NPR** : Número de Ponderación del Riesgo de un modo de fallos de clasificaciones, de modos de fallos de niveles de sistemas susceptibles de aplicar RCM.
- **G** : Gravedad. Valor entero entre 1 y 10.
- **F** : Frecuencia de Fallos. Valor entero entre 1 y 10.
- **D** : Detectabilidad. Valor entero entre 1 y 10.

Uno de las desventajas de utilizar la ecuación 1.1 para calcular el NPR, es que su valoración es fija para la situación determinada en el AMFEC. Por ello, en los apartados 2 y 3 se desarrollan NPRMACROSCÓPICO y NPRMICROSCÓPICO, desarrollando formas diferentes de valoración de NPR.

## NPR MACROSCÓPICO

### GRAVEDAD

Impacto en seguridad y medio ambiente según el fallo ocurrido. Además, puede tener implicación en:

- **Compras:** Disponibilidad de instalaciones a través de sistemas productivos.
- **Logística:** Disponibilidad de instalaciones y clientes.
- **Calidad:** Desviaciones de parámetros cualitativos.
- **Producción:** Desviaciones de parámetros productivos.
- **Ingeniería:** Afecta a instalaciones, debiendo aplicar reingeniería.
- **Mantenimiento:** Afecta a variables de mantenimiento y fiabilidad.

Cada concepto se puede dividir en el tipo de impacto ocurrido. La figura 1 muestra diversos

tipos de gravedad en función de diferentes conceptos técnico-económicos.

### FRECUENCIA DE FALLOS

Inversa del periodo o tiempo transcurrido entre fallos ocurridos en un equipo o instalación. Puede acotarse en todo su valor de forma proporcional o de 0 a ∞ según el tiempo ocurrido entre sucesos. A cada valor de la escala de 1 a 10 se corresponde con una frecuencia de fallos, pero desde la presente investigación y debido a la experiencia adquirida en diversas implantaciones, es necesario utilizar escalas de frecuencias de fallos para tipologías de equipos. Un ejemplo de ello, se muestra en la figura 2, para tecnología de la industria de procesos.

La ecuación 2.1 indica el valor del NPRMACROSCÓPICO, según el desarrollo indicado.

TIPOS DE GRAVEDAD Y SU VALORACIÓN DE 1 A 10			
<b>MEDIO AMBIENTE</b>		<b>SEGURIDAD</b>	
NUBE TOXICA	10	EXPLOSION	10
CONTAMINACIÓN FLUVIAL	9	FUGA	8
CONTAMINACION DE SUELOS	9	MUERTE PERSONA	10
<b>CALIDAD</b>		BAJA PERSONA	9
PERDIDA CLIENTE	8	ACCIDENTE SIN BAJA	7
INSATISFACCION CLIENTE	7	PROBABILIDAD ACCIDENTE	8
PERDIDA DE LOTE/STOCK	6	<b>INGENIERIA</b>	
DESVIACION PARAMETRO	5	NO FUNCIONAMIENTO INSTALACION	6
<b>PRODUCCION</b>		PROBLEMAS DE PUESTA EN MARCHA	5
PLANTA PARADA	5	PROBLEMAS DE EFICIENCIA	7
AFECTACION OPERABILIDAD	4	MALA OPERABILIDAD	6
AFECTACION EFICIENCIA kg/tiempo	5	MALA MANTENIBILIDAD	6
<b>COMPRAS</b>		<b>MANTENIMIENTO</b>	
GESTION ALMACENES	4	MANTENIBILIDAD	5
GESTION COMPRAS	4	LISTADO DE RECAMBIOS CRITICOS	7
GESTION PRECIOS	3	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	4
GESTION PROVEEDORES	3	MANTENIMIENTO PREDICTIVO	4
<b>LOGISTICA</b>		INDICADORES DE GESTION	5
GESTION STOCKS	6	<b>SERVICIOS</b>	
GESTION MATERIA PRIMA	7	FLUIDOS	4
GESTION PRODUCTO ACABADO	5	ELECTRICIDAD	5
GESTION PRODUCTO SEMIELABORADO	5	COMUNICACION	7
		OFICINAS	2

Figura 1 - Tipos de gravedad en función de conceptos técnico-económicos

FRECUENCIA DE FALLOS EN Nº SUCEOS / AÑO, PARA DIFERENTES GRUPOS DE EQUIPOS					
VALORACIÓN DE 1 A 10	MÁQUINAS ROTATIVAS	INTERCAMBIO DE CALOR	DEPÓSITOS	TRANSPORTE	VALVULERÍA
1	0-0,1667	0-0,0667	0-0,05	0-0,1	0-0,2
2	0,1667-0,25	0,0667-0,1	0,05-0,0667	0,1-0,1429	0,2-0,3333
3	0-25-0,5	0,1-0,1429	0,0667-1	0,1429-0,25	0,3333-0,5
4	0,5-1	0,1429-0,2	0,1-0,1429	0,25-0,5	0,5-1
5	1-2	0,2-0,3333	0,1429-0,2	0,5-1	1-2
6	2-8	0,3333-1	0,2-0,5	1-2	2-8
7	8-24	1-2	0,5-1	2-8	8-24
8	24-52	2-4	1-2	8-12	24-52
9	52-156	4-12	2-4	12-36	52-156
10	165-365	12-24	4-12	26-52	156-365

Figura 2 - Frecuencias de fallos de tipologías de equipos de industria de procesos

$$NPR_{MACROSCÓPICO} = \frac{1}{N} \cdot \sum_i^N G_i \cdot F_j \cdot D \quad [2.1]$$

### NPR MICROSCÓPICO

En los equipos e instalaciones industriales existen fenómenos físico-químicos, cada uno de estos fenómenos disponen de ecuaciones para definirlos, que a su vez contienen variables científicas.

Los fenómenos físico-químicos con los cuales se trabaja en la presente investigación son:

- Transferencia de calor: Estudio de la transmisión de calor a través de un medio o a través de diferentes cuerpos.
- Dinámica de fluidos o mecánica de fluidos: Estudio del comportamiento de fluidos al moverse y su interacción con estructuras de equipos.
- Fatiga de materiales: Estudio de la resistencia y fatiga de los materiales, sometidos a cargas estáticas o fluctuantes en el tiempo.
- Reacciones químicas: Estudio del comportamiento de las moléculas de cada una de las sustancias que participan en la reacción química.

Para aclarar, el funcionamiento del método de cálculo del NPR en la vertiente microscópico se observa las figuras 3 y 4.



Figura 3- Las 5 dimensiones del cálculo del NPRMICROSCÓPICO



Figura 4- Espacio vectorial R5 para el cálculo del NPRMICROSCÓPICO

La figura 4 expresa la estructura del espacio vectorial en el que se integra el NPRMICROSCÓPICO; desde la dimensión 5 que es la variación en % de las variables (dimensión 4) que participan en las ecuaciones (dimensión 3), de los fenómenos físico-químicos (dimensión 2), de las tres partes en las que se dividen el NPR (gravedad, frecuencia de fallos y detectabilidad (dimensión 1)). Por tanto, una variación en el porcentaje del valor de una variable produce una variación en el NPRMICROSCÓPICO del modo de fallo de estudio, a través de influenciarles en las demás dimensiones del espacio vectorial R5 definido.

Las figuras 5 a 8 son una muestra y recordatorio de ecuaciones de fenómenos físicos y químicos, a modo de ilustrar al lector y facilitar la comprensión del estudio NPR.

TRANSFERENCIA DE CALOR	
$q'' = -k \nabla T = -k \left( i \frac{\partial T}{\partial x} + j \frac{\partial T}{\partial y} + k \frac{\partial T}{\partial z} \right)$	$q'' = (T_s - T_\infty) h$
$Nu_L = \frac{hL}{k}$	$St = \frac{Nu}{Re Pr}$
$Re_L = \frac{cL}{\nu}$	$Gr_L = \frac{\beta g \rho^2 (T_w - T_\infty) L^3}{\mu^2}$
$Pr = \frac{c_p \mu}{k} = \frac{\nu}{\alpha}$	$Nu_D = 3.66 + \frac{0.0677 \left( Pr Re_D \frac{D}{L} \right)^{1.33}}{1 + 0.1 Pr \left( Re_D \frac{D}{L} \right)^{0.688}} \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14}$
$Nu_D = 0.0235 \left( 1 + \left( \frac{D}{L} \right)^{0.4} \right) \left( Re_D^{0.8} - 230 \right) \left( 1.8 Pr^{0.3} - 0.8 \right) \left( \frac{\nu}{\nu_w} \right)^{0.14}$	$Nu_L = 0.664 Re_L^{1/2} Pr^{1/3}$
$Nu_D = \frac{c_f Re_D Pr \phi^n}{1 + 13.6 c_f + \left( 11.7 + \frac{1.8}{Pr^3} \right) \left( \frac{c_f}{2} \right)^{0.5} \left( Pr^{1/2} - 1 \right)}$	$Nu_L = 0.036 Re_L^{0.8} Pr^{1/3}$
$\Delta p = 2 c_f \frac{L G^2}{D \rho}$	$c_f = \frac{\phi^n}{(1.58 \ln Re_D - 3.28)^2}$

Figura 5- Ecuaciones del fenómeno Transferencia de Calor

FATIGA DE MATERIALES			
$\bar{R} = N_i + T_j + T_k$	$X + \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} = 0$	$\epsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma_{xx} - \mu(\sigma_{yy} + \sigma_{zz})]$	
$\bar{M} = M_j i + M_k j + M_l k$	$Y + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} = 0$	$\epsilon_y = \frac{1}{E} [\sigma_{yy} - \mu(\sigma_{xx} + \sigma_{zz})]$	
$\sigma_{xx} \int_{\Omega} d\Omega = N$	$Z + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} = 0$	$\epsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_{zz} - \mu(\sigma_{xx} + \sigma_{yy})]$	
$\Delta l = \int_{\Omega} \frac{N}{E\Omega} dx$		$\gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G}; \gamma_{yz} = \frac{\tau_{yz}}{G}; \gamma_{xz} = \frac{\tau_{xz}}{G}$	
$\tau = G\gamma = G \frac{d\phi}{dx} r$	$C = \frac{d\theta}{ds} = \frac{d\theta}{dy} \frac{dy}{dx} = \frac{y''}{(1+y'^2)^{3/2}}$		
$S_y = k_a k_b k_c k_d k_e S'_e$	$\sigma = -\frac{M_y}{I_x} y$	$\phi = \int \frac{M_x}{G I_0} dx$	
$\sigma_x = S_y = \sigma'_y (2N_f)^y + E \epsilon'_y (2N_f)^y$			
$\Delta \epsilon / 2 = \Delta \epsilon_c / 2 + \Delta \epsilon_p / 2 = (\sigma'_y / E) (2N_f)^y + \epsilon'_y (2N_f)^y$			
$F_a = \frac{F_{max} + F_{min}}{2}; F_m = \frac{F_{max} - F_{min}}{2}$	$C_{10}(L_a n_a 60)^{10} = F_D(L_D n_D 60)^{10}$		
$S'_e = \begin{cases} 0.506 \bar{S}_u LN(1, 0.138) \text{ MPa}; \bar{S}_u \leq 1460 \text{ MPa} \\ 107 LN(1, 0.139) \text{ kpsi}; \bar{S}_u > 1460 \text{ MPa} \\ 740 LN(1, 0.139) \text{ MPa}; \bar{S}_u \leq 1460 \text{ MPa} \end{cases}$	$K_f = \frac{K_f LN(1, C_{Kf})}{1 + \frac{K_f - 1}{\sqrt{K_f}}}$		
$K_N = \frac{K_N^2}{K_a} N^{-(W) \log(K_f/K_a)}$	$N_f = \frac{1}{2} \left( \frac{\sigma'_y}{E \epsilon'_y} \right)^{W(\epsilon'_y)}$	$q = LN \left( \frac{K_f - 1}{K_f - 1}, \frac{C_{Kf}}{K_f - 1} \right)$	
$K_i = 0.493 + 0.48 \left( \frac{D}{d} \right)^{-2.43} + \left( \frac{r}{d} \right)^{-0.48} \sqrt{\frac{3.43 - 3.41(D/d)^2 - 0.0232(D/d)^4}{1 - 8.85(D/d)^2 - 0.078(D/d)^4}}$			
$K_n = 0.78 + 0.2 \left( \frac{D}{d} \right)^{-0.10} + \left( \frac{r}{d} \right)^{-0.46} \sqrt{\frac{0.002 - 0.125(D/d)^2 + 0.123(D/d)^4}{1 - 2.75(D/d)^2 + 2.55(D/d)^4}}$			
$K_t = 0.632 + 0.377 \left( \frac{D}{d} \right)^{-0.44} + \left( \frac{r}{d} \right)^{-0.56} \sqrt{\frac{-0.14 - 0.363(D/d)^2 + 0.503(D/d)^4}{1 - 2.39(D/d)^2 + 3.368(D/d)^4}}$			

Figura 6- Ecuaciones del fenómeno Fatiga de Materiales

MECÁNICA DE FLUIDOS			
$dF_{pres} = \left( -i \frac{\partial p}{\partial x} - j \frac{\partial p}{\partial y} - k \frac{\partial p}{\partial z} \right) dx dy dz$	$\frac{p_2 - p_1}{\rho} + \frac{1}{2}(v_2^2 - v_1^2) + g(z_2 - z_1) = 0$	$\iiint_{SC} \frac{\partial}{\partial t} \rho dV + \sum_i (\rho_i A_i V_i)_{ent} - \sum_j (\rho_j A_j V_j)_{sal} = 0$	
$\frac{d}{dt}(B_{tot}) = \frac{d}{dt} \left( \iiint_{VC} \beta \rho dV \right) + \iint_{SC} \beta \rho V \cos \theta dA_{ent} - \iint_{SC} \beta \rho V \cos \theta dA_{sal}$	$\frac{\partial p}{\partial x} = -\rho(V \cdot \nabla)u + \rho g_x + \mu \nabla^2 u$	$H_{Co} = \int_{sal} (r \times X V) dm$	
$\frac{\partial p}{\partial y} = -\rho(V \cdot \nabla)v + \rho g_y + \mu \nabla^2 v$	$\frac{\partial p}{\partial z} = -\rho(V \cdot \nabla)w + \rho g_z + \mu \nabla^2 w$	$\frac{dH_{Co}}{dt} = \frac{d}{dt} \left[ \iiint_{VC} (r \times V) \rho dV \right] + \iint_{SC} (r \times V) \rho (V \cdot n) dA$	
$\dot{W} = \dot{W}_{motor} + \dot{W}_{pres} + \dot{W}_{esfuerzos\ viscosos} = \dot{W}_s + \dot{W}_p + \dot{W}_v$	$\sum F = \frac{\partial}{\partial t} \left( \iiint_{VC} V \rho dV \right) + \sum_i (\dot{m}_i V_i)_{ent} - \sum_j (\dot{m}_j V_j)_{sal}$	$\frac{1}{f^{1/2}} = -2.0 \log \left( \frac{\epsilon/d}{3.7} + \frac{2.51}{Re_d f^{1/2}} \right)$	
$\sum M_o = \frac{d}{dt} \left[ \iiint_{VC} (r \times V) \rho dV \right] + \iint_{SC} (r \times V) \rho (V \cdot n) dA$		$Re_d = \frac{\rho V d}{\mu} = \sqrt{8 \alpha} \log \left( \frac{\epsilon/d}{3.7} + \frac{2.51}{\sqrt{2 \alpha}} \right)$	

