

# PREDICTIVA 21



CMMS /EAM. 100% MÓVIL  
FÁCIL DE USAR Y RÁPIDO  
DE IMPLEMENTAR.



—  
**Optimice la gestión  
de mantenimiento  
para que todo  
funcione.**

[www.consuman.com](http://www.consuman.com)  
[ventas@consuman.com](mailto:ventas@consuman.com)

# Índice

- 6** **La asombrosa biodiversidad de entes que hacen vida en nuestra compleja Biosfera del Mundo del Mantenimiento, la Confiabilidad y la Gestión de Activos**  
Enrique González
- 16** **¿Por qué el machine learning por sí solo no es suficiente?**  
Ana Catalina Villalobos
- 19** **Lo que esconde el contaje de partículas en aceites**  
Jorge Alarcon
- 24** **Diagnóstico del sistema de gestión de activos, bajo los requisitos de la norma ISO 55001, en el sector salud, hospitales públicos**  
Alexis Lárez Alcázar
- 30** **Aprende a calcular la rotación de inventario de refacciones críticas de tu almacén de mantenimiento en tu empresa**  
Marcelo Reyes
- 34** **La orden de trabajo**  
José Contreras Márquez
- 38** **Cálculo para recuperación de nivel de aditivos**  
José Páramo
- 41** **Detergencia en los aceites lubricantes de motores de combustión**  
Carlos Vladimir Beltrán Valero
- 47** **Investigación de fallas, reparación y remedio operativo mínimo. Bomba de alto rendimiento**  
Luis Infante & Rodolfo Alvarado
- 54** **Introducción al análisis de fallas múltiples**  
Arquímedes José Ferrera Martínez

# Editorial



**Enrique González**

Editor y CEO de Predictiva21

## La asombrosa biodiversidad de entes que hacen vida en nuestra compleja Biosfera del Mundo del Mantenimiento, la Confiabilidad y la Gestión de Activos

Es sorprendente, y grato a la vez, observar la gran cantidad y variedad de entes (grupos, comités, asociaciones, organizaciones y colegios de profesionales, entre otros) que hacen vida y coexisten de manera armónica en nuestra compleja biosfera del mundo del mantenimiento, la confiabilidad y la gestión de activos. En esencia, son agrupaciones de personas físicas o jurídicas, generalmente sin fines de lucro, reguladas por un conjunto de normas, que están unidas por su afinidad e interés y que fomentan la integración de los sectores profesional, académico, público y privado, a fin de contribuir con el desarrollo socioeconómico sustentable de cada uno de los países y regiones en los cuales operan.

Nuestra América, un vivo ejemplo de ello, alberga desde hace ya más de 35 años un importante número de organismos dedicados específicamente al mundo del mantenimiento, la confiabilidad y la gestión de activos, con una intensa actividad local e internacionalmente. Todos, en conjunto, contribuyen con invaluable aportes, historias y experiencias que están forjando nuestra identidad y cultura en el mundo del mantenimiento.

Dado el importante rol que estas organizaciones cumplen en nuestras sociedades y profesiones, iniciaremos con este número un ciclo dedicado a ellas, destacando su gestión, logros realizados, planes futuros y anécdotas que forman parte de su historia.

En esta Edición 35 les traemos un corto reportaje, introductorio, sobre las organizaciones que hacen vida en nuestra región. Nuestros articulistas invitados nos traen además temas diversos, relacionados con el machine learning, la importancia de los análisis de aceite y la tribología en el mantenimiento predictivo y preventivo, técnicas orientadas al análisis asertivo de las fallas, la gestión adecuada de ordenes de trabajo, gestión óptima de inventarios y el diagnóstico del sistema de gestión de activos en el sector salud bajo los requisitos de la norma ISO 55000. Cada tema con su valor agregado.

Desde Predictiva21 damos, como es costumbre, un agradecimiento muy especial a todos los profesionales y articulistas que han hecho posible que esta revista salga y llegue a todos Ustedes, como un aporte a la difusión del conocimiento. Esperamos la disfruten.

### DIRECTORIO

**Enrique Javier  
González Henríquez**  
Director ejecutivo y Editor  
enrique.gonzalez@predictiva21.com

**Andrés Enrique  
González Giraldo**  
Director de Finanzas  
andres.gonzalez@predictiva21.com

**Alejandro José  
Godoy Rodríguez**  
Director de Marketing  
alejandrogodoy@predictiva21.com

**Carlos José  
Villegas Álvarez**  
Director de Operaciones  
carlos.villegas@predictiva21.com

SDT Training es nuestra plataforma online de entrenamiento en confiabilidad dedicada a enseñar y a empoderar a los ingenieros de confiabilidad a través de nuestros cursos, webinaris gratis, artículos, y comentarios en blogs.

**Esenciales de Ultrasonido™ 1** es un curso de 25 módulos llenos de información y recomendaciones útiles para cualquier nivel de técnico de monitoreo de condición; pero particularmente útil para aquellos comenzando su jornada en la confiabilidad

### Quien Deben Tomar Esenciales de Ultrasonido™

- \* Gerentes de Planta
- \* Supervisores de Turno
- \* Inspectores de Ultrasonido
- \* Planeadores de Mantenimiento
- \* Lideres de Confiabilidad
- \* Técnicos de Monitoreo de Condición
- \* Técnicos
- \* Mecánicos
- \* Electricistas
- \* Operadores



Haga clic abajo en el link para registrarse y aprender mas. Utilice el codigo **Predictiva21** para el 50% de descuento en **Esenciales Ultrasonido™ 1!**



Ultrasound  
Solutions

escuchar mas



[ver en sitio web](#)



Fundamentos Técnicos de Tribología y Lubricación

06 FEB - 27 FEB 16 horas  
Joaquín Santos

~~\$264.00~~ \$185.00 USD



Sistemas de Indicadores (KPI) para Evaluar la Gestión del Mantenimiento

08 FEB - 17 FEB 16 horas  
José Contreras

~~\$264.00~~ \$185.00 USD



Taller de Análisis de Criticidad (Detección de Oportunidades)

18 FEB - 24 FEB 12 horas  
Tibaldo Díaz

~~\$198.00~~ \$138.00 USD



Auto Evaluación de Mantenimiento

01 MAR - 05 MAR 10 horas  
Lourival Tavares

~~\$100.00~~ \$70.00 USD



Análisis de Costo de Ciclo de Vida LCC

06 MAR - 27 MAR 16 horas  
Edgar Fuenmayor

~~\$264.00~~ \$185.00 USD



Gestión y Optimización de Inventarios para Mantenimiento

08 MAR - 17 MAR 16 horas  
José Contreras

~~\$264.00~~ \$185.00 USD



Generación de Planes Óptimos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM

22 MAR - 02 ABR 20 horas  
Tibaldo Díaz

~~\$330.00~~ \$231.00 USD



Planificación, Programación y Costos de Mantenimiento

05 ABRIL - 14 ABRIL 16 horas  
José Contreras

~~\$264.00~~ \$185.00 USD



Análisis de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad (RAM)

10 ABR - 24 ABR 16 horas  
Enrique González

~~\$198.00~~ \$138.00 USD



Técnicas de Análisis de Fallas y Solución de Problemas a través del Análisis de Causa Raíz RCA

19 ABR - 30 ABR 20 horas  
Tibaldo Díaz

~~\$330.00~~ \$231.00 USD



Mantenimiento Productivo Total (TPM)

03 MAY - 07 MAY 12.5 horas  
Lourival Tavares

~~\$100.00~~ \$70.00 USD



Introducción a la Confiabilidad Operacional

08 MAY - 22 MAY 12 horas  
Joaquín Santos

~~\$198.00~~ \$138.00 USD



Mantenimiento por Condición para Equipos Estáticos y Dinámicos (Mantenimiento Predictivo)

24 MAY - 04 JUN 20 horas  
Tibaldo Díaz

~~\$330.00~~ \$231.00 USD



Mantenibilidad y su soporte a la Confiabilidad Operacional

05 JUN - 26 JUN 16 horas  
Joaquín Santos

~~\$264.00~~ \$185.00 USD



Análisis de Vibración Nivel I

21 JUN - 02 JUL 20 horas  
Tibaldo Díaz

~~\$330.00~~ \$231.00 USD



Aplicación de la Norma ISO 14224 en sistemas CMMS para gestión de Activos

19 JUL - 23 JUL 12 horas  
Tibaldo Díaz

~~\$198.00~~ \$138.00 USD

# La asombrosa biodiversidad de entes que hacen vida en nuestra compleja Biosfera del mundo del Mantenimiento, la Confiabilidad y la Gestión de Activos



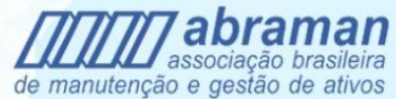
**Enrique González**

Fundador, CEO y Editor de Predictiva21  
enrique.gonzalez@predictiva21.com

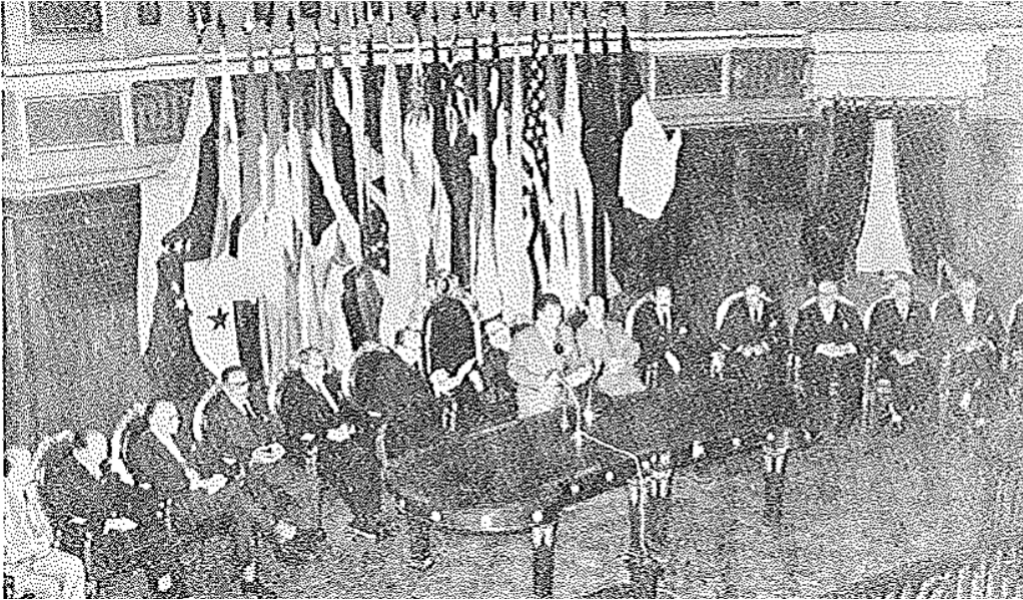




Por: Enrique Gonzalez







Instalación del 1er Directorio de la UPADI, Uruguay (1951) [Caviglia, 1974]

Es sorprendente, y grato a la vez, observar la gran cantidad y variedad de entes (grupos, comités, asociaciones, organizaciones y colegios de profesionales, entre otros) que hacen vida y coexisten de manera armónica en nuestra compleja biosfera del mundo del mantenimiento, la confiabilidad y la gestión de activos. En esencia, son agrupaciones de personas físicas o jurídicas, generalmente sin fines de lucro, reguladas por un conjunto de normas, que están unidas por su afinidad e interés y que fomentan la integración de los sectores profesional, académico, público y privado, a fin de contribuir con el desarrollo socioeconómico sustentable de cada uno de los países y regiones en los cuales operan.

Existe la sospecha, altamente probable, de que la tendencia a asociarse en grupos regulados por algún código exista desde que el ser humano comenzó a convivir y ejercer funciones específicas dentro de su comunidad. Hay registros de ello entre los constructores de obras de gran envergadura en antiguas civilizaciones (Egipto, China, India, Persia, la Antigua Roma y los imperios Azteca e Inca, sólo por nombrar algunas).

En el ámbito de nuestra América, y más específicamente en el campo profesional, la

agrupación gremial más antigua de la cual se tiene referencia es el Ilustre y Nacional Colegio de Abogados de México, fundado en 1760. Pero no es sino hasta el año de 1852 cuando se funda en los Estados Unidos de Norteamérica el primer colegio profesional de ingenieros, la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (American Society of Civil Engineers), conocida como ASCE, la cual estaba integrada y representada por ingenieros civiles de varias partes del mundo.

Desde entonces, se fundaron sociedades y asociaciones de ingenieros con fines similares en varios países de América, y es a partir de 1935 que se logra congregar a varias de estas asociaciones regionales con la fundación en Argentina de la Unión Sudamericana de Asociaciones de Ingenieros (USAI), que posteriormente, en 1949, se transformó en la actual Unión Panamericana de Asociaciones de Ingenieros (UPADI), de carácter internacional, civil, no lucrativa, integrando 16 asociaciones de ingenieros de países panamericanos con sede original en la ciudad de Río de Janeiro, Brasil [Caviglia, 1974].

# UPADI y COPIMAN

UPADI reúne, hoy en día, 32 organizaciones miembros pertenecientes a 28 países, distribuidos en cinco (5) regiones. Participan además tres (3) organizaciones de países europeos en calidad de observadores.

Países y organizaciones integrantes de UPADI

[Fuente: <http://copiman.org>]

Área	Países	Nro. Países	Nro. de Organiz.	Calidad
Norte	Canadá, Estados Unidos y México	3	3	Miembros
Central	Belice, Costa Rica, El Salvador (2), Guatemala, Honduras, Nicaragua (2) y Panamá.	7	9	Miembros
Caribe	Aruba, Cuba, Haití, Jamaica, Puerto Rico, República Dominicana y Trinidad & Tobago	8	8	Miembros
Bolivariana	Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú (2) y Venezuela.	5	6	Miembros
Sur	Argentina, Brasil (2), Chile, Paraguay y Uruguay	5	6	Miembros
Europa	España, Italia y Portugal	3	3	Observadores
<b>Total</b>		<b>Miembros 28</b>	<b>32</b>	<b>Calidad</b>
		<b>Observadores 3</b>	<b>3</b>	<b>Calidad</b>

En 1986, finalizada la XIX Convención de UPADI en Guatemala, se aprobó la conformación del Comité Panamericano de Ingeniería de Mantenimiento (COPIMAN), cuya primera sede estuvo en Venezuela presidida por Francisco Díaz Lovera, pasando luego por las presidencias de Lourival Augusto Tavares (Brasil), Santiago Sotuyo Blanco (Uruguay) y Julio Carvajal Brenes (Costa Rica), hasta llegar a la actual presidencia ejercida por Gerardo Trujillo (México).