Figura 7- Ecuaciones del fenómeno Mecánica de Fluidos

REACCIONES QUÍMICAS			
$\Delta H = \Delta E + \Delta(P \times V)$	$\Delta G = \Delta H - T \Delta S$	$K_c = \frac{k_d}{k_i}$	$E_a = RT^2 \frac{d \ln k}{dT}$
$TiF_{4(s)} + 2H_2O_{(l)} \Leftrightarrow TiO_{2(s)} + 4HF_{(g)}$			
$Cu^{2+}_{(aq)} + Zn_{(s)} \Leftrightarrow Cu_{(s)} + Zn^{2+}_{(aq)}$	$C_3H_8$	$SO_{3(g)} + H_2O_{(l)} \Leftrightarrow H_2SO_{4(l)}$	

Figura 8- Ecuaciones del fenómeno Reacciones Químicas

FRECUENCIA DE FALLOS PARA 4 FENÓMENOS FÍSICO-QUÍMICOS. FUNCIÓN DE ECUACIONES Y VARIABLES. PUNTO DE TRABAJO RESPECTO AL DE DISEÑO DE 100 %															
TRANSFERENCIA DE CALOR	q''	K	T <sub>s</sub>	h	...	Δl	S <sub>e</sub>	MECÁNICA DE FLUIDOS	Z <sub>1</sub>	ρ	W	f	...	ΔH	ΔE
$q'' = -K \nabla T = -k \left( i \frac{\partial T}{\partial x} + j \frac{\partial T}{\partial y} + k \frac{\partial T}{\partial z} \right)$	4	3	5	3	...	0	0	$dF_{pres} = \left( -i \frac{\partial p}{\partial x} - j \frac{\partial p}{\partial y} - k \frac{\partial p}{\partial z} \right) dx dy dz$	0	0	0	0	...	0	0
$q'' = (T_s - T_{\infty}) h$	4	0	4	2	...	0	0	$\frac{p_2 - p_1}{\rho} + \frac{1}{2}(v_2^2 - v_1^2) + g(z_2 - z_1) = 0$	4	6	0	0	...	0	0
$E = \epsilon \sigma T^4$	0	0	2	0	...	0	0	$\dot{W} = \dot{W}_{motor} + \dot{W}_{pres} + \dot{W}_{esfuerzos\ viscosos} = \dot{W}_s + \dot{W}_p + \dot{W}_v$	0	0	7	0	...	0	0
FATIGA DE MATERIALES	q''	K	T <sub>s</sub>	h	...	Δl	S <sub>e</sub>	REACCIONES QUÍMICAS	Z <sub>1</sub>	ρ	W	f	...	ΔH	ΔE
$\Delta l = \int_0^l \frac{N}{E\Omega} dx$	0	0	0	0	...	3	0	$\Delta H = \Delta E + \Delta(P \times V)$	0	0	0	0	...	3	3
$F_m = \frac{F_{max} + F_{min}}{2}; F_a = \frac{F_{max} - F_{min}}{2}$	0	0	0	0	...	0	0	$\Delta G = \Delta H - T \Delta S$	0	0	0	0	...	3	0
$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e S'_e$	0	0	0	0	...	0	4	$TiF_{4(s)} + 2H_2O_{(l)} \Leftrightarrow TiO_{2(s)} + 4HF_{(g)}$	0	0	0	0	...	0	0

Figura 9- Ejemplo de desarrollo de dimensiones 2, 3 y 4 de la figura 4

**CÁLCULO NPR MICROSCÓPICO**

La ecuación que rige el valor del NPRMICROSCÓPICO de un modo de fallo específico, tiene en cuenta en el presente desarrollo los términos gravedad, frecuencia de fallos y detectabilidad. Los dos primeros términos muestran un espacio vectorial R5, donde cada dimensión es respectivamente

gravedad ó frecuencia de fallos, fenómeno físico-químico, ecuación, variable y variación de variable.

La ecuación 3.1, indica de qué depende el NPRMICROSCÓPICO de un modo de fallo en concreto, para los diferentes conceptos mencionados en la descripción de la ecuación.

Las ecuaciones 3.2, 3.3 y 3.4 muestran el cálculo de Gravedad, Frecuencia de Fallo y Detectabilidad sucesivamente.

$$NPR_j = f \left[ \begin{array}{l} G_j (G_{ij} (G_{ijk} (G_{ijkl} (G_{ijklm} (g_{ijklmn}))))); \\ F_j (F_{hj} (F_{hjk} (F_{hjkl} (F_{hjklm} (f_{hjklmn}))))); D_j \end{array} \right] \quad (3.1)$$

$$G_{\beta}^{NPR_{MICRO}} = \frac{\sum_{\chi} \sum_{\delta} \sum_{\epsilon} \sum_{\phi} \sum_{\gamma} g_{\beta\chi\delta\epsilon\phi\gamma}^{NPR_{MICRO}} \cdot P_{\beta\chi\delta\epsilon\phi\gamma}}{\sum_{\chi} \sum_{\delta} \sum_{\epsilon} \sum_{\phi} \sum_{\gamma} P_{\beta\chi\delta\epsilon\phi\gamma}} \quad (3.2)$$

$P_{\beta\chi\delta\epsilon\phi\gamma}$  : 0 ó 1 en función que aparezca la variable en la ecuación , para los tipos de gravedades.

$$F_{\beta}^{NPR_{MICRO}} = \frac{\sum_{\eta} \sum_{\delta} \sum_{\epsilon} \sum_{\phi} \sum_{\gamma} f_{\beta\eta\delta\epsilon\phi\gamma}^{NPR_{MICRO}} \cdot P_{\beta\eta\delta\epsilon\phi\gamma}}{\sum_{\eta} \sum_{\delta} \sum_{\epsilon} \sum_{\phi} \sum_{\gamma} P_{\beta\eta\delta\epsilon\phi\gamma}} \quad (3.3)$$

$P_{\beta\eta\delta\epsilon\phi\gamma}$  : 0 ó 1 en función que aparezca la variable en la ecuación , para los tipos de frecuencias de fallos.

$$D_{\beta}^{NPR_{MICRO}} = \frac{\sum_{\delta} \sum_{\epsilon} \sum_{\phi} \sum_{\gamma} d_{\beta\delta\epsilon\phi\gamma}^{NPR_{MICRO}} \cdot P_{\beta\delta\epsilon\phi\gamma}}{\sum_{\delta} \sum_{\epsilon} \sum_{\phi} \sum_{\gamma} P_{\beta\delta\epsilon\phi\gamma}} \quad (3.4)$$

$P_{\beta\delta\epsilon\phi\gamma}$  : 0 ó 1 en función que aparezca la variable en la ecuación en la detectabilidad. La ecuación 3.5, indica el valor del número de ponderación de riesgo microscópico.

$$NPR_{MICROSCÓPICO} = G_{\beta}^{NPR_{MICRO}} \cdot F_{\beta}^{NPR_{MICRO}} \cdot D_{\beta}^{NPR_{MICRO}} \quad (3.5)$$

Siendo:

- $\chi$  : tipo de gravedad (nube tóxica, pérdida cliente, mantenimiento, gestión de stocks, etc.).
- $\beta$  : modo de fallo de un equipo del estudio AMFEC.

- $\eta$  : tipo de frecuencia de fallos por tipos de equipos.
- $\delta$  : fenómenos físico-químicos del equipo (transferencia de calor, mecánica de fluidos, fatiga de materiales, reacciones químicas).
- $\epsilon$  : ecuaciones de los fenómenos físico-químicos.
- $\phi$  : variables de proceso (temperatura, presión, potencia, masa,...).
- $\gamma$  : punto de trabajo de variables de proceso respecto punto de diseño (...50%, 60%,..., 100%,..., 130%, 140%,...).
- $g_{\beta\chi\delta\epsilon\phi\gamma}^{NPR_{MICRO}}$  : valor de gravedad (1...10).
- $f_{\beta\eta\delta\epsilon\phi\gamma}^{NPR_{MICRO}}$  : valor de frecuencia de fallos (1...10).
- $d_{\beta\delta\epsilon\phi\gamma}^{NPR_{MICRO}}$  : valor de detectabilidad (1...10).
- $G_{\beta}^{NPR_{MICRO}}$  : Gravedad. Calculado con la ecuación 8.10.
- $F_{\beta}^{NPR_{MICRO}}$  : Frecuencia de fallos. Calculado con la ecuación 8.11.
- $D_{\beta}^{NPR_{MICRO}}$  : Detectabilidad. Calculado con la ecuación 8.12.

## CASO DE ESTUDIO DE NPR MICROSCÓPICO. CÁLCULO DE NPR DEL MODO DE FALLO RODAMIENTO DETERIORADO EN UNA BOMBA CENTRÍFUGA

Cálculo de la variación del NPR del modo de fallo rodamiento deteriorado, en una bomba centrífuga. Para ello, se hace servir la fuerza de empuje radial. Aparece cuando se trabaja con caudales que difieren del punto óptimo que da el máximo rendimiento de la bomba. La figura 10 muestra el comportamiento de la fuerza de empuje radial en función de la desviación del caudal de la bomba respecto al de diseño.

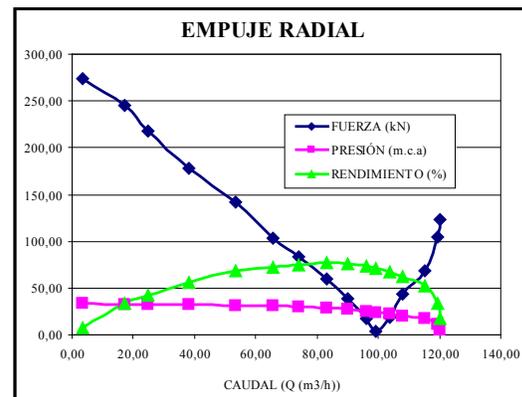


Figura 10 - Fuerza de empuje radial respecto al caudal de trabajo

Con los valores de la fuerza de empuje radial, se puede estudiar el comportamiento del mayor o menor desgaste de rodamientos a través de su vida, gracias a la ecuación 3.6.

$$C_{10}(L_R n_R 60)^{1/a} = F_D (L_D n_D 60)^{1/a} \quad (3.6)$$

Siendo:

- $C_{10}$  = Carga clasificada del rodamiento en kN.
- $L_R$  = Vida nominal en horas del rodamiento.
- $n_R$  = Velocidad nominal en rev. / min.
- $a$  = Coeficiente de tipo de rodamientos; 3 para rígidos de bolas.
- $F_D$  = carga radial del rodamiento en kN
- $L_D$  = Vida deseada del rodamiento en horas.
- $n_D$  = Velocidad deseada en rev. / min.

En las figuras 11 y 12 se puede observar como varía el NPR en función de la variación de la frecuencia de aparición del fallo rodamiento deteriorado provocado por una variación de las condiciones de trabajo de la bomba.

VIDA DE RODAMIENTOS EN FUNCIÓN DEL PUNTO DE TRABAJO DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA. SU IMPLICACIÓN EN EL NPR A TRAVÉS DEL MODO DE FALLO RODAMIENTO DETERIORADO						
Q (m3/h)	Fd (kN)	Ld (horas)	G	F	D	NPR
3,32	274,09	37,19	7	10	8	560
17,19	245,19	51,95	7	9	7	441
24,77	217,41	74,52	6	9	7	378
38,03	178,24	135,24	6	8	7	336
53,55	141,35	271,13	5	8	6	240
65,49	102,75	706,02	5	7	6	210
73,96	83,77	1.302,74	4	6	5	120
83,08	60,08	3.530,65	4	5	5	100
89,87	38,99	12.916,63	3	3	4	36
96,22	17,07	153.933,16	2	2	4	16
99,25	3,75	14.533.249,84	1	1	4	4
103,70	19,24	107.537,91	2	2	4	16
107,97	43,25	9.465,66	2	3	5	30
115,21	69,02	2.328,67	3	5	5	75
119,53	104,14	678,14	4	7	6	168
120,08	122,97	411,80	5	8	6	240

Figura 11 – Tabla de vida y NPR del modo de fallo rodamiento deteriorado, para diferentes puntos de trabajo respecto del punto de diseño de una bomba centrífuga

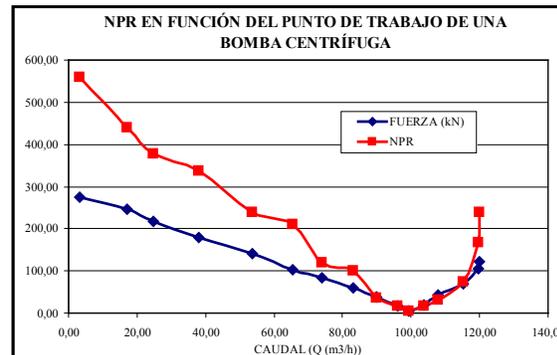


Figura 12 – Gráfico de vida y NPR del modo de fallo rodamiento deteriorado, para diferentes puntos de trabajo respecto del punto de diseño de una bomba centrífuga

## CONCLUSIONES

Se plantean infinidad de comportamientos físicos y químicos de equipos e instalaciones, donde se puede utilizar la valoración del NPR, función de la dinámica de operatividad. En el caso de estudio de NPR, se puede observar cómo se parametriza el NPR en función de la variación de una variable y con ello se llega a la conclusión de integrar diferentes situaciones para el desarrollo de AMFEC's; de esta forma, se dispone de un estudio AMFEC en la que su situación de trabajo es variable.

El trabajo futuro de investigación del NPR, es conseguir curvas de fiabilidad de modos de fallos, variando el punto de trabajo del equipo de estudio. De esta manera, se conocerá la frecuencia de aparición del modo de fallo; que será la base de una excelente planificación de mantenimiento, para prevenir los fallos y el camino hacia la optimización de sus costes.

La utilización de la herramienta NPR variable, es decisión del implantador de RCM, el cual se puede ayudar para encontrar mayor precisión en los resultados de NPR de modos de fallos críticos. Si la implantación de RCM, no se realiza en un entorno industrial con grandes impactos causados por sus fallos, estas herramientas pueden ser gratuitas en su utilización, no así en entornos industriales altamente exigentes con

la seguridad, medio ambiente y disponibilidad de instalaciones.

### REFERENCIAS

- [1] Alegre Espada, Miguel; García Ciaurri, Fernando; Tarres Ficapal, Josep. "Problemas de Series y Ecuaciones Diferenciales". EUB, 1996.
- [2] August J, Applied Reliability Centered Maintenance. PennWell Books. 1999.
- [3] Ayres, Frank Jr.; Mendelson, Elliot. "Cálculo Diferencial e Integral". McGraw-Hill, 1997
- [4] Billinton R. "Power System Reliability Evaluation". Gordon and Breach, Science Publishers. 1.970.
- [5] Bloch, H.P. Budris, A.R. Pump User's Handbook Life Extension. Marcel Dekker. 2004
- [6] Creus A. Fiabilidad y Seguridad. Marcombo. 2005.
- [7] Departamento de Ingeniería Mecánica. "Curso de doctorado Vibraciones Aleatorias y Análisis Espectral". Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Barcelona-Universidad Politécnica de Cataluña. 2005-2006.
- [8] ERIN Engineering and Research, Inc., "Reliability-Centered Maintenance (RCM) Training Workshop". Mayo 1.995
- [9] Gardella M, Egusquiza E, Goti A. Maintenance Managers' Empowerment by using a Money Based RCM. Conferences Proceedings Book. IADAT. Julio 2006.
- [10] Gardella M, Tesis Doctoral Mejora de metodología RCM a partir del AMFEC e implantación de mantenimiento preventivo y predictivo en plantas de procesos. Universidad Politécnica de Valencia. Noviembre 2010.
- [11] Goti, A., Sound-based predictive maintenance: a cost-effective approach, Special Report on Maintenance and Reliability, Hydrocarbon Processing, vol. 87, no. 5, pp. 37-40.
- [12] Llorens M, Miranda A. Ingeniería Térmica. Ediciones CEAC. 1999.
- [13] Moubray J. Reliability - Centered Maintenance. Industrial Press Inc. 2001.
- [14] Shigley J. E., Mischke C. R. Diseño en Ingeniería Mecánica. McGraw-Hill. 2002.
- [15] White F.M. Mecánica de Fluidos. McGraw-Hill. 1979.

AUTOR:

**Marc Gardella**

Director SIMRO CONSULTING  
Sant Ferrán, 210-212, 08205 Sabadell  
(Barcelona-España)  
marc.gardella@simroconsulting.com

# 6<sup>a</sup> JORNADA TÉCNICA SOBRE **SEGURIDAD** **EN OPERACIONES DE** **MANTENIMIENTO**

**MADRID**

**8 DE JUNIO DE 2016**

**Sede: Ayre Gran Hotel Colón**  
*Calle del Pez Volador, 1, 28007 Madrid*

**¿Cómo nos ayudan los avances tecnológicos en la prevención?**

**Cultura organizativa versus cultura de Seguridad**

**Criterios de aplicación de Normativa en trabajos de Mantenimiento**

**¿Qué se entiende por empresa saludable?**



**ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MANTENIMIENTO**  
DESDE 1977 PARA FOMENTO DEL MANTENIMIENTO

# PRONTUARIO DE LUBRICACIÓN

## *Guía de lubricación*

### *de motores para no expertos*

El procedimiento de mantenimiento de un vehículo incluye tareas de diferente tipo y complejidad que son ejecutadas de acuerdo con el incremento del kilometraje recorrido. Dentro de estas, se destaca una acción que es realizada de manera consecutiva dentro de un intervalo determinado de funcionamiento del vehículo.

Cualquier mecanismo que presenta fricción entre sus componentes necesita la aplicación de un lubricante para evitar el contacto entre sus superficies y minimizar el desgaste de las mismas.

Este lubricante, dependiendo de las condiciones de funcionamiento del motor, está sometido a la acción de factores como: alta temperatura, cizallamiento, oxidación, contaminación, lo cual determina su degradación y reducción de la vida útil.

En un automotor, el encargado de evitar este rozamiento es el aceite lubricante, el mismo que debe cambiarse cada cierto número de kilómetros recorridos. En los equipos dotados de un motor estacionario, el criterio para servicio son las horas de operación.

La tarea requerida cuando se llega al límite de uso es el CAMBIO DE ACEITE, acción que implica drenar el aceite usado y reponerlo por fresco. Una de las partes más importantes de este proceso es la selección adecuada del lubricante correcto.

El objetivo de este artículo es dotar de los criterios necesarios para que el conductor que no es experto en lubricación, esté en condiciones de determinar el aceite más conveniente para el motor de un vehículo.

El lubricante correcto para un motor específico, es un compuesto formado por un aceite base y un grupo de elementos aditivos que mejoran sus prestaciones. Sobra decir que para seleccionar el aceite más adecuado se debe escoger un fluido por sus características técnicas y no por su envase ni tampoco buscando el precio más bajo. No olvide el conocido dicho: “usted recibe por lo que paga”.

En la actualidad, muchas marcas certificadas ofrecen productos de primera línea.

### CRITERIO DE SELECCIÓN

Para determinar el aceite conveniente, el primer paso es consultar con el manual del conductor correspondiente a su vehículo. En este documento estará claramente indicado el tipo de aceite que el fabricante recomienda. Es la mejor referencia disponible. En ciertas ocasiones se menciona el termino OEM (Original Equipment Manufacturer), que resulta ser lo mismo.

Una vez que usted obtenga la información necesaria se encontrara con un cuadro similar al de a continuación:

Engine oil	Drain and refill				
For additional information, refer to "Engine oil" in the Maintenance and do-it-yourself section of this manual.	With oil filter change	3-3/4 qt	3-1/8 qt	3.5 L	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Genuine  igne oil or equivalent</li> <li>* Engine oil with API Certification Mark</li> <li>* For additional information, refer to "Engine oil and oil filter recommendations" in this section.</li> <li>* <b>Viscosity SAE 5W-30</b></li> <li>* As an alternative to this recommended oil, SAE 10W-30 conventional petroleum based oils may be used and meet all specifications and requirements necessary to maintain the New Vehicle Limited Warranty.</li> </ul>
	Without oil filter change	3-3/8 qt	2-7/8 qt	3.1 L	

Grafico N° 1. El manual del fabricante determina el tipo de aceite

En esta imagen se puede notar resaltado en color rojo, el requisito de viscosidad del aceite expresada como SAE 5W-30.

## VISCOSIDAD

La viscosidad es la resistencia de un líquido a fluir. Dado que el aceite es un fluido que debe recorrer intrincados espacios dentro de los componentes del motor, y a la vez estar sometido a condiciones muy exigentes, es la propiedad del aceite que más importancia tiene.

Los fabricantes de vehículos en la actualidad recomiendan en su mayoría aceites multigrados como el mencionado en el cuadro anterior, es decir, tiene una gama de grados de viscosidad dependiendo principalmente de la temperatura a que están sometidos. Los lubricantes actuales, poseen además mejoradores de viscosidad, que permiten al aceite mejorar su desempeño.

El aceite necesita estar lo más fluido posible durante el arranque del motor en frío para ser capaz de pasar por el filtro de aceite, y lo suficientemente espeso para mantener la película lubricante cuando el motor se encuentra a altas temperaturas.

La viscosidad se expresa en grado SAE( Society of American Engineers).

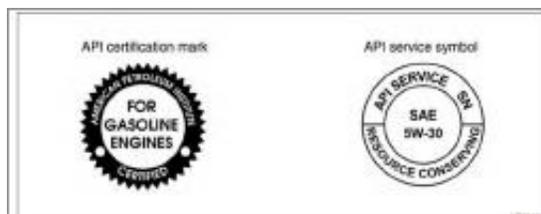


Grafico N°2. Requisito de calidad API

Como se observa en el círculo de la derecha, conocido también como "donut API" el servicio o clasificación API es SN y su significado es:

S= spark ignited(encendido por bujía) es decir aplica para motor de gasolina y N= marca de calidad. En la actualidad la letra N es la marca más avanzada.

El término Resource Conserving se refiere al hecho que este aceite, por sus características específicas de viscosidad, permite el ahorro de combustible durante el desempeño del motor.

El círculo de la derecha-conocido como starburst- representa el tema ya mencionado que el aceite tiene certificación API para ser específicamente utilizado en motores de gasolina. La información de la figura 2 está contenida también en el manual del fabricante del vehículo. Con los datos obtenidos es posible ahora seleccionar una marca con las especificaciones dadas y no aplicar creencias que no determinan una selección técnica.

Los aceites minerales se obtienen de la destilación del petróleo. En la actualidad, se está difundiendo con gran fuerza el consumo de aceites sintéticos, los cuales son fabricados en laboratorio a partir de diversas sustancias químicas y presentan avances notables.

AUTOR:

**MARTIN IVAN CEVALLOS GOMEZ**  
Manager de LubriCenter H.A

## CERTIFICARNOS *¿En Qué?*

En el mundo del mantenimiento, obtener certificaciones internacionales que avalen nuestro trabajo es, más que una opción, una necesidad. Las certificaciones ofrecen un respaldo natural a las actividades de cualquier empresa que las posea, y son como una especie de aviso lumínico en el mundo de las grandes corporaciones de ingeniería. Las certificaciones no sólo avalan la calidad del trabajo o la oferta de servicios, sino que parten de un principio fundamental: son un cuerpo de conocimientos reconocidos mundialmente por un grupo de profesionales altamente calificados, que suman millones de horas hombre de experiencia y buen hacer, para dar por sentado que determinados procedimientos califican, y que determinadas prácticas son necesarias.

Para los nuevos profesionales y las empresas emergentes, la gran cantidad de certificaciones y normas vigentes, su enorme valía y su bien ganada fama, son sin dudas algunos de sus puntos de referencia. Para algunos casos, la obtención de una certificación internacional de calidad puede convertirse en una cruzada a la cual es difícil renunciar, en tanto otras empresas podrían tomarlo con más calma. Pero lo cierto es que no importa en qué se certifiquen, en tanto lo evaluado se acerque, REALMENTE, a sus necesidades. Porque lo cierto es que hay tantos programas de certificación como personas que los han diseñado según las necesidades que detectaron. Por otro lado, las certificaciones

deben poseer, entre otras características, la capacidad de adaptarse al ritmo vertiginoso con que avanza la industria en el mundo. Es por ello que los programas de certificación más antiguos no han sido sustituidos, sino que han cambiado, adaptándose a los tiempos, lo cual nos habla de evolución, tal cómo evoluciona la ciencia, el pensamiento, el mantenimiento y sus disciplinas conexas. Su existencia da fe por sí misma de su necesidad en el mundo empresarial.

Por otro lado, el programa de certificación perfecto no existe, pues la certificación parte de las necesidades definidas por los usuarios. A continuación, hacemos mención de algunas de las certificaciones más usadas en el mantenimiento industrial.

### 1. ASME American Society of Mechanical Engineers

ASME es el acrónimo de American Society of Mechanical Engineers (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos), y se le conoce mundialmente por haber generado un código de diseño, construcción, inspección y pruebas para equipos, especialmente calderas y recipientes sujetos a presión, que dio origen en el siglo XX a la Norma de Calderas y Recipientes a Presión ASME. Este código tiene aceptación mundial y es usado en todo el mundo. Fundada en 1880, ASME ofrece a sus asociados y al público en general cursos especializados, que

combinan el rigor académico con aplicaciones a situaciones reales de la ingeniería mecánica. Las normas ASME, más de 600 en su totalidad, se utilizan en más de 100 países alrededor del mundo, y se consideran las más avanzadas en su clase.

## 2. ASNT American Society of Non Destructive Test

El esquema de certificación de personal de ensayos no destructivos más conocido corresponde a la ASNT, American Society For Non Destructive Testing (Sociedad Americana De Ensayos No Destructivos). A través de su documento ASNT-SNT-TC-1A, la ASNT establece los requerimientos mínimos para la certificación del personal de Ensayos No Destructivos, como una práctica recomendada (no es ni un código ni un estándar). Pero obviamente, es imperativo que el personal encargado de estas prácticas esté certificado de forma debida, por cuanto constituyen el aspecto más crítico en el desarrollo de ensayos no destructivos.

## 3. API American Petroleum Institute

Una de las formas de evaluar los conocimientos de quienes se encargan de inspeccionar los equipos e instalaciones, es la certificación API\*. Los programas API\* mejoran sustancialmente el control gerencial del proceso operativo, así como las actividades de mantenimiento y reparación. Quien se certifica en API\* está capacitado para trabajar con códigos, especificaciones y prácticas recomendadas, puesto que uno de sus objetivos primordiales es promover la seguridad, uno de sus valores centrales, y mejorar la calidad de inspección. Recientemente, el Departamento Internacional de Servicios a la Industria (Global Industry Services Department, API Global) del American Petroleum Institute, estableció un nuevo programa para la Certificación de Auditores, el primero desarrollado por expertos de la industria. El portal [www.api.org](http://www.api.org) ofrece mayores detalles.

## 4. A.W.S. American Welding Society

La American Welding Society, Sociedad

Americana de Soldadura, data de 1919, y se creó ante la necesidad de unificar criterios frente a la naciente tecnología de soldadura eléctrica, una novedad para la época como método para unir metales. La AWS ha crecido como mismo ha crecido la tecnología, y sus normas y certificaciones tienen aplicabilidad alrededor del mundo, en especial en aquellos países como amplia demanda en el desarrollo de infraestructuras. Las normas y certificaciones AWS garantizan la seguridad y la calidad, razón de su éxito a nivel mundial. En construcción y la infraestructura, los códigos estructurales de la AWS como el D1.1, proveen un balance entre la eficiencia y la calidad ampliamente probado, y otras normas proveen criterios para la producción y la evaluación de todos los tipos de productos y materiales soldados, todo ello con un enfoque de alta productividad.

## 5. CMRP

El Certified Maintenance & Reliability Professional, CMRP, o Profesional Certificado en Confiabilidad y Mantenimiento, es un certificado que otorga la SMRP, Society for Maintenance & Reliability Professionals, en Estados Unidos. La misión de esta sociedad es "difundir la importancia de la profesión de mantenimiento y confiabilidad y proporcionar medios de perfeccionamiento continuo de los profesionales que se dedican a dicha especialidad". Desde la década de los noventa, la SMRP inició un severo plan de certificación profesional, creando el Comité de Certificación Profesional; y para el año 2000 el Comité de Certificación Profesional fue rebautizado con el nombre de Organismo de Certificación de la SMRP, cuya característica fundamental es que es independiente en la administración de los exámenes, para asegurar con ello la imparcialidad de sus actividades. El certificado ha probado ser garante de una serie de beneficios tales como brindar una orientación clara para el avance profesional y la capacitación, potenciar el incremento de compensación, mejorar los resultados y la eficiencia en planta, uniformizar conocimientos, entre otras ventajas.

## VI Jornada Técnica sobre Seguridad en Operaciones de Mantenimiento

Madrid, 18 de mayo. La industria española ha vivido un rápido y progresivo avance tecnológico en las últimas dos décadas. Se trabaja en la optimización de todos los procesos de gestión relacionados con el Mantenimiento industrial, en la implantación de nuevas tecnologías, en la globalización de las comunicaciones y en compartir los conocimientos.

A pesar del progreso en todos estos campos, España asiste a un estancamiento en los índices de accidentabilidad en la industria del Mantenimiento industrial. Los últimos análisis de accidentes e incidentes ocurridos en las organizaciones de mantenimiento reflejan que no hay implantada una auténtica cultura de seguridad o, en cualquier caso, que no se asume de forma unánime por todo el personal de la organización.