COPIMAN está integrada por Delegados Nacionales de los diferentes países que integran UPADI, los cuales son profesionales con conocimiento y experiencia en ingeniería de mantenimiento, confiabilidad y gestión de activos que participan de manera voluntariamente y ad honorem. Entre sus principales actividades está la organización de eventos de capacitación y entrenamiento, tales como congresos, simposios, cursos, talleres, mesas redondas, pasantías y publicaciones en revistas especializadas, que contribuyen a elevar el nivel de conocimiento y crecimiento de los profesionales de cada país en el área de la ingeniería de mantenimiento y afines.

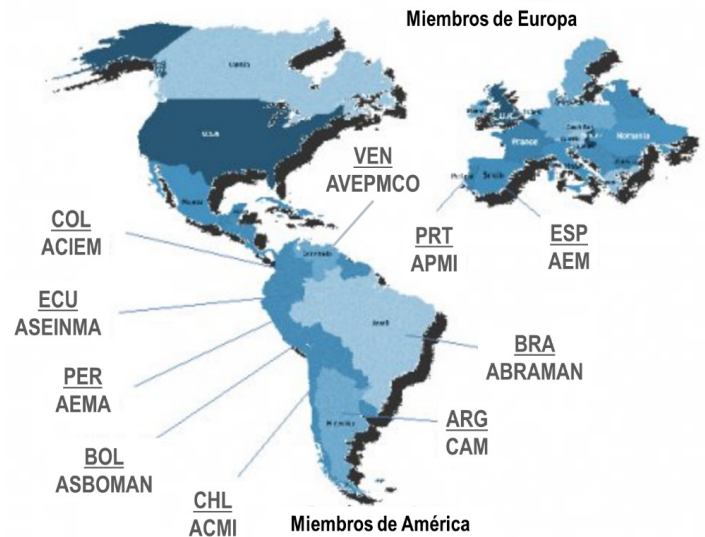


Países con delegados nacionales al COPIMAN [Muñoz, 2016]

# FIM

Otra de las instituciones que hace vida en nuestra región es la Federación Iberoamericana de Mantenimiento (FIM), creada en 1990 en Brasil, la cual está integrada por ocho (8) Asociaciones de Mantenimiento pertenecientes a países del continente americano (ABRAMAN de Brasil, ACIEM de Colombia, ACMI de Chile, AEMA de Perú, ASBOMAN de Bolivia, ASEINMA de Ecuador, AVEPMCO de Venezuela y CAM de Argentina) y dos (2) Asociaciones de Mantenimiento pertenecientes a países del continente europeo (AEM de España y APMI de Portugal). La FIM coordina diferentes actividades con las instituciones de sus países miembro y establece relaciones con otras asociaciones y federaciones del ramo, como la Federación Europea de Asociaciones de Mantenimiento (EFNMS, por sus siglas en inglés), fomentando el estudio y la ejecución de técnicas y prácticas que contribuyen al crecimiento del mantenimiento, la confiabilidad y la gestión de activos en ambos continentes. En sus 31 años de existencia ha organizado y celebrado de manera exitosa 20 congresos, estando programada la celebración del próximo en España para el año 2022.

En el 2015, en el marco del 7º Congreso Mundial de Mantenimiento y Gestión de Activos celebrado en la ciudad de Cartagena de Indias, se reunieron representantes de las Asociaciones de la FIM con representantes de COPIMAN, para acordar la articulación de esfuerzos de cooperación y generar acciones mancomunadas, considerando que ambas instituciones comparten visiones, misiones y objetivos similares.



Organizaciones y países miembro de la FIM [Fuente: <https://www.efnms.eu/alliances/>]

# COPIMERA

La Confederación Panamericana de Ingeniería Mecánica, Eléctrica, Industrial y Ramas Afines (COPIMERA), tiene su origen en el Primer Congreso Panamericano de Ingeniería Mecánica, Eléctrica y de Ramas Afines celebrado en la Ciudad de México en 1965. Es una Confederación sin fines de lucro que busca establecer y fortalecer las redes de profesionales y especialistas relacionados con las diferentes ramas de la ingeniería, mejorar sus comunicaciones, actualizar y compartir conocimientos y experiencias, y fomentar la integración de los sectores profesional, académico, público y privado en busca del desarrollo socioeconómico en cada uno de los países que la integran.

Dada la similitud de funciones, objetivos e intereses entre COPIMERA y UPADI, en el año 2004 se logra la firma de un convenio de colaboración entre ambas para coordinar esfuerzos y la realización de actividades en aras del desarrollo de la ingeniería.



Países miembro de la EFNMS [Fuente: <https://www.efnms.eu>]

# EFNMS

La European Federation of National Maintenance Societies (EFNMS), organización en la que también coexisten la AEM de España y la APMI de Portugal (miembros de la FIM), es considerada como una de las mayores y más activas organizaciones del mundo. Fue fundada en 1970 con los objetivos de:

- Actuar como organismo coordinador de intercambios entre las asociaciones nacionales europeas de mantenimiento,
- Organizar congresos internacionales,
- Promover premios y distinciones a personalidades e instituciones relacionadas con el mantenimiento,
- Iniciar y promover la publicación de trabajos científicos y prácticos en el campo del mantenimiento,
- Promover estudios sobre la especialidad, y en general,
- Fomentar, desarrollar y difundir los sistemas de gestión, técnicas y prácticas en el campo del mantenimiento.

La EFNMS, está integrada por las asociaciones de 24 países del continente europeo: AEM (España), AFIM (Francia), AIMAN (Italia), APMI (Portugal), BEMAS (Bélgica), CSPU (República Checa), DDV (Dinamarca), DOTS (Serbia), DVS (Eslovenia), EVS (Islandia), FMPRO (Suiza), HDO (Croacia), HMS (Grecia), LTPIA (Lituania), MFA (Austria), MIKSZ (Hungría), NFV (Noruega), NVDO (países Bajos), PNTTE (Polonia), PROMAINT (Finlandia), SOROMENT (Rumanía), SSU (Eslovaquia), SvUH (Suecia) y VAIS (Alemania).



# OTRAS ORGANIZACIONES

**En nuestro continente destacan por su intensa actividad, tanto local como internacionalmente, otras tres (3) organizaciones, a saber:**

En nuestro continente destacan por su intensa actividad, tanto local como internacionalmente, otras tres (3) organizaciones, a saber:

La Sociedad de Profesionales de Mantenimiento y Confiabilidad (SMRP, por sus siglas en inglés), con sede en los Estados Unidos de América. Inicia sus actividades en 1992 y en tan sólo 30 años cuenta con más de 7000 miembros distribuidos en 60 países y seis (6) continentes. Su cuerpo del conocimiento y mejores prácticas (BoK), conjuntamente con sus programas de formación y certificación (CMRP, CMRT y CAMA), son, en la opinión de muchos, los de mayor reputación y reconocimiento a nivel mundial. En el año 2020 formalizan la filial SMRP Latam para atender de manera directa a los profesionales latinoamericanos.