Con el fin de mejorar en el campo de la seguridad, la Asociación Española de Mantenimiento (AEM) organiza la VI Jornada de Seguridad en las Operaciones de

Mantenimiento, el jueves 8 de junio en Madrid, un encuentro que contará con la participación de importantes expertos en la materia, quienes compartirán experiencias para impulsar aspectos de mejora.

Otro de los temas sobre el que se profundizará en la jornada será el concepto de la 'Empresa saludable', uno de los aspectos que está cobrando más fuerza en los últimos tiempos y que va encaminado a lograr que las empresas consigan un adecuado estándar de seguridad y salud para sus trabajadores de forma sostenible.

Por otro lado, también se desarrollará y debatirán los resultados sobre la interpretación del RD1627, un tema que viene siendo recurrente en los foros de mantenimiento relacionados con la prevención desde hace ya bastantes años, en el sentido de si dicha reglamentación es aplicable o no a los trabajos de mantenimiento.

Breve reseña de las ponencias de algunos de ponentes de la Jornada:

## Gustavo Adolfo Rosal López:



División de Prevención y Medioambiente  
HFE Consultancy - Dept Ingeniería del  
Factor Humano.

*La prevención en la encrucijada, buscando el camino de la tecnología creativa*

“Las nuevas tecnologías han interrumpido de una forma imparable en todas las actividades laborales (producción, marketing, logística...) y la prevención no puede ser ajena a la misma. En esta conferencia se presentarán distintas opciones tecnológicas ya viables y su posible adaptación al mundo "real" de la prevención”.

## Ángel Arroyo:

Piloto de aviación e investigador  
de Accidentes e Incidentes

*La cultura de las prisas*

Se define como “Síndrome de las Prisas” la necesidad actual o percibida de completar las tareas a toda costa. Ejemplo TFN-77, el ACCID más importante de la historia de la aviación comercial (583 víctimas). En la conferencia también se analizará el caso Spanair 5022 como ejemplo más reciente de Cultura de las Prisas y se ven dos INCID de mantenimiento. También se comentará el procesamiento Cognitivo y el Automático.



## Carlos Arévalo Sarrate:



Director de Desarrollo Ingeniería  
y Prevención de Riesgos I+P

*Ámbito jurídico-técnico de la gestión de la prevención en los trabajos de mantenimiento*

Los trabajos y operaciones de mantenimiento se ven afectados, habitualmente, por un ámbito técnico-jurídico en materia preventiva marcado por una dualidad de sistemas: por un lado se cuenta con el sistema general de gestión del titular de la instalación y, por otro, concurren una serie de agentes (p.e. contratistas y subcontratistas) cuya organización y gestión debe ser integrada en el sistema general de gestión del titular. A ello se une el hecho de que las propias operaciones de mantenimiento pueden implicar la aplicación adicional de normativa técnica específica. Estos aspectos deben ser analizados con detalle y especificidad a la hora de determinar las soluciones organizativas y normativas a aplicar en cada supuesto.

# INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS PASIVOS DE VIBRACIÓN EN EL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE EQUIPOS

## INTRODUCCIÓN

La función mantenimiento durante mucho tiempo fue considerada como sinónimo de reparación, donde se intervenían los equipos solo al presentarse una falla, considerándose un gasto y no una inversión encaminada a garantizar adecuados niveles de productividad. Fraga (1998) establece que el mantenimiento se consideraba como un mal necesario y los equipos y máquinas se diseñaban para ser utilizados hasta cierto límite, reemplazándose los componentes sólo al fallar.

Esta idea de asociar mantenimiento sólo a la reparación ha evolucionado y ya en el año 1985 se considera una función de vital importancia que amerita del conocimiento profundo de las máquinas y equipos que conforman los sistemas industriales orientando sus esfuerzos a garantizar la función de los activos y así evitar incurrir en costos de penalización, los cuales inciden negativamente en la productividad. En consecuencia surge la necesidad de desarrollar técnicas innovadoras para monitorear el comportamiento de equipos críticos que operan continuamente, tales como el análisis de vibraciones mecánicas, el cual permite evaluar el estado de los equipos a través de las vibraciones generadas y así poder detectar de manera temprana una posible falla, evitándose

salidas de servicio innecesarias que afecten la operatividad del mismo.

Existe la percepción de que si un objeto, máquina o equipo al girar se estremece, produciendo ruidos fuera de lo normal, algo no anda bien, o sea que asociamos intuitivamente vibración con condición de equipo. Así mismo, tenemos que los niveles de vibración pueden evidenciar condiciones de funcionamiento adecuadas, pero también indican condiciones anormales para aquellos casos en que los niveles superen los intervalos establecidos como normales y las vibraciones son particulares a cada causa que las produce. Cualquier sistema mecánico está provisto de masa, elasticidad y amortiguación, elementos necesarios para que un sistema vibre. Estos factores son los coeficientes de la ecuación diferencial que gobierna el movimiento oscilatorio de un solo grado de libertad que se usa para modelar un sistema. Estos se conocen como parámetros pasivos inherentes al equipo o máquina en estudio y condicionan la amplitud de vibración generada al aplicar una fuerza de excitación al sistema en cuestión.

Los parámetros descritos se fijan en el diseño del equipo, acorde a las condiciones dinámicas a las que estará sometido durante la

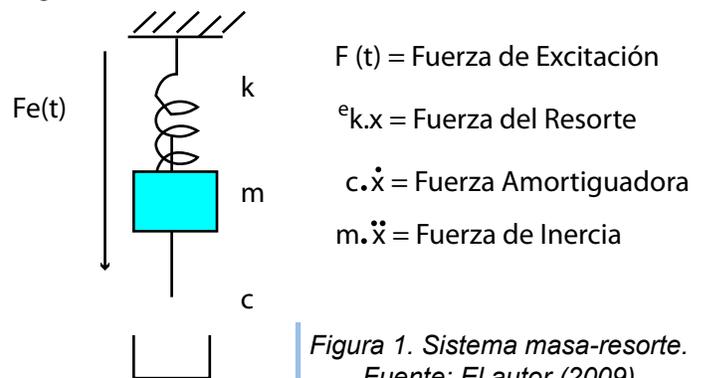
operación a fin de cumplir un fin determinado, lo que induce a aseverar que cualquier modificación de estos alteraría el desempeño del mismo. En muchos casos estos cambios son producto de acciones de mantenimiento ejecutadas a fin de preservar la función de los activos, tales como reemplazo de piezas y/o componentes, cambios en especificaciones de lubricación, selección de materiales, ajustes y calibraciones, entre otras, las cuales pueden modificar la constante de elasticidad, masa y capacidad de amortiguación y por ende el comportamiento dinámico de los equipos, lo cual incide en las condiciones de operación de los sistemas productivos.

En el presente trabajo se analiza la incidencia de cambios en los soportes de un equipo, los cuales se hicieron sin ningún análisis técnico, ignorando las consecuencias de estas modificaciones en las condiciones dinámicas y su incidencia en la operación normal del sistema que forma parte. Produciéndose niveles anormales de vibración, a pesar de no existir causas aparentes que los induzcan, como desbalance, desalineación y/o cualquier otra fuerza de excitación que produzca esta condición anormal. Es de hacer notar, que los cambios en cuestión fueron producto de una acción de mantenimiento, para reemplazar el equipo.

## MECÁNICA DE LAS VIBRACIONES

A efecto de analizar desde la perspectiva de la ingeniería el fenómeno vibratorio es necesario definir vibración, que según la norma ISO 2041 en lo relativo a Terminología de Vibraciones establece: "toda variación en el tiempo de una magnitud que describe el movimiento o la posición de un sistema mecánico cuando esta magnitud es alternativamente mayor o menor que cierto valor promedio de referencia" (Vibration and Shock Vocabulary, 2009). Para analizar el comportamiento dinámico de este fenómeno se utiliza un modelo de un solo grado de libertad, o sea su movimiento está

restringido en una sola dirección y los parámetros pasivos (elasticidad, masa y amortiguación) están concentrados e independientes entre sí, conocido como sistema masa-resorte, el cual se muestra en la figura 1.



En el sistema masa-resorte propuesto para modelar el comportamiento dinámico de un equipo que vibra, actúan varias fuerzas inducidas por los elementos que lo conforman, como son:

- Fuerza elástica:  $F_k = kx$ , efecto lineal del resorte que cumple la ley de Hooke
- Fuerza amortiguadora:  $F_c = c\dot{x}$ , fluido newtoniano, comportamiento lineal
- Fuerza de inercia:  $F_i = m\ddot{x}$ , oposición a la variación del movimiento, que se resiste al cambio de velocidad y se rige por las leyes de Newton, la aceleración va en sentido contrario a esta fuerza,
- Fuerza de excitación:  $F_e$  = Fuerza de excitación función del tiempo que actúa sobre el sistema, para producir el movimiento oscilatorio.

Al existir un equilibrio dinámico en el sistema, se obtiene que la sumatoria de fuerzas en la dirección vertical es cero:

$F_i + F_a + F_k + F_e = 0$ ;  $F_a, F_k$ , son fuerzas que son contrarias al movimiento,  $F_i$  se opone a los cambios de sentido y velocidad de la oscilación y  $F_e$  es la fuerza de excitación que es función del tiempo. Sustituyendo las fuerzas en cuestión obtenemos una ecuación diferencial ordinaria de segundo orden, primer grado con coeficientes constantes:

$$m \cdot \frac{d^2x}{dt^2} + c \cdot \frac{dx}{dt} + k \cdot x = F_e(t)$$

La solución de esta ecuación es

$$X = F_0 / \sqrt{(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2}$$

donde  $F_0$  es la fuerza de excitación armónica, de la forma  $F_e(t) = F_0 \cos \omega t$  o  $F_e(t) = F_0 \omega t \sin \omega t$  en donde  $\omega$  es la frecuencia de la fuerza de excitación. A efectos de poder interpretar el comportamiento de los sistemas vibratorios y su aplicación, prácticas de detección, análisis y corrección de fallas en acciones de mantenimiento, es necesario dimensionarla para hacer más fácil el análisis en cuestión, se define

$r = \omega / \omega_n$  : Relación de Frecuencias  
 $\omega_n = \sqrt{C / m}$  : Frecuencia Natural y  
 $\xi = c / 2m\omega_n$  : Factor de Amortiguación.

Multiplicando por  $k / k$ , la amplitud  $X$  de la solución de la ecuación, tenemos:

$$X = (F_0 / k) \sqrt{(1 - (m / k) \omega^2)^2 + (c / k) \omega^2}$$

es el desplazamiento máximo de la respuesta vibratoria, sustituyendo  $\omega_n$ ,  $r$  y  $\xi$  obtenemos:

$$X = \frac{F_0 / k}{\sqrt{(1 - r^2)^2 + (2\xi r)^2}} \quad (1)$$

El término  $X_0 = F_0 / k$  se define como Referencia Estática, equivalente a la deformación elástica del resorte del modelo masa-resorte (figura 1) al ser sometido a una fuerza igual a la amplitud  $F_0$  de la fuerza de excitación armónica,  $X_0$  representa la respuesta del sistema al aplicársele una carga estática de magnitud igual a la amplitud ( $F_0$ ) de la excitación armónica. Introduciendo  $X_0$  en la ecuación (1) y definiendo como Factor de Amplificación (FA) al cociente  $X/X_0$ , tenemos:

$$FA = \frac{1}{\sqrt{(1 - r^2)^2 + (2\xi r)^2}} \quad (2)$$

influencia del efecto dinámico  $X$  (amplitud de la vibración) sobre el estático ( $X_0$ ).

En la Figuras N° 2 se muestra el comportamiento del Factor de Amplificación (FA) con respecto a la Relación de Frecuencias ( $r$ ), para diferentes valores de  $\xi$ . En el gráfico se observa que para valores de " $r$ " pequeños FA es aproximadamente 1 y  $X = X_0 = F_0 / k$ , la amplitud de vibración depende de la constante de elasticidad  $k$  y no del Factor de Amortiguación  $\xi$

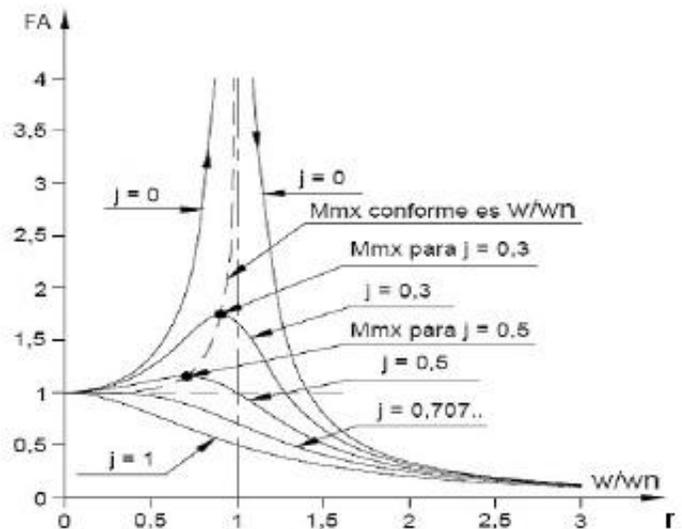


Figura 2. Factor Amplificación vs relación de frecuencia. Fuente: Mayer, O. (2002)

Si  $r = 1$ , la frecuencia de excitación  $\omega$  es igual a la frecuencia natural  $\omega_n$ , y en el sistema se obtienen las máximas amplitudes, se dice que el sistema está en resonancia. Si la relación de frecuencias aumenta ( $r \gg 1$ ), en la figura N° 2 se observa que el factor de amplificación FA tiende a cero. En términos generales es importante acotar que si la excitación es armónica constante la vibración es permanente.

Si evaluamos la ecuación (2) para  $r = 1$ , tenemos que:

$$FA = \frac{1}{2\xi} \quad (3)$$

o sea que el Factor de amplificación dinámica es controlado por el factor de amortiguación

sustituyendo  $\xi = c / 2m \omega_n$ , obtenemos

$$FA = X/X_0 = \sqrt{k m / c} \quad (4)$$

En consecuencia se puede deducir que en esta zona **FA** depende de los parámetros pasivos **k**, **c** y **m**.

De la ecuación (4) observamos que si  $c = \sqrt{k m}$ , el Factor de Amplificación Dinámica es igual a uno, o sea que no hay amplificación del efecto estático ( $X_0$ ), lo cual sería una situación ventajosa, ya que la amplitud de vibración ( $X$ ) no se amplifica siendo más fácil controlar la respuesta vibratoria. En el capítulo anterior definimos el amortiguamiento crítico como:  $c = 2 m \omega_n$  que se puede interpretar desde el punto de vista físico como el límite entre movimiento subamortiguado (oscilatorio) y el movimiento sobreamortiguado (no oscilatorio), si reemplazamos la frecuencia natural ( $\omega_n$ ) de la ecuación (2.3.3) tenemos  $c = 2 m \sqrt{k m} = 2 \sqrt{k m}$ , en consecuencia para que  $FA = 1$ , el coeficiente de amortiguamiento  $c = 0,5 c$  ( $\xi = c / c = 0,5$ ).