La Asociación de Profesionales de Gestión de Activos (AMP, por sus siglas en inglés), con sede en los Estados Unidos de América. Fundada en 2010, ha mostrado un crecimiento y actividad asombrosos en sus 11 años de operación, registrando más de 3800 profesionales certificados (CRL y CMM). Dispone de un programa de formación profesional basado en el marco de referencia de elementos (Uptime®) y en el sistema de gestión de activos. Entre 2020 y 2021 ya cuenta, adicionalmente, con ocho (8) nuevos capítulos con sedes en Argentina, Chile, Colombia, República Dominicana, Ecuador, Guatemala, Panamá y Perú.

La Asociación de Gestión de Activos de Canadá (PEMAC). Fundada en 1990 con el nombre original de “Plant Engineering and Maintenance Association of Canada”, PEMAC cuenta actualmente con más de 1400 miembros. Es mundialmente reconocida por sus prestigiosos programas de educación y certificación profesional en cinco (5) diferentes categorías dentro de las áreas del mantenimiento y la gestión de activos: MMP, CAMP, CTAM, CPAM y CSAM.

Destacan también, por su invaluable labor y contribución, las diferentes Asociaciones Nacionales relacionadas con el mantenimiento, la confiabilidad y la gestión de activos que hacen vida en nuestro continente, las cuales se encuentran listadas en la tabla adjunta.

Asociaciones Nacionales relacionadas con el mantenimiento y la gestión de activos



País	Organización		M & GA		ING	
	Siglas	Nombre	FIM	COPIMAN (*)	UPADI	COPIMERA
Argentina	CAM	<a href="#">Comité Argentino de Mantenimiento</a>	✓	✓	✓	✓
Aruba					✓	
Belice					✓	✓
Bolivia	ASBOMAN	<a href="#">Asociación Boliviana de Mantenimiento</a>	✓	✓	✓	✓
Brasil	ABRAMAN	<a href="#">Assoc. Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos</a>	✓	✓	✓	✓
Canadá	PEMAC	<a href="#">Asset Management Association of Canada</a>			✓	✓
Chile	ACMI	<a href="#">Asociación Chilena de Mantenimiento Industrial</a>	✓	✓	✓	✓
Colombia	ACIEM	<a href="#">Asociación Colombiana de Ingenieros</a>	✓	✓	✓	✓
Costa Rica	ACIMA	<a href="#">Asociación Costarricense de Ingeniería de Mantenimiento</a>		✓	✓	✓
Cuba				✓	✓	✓
Dominica						
Ecuador	ASEINMA	<a href="#">Asoc. Ecuatoriana de Ingeniería de Mantenimiento</a>	✓	✓	✓	✓
El Salvador					✓	✓
Estados Unidos	SMRP	<a href="#">Soc. for Maintenance and Reliability Professionals</a>		✓	✓	✓
	AMP	<a href="#">Assoc. of Asset Management Professionals</a>				
Haití					✓	✓
Guatemala				✓	✓	✓
Honduras				✓	✓	✓
Jamaica					✓	
México	AMGA	<a href="#">Asoc. Mexicana de Profesionales en Gestión de Activos</a>		✓	✓	✓
Nicaragua					✓	✓
Panamá				✓	✓	✓
Paraguay				✓	✓	✓
Perú	AEMA	<a href="#">Asoc. Peruana de Mantenimiento y Gestión de Activos</a>	✓		✓	
	IPEMAN	<a href="#">Instituto Peruano de Mantenimiento</a>		✓		✓
Puerto Rico				✓	✓	✓
Republica Dominicana					✓	✓
Trinidad y Tobago					✓	✓
Uruguay	URUMAN	<a href="#">Soc. Uruguaya de Mant., Gestión de Activos y Conf.</a>		✓	✓	✓
Venezuela	AVEPMCO	<a href="#">Asoc. Venezolana de Profes. del Mant. y Conf.</a>	✓		✓	✓
España	AEM	<a href="#">Asociación Española de Mantenimiento</a>	✓	0	0	
Portugal	APMI	<a href="#">Associação Portuguesa de Manutenção Industrial</a>	✓		0	
Italia	AIMAN	<a href="#">Associazione Italiana Manutenzione</a>		0	0	

- O:** Observador
- (\*):** Delegados participantes en la directiva del período 2017-2021
- M & GA:** Asociaciones de Mantenimiento y Gestión de Activos
- ING:** Asociaciones de Ingenieros

Dado el importante rol que estas organizaciones cumplen en nuestras sociedades y profesiones, dedicaremos a cada una de ellas, en ediciones posteriores, un espacio más detallado, destacando la gestión y logros realizados, los planes futuros y las anécdotas que forman parte de su historia.

## Referencias

Caviglia, Jorge (1974).- Historia de UPADI. Centro de Información CFIA, Costa Rica.

Muñoz Arce, Boris (2016).- COPIMAN – ASBOMAN – FIM. Presentación.

# ENETOR

## ENERGY ENGINEERING SIMULATORS

ENETOR, es una empresa de tecnología enfocada en el desarrollo de simuladores de ingeniería para la industria energética.

Somos una empresa centrada en el cliente, donde el conocer sus problemas para ofrecer soluciones ajustadas a sus necesidades son nuestra prioridad.


Nuestra visión es ser el simulador de ingeniería en línea más confiable del mundo para todo tipo de proyectos.

Para usar nuestros simuladores contáctanos por el correo electrónico [inf@enator.com](mailto:inf@enator.com) o suscríbete gratis en nuestra página [www.enator.com](http://www.enator.com)