De lo expuesto se deduce que  $FA > 1$ , si  $\xi < 0,5$ , lo que indica que de ser posible establecer en el diseño del sistema mecánico, un valor de  $\xi > 0,5$ , o sea si el coeficiente de amortiguación del sistema ( $c$ ) es mayor que la mitad del crítico ( $c$ ), es decir  $c > \sqrt{k m}$ , no se amplificaría la respuesta del sistema vibratorio, sin que eso signifique inducir fuerzas que se opongan a la rotación de las partes móviles del equipo (rotor) y comprometan la eficiencia de los mismos. Según Fraga (1998), se pueden establecer ciertos rangos prácticos de Factores de Amplificación Dinámica, tales como: menores a 2 o 3 es posible que el sistema sea estable, entre 3 y 6 ( $\xi \approx 0,1$ ) se está dentro de la zona de ser amortiguado y si se alcanzan valores entre 6 y 12 se amplifica la amplitud de vibración a niveles muy altos y fuera de rango, de tal manera que si  $FA$  supera el límite de 12 el sistema es muy inestable, siendo muy difícil controlar la vibración. Es importante acotar que esta inestabilidad es producida por la

amplificación de la amplitud de vibración forzada y no por la no atenuación de las vibraciones libres.

Es importante analizar la dinámica de los sistemas vibratorios en resonancia, ante variaciones de la rigidez ( $k$ ) y la masa ( $m$ ), se pueden alterar por acciones de mantenimiento y/o modificaciones de condiciones de diseño, a pesar de que la amplitud de la fuerza de excitación ( $F_0$ ) no varíe.

## APLICACIONES AL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE EQUIPOS

Una bomba centrífuga vertical multietapas de 20 HP, que suministra agua de servicio, con una velocidad de giro de 1000 rpm, presenta alta vibración radial a 1x, se presume inicialmente que tiene el rotor desbalanceado. Se procede a realizar balanceo dinámico del rotor en cuestión, lo cual trae como consecuencia un aumento de la amplitud de vibración, a efecto de descartar resonancia se realiza un ensayo de vibración libre, ensayo de impacto, el cual se muestra en la Figura N° 3, en la misma se observan un gráfico de amplitud vs frecuencia (a) y uno de amplitud vs tiempo (b).

Con la información de amplitud y tiempo aportada por la figura N° 3 (b) se puede aplicar el método de Decremento Logarítmico para calcular frecuencia natural ( $\omega_n$ ) y factor de amortiguación ( $\xi$ ). A tales efectos se puede utilizar la ecuación,

$$\delta = \ln \frac{X_0}{X_1} = \frac{2 \pi \xi}{\sqrt{1 - \xi^2}}$$

que es el Decremento Logarítmico, el cual se puede expresar para  $n$  oscilaciones como  $\delta = (1 / n) \ln (X_0 / X_n)$ , en nuestro caso (ver gráfico N° 3 (b))  $X_0 = 2.113$  plg/s y  $X_n = 1.341$  plg/s y entre los puntos que se toman los valores existen once oscilaciones o sea  $n = 11$ , obteniéndose un  $\delta = (1/11) \ln(2.113 / 1.341) = 0.041336$ . Considerando a  $\xi$  pequeño el decremento logarítmico se puede

aproximar a  $\delta = 2\pi\xi$  de donde obtenemos  $\xi = 0.041336 / 2\pi = 0.0065788$ .

Luego de la ecuación  $\delta = \xi \omega_n (t_1 - t_0)$ , donde  $t_1 - t_0$  es el periodo de la vibración libre, el cual es igual a la diferencia en tiempo, entre el número de oscilaciones de los puntos marcados con círculos, en la figura 111 (b), o sea que el periodo es igual a

$$\frac{1.5553 \text{ seg} - 0.79648 \text{ seg}}{11} = 0.0689836 \text{ seg.}$$

Sustituyendo  $\delta$ ,  $\xi$  y el periodo en la ecuación anterior se puede despejar la frecuencia natural, de donde:

$$\omega_n = \frac{0.041336}{(0.0065788)(0.0689836 \text{ seg})} = 91.08271 \text{ seg}^{-1}$$

luego dividiendo entre  $2\pi$  para expresarla en revoluciones,

$$f_n = \frac{91.0827 \text{ revoluciones}}{2\pi \text{ seg}} \times \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}}$$

se obtiene la frecuencia natural

$$f_n = 869,7757 \text{ rpm} \approx 870 \text{ rpm}$$

Así mismo en el gráfico de la figura 3 (a), producido por un analizador de vibraciones se observa que la frecuencia natural es de (870rpm), similar a la obtenida por el método de Decremento Logarítmico se puede concluir que el equipo está en resonancia ya que la frecuencia de trabajo ( $f = 1000 \text{ rpm}$ ) está muy cerca de la natural ( $f_n = 870 \text{ rpm}$ ), López (1998) recomienda que los diseñadores y fabricantes de máquinas deben evitar la proximidad de velocidades de trabajo y críticas en  $\pm 20\%$ , o sea que se debe estar  $20\%$  por encima o por debajo de la frecuencia natural fundamental (estructural) o de una velocidad crítica.

Asimismo Palomino (2002) establece que, "la resonancia tendrá lugar si la frecuencia de la fuerza excitadora está contenida dentro de la denominada Banda de Potencia Media, p.20". Esta banda está contenida a 3 dB por debajo del valor de amplitud correspondiente a la frecuencia de resonancia, criterio práctico que se puede utilizar con un espectro como el mostrado en la figura 3 (a) expresando la amplitud en decibeles (dB), el valor de resonancia se disminuye en 3 db y se determina los valores de frecuencia mínimos y máximos respectivos, o sea la Banda de Potencia Media.

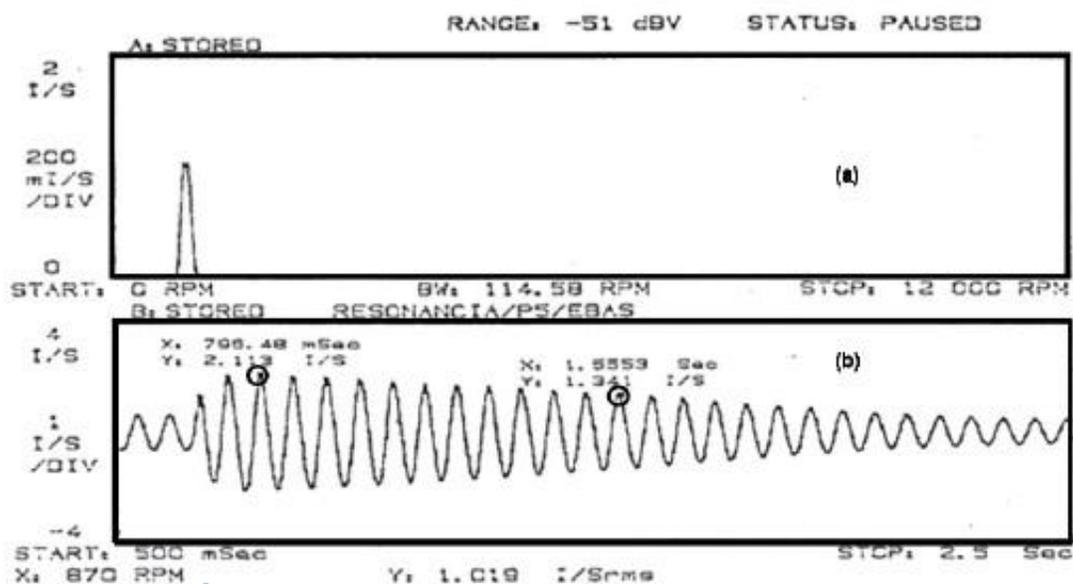


Figura N°3. Ensayo de Impacto. Fuente: El utor (2012)

Es conveniente señalar que aparte de evitar la convergencia de la frecuencia natural o velocidades críticas con la frecuencia de trabajo, es necesario tener algo de amortiguación, a fin de poder controlar la amplitud de vibración al pasar por resonancia, ya que de lo contrario se amplifica esta amplitud (FA). Según Fraga (1998), se pueden establecer ciertos rangos prácticos de Factores de Amplificación Dinámica, tales como: menores a 2 o 3 es posible que el sistema sea estable, entre 3 y 6 ( $\xi \approx 0.1$ ) está dentro de la zona de ser amortiguado y si se alcanzan valores entre 6 y 12, se amplifica la amplitud de vibración, con niveles muy altos y fuera de rango, de tal manera que si FA supera el límite de 12 el sistema es inestable, siendo muy difícil controlar la vibración. Es conveniente señalar que aparte de evitar la convergencia de la frecuencia natural o velocidades críticas con la frecuencia de trabajo, es necesario tener algo de amortiguación ( $\xi \approx 0.1$ ), a fin de poder controlar la amplitud de vibración al pasar por resonancia. Si observamos en nuestro caso  $\xi = 0.0065788$ , lo que trae como consecuencia la aparición de altos Factores de Amplificación, de alrededor de 76 (según ecuación (3)), cuando el equipo pase por resonancia.

No solo se debe garantizar que el equipo en cuestión opere alejado de 870 rpm, lo que obliga a variar la velocidad de operación o a alterar los parámetros pasivos  $k$ ,  $c$  y  $m$  para cambiar la frecuencia natural, sino es necesario cuidar, que si el equipo en el arranque o parada pasa por resonancia, tenga un factor de amortiguación cercano a 0.1 para que el Factor de Amplificación se pueda controlar.

En los sistemas mecánicos resulta más práctico cambiar la rigidez, antes que otro parámetro pasivo ( $c$ ,  $m$ ). En el caso que nos ocupa, a efectos de disminuir los altos niveles de vibración, se aumento la rigidez del soporte y pernos de sujeción, de tal manera que la frecuencia natural aumente ( $f_n > f/0.8$ ,  $f_n > 1250$  rpm). Con este cambio al operar el equipo a 1000 rpm, estamos mínimo, 20 % por debajo de

resonancia ( $r \ll 1$ ), en donde la amplitud es controlada por la elasticidad  $k$  y fuera del intervalo resonante señalado.

Es importante resaltar que una disminución de la rigidez para bajar la frecuencia natural también ocasionaría la salida de resonancia, pero la frecuencia de operación ( $f$ ) sería mayor a la natural y el equipo se obliga a pasar por resonancia para alcanzar su velocidad de régimen. En consecuencia en arranques y paradas sucesivos someterían la bomba a aumentos considerables de la amplitud de vibración en la zona resonante, ya que FA es muy alto. Así mismo es necesario entender que un cambio de la frecuencia de operación de una bomba, afecta sus curvas características, lo que afecta la operatividad de la misma.

## CONCLUSIONES

La entrada en resonancia de la bomba fue producto de cambio en la rigidez de los soportes, motivado a la colocación de gomas en el soporte, que ocasionaron una disminución de la frecuencia natural, las mismas fueron retiradas lográndose niveles de vibración normales. En consecuencia alteraciones de parámetros de diseños sin ningún criterio de ingeniería, incide drásticamente en las condiciones dinámicas de los equipos, alterándose su operatividad, con incidencias negativas en los sistemas productivos

El Comportamiento Dinámico del equipo depende de Parámetros Pasivos y Relaciones de Frecuencia ( $W/W_n$ ). Selección Inadecuada y alteración de estos Parámetros afecta Condición de Equipo. Es conveniente el uso de Software (CAE) para estimación en Diseño de ( $\xi$  y  $W_n$ ), así como ensayos de Vibración Libre para verificarlos antes de entrar en funcionamiento (Pruebas de Aceptación). Los equipos en la práctica deben ser capaces de comportarse adecuadamente ante efectos dinámicos, lo que obliga a considerar aspectos fundamentales como resistencia, ciencia y tecnología de materiales y también aquellos relacionados con

tecnología e ingeniería de mantenimiento (Vibraciones Mecánicas)

En la industria moderna se ha incrementado en los últimos años el uso técnicas de diagnóstico de condición de equipo, como el Análisis de Vibraciones Mecánicas dentro del enfoque de Mantenimiento Predictivo, la cual a través de la cuantificación de parámetros activos como desplazamiento, velocidad, aceleración y ángulo de fase se evalúa la condición de los equipos. Esta técnica acompañada con un adecuado soporte matemático, que permita establecer ecuaciones para analizar el comportamiento dinámico del sistema, permite analizar las consecuencias del cambio en parámetros de diseño. Los cuales inducen niveles de vibración anormal, producto de amplificaciones acentuadas al cambiar la frecuencia de trabajo, dentro del rango establecido en las condiciones de operación, consideradas como normales.

En términos generales se pretende crear conciencia sobre el hecho de que las prácticas de mantenimiento se deben acometer de manera holística con un alto grado de sinergia entre diseñadores, fabricantes y mantenedores, la línea divisoria entre los quehaceres de ambos es muy estrecha. Mantener la función de los activos, para garantizar altos niveles de productividad, es tarea de todos los involucrados. Así mismo, proponer a los diseñadores el uso de Análisis de Vibración como una herramienta que coadyuve en la determinación de las especificaciones de máquinas.

La Vibración es el "Lenguaje de las Máquinas", que se expresa en el idioma de las ecuaciones que rigen el comportamiento dinámico y se escribe en Medidas de propósito general (Dominio Tiempo) y específico (Espectros). La adecuada interpretación de las mismas permite entender y controlar el comportamiento dinámico de los equipos, dentro de parámetros establecidos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barrios Pedro y Navega Oscar: Apuntes de Vibraciones Mecánicas. Publicaciones LUZ. 1984
- Fraga L. Pedro. Análisis Dinámico de Máquinas Rotativas por Vibraciones. Universidade da Coruña. España. 1998.
- Franco, I. (2004). Mantenimiento Predictivo. Ciudad Guayana-Venezuela: Universidad Gran Mariscal de Ayacucho. Disponible: <http://www.monografias.com/trabajos17/mantenimiento-predictivo/mantenimiento-predictivo.shtml#DEFIN>. [Consulta: 2008, Abril 28]
- Norma ISO 2041 (2009). Mechanical vibration, shock and condition monitoring – Vocabulary (3ª ed.). Geneva-Switzerland: International Standard Organization
- Palomino M. Evelio. La Medición y el Análisis de Vibraciones en el Diagnóstico de Máquinas Rotativas. Centro de Estudios Innovación y Mantenimiento. Cuba. 1997
- Mayer, O. (2002). Vibraciones Teórico. Universidad de Buenos Aires - Argentina. Disponible: [www.fi.uba.ar/materias/6712M/TEORICO%20VIBRACIONES.pdf](http://www.fi.uba.ar/materias/6712M/TEORICO%20VIBRACIONES.pdf) [Consulta: 2008, diciembre 16]
- Silva Pedro. Mantenimiento Predictivo, Visión Sistémica. Memorias del Seminario Fundamentos para la Gestión del Mantenimiento Predictivo. Bogotá. 2006

AUTOR:

**MANUEL HERNÁNDEZ CARMONA**

Email: [manueh11@gmail.com](mailto:manueh11@gmail.com)

Venezuela

# REPERCUSIÓN DE LA HIPERTENSION ARTERIAL EN LA CONFIABILIDAD HUMANA

Es importante definir y desglosar conceptos sobre fisiopatología, complicaciones y tratamiento para comprender la importancia que representa la prevención y el adecuado control de la hipertensión arterial y su repercusión en la confiabilidad humana como gerencia de activos. Debemos entender que esta patología representa un importante factor que repercute en el rendimiento ocupacional de nuestro activo humano e incide en los errores que pudiesen influenciar en el desarrollo adecuado de determinada función, implicando baja en el rendimiento y por consiguiente elevación de los costos de operatividad y/o producción.