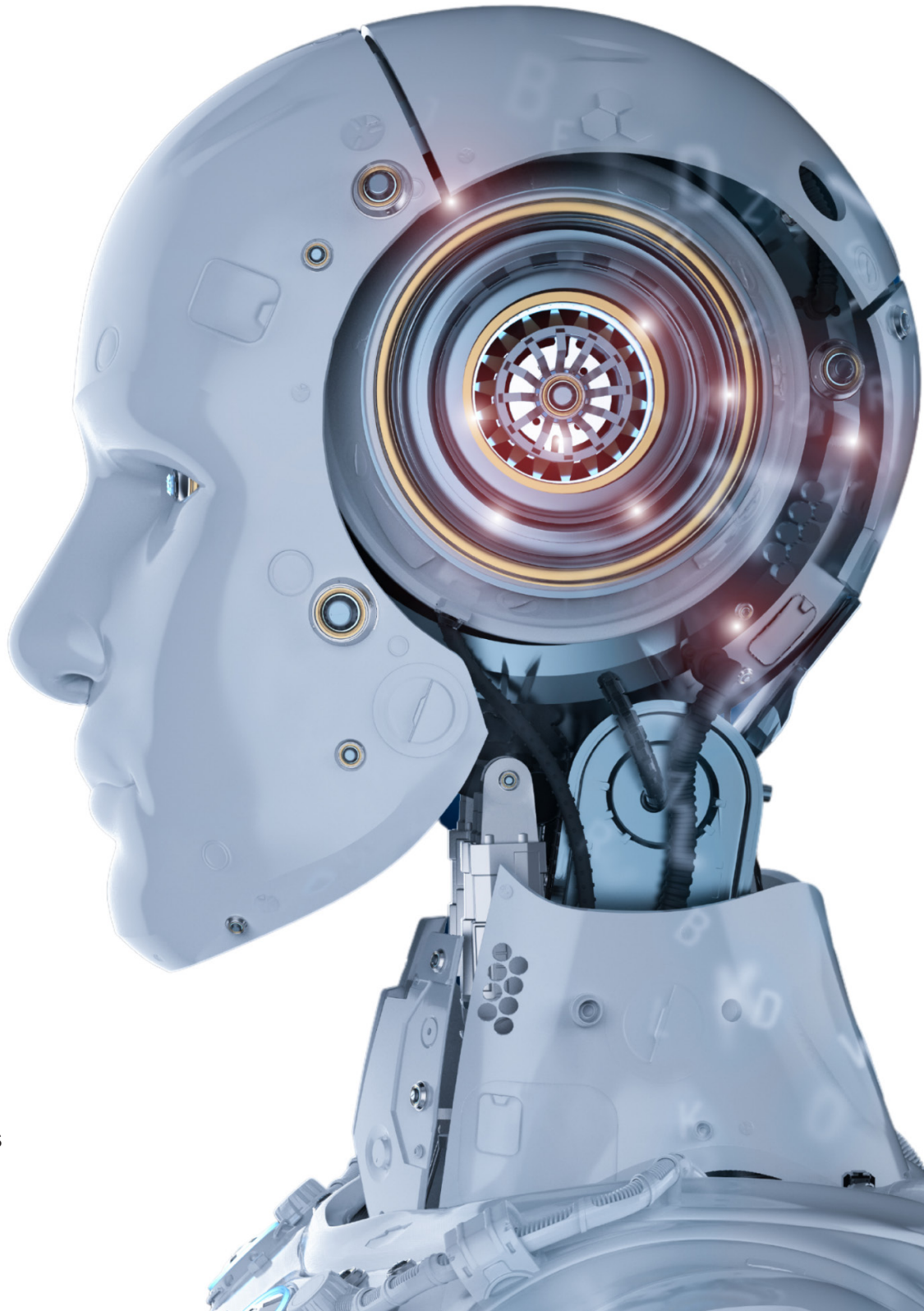


# ¿Por qué el Machine Learning por sí solo no es suficiente?



**Ana Catalina Villalobos**   
Analista de datos en Fracttal  
catalina.villalobos@fracttal.com

En la actualidad, muchos rubros e industrias están centrando esfuerzos y recursos en incorporar Inteligencia Artificial y Machine Learning en sus procesos productivos. Estos términos están en boga y parecen llamar la atención de todo el mundo, pero ¿entendemos realmente bien sus ventajas y limitaciones?





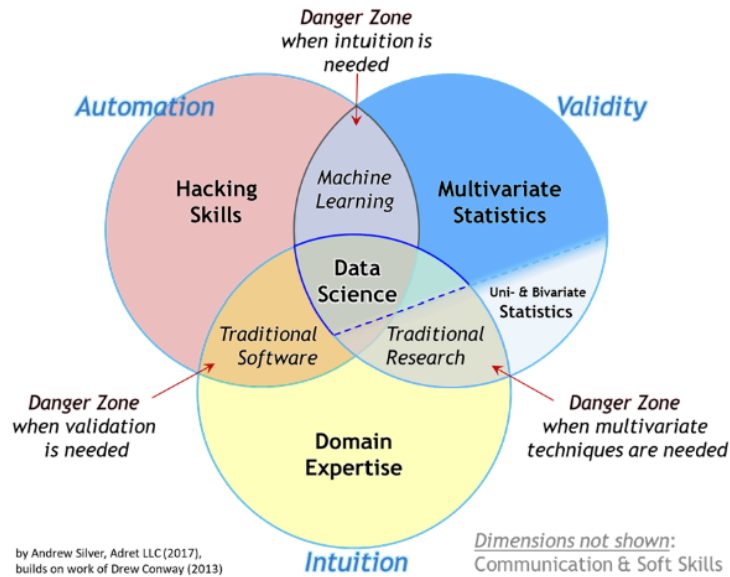


Diagrama de Venn de la esencial Ciencia de Datos.  
Fuente: Hacia la ciencia de los datos (Andrew Silver)

El concepto de aprendizaje automático (**también conocido como aprendizaje de máquinas o Machine Learning**) hace referencia a la idea de que las máquinas pueden “aprender”, a partir de datos de entrenamiento, a realizar tareas que usualmente son hechas por humanos, como por ejemplo reconocer patrones o clasificar objetos en diferentes categorías. Por otro lado, la Inteligencia Artificial es un concepto más amplio, que apela a que las máquinas son capaces de realizar tareas **“de manera inteligente”**. Es decir, el aprendizaje de máquinas es una de las aplicaciones de la inteligencia artificial.

El Machine Learning tiene dos núcleos fundamentales: por un lado, están la programación y capacidad computacional; y por otro, el análisis matemático y estadístico. El trabajo conjunto de estos dos frentes hace que el aprendizaje automático funcione de buena manera, y si uno de estos frentes falla, los algoritmos de ML no funcionarán apropiadamente.

Las ventajas de aplicar Machine Learning son evidentes, ya que permite automatizar tareas que muchas veces

son tediosas y también aumenta la eficiencia, ya que un computador tiene una velocidad de cálculo muy superior a la de un ser humano.

Sin embargo, implementar Machine Learning por sí solo muchas veces no es suficiente, sobre todo cuando se trata de tareas de gran complejidad, ya que las máquinas carecen de la intuición y experiencia que puede tener un profesional competente en el área de trabajo. Aquí es donde entra el concepto de Data Science o ciencia de datos.

La ciencia de datos es un campo interdisciplinario, que involucra diferentes áreas del conocimiento y la tecnología para extraer conocimiento o mejorar el entendimiento de los datos de los que disponemos. La ciencia de datos tiene tres pilares fundamentales: programación computacional, análisis estadístico y especialización sectorial. Como se puede observar, los dos primeros corresponden a los núcleos del Machine Learning mencionados anteriormente; de hecho, es muy común que cuando se habla de ciencia de datos se presente un diagrama de Venn con sus tres pilares (cuyos

nombres pueden variar según el autor, pero la idea se mantiene), y se ubique al ML en la intersección entre los dos primeros.

Pero la ciencia de datos agrega una nueva dimensión: la especialización sectorial. Esto se refiere al conocimiento que tienen las personas sobre el área en la que trabajan, y es fundamental cuando se quiere aplicar ML en cualquier industria, ya sea en economía, salud, o incluso en el mantenimiento. Es necesario que las personas que diseñen e implementen los algoritmos de Machine Learning tengan conocimiento del área en el que los quieran utilizar, para saber qué datos son relevantes para alimentar los modelos, qué algoritmos son los más apropiados para modelar lo que se requiere entender, y también saber qué resultados esperar de estos algoritmos, para poder discernir si su aplicación está funcionando correctamente o no.



# ¿Estás preparado para predecir el futuro de tus activos?


Con Predictto sabrás el momento exacto en el que tus activos podrían fallar. Gracias al Machine Learning, el IoT y la estadística avanzada, podrás conocer insights específicos sobre tus activos, los que te guiarán para planificar un mantenimiento aún más eficiente, siempre junto a todo el poder de Fractal.



¡Inscríbete y participa en el lanzamiento Predictto!

**Fecha:** 15 de abril de 2021

**Hora:** 17 h Chile | Brasil 18 h | Colombia 16 h | México 16 h

 Vía Zoom

Un producto de  **fractal**

Más información en:

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

 [fractal](#)

 [fractal](#)

 [fractal](#)

 [fracttalapp](#)

 [fractal](#)

# Oil Condition Monitoring



**Jorge Alarcon**

Global Technical Manager, OCM  
jorge.alarcon@bureauveritas.com



## Lo que esconde el contaje de partículas en aceites

El Hombre que Calculaba de Malba Taham es uno de esos libros de infancia que me cautivó por completo y lo llevo siempre conmigo en el recuerdo. Entre otras cosas, cuenta una historia de un hombre que contaba todo, piedras, estrellas ovejitas y a saber que más. Por alguna razón contar cosas es un don para algunos y una enfermedad para otros, contar es parte integral de nuestra vida, contamos y clasificamos todo aquellos que se pueda y solemos dar una respuesta o sacar una conclusión en base a estas cuentas.

No muy lejos de esta realidad, el análisis de aceite como herramienta de mantenimiento dedica una parte de sus labores también a contar y clasificar. En concreto el contaje de partículas, nunca mejor llamado, lo

que hace es precisamente eso, cuenta! Y ¿qué cuenta? ¡Partículas! Disculpar la redundancia de palabras. Una de las primeras empresas en el mundo en el contaje en aceites fue Diagnostics, hace poco desempolva un manual de uso del equipo, toda una ciencia para aquellos años 80. Posteriormente vendida a Entek, una división de Rockwell Automation en 1997. En los años 90's surgieron otros innovadores que dieron un impulso a la determinación de partículas presentes en fluidos como el aceite, desde métodos como el bloqueo de poro hasta los últimos desarrollos con la aplicación de un haz de luz (de laser) que determina con mucho mayor precisión la presencia de partículas.



Si bien contar las partículas en el aceite podría parecer un tema relativamente sencillo, existe una confusión muy grande en cuanto a los métodos, la clasificación y la cuantificación de los mismos. Es muy habitual ver hoy en día, a pesar de la accesibilidad a la información en internet, gestores de mantenimiento que piden al laboratorio la prueba de contaje en base a la ISO 4406, cuando esta norma no es la de medición sino la que sirve para reportar el contaje leído por diferentes metodologías. El problema en este caso surge cuando se compara el bloqueo de poro y la medición por láser ambos reportados en base a la ISO 4406, dos test que por sus características intrínsecas no pueden compararse uno con otro. Veamos paso a paso las principales características del contaje de partículas.

## Lo que se debe tomar en cuenta

No todos los métodos son iguales y varían en función del tipo de tecnología, el equipo y el aceite entre otros. La tabla siguiente muestra los métodos aplicados hoy en día, preste atención a las palabras resaltadas.

**Tabla 1.** Métodos de Cuantificación

NORMA	NOMBRE
ASTM D7647 – 10	Standard Test Method for Automatic Particle Counting of Lubricating and Hydraulic Fluids Using <b>Dilution Techniques</b> to Eliminate the Contribution of Water and Interfering Soft Particles by Light Extinction
ASTM D7596 – 10	Standard Test Method for Automatic Particle Counting and Particle Shape Classification of Oils Using a <b>Direct Imaging</b> Integrated Tester
ASTM D6786 – 08	Standard Test Method for Particle Count in Mineral Insulating Oil Using <b>Automatic Optical</b> Particle Counters
ISO 4405 – 91	Hydraulic fluid power. Fluid contamination. Determination of particulate contamination by the <b>gravimetric method</b>
ISO 4407 – 02	Hydraulic fluid power. Fluid contamination. Determination of particulate contamination by the counting method using an <b>optical microscope</b>
ISO 5884 – 87	Aerospace. Fluid systems and components. Methods for <b>system sampling and measuring</b> the solid particle contamination of hydraulic fluids
ISO 11500 – 08	Hydraulic fluid power -- Determination of the particulate contamination level of a liquid sample by automatic particle counting using the <b>light-extinction principle</b>
AS598 – 12	Aerospace Microscopic <b>Sizing and Counting</b> of Particulate Contamination for Fluid Power Systems

Necesitaríamos unas cuantas horas y algunas páginas para dar la explicación que cada una de las normas merece y probablemente solo un puñado de personas sería capaz de entender realmente el cómo se cuantifican las partículas en el aceite, con lo que la pregunta para el usuario final que pide este servicio al laboratorio seguiría sin ser respondida, ¿qué norma elijo?, ¿cuál es la más adecuada para el tipo de lubricante con el que trabajo?, ¿aplico la misma norma a los aceites hidráulicos que a los de engranajes? Y ahora la pregunta más controvertida de todas, ¿y si el laboratorio con el que trabajo quiere venderme la norma que a ellos le resulta conveniente?

Vamos ahora con los métodos de clasificación disponibles.

**Tabla 2.** Métodos de clasificación

NORMA	CLASIFICACION
ISO 4406 – 99	Hydraulic fluid power - Method for <b>coding the level</b> of contamination by solid particles”.
ISO 11218 – 93	<b>Cleanliness classification</b> for hydraulic fluids
SAE. AS4059 – 13	Aerospace Fluid Power - <b>Cleanliness Classification</b> for Hydraulic Fluids
NAS1638 (retirada)	<b>Cleanliness requirements</b> of parts used in hydraulic systems

Exactamente las mismas preguntas surgirán al leer la tabla 2, sin

embargo uno de los métodos resaltan a la vista de cualquiera que haya tenido cierto grado de contacto con temas de filtración, contaje, etc. la ISO 4406 del año 99 es la que predomina en este grupo y seguramente sea la que elija, probablemente sin saber a ciencia cierta la razón. Como primera conclusión solamente al ver estas dos tablas, cualquier usuario final deberá incluir en sus solicitudes tanto la norma de clasificación (cómo se reporta) ISO 4406 así como la norma de cuantificación (cómo se mide).

Sin embargo, este tema que al parecer luce tan sencillo no termina aquí, aún queda una tercera parte que conforma este maravilloso mundo del contaje de partículas, los métodos de identificación.

**Tabla 3.** Métodos de identificación

NORMA	IDENTIFICACION
ASTM D7690 – 11	Standard Practice for Microscopic Characterization of Particles from In-Service Lubricants by Analytical Ferrography
ASTM D7670 – 10	Standard Practice for Processing In-service Fluid Samples for Particulate Contamination Analysis Using Membrane Filters
ASTM D7684 – 11	Standard Guide for Microscopic Characterization of Particles from In-Service Lubricants

## Proceso en laboratorio

- Contadores automáticos vs contadores manuales.
- Dilución de la muestra debido a viscosidad, contaminación, color.
- Disolventes como isopropanol, mezclas con tolueno, heptano.
- Producción habitual en laboratorio vs control de calidad.
- Métodos y estándares de calibración.