Es indispensable saber que Tensión Arterial o Presión Arterial es la presión resultante de la fuerza con la que el ventrículo izquierdo cardiaco eyecta la sangre hacia el torrente circulatorio y la resistencia que ejercen los vasos arteriales (arterias, arteriolas y capilares) mediante la contracción vascular para mantener el flujo en forma laminar evitando turbulencia y manteniendo una Presión Arterial Media en todo el sistema circulatorio. De allí que las variaciones por debajo o por arriba, de

valores determinados por métodos estadísticos de frecuencia y desviación estándar dentro del percentil 95, se hable de Hipotensión e Hipertensión respectivamente.

La hipertensión arterial (HTA) es una enfermedad crónica caracterizada por un incremento continuo de las cifras de la presión sanguínea en las arterias. Aunque no hay un umbral estricto que permita definir el límite entre el riesgo y la seguridad, de acuerdo con consensos internacionales, una presión sistólica sostenida por encima de 139 mmHg o una presión diastólica sostenida mayor de 89 mmHg

## *Epidemiología*

La hipertensión arterial es una de las afecciones crónicas más prevalentes y su frecuencia varía considerablemente entre los países desarrollados. En España los datos del estudio realizado por Banegas y cols. con datos que contienen información representativa del conjunto de España, muestran una prevalencia de hipertensión arterial de 45,1% para el conjunto de la población de 35 a 64 años, utilizando los criterios del Joint National

Committee VI informe; puede observarse cómo la prevalencia aumenta con la edad, es ligeramente superior en los hombres que en las mujeres excepto en el grupo de edad de 55 a 64 años, y es superior en el medio rural que en el medio urbano. La forma más frecuente de hipertensión es la Hipertensión fase 1 (140-159 ó 90-99) en la que se encontrarían el 66% de los hipertensos. Datos más recientes del estudio DRECE II4, también con una muestra de ámbito nacional, proporcionan una prevalencia similar del 44,4% para el conjunto de la población de 35 a 64 años. Existen numerosos estudios transversales en nuestro país sobre la prevalencia de hipertensión arterial junto con otros factores de riesgo en diversas zonas geográficas.

Estos estudios no han sido realizados con metodologías uniformes y las poblaciones estudiadas difieren entre sí (muestras poblacionales, poblaciones laborales, etc.) por lo que es difícil valorar las diferencias entre ellos. Además los criterios de clasificación de la hipertensión han cambiado también en varias ocasiones (varios criterios OMS, criterios Joint National Committee V, VI y muy recientemente VII18), lo cual hace que las prevalencias encontradas sean poco comparables. No se dispone de datos sobre los cambios en las tendencias seculares en los niveles de presión arterial. Los datos del estudio MÓNICA19 permiten realizar comparaciones internacionales.

Las presiones arteriales medias ajustadas por edad (población de 35 a 64 años) sitúan al MÓNICA-Cataluña en los niveles más bajos de todos los centros participantes, tanto en los hombres como en las mujeres. Recientes resultados utilizando los datos de la muestra española de 1990 para población de 35 a 64 años muestran (tabla II) que España, con una prevalencia (presión arterial  $\geq$  140/90 o seguir tratamiento farmacológico antihipertensivo) ajustada por edad y sexo de 46,8%, ocupa un lugar intermedio entre los 6 países europeos estudiados (por detrás de Alemania y Finlandia),

un poco por encima de la media de los 6 países (44,2%). A su vez, esta media europea es notablemente superior a las prevalencias de Estados Unidos y Canadá que se sitúan en torno al 27%. Proporcionalmente, la prevalencia en las mujeres españolas (44,6%, 5 puntos porcentuales menor que la de los hombres españoles) es superior a la de las mujeres del resto de los países europeos que muestran diferencias con los hombres entre 10 y 15 puntos porcentuales. También es diferente la media de prevalencia de HTAS de los países europeos con Venezuela donde se ha obtenido una media de 33,7%. Cuando hacemos un estimado de media a nivel mundial nos encontramos que es de 30%.

### *Fisiopatología de la HTAS*

En nuestro organismo existen una serie de variables que controlan los niveles de tensión arterial. A partir del Sistema Nervioso Autónomo (SNA) donde existen el Sistema Simpático (SNAS), mediado por la adrenalina y noradrenalina, y el Sistema Parasimpático (SNAP) mediado por la acetilcolina entre los cuales debe existir equilibrio para el control adecuado de las funciones del Sistema Cardiovascular (SC) en general y específicamente la Tensión Arterial. Sobre este sistema actúan algunos de los fármacos utilizados para el tratamiento de la HTAS como son los genéricamente llamados  $\beta$ -bloqueantes y otros llamados  $\alpha$ -agonistas. (Fig. 1)

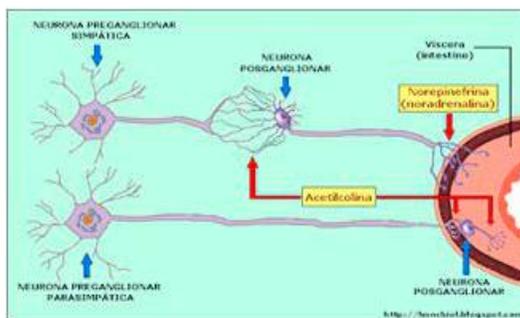


Fig.1

A esto se suman otros factores internos y externos. Ahora bien, el desequilibrio de estos

dos sistemas produciría por consiguiente inestabilidad de la Tensión Arterial, de donde resulta que si hay predominio del SNAP se producirá hipotensión y de lo contrario si domina el SNAS se producirá Hipertensión. Existe otro sistema que tiene importancia fundamental en la regulación de la Presión Arterial como es el Sistema Renina-Angiotensina-Aldosterona (SRAA), donde conjugan funciones diferentes órganos, que tiene gran importancia en la regulación de líquidos, electrolitos con la producción de aldosterona, de la Angiotensina, Angiotensina II y la Vasopresina que interactúan en el control de la TA. Este último sistema es la base de una de las líneas del tratamiento de la HTAS llamados Inhibidores de la Enzima Convertidora de la Angiotensina I en Angiotensina II (IECA) y Bloqueadores de los Receptores de Angiotensina II (ARA II), dependiendo de su sitio de acción. (Fig. 2)

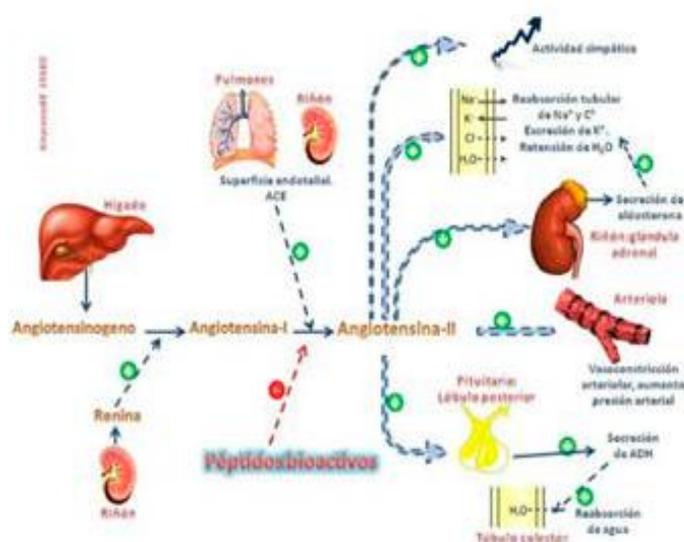


Fig. 2

### Presentación Clínica

La HTAS tiene una presentación clínica muy bizarra, con muy escasa sintomatología, en el mayor de los casos puede pasar desapercibida durante mucho tiempo, quizás debido a que el aumento de la presión arterial es en forma paulatina y gradual lo que conlleva a que el

organismo se adecúa a los nuevos valores de presión; sin embargo muchas veces encontramos síntomas tales como cefalea matinal (el más común), rubor y calor facial, dolores musculares, sensación de calor, insomnio, sangrado nasal, ruidos en los oídos, vértigos, desmayos, hormigueos, dolor de nuca, orejas calientes, náuseas, debilidad, palpitación, cansancio fácil, ojos rojos, dolor de piernas, sudoración, depresión. En la mayoría de las oportunidades se hace el diagnóstico cuando el paciente acude a evaluación médica de rutina o por cualquier otra afección y, en el peor de los casos, cuando se presenta alguna de las complicaciones.

### Factores que influyen en los niveles de Tensión Arterial

Se ha descrito en los estudios epidemiológicos numerosos factores que se asocian con los niveles de presión arterial tales como edad, sexo, raza, nivel socioeconómico, nutrición, consumo de alcohol, actividad física y exposición a varios agentes medioambientales. A continuación se describen algunos aspectos epidemiológicos de los más importantes:

**EDAD:** Los estudios transversales en países con culturas diversas y con diferente desarrollo socioeconómico muestran una consistente relación entre edad y presión arterial. Al nacimiento, los valores promedio de presión arterial sistólica y diastólica en los países desarrollados están alrededor de 70 y 50 mmHg respectivamente. En general, la presión sistólica tiende a aumentar progresivamente desde la niñez, adolescencia y edad adulta hasta alcanzar un valor alrededor de 140 mmHg en la séptima u octava década. La diastólica también tiende a aumentar con la edad pero con una tasa de crecimiento menor que la sistólica, e incluso tiende a estabilizarse después de la quinta década. Esto no ocurre así en todas las poblaciones, lo cual indica que el aumento de la presión arterial con la edad no es una necesidad biológica. Otro aspecto interesante es que las

personas procedentes de países subdesarrollados adquieren una predisposición a aumentar la presión arterial con la edad cuando adoptan el estilo de vida occidental. Los cambios en la dieta parecen jugar un importante papel.

**SEXO:** En la temprana niñez parece no haber diferencias en los niveles tensionales entre sexos, pero a partir de la adolescencia los hombres tienden a un nivel más alto que las mujeres. Esta diferencia se hace más evidente en la juventud y la mediana edad. Un poco más tarde (hacia los 50-60 años) este patrón se invierte. Este cambio refleja al menos parcialmente la muerte prematura de los hombres con presión arterial más alta. Aunque los hombres hipertensos tienen más eventos cardiovasculares que las mujeres hipertensas a cualquier edad, el riesgo atribuible porcentual, es decir, la proporción de eventos que es debida a la hipertensión es similar o más alta en las mujeres. La incidencia de nuevos casos de hipertensión es comparable entre hombres y mujeres en todos los grupos de edad.

**FACTORES DIETÉTICOS:** Los datos acumulados a partir de estudios epidemiológicos, estudios de intervención y experimentación animal, proporcionan evidencia de la influencia de varios factores dietéticos sobre la presión arterial:

**SODIO:** El consumo de sal (cloruro de sodio) es uno de los aspectos más estudiados. Se ha estimado que más de la mitad de la población hipertensa es sensible a la sal. En el estudio Intersalt, el más amplio llevado a cabo con más de 10.000 sujetos participantes, se observó una significativa, aunque pequeña, correlación positiva entre la presión arterial y la excreción urinaria de sodio en 24 horas (como una medida del consumo de sal). Una posterior actualización de los datos mostró una relación más fuerte entre el sodio y la presión arterial que la originalmente informada. Numerosos estudios clínicos han demostrado una reducción significativa en la presión arterial tras

una reducción en la ingesta de sodio, especialmente en los pacientes hipertensos.

Los resultados de los meta-análisis de los ensayos clínicos son consistentes y muestran reducciones del orden de 3,7/0,9 mmHg por 100 mmol de reducción en la ingesta de sodio diaria en sujetos hipertensos y 1/0,1 mmHg en sujetos normotensos. Sin embargo, existen enormes variaciones entre individuos en el efecto de la sal sobre la presión arterial, lo cual ha llevado a la noción de que existen sujetos «sensibles» e «insensibles», hecho que puede estar relacionado con variaciones genéticas para lo cual han sido estudiados algunos genes candidatos como la alfaaducina y variantes del gen del angiotensinógeno. El sodio en la dieta habitualmente se ingiere en forma de cloruro de sodio. Hay algunas evidencias de que la presión arterial no aumenta de la misma forma si el sodio se ingiere en forma de citrato, fosfato o bicarbonato. Por tanto, el desarrollo de hipertensión inducida por sodio, depende de que la ingesta sea en forma de cloruro de sodio.

**POTASIO:** Muchos de los beneficios de reducir la ingesta de sodio pueden ser debidos al aumento recíproco de la ingesta de potasio que acompaña a las dietas pobres en sodio. Existe una débil relación inversa entre presión arterial e ingesta de potasio. En promedio, un incremento en la ingesta diaria de potasio de 80 mmol/día disminuye la presión sistólica en 5,9 mmHg y la diastólica en 3,4 mmHg. Este aumento de la ingesta de potasio requiere suplementos por vía oral y es probablemente utilizable solo en personas con evidentes depleciones de potasio. El estudio Intersalt muestra una relación inversa entre presión arterial e ingesta de potasio (disminución de 2,7 mmHg en la presión arterial sistólica por un aumento de 60 mmol/día en la excreción de potasio) y una relación directa entre la presión arterial y el cociente sodio/potasio urinario. El análisis conjunto de los estudios controlados sobre suplementación con potasio muestra una reducción media de la presión sistólica de -0,8 mmHg y de -0,7 mmHg en la presión diastólica

en sujetos normotensos. En los sujetos hipertensos esta reducción es mayor, -5,1 mmHg para la sistólica y -3,0 mmHg para la diastólica.

**CALCIO:** Los datos sobre la relación entre ingesta de calcio y presión arterial son controvertidos. El balance de los estudios epidemiológicos está a favor de una ligera asociación inversa y los estudios de intervención no han consolidado un importante papel para el calcio.

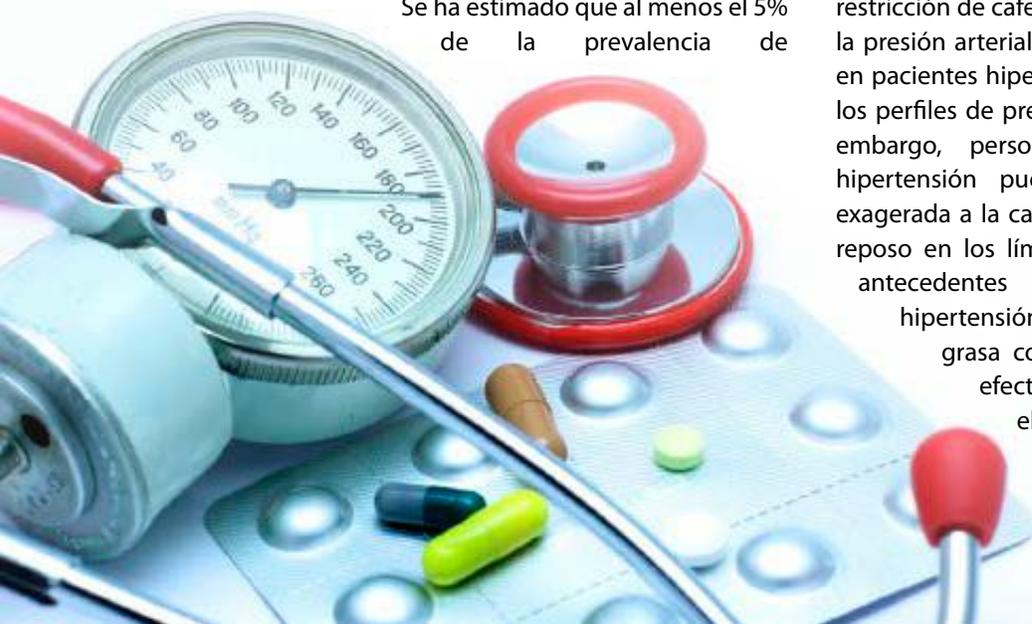
**MAGNESIO:** Los datos epidemiológicos sugieren una relación inversa entre el magnesio dietético y la presión arterial. Sin embargo los resultados de los estudios de intervención son inconsistentes. Hay insuficientes datos que apoyan un efecto hipotensor del suplemento de magnesio, pero puede ser beneficioso en personas con deficiencia de magnesio demostrada. Con los datos disponibles los suplementos de magnesio no pueden ser recomendados en el tratamiento de la hipertensión esencial.

**ALCOHOL:** Los datos epidemiológicos indican de manera clara una asociación positiva entre la presión arterial y la ingesta de alcohol. Este efecto es particularmente marcado en sujetos que ingieren más de 6 unidades de alcohol por día. La presión arterial disminuye con la reducción de la ingesta de alcohol y puede ser un recurso efectivo en bebedores importantes.

Se ha estimado que al menos el 5% de la prevalencia de

hipertensión puede ser atribuida al alto consumo de alcohol. Los estudios controlados sobre reducción de la presión arterial al disminuir el consumo de alcohol, muestran conclusiones sólidas. La completa cesación del consumo de alcohol en un grupo de hombres hipertensos que consumían habitualmente 8 unidades de alcohol al día, resultó en una disminución de 13 mmHg en la presión sistólica y en 5 mmHg de reducción en la diastólica en 78 a 96 horas. La presión sistólica disminuyó 3,8 mmHg cuando la ingesta de alcohol se redujo aproximadamente de 3 unidades por día a 3 unidades por semana en sujetos normotensos tras 6 semanas de seguimiento. El efecto del alcohol en la presión arterial desaparece prácticamente después de 3 días de la ingesta.

**CAFEÍNA:** La cafeína es un factor bien conocido por sus efectos presores simpaticomiméticos. Puede aumentar la presión sistólica y la diastólica temporalmente, pero la tolerancia a su efecto presor tiene lugar rápidamente. Los resultados de los estudios epidemiológicos sobre el consumo de cafeína y la presión arterial son dispares. La incidencia de hipertensión en un seguimiento de 1.017 estudiantes de medicina durante 32 años fue alrededor de 3 veces superior en los que bebían más de 5 tazas al día comparados con los que no tomaban café. Por otro lado, en el Multiple Risk Factor Intervention Trial (MRFIT) se observó que una ingesta más alta de cafeína se asociaba con niveles de presión arterial más bajos. La restricción de cafeína no parece tener efecto en la presión arterial y la ingesta habitual de café en pacientes hipertensos parece no influenciar los perfiles de presión arterial de 24 horas. Sin embargo, personas con alto riesgo de hipertensión pueden tener una respuesta exagerada a la cafeína. Una presión arterial en reposo en los límites altos de la normalidad, antecedentes familiares positivos de hipertensión y un porcentaje elevado de grasa corporal, pueden aumentar el efecto presor de la cafeína durante el reposo y el ejercicio.



**DIETA VEGETARIANA Y FIBRA DIETÉTICA:** En muchos estudios epidemiológicos de observación se ha constatado una asociación inversa entre la ingesta de fibra procedente de frutas y verduras y cereales y la presión arterial. Cuando los sujetos hipertensos consumen una dieta vegetariana durante 6 semanas se ha observado una caída de la presión sistólica de 5 mmHg. Esto puede ser debido al alto contenido en fibra más que a diferencias en la ingesta de grasa. En un amplio estudio prospectivo con 4 años de seguimiento, el riesgo relativo (RR) de desarrollar hipertensión en mujeres fue de 0,76 para una ingesta de fibra superior a 25 g por día, comparada con una ingesta de menos de 10 g por día. Para los hombres con una ingesta de fibra superior a 24 g/día, el riesgo relativo de desarrollar hipertensión a los 4 años se redujo significativamente respecto a los que consumían menos de 12 g/día. Pero los resultados conjuntos de los estudios de intervención no apoyan un efecto reductor de la presión arterial con suplementos dietéticos de fibra a corto plazo. Esta diferencia entre los estudios experimentales y los de observación puede ser explicada si se acepta que la fibra solo tiene efecto presor después de un uso mantenido y muy prolongado o bien cuando se utiliza en sujetos con niveles basales muy bajos de fibra en la dieta.

Por otro lado, la dieta rica en fibra contiene otros elementos como el potasio y el magnesio que pueden tener un efecto hipotensor. También el tipo de fibra específico puede ser otra variable importante que influya en el efecto de la fibra en la reducción de la presión arterial. Hay un interesante hallazgo en el sentido de observar una asociación inversa entre la presión arterial y la fibra procedente de las frutas, pero no de la procedente de los cereales o las verduras, lo cual sugeriría la posibilidad de que en las frutas existieran otros componentes que pudieran disminuir la presión arterial.

**PESO E HIPERTENSIÓN:** La hipertensión es una de las enfermedades que se asocia con la obesidad. El exceso de peso y el aumento de

peso promueven hipertensión y la pérdida de peso reduce la presión arterial. El riesgo de hipertensión aumenta progresivamente al aumentar el peso corporal o el Índice de Masa Corporal (IMC). Esta asociación ha sido observada de forma consistente en numerosos estudios incluyendo el Intersalt, estudio transversal realizado en 52 poblaciones diferentes de todo el mundo. En el estudio Framingham, 70% de la hipertensión en los hombres y 61% en las mujeres, es atribuible a la obesidad. En el Nurses' Health Study, estudio en el que fueron seguidas durante 16 años 82.473 mujeres, se observó que el riesgo relativo (RR) de hipertensión aumentó sustancialmente cuando aumentaba el IMC. Un aumento de 1 kg/m<sup>2</sup> en el IMC se asoció con un 12% de aumento en el riesgo de hipertensión. Comparado con un IMC menor de 20 kg/m<sup>2</sup>, el RR de hipertensión aumentó a 2,55 (IC 95%, 2,33-2,79) para un IMC de 25 y a 6,31 (IC 95%, 5,8-6,87) para un IMC mayor de 31. No está completamente claro si hay un «umbral» por debajo del cual no exista relación entre IMC y presión arterial. Esta correlación se ha observado incluso en poblaciones muy delgadas. Sin embargo en un amplio estudio se ha observado un umbral a los 21 Kg/m<sup>2</sup> para las mujeres, pero no para los hombres. El aumento de peso es un fuerte predictor de aumento en la presión arterial. En el estudio Framingham se observó un aumento medio de 4,5 mmHg por cada 5 kg. (10 libras) de aumento de peso. En el Nurses' Health Study el riesgo de hipertensión se multiplicaba por 5 en las mujeres que habían aumentado 25 Kg. a partir de los 18 años. Incluso pequeños aumentos de peso se asocian con riesgos aumentados: las mujeres que aumentaron 2,1-4,9 kg. Después de los 18 años tenían un 29% más de riesgo, y las que aumentaron entre 5 y 9,9 Kg tuvieron un 74% de aumento de riesgo. De la misma forma, la pérdida de peso en las personas obesas o con sobrepeso reduce la presión arterial y la incidencia de hipertensión. Amplios ensayos controlados han puesto de manifiesto esta reducción. Se han observado disminuciones de 0,5 a 1 mmHg por cada Kg. de pérdida de peso.

Estos efectos se han observado tanto si la intervención ha sido con fármacos como si ha sido con medidas no farmacológicas. Un ensayo aleatorizado y controlado con una intervención basada en dieta, ejercicio o una combinación de ambos o grupo control, mostró una reducción de peso acompañada de reducción en la presión arterial significativamente mayor en los grupos de intervención a los 6 meses. La reducción de presión arterial sistólica fue superior en los sujetos del grupo de dieta y ejercicio. Pérdidas de peso relativamente pequeñas, del orden del 5 o el 10% del peso inicial pueden producir una disminución de la presión arterial y una reducción en el riesgo de desarrollar hipertensión. Esto tiene una gran importancia para la prevención y el tratamiento de la hipertensión. Existen datos que apoyan la hipótesis de que hay una relación entre el bajo peso al nacer y la hipertensión. Algunos estudios muestran que los niños con bajo peso al nacer tienen presiones arteriales más altas al llegar a adultos. Sin embargo no todos los estudios son coincidentes.

**EJERCICIO FÍSICO E HIPERTENSIÓN:** Los estudios epidemiológicos sugieren que el estilo de vida sedentario aumenta el riesgo de hipertensión mientras que el ejercicio físico ocupacional o de tiempo libre se asocia con niveles más bajos de presión arterial. Estudios transversales y estudios longitudinales en grandes muestras de población sugieren que el riesgo relativo de desarrollar hipertensión en hombres que tienen un estilo de vida físicamente activo se reduce aproximadamente entre un 35% y un 70% comparado con los sujetos sedentarios. Similares beneficios se han observado para las mujeres, pero la asociación no está tan clara. Existen numerosos estudios de intervención para examinar la efectividad del ejercicio físico regular en el descenso de la presión arterial en pacientes con hipertensión ligera o moderada. La conclusión general es que el ejercicio físico regular puede reducir la presión arterial en pacientes con hipertensión esencial aproximadamente 8 a 10 mmHg para la presión sistólica y 7 a 8 mmHg para la diastólica,

y no parece haber diferencias entre hombres y mujeres en la respuesta al ejercicio. Las reducciones en la presión arterial asociadas al ejercicio parecen ser independientes de los cambios en el peso corporal o composición corporal. Recientes resultados sugieren que ejercicios de baja o moderada intensidad (35% a 79% de la máxima frecuencia cardíaca para la edad, o 30% a 74% del máximo consumo de oxígeno pueden ser más efectivos para bajar la presión arterial que los ejercicios de mayor intensidad. Un meta-análisis de 29 estudios concluye además que hacer ejercicio más de tres veces por semana no tiene ningún beneficio adicional sobre la reducción de la presión arterial. Esta conclusión de que los ejercicios de intensidad baja o moderada reducen la presión arterial tiene un interés especial para los pacientes hipertensos, ya que este tipo de ejercicios tienen un bajo riesgo de complicaciones cardíacas y traumas músculo-esqueléticos y pueden ser aconsejados a un mayor número de pacientes.

## Complicaciones

Complicaciones de HTAS	
Cardíaco	Hipertrofia Insuficiencia Ángor Infarto Arritmia
Arterias	Aneurismas Arteriosclerosis Oclusión de ramas.
Renal	Glomerulopatía Micro albuminuria Enf. Parenquimatosa Insuficiencia
Cerebral	Encefalopatía Trombosis Embolia Hemorragia
Ocular	Ceguera Retinopatía Hemorragias Vítreas

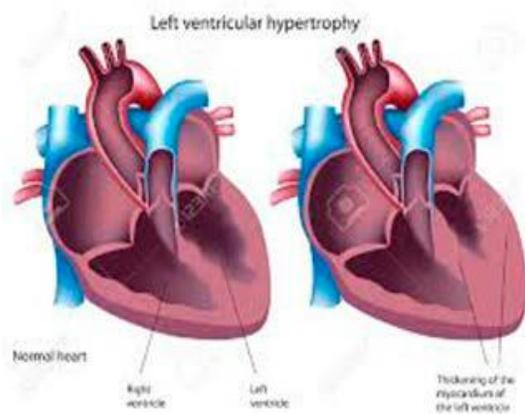
Cuadro 1

### *Crisis Hipertensiva*

El 51% de los pacientes con HTAS presenta crisis de hipertensión motivado frecuentemente por el inadecuado cumplimiento del tratamiento.

### *Cardiacas*

La hipertrofia ventricular y las otras complicaciones cardiacas representan el 58% de las complicaciones que se presentan en los pacientes con HTAS



### *Cerebrovasculares*

Al igual que las complicaciones cardiacas, los ACVs (isquémicos y hemorrágicos) representan las de mayor incidencia y es debido al inadecuado cumplimiento del tratamiento (Fig. 3).

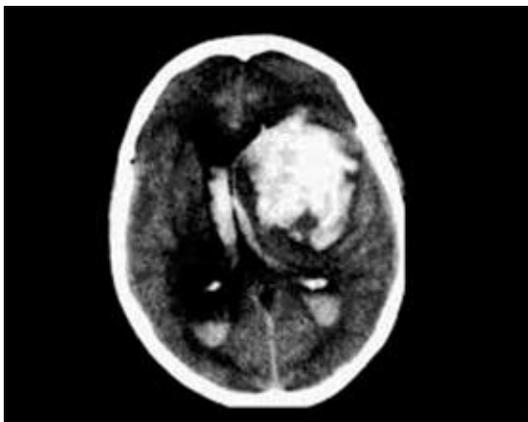


Fig. 3 RMN de cráneo. Hemorragia intra-parenquimatosa

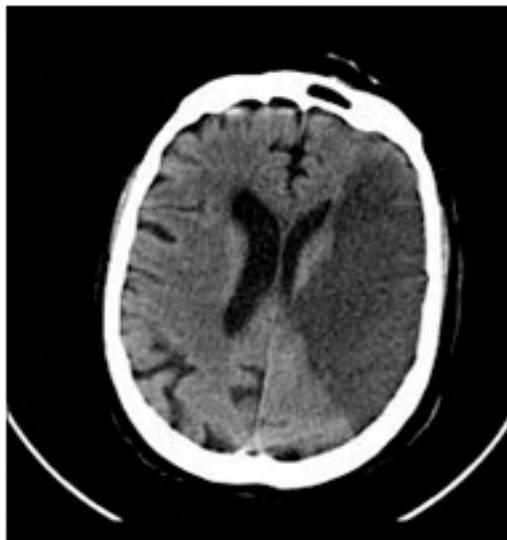


Fig. 4 TAC de cráneo. Isquemia fronto-temporo-parieto-occipital de hemisferio cerebral izquierdo.