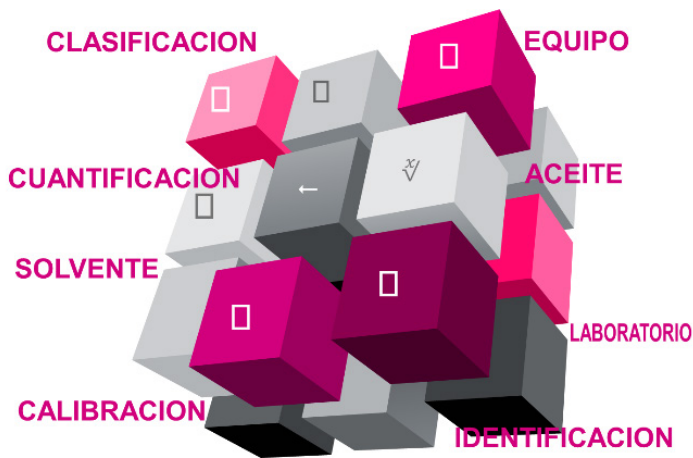


Figura 1. Variables del conteo de partículas

Lo que el usuario final espera obtener al realizar el conteo de partículas en laboratorio suele ser un código como 18/16/13. Como se ha podido observar, este código esconde mucha experiencia y desarrollo por detrás, no es tan simple ni mágico como poner la muestra dentro de un equipo y que el código sea emitido, implica un trabajo precioso muy extenso. Pero tal y como es de suponer, todo esto le atañe al laboratorio, que si dispone de estándares de calidad adecuados, conocimiento de la química del aceite y del tipo de contaminación esperada, será capaz, sin problemas, de sortear todas las barreras y emitir el tan deseado código. Desafortunadamente la situación golpea a muchos y la realidad es que muchos laboratorios carecen de alguna o varias de las variables mencionadas y por consiguiente el usuario final recibe un resultado carente de base analítica.

## En campo, qué podemos esperar

Uno de los principales problemas del conteo de partículas es creer que todo lo que se reporta es, por un lado partículas sólidas y por otro que puedan ser filtrables. Dependiendo de la química del aceite, un porcentaje de las partículas son orgánicas que a temperatura ambiente se encuentran suspendidas en el aceite. Si se aplicable un método adecuado (y solventes) se eliminará éstas al momento de realizar el conteo y no habrá interferencia en la medición. Por otro lado tenemos las burbujas de aire y agua presente en el aceite; muchos contadores (laser entre ellos) miden estas como si fuesen partículas, porque no son capaces de discriminarlas de una partícula sólida. Volvemos otra vez a la calidad analítica del laboratorio, es posible eliminar el agua y debe ser eliminada de la ecuación.

En muchas solicitudes analíticas de aceite se puede observar

una incoherencia técnica, se solicita conteo de partículas y al mismo tiempo se pide la medición del agua por el método de crepitación, con el fin de ahorrar. ¿Se da cuenta de esta incoherencia? Si hay mucha agua el test de agua dará positivo y el de conteo probablemente de N/R, que no se puede reportar debido a la concentración de agua, básicamente que la medición da un resultado similar a 24/24/24 debido a la contaminación con agua. ¿Es un ahorro o una pérdida de tiempo?

Por otro lado, debemos tomar en cuenta que la generación de partículas internas está estrechamente relacionada con la producción de la máquina. Para esto veamos un gráfico comparativo del conteo de partículas y la transmisión de potencia en una multiplicadora.

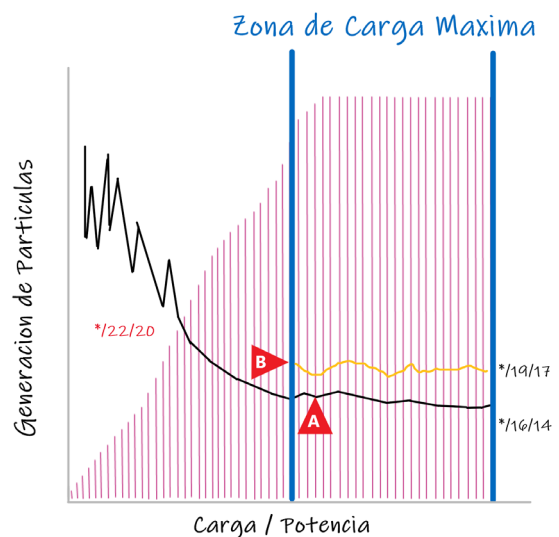


Figura 2. Pruebas de carga y conteo en banco de ensayos

La **curva A** corresponde a una multiplicadora en condiciones normales, es fácilmente apreciable que una vez que se alcanza plena carga la generación interna de partículas se mantiene casi constante. La **curva B** muestra la generación de partículas de la misma multiplicadora inducida a fallo. En este caso la generación de partículas se debe a un proceso de fricción, ocasionado por un defecto provocado, pero demuestra la importancia del conocimiento de dos factores, análisis de laboratorio y conocimiento de campo. En algunos casos, el conteo de partículas tiene una relación directa con los desgastes de la superficie de los componentes. Las partículas de desgaste pueden ser medidas por el contador, por lo que un buen porcentaje (dependiendo de la química del aceite) de la cantidad de partículas en el aceite corresponde con partículas sólidas que pueden ser removidas mediante sistemas de filtración habituales o filtros magnéticos.

## Algo sobre los sensores de partículas

No podemos negar que en algún momento los sensores de aceite, en alguna de sus vertientes, serán parte integral de cualquier sistema lubricado. De momento factores como el precio o falta de aplicabilidad por parte del usuario hacen que estos sistemas no hayan tenido la penetración de mercado deseado (si necesita ampliar este tema puede ver mi post sobre el efecto K en sensores de aceite). En sistemas de generación y transmisión de potencia las experiencias demuestran que los sensores pueden aportar mucho a la gestión de producción inicialmente y en un segundo nivel al mantenimiento, desafortunadamente esto no ocurre y se destinan estos artilugios a temas relacionados con filtración única y exclusivamente, ¿sirven para este fin? Sí, pero su máxima aplicabilidad se orienta a la producción. En algunos casos contar con el dato cada diez minutos no es necesario y más aún cuando se trata de máquinas similares en una misma planta, de momento una muestra puntual de aceite no puede ser sustituida por un sensor debido al espectro de pruebas que se cubre en un laboratorio, pero si se orienta hacia el lado de la operación las ventajas combinadas con el análisis de aceite son muy grandes y se pueden obtener beneficios tanto para el área de producción como para el mantenimiento.

## Conclusiones

Una de las historias más conocidas del libro mencionado al principio es la del tablero de ajedrez. En esta se cuenta que era necesario compensar al sabio del reino pagándole con una cantidad de trigo que se iniciaba con un grano en la primera casilla del tablero y se duplicaba a medida que saltaba a la siguiente. El resultado es, hasta el día de hoy, solo imaginable 263 o 763x109 Toneladas métricas. El año 2015 la producción de trigo a nivel mundial alcanzó 708x106 Toneladas métricas. Como habrá podido comprobar, contar es todo un arte. Ya sea granos de trigo o partículas en el aceite y más allá de esto está la interpretación adecuada de lo que se ha reportado.

El conteo de partículas debe ser visto a través de varios prismas, las partículas no son únicamente de contaminación sólida que puede ser eliminable por medios físicos como la filtración. El conteo debe ser visto también desde el punto de vista operacional, donde la generación de partículas está directamente relacionada con la carga o potencia transmitida, debe ser utilizado como parte de un indicador mucho más amplio.