### *Enfermedades renales*

La HTAS es la segunda causa de insuficiencia renal la cual representa un 23% de las por afectación del cuerpo glomerular, conllevando al paciente a someterse a programas de diálisis peritoneal y/o hemodiálisis trayendo como consecuencia limitaciones para el desempeño laboral. Además en estos pacientes se presenta como complicación incipiente microalbuminuria, eliminación de albúmina por la orina en pocas cantidades y que a la larga repercute en el estado de salud y debemos tomarlo como signo incipiente de daño renal.

### *Repercusión de HTAS sobre Confabilidad Humana*

Una vez analizado conceptos, fisiopatología y complicaciones debemos hacer notar que las personas que presentan HTAS presentan un alto riesgo de cometer errores cuando no se encuentran adecuadamente controladas sus cifras tensionales. Disminuye el nivel de concentración cuando los hipertensos presentan cifras tensionales elevadas debido a la disminución de riego vascular por

vasoconstricción. También es importante recalcar la discapacidad que se presenta cuando hay complicaciones oculares por retinopatía hipertensiva lo que conlleva a disminución importante de la agudeza visual y más aún al presentarse secuelas motoras por accidentes cerebrovasculares (ACVs) ocasionando discapacidad, secundaria a hemiparesia, para la realización de tareas manuales, así como dificultad en la comunicación por disartria o afasia motora, además del efecto psicológico sobre el individuo ocasionándoles estados depresivos importantes.

En fin, existen una serie de causas para tener presente la repercusión de la HTAS en Confiabilidad Humana como gestión de activos, por lo que es importante mantener servicios de salud en las empresas para las evaluaciones periódicas del activo humano con el fin de prevenir, impartiendo educación a través de charlas, talleres, curso de orientación y concientización de la salud para el desenvolvimiento adecuado del ser humano, así como la intervención curativa y de rehabilitación según las necesidades.

La adecuada atención de la salud del activo humano está contemplado en las normas OSHAS como Complemento de ISO 9000 e ISO 14000, a la cual se le daría cumplimiento, así como a la normativa de INPSASEL (Instituto Nacional de Prevención, Salud y Seguridad Laborales) a través de la LOPCYMAT (Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo) en Venezuela.

Otra variable de importancia es el costo directo o indirecto que se produce tanto para el estado, como para las empresas.

Se considera que en los Estados Unidos de Norteamérica 43 millones de personas sufren de hipertensión arterial y que en el tratamiento de estas personas se gastan al año 21.8 billones de dólares más 8.2 billones de dólares de costos adicionales debido a la pérdida de productividad como consecuencia de la morbilidad y mortalidad.

## Bibliografía

• Acelajado MC, Pisoni R, Dudenbostel T, Dell'Italia LJ, Cartmill F, Zhang B, et al. Refractory hypertension: definition, prevalence, and patient characteristics. *J Clin Hypertens* (Greenwich). 2012; 14: 7-12.

• Ahmed SB, Ronksley PE, Hemmelgarn BR, Tsai WH, Manns BJ, Tonelli M, et al. Nocturnal hypoxia and loss of kidney function. *PLoS One*. 2011. 29; 6:e19029.

• Alcázar JM, Rodicio JI. Ischemic nephropathy: clinical characteristics and treatment. *Am. J Kidney Dis*. 2000; 36: 883-893.

Benetos A, Zureik M, Morcet J, Thomas F, Bean K, Safar M et al. A decrease in diastolic blood pressure combined with an increase in systolic blood pressure is associated with a higher cardiovascular mortality in men. *J Am Coll Cardiol*. 2000; 35: 673-680.

FERNANDEZ L, Javier. (2005). "Gestión de Competencias". Un Modelo estratégico para la dirección de Recurso Humanos. Editorial FT Prentice Hall. Madrid. España

GARCIA P, Oliverio. "La Confiabilidad Humana clave de la Sostenibilidad Industrial". [www.mys-asociados.com](http://www.mys-asociados.com). 2013.

GIRALDO C, Barbaro J. (2014). "Normas OHSAS Complemento de ISO 9000 e ISO 14000". [www.Predictiva21.com,edu](http://www.Predictiva21.com,edu) Año 1, 4ta. Edición.

Segura Fragoso, A. Hipertensión arterial (I) Director: Dr. Luis Rodríguez Padial Servicio de Cardiología. Hospital Virgen de la Salud. Toledo. Monocardio. 2da época. Vol V -Nro. 3 año 2003. Pag. 128.

AUTOR:

**Dr. Bárbaro de Jesús Giraldo Centeno**  
Médico Internista-Intensivista

# Evaluación de Desempeño de Compresor Axial de Turbinas de Gas después de Lavado en línea en una planta de inyección de agua mediante pruebas en campo (Parte II)

## RESUMEN

En el mundo actual existen diferentes maneras de realizar estudios de condición de los activos que involucran el proceso productivo; entre ellas, la más básica y elemental de estudios de ingeniería, radica en las pruebas de eficiencia. Estas proveen una idea de la condición del activo al realizar estudios puntuales o de tendencia; esto para determinar o no posteriormente acciones de mantenimiento y operaciones. En este documento se plantea el procedimiento aplicado a un activo ubicado en una planta de inyección de agua, mediante la norma ASME PTC 10. El objetivo para esta prueba fue describir el incremento en la eficiencia asociada a compresor axial de una turbina a gas bajo condiciones normales de operación, tomando en cuentas las diferentes condiciones presentadas durante este estudio..

## NOMENCLATURA

	<i>Descripción</i>	<i>Unidades</i>
$f$	Factor de Schultz	
$h_{2is e}$	Entalpia de Descarga isentrópica	
$n$	Coefficiente Isentrópico	
$n$	Coefficiente Politrópico	
$H$	Constante de gravedad	$Kj/Kg$
$H$	Cabezal Politropico	$Kj/Kg$
$h_1$	Entalpia a condiciones de entrada	$Kj/Kg$
$h_2$	Entalpia a condiciones de descarga	$Kj/Kg$
$h'_2$	Entalpia a condiciones de descarga isentrópica	$Kj/Kg$

## INTRODUCCIÓN

En organizaciones proyectadas a las mejoras continuas en aras de crecimiento, es necesario establecer estrategias de operaciones y mantenimiento, siendo la medición de tendencias y evaluaciones las más comunes para realizar comparaciones con las metas de la organización.

Las pruebas de eficiencia son indicadores tanto de ajustes como de condición de los activos que integran nuestro proceso productivo. Durante este artículo revisaremos algunas nociones básicas, así como el proceso para la obtención de eficiencia aplicado para el compresor axial de una turbina a gas de una planta de inyección de agua mediante procedimiento propuesto en la norma PTC 10, el objetivo es demostrar la porción de eficiencia recuperada por factores de ensuciamiento al realizar lavado de esta sección de la turbina a gas.

## EQUIPO Y CONDICIONES ACTUALES

La planta tiene como función principal inyectar de 600 - 842 mil barriles de agua al día (MBPD) a una presión comprendida entre 3800 – 4300 PSIG. El proceso consiste en cuatro (04) turbo-bombas y 2 moto-bombas centrífugas multietapas, todas en paralelo, de las cuales una (01) bomba es de respaldo operacional, con capacidad de manejo de 142 MBPD por unidad, las cuales elevan la presión de 200 – 230 Psig de 3800 – 4300 Psig; las turbinas que accionan a cuatro (04) bombas son a gas y los motores accionan al resto de las bombas (02) son eléctricos.

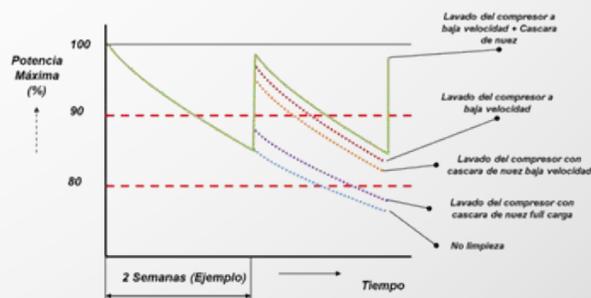
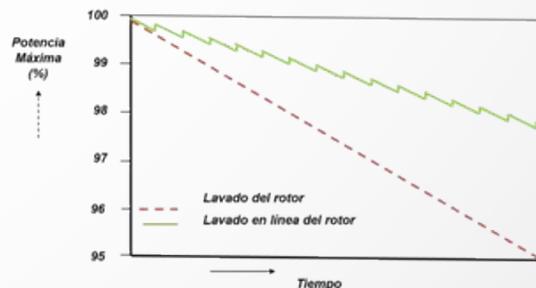
Durante este estudio la condición de la turbina a gas era la siguiente:

<b>Unidad 3</b>	38 mil horas de operación desde último mantenimiento
-----------------	--

## ADQUISICIÓN DE DATOS

La recopilación de información necesaria para la realización de los cálculos fue obtenida directamente de dos (02) fuentes; la primera provino de la instrumentación en campo o instrumentos locales; la segunda del sistema de control de operaciones o panel de operaciones, tomando en cuenta que la estructura de instrumentación que provee la norma ASME PTC referido a la localización de estos puntos de medición y haciendo énfasis en la necesidad de ajustes y calibración de estos; siendo necesario referirse a la norma ASME PTC 19.

La realización de lavados solo permitirá recuperar la porción de eficiencia asociada al ensuciamiento de tal manera como se describe en la figura N° 1; esto debido a factores de modificación descritos por el fabricante. La figura N° 2 describe que la metodología empleada y el tipo de detergente aplicado también influenciaran en la efectividad de los resultados. Debido a que la prueba es susceptible a la variación de las condiciones ambientales, y a factores de modificación de comportamiento y desempeño, se estableció que las pruebas debían realizarse bajo condiciones que garantizan la integridad y repetitividad de los resultados.



## METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

La metodología de análisis, referida a la norma ASME PTC 8.2 es muy específica sobre las variables necesarias para llevar a cabo el estudio; siendo el cálculo poco complejo y de rápida visualización. Para esto es necesaria la determinación de los siguientes parámetros:

### Calculo de Factor de Schultz

$$f = \frac{h_{2ise} - h_1}{\frac{n_{ise} - 1}{n_{ise}} * (P_2 U_{2ise} - P_1 U_1)} \quad (01)$$

### Cálculo Coeficiente Isentrópico

$$n_{ise} = \frac{\log\left(\frac{P_2}{P_1}\right)}{\log\left(\frac{U_1}{U'_2}\right)} \quad (02)$$

### Cálculo del Cabezal Isentrópico

$$H_{ise} = \left(\frac{n_{ise}}{n_{ise} - 1}\right) * f * P_1 * U_1 * \left(\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n_{ise} - 1}{n_{ise}}} - 1\right) \quad (03)$$

### Cálculo de Coeficiente Politrópico

$$n_{pol} = \frac{\log\left(\frac{P_2}{P_1}\right)}{\log\left(\frac{U_1}{U_2}\right)} \quad (04)$$

### Calculo de Cabezal Politrópico

$$H_{pol} = f * (P_2 U_2 - P_1 U_1) \quad (05)$$

### Calculo Isentrópica

$$\eta_{ise} = \frac{H_{ise}}{h'_2 - h_1} \quad (06)$$

### Calculo Isentrópica

$$\eta_{pol} = \frac{H_{pol}}{h_2 - h_1} \quad (07)$$

## RESULTADOS

Durante la prueba se evidenció para ambos escenarios politrópico e isentrópico el incremento en la eficiencia del compresor axial luego del lavado, la misma fue cercana al 10%, para condiciones de operación similares; también cabe destacar que la diferencia entre los métodos politrópicos e isentrópicos fue relativamente cercana por lo que la utilización de un método dependerá del analista.

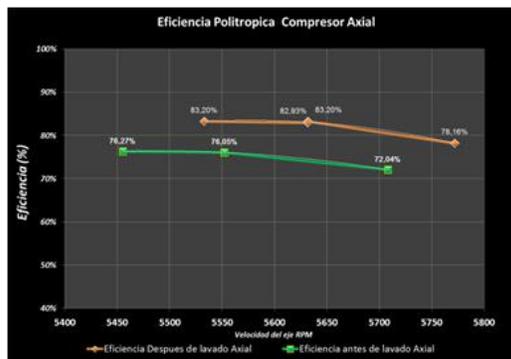


Figura N° 3. Eficiencias Politrópicas

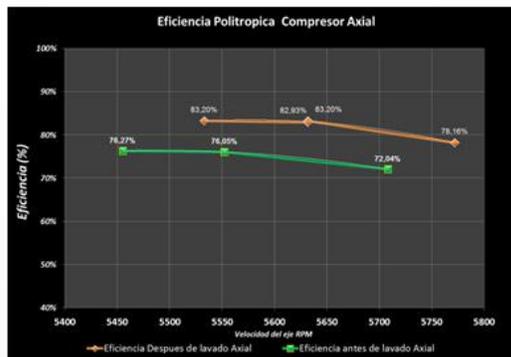


Figura N° 4. Eficiencias Isentrópicas

## CONCLUSIONES

El incremento del 10% en la eficiencia del compresor axial, significa que del trabajo aportado por la turbina de potencia se verá reducido para la realización del trabajo que conlleva al desarrollo del cabezal y por ende de la eficiencia del ciclo.

Si son establecidas tendencias del comportamiento de la unidad se pueden establecer intervalos oportunos para la ejecución de lavado en línea del compresor axial. Estos intervalos permitirán la recuperación de la eficiencia perdida a causa de factores de ensuciamiento del rotor, transformándose en la disminución de costos por preservación del activo y consumo de valor energético.

Los lavados axiales solo permiten la recuperación de la porción de eficiencia perdida asociada al ensuciamiento del rotor, por lo que la ejecución de estos influye en la tendencia de los coeficientes de degradación alternos característicos de la unidad establecidos por el fabricante.

La efectividad de la ejecución de los lavados en línea dependerá de la velocidad del rotor y detergentes empleados, por lo que no se garantiza la misma efectividad en diferentes escenarios de aplicación.

## REFERENCIAS

- I. PTC 10, 1997, "Centrifugal Pumps", American Society of Mechanical Engineers, USA.
- II. PTC 19.1, 1998, "Test Uncertainty", American Society of Mechanical Engineers, USA.
- III. PTC 19.2, 1987, "Pressure Measurement", American Society of Mechanical Engineers, USA.
- IV. López E., Aboites F., Jáuregui J., 2009 "Evaluación de Desempeño de turbinas a gas, Compresores centrífugos y bombas centrífugas de estaciones de Gas natural y LPG", Mexico
- V. Girdha P., 2008 "Performance Evaluation of Pumps and Compressors", LULU.
- VI. Stalder J., 2001 "Gas Turbine Compressor Washing State of the Art: Field Experiences1", ASME.

AUTOR:

**Ing. Luigi Anthony Rondón**  
Luigi.Rondon@eymsolutions.com



**PREDICTIVA21**

[www.predictiva21.com](http://www.predictiva21.com)

---

● ANUNCIA CON NOSOTROS