Recuerde, cada vez que solicite a su laboratorio el conteo debe hacer referencia al método de cuantificación más el de clasificación y si desea identificarlas debe añadir el método de identificación.

# BUREAU VERITAS

## ANÁLISIS DE ACEITE

ANÁLISIS DE ACEITE | ANÁLISIS DE REFRIGERANTE | ANÁLISIS DE COMBUSTIBLE | ANÁLISIS DE GRASAS | ANÁLISIS DE FLUIDOS DE CORTE | ANÁLISIS DE FLUIDOS DE SISTEMAS HVAC | ANÁLISIS DE ACEITE PARA TRANSFORMADORES

La confiabilidad de las máquinas móviles e industriales comienza con un programa continuo de análisis de aceite. La red mundial de laboratorios de última generación de Bureau Veritas proporciona resultados precisos y fiables en los que puede basar su programa de mantenimiento predictivo. Contacte con nosotros.

LOAMS<sup>SM</sup> - Sistema de gestión de análisis de aceite lubricante. Nunca ha sido más fácil para los gestores de equipos y el personal de mantenimiento optimizar la productividad utilizando datos de análisis de aceite usado en tiempo real.

### NUESTROS LABORATORIOS:

Los Angeles, CA  
3401 Jack Northrop Avenue  
Hawthorne, CA 90250  
Tel: +1 800-248-7778

Chicago, IL  
2450 Hassell Road  
Hoffman Estates, IL 60169  
Tel: +1 800-424-0099

Houston, TX  
12715 Royal Drive  
Stafford, TX 77477  
Tel: +1 800-248-7778

Atlanta, GA  
3385 Martin Farm Road  
Suwanee, GA 30024  
Tel: +1 800-241-6315

### CONTACTO:

Jorge Alarcon, Global Technical Manager OCM  
[jorge.alarcon@bureauveritas.com](mailto:jorge.alarcon@bureauveritas.com)  
[www.oil-testing.com](http://www.oil-testing.com)



BUREAU  
VERITAS



# Diagnóstico del Sistema de Gestión de Activos, bajo los requisitos de la norma ISO 55001, en el sector salud, hospitales públicos

## Gestión de activos en el sector público sanitario



**Alexis Lárez Alcázar; CMRP**



Director Grupo Enova / Consultor Senior Gestión de Activos, Mantenimiento y Confiabilidad

Premio Maintenance Manager AEM 2020 / Candidato al EMMA 2021



## Introducción

La actual crisis generada por la pandemia a nivel mundial a puesto a prueba al sector de la salud en cualquier país, tanto pública, como privada, como organizaciones garantes de un servicio que es considerado un derecho humano.

En ese sentido, tanto hospitales como clínicas se han visto sometidos a fuertes presiones por la ingente cantidad de requerimiento de un servicio que en muchas oportunidades ha sobrepasado la capacidad real de estos. Hablamos, de un alto impacto, tanto en los profesionales que en ellas se desempeñan, así como, en los activos de estas instituciones u organizaciones. Con esta afirmación, no estamos entrando en el análisis simplista, de ver, este tema tan complejo de forma simple, sino, que por el contrario, existe una arista relativa a la forma en que las organizaciones de este tipo están gestionando sus activos.

Es precisamente bajo esta premisa y circunstancias donde la gestión de los activos forma parte de los grandes desafíos, a los cuales deben enfrentarse estas organizaciones e instituciones, esto ha conducido a las organizaciones a generar profundas transformaciones en todos los niveles; tecnológico, económico y organizacional. En este sentido, la gestión de activos, bajo los requerimientos de la norma UNE-ISO 55001:2015, es un marco de referencia, que puede permitir potenciar el valor de los activos e instalaciones para que impacte de forma positiva en la calidad del servicio a nivel de usuarios.

Para aterrizar estos conceptos, la norma UNE-ISO 55000:2015 define la gestión de activos como las actividades y prácticas coordinadas, a través de las cuales una organización maneja de forma óptima y sustentable sus activos y sistemas de activos, su desempeño y sus riesgos, a lo largo del ciclo de vida con el propósito de lograr las metas establecidas dentro de su plan estratégico, por su puesto, que si se hace referencia a una institución de salud, las metas estarán referidas a calidad y prestación de servicio a pacientes.

Esta necesidad, ha conducido a este tipo de organizaciones públicas y privadas a la búsqueda, desarrollo y adopción de nuevos modelos, procesos y herramientas que les permitan lograr mayores niveles de aprovechamiento de sus activos, bajo un adecuado enfoque coste-riesgo-beneficio. Si bien es cierto, que ha sido la industria y las organizaciones privadas las que han llevado la iniciativa, no es menos cierto, que en la actualidad, instituciones públicas y semi públicas (en países como: Australia, Canadá, Nueva Zelanda, USA, etc.) vienen trabajando en la estandarización de la gestión de sus activos físicos en hospitales, universidades, escuelas, edificaciones e infraestructura (Parlikad y Jafari, 2016).

En efecto, en países como Australia, está vigente desde el año 2016, tanto un marco de responsabilidad y rendición de cuentas para la gestión de los activos públicos (AMAF, 2016; por su sigla en inglés) alineado a la ISO 55001, así como, un marco específico para la gestión de activos médicos (MEAMF, 2012).

En este sentido, podemos hablar de dos grupos de países, los que ya tienen hospitales certificados ISO 55001, como Australia, USA, Brasil y los países que tienen hospitales trabajando en el proceso de implementación como UK, Canadá, España, Costa Rica entre otros.

En cada una de estas organizaciones existe un elemento común, como punto de partida se ha llevado a cabo el diagnóstico y evaluación del nivel de madurez actual del Sistema de Gestión de Activos, lo que les permitió, identificar las brechas existentes de su condición actual, en relación con la conformidad de los requisitos de la norma ISO 55001.

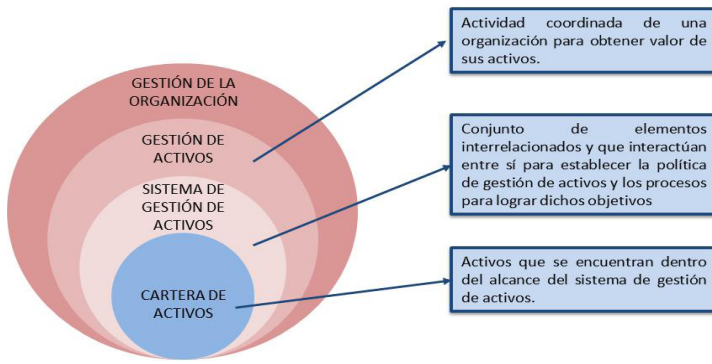
## Sistema de Gestión de Activos alineada a la UNE ISO 55001

Según El-Akruti & Dwight (2013) en las industrias intensivas en activos, este término se utiliza para identificar cómo una organización industrial se ocupa de la gestión de sus activos físicos, a través de todo su ciclo de vida para lograr el cumplimiento de su plan estratégico, por otro lado Henderson (2014) define la gestión de activos, como una técnica esencial, dentro de un proceso de negocio, que contribuyente al logro de los objetivos estratégicos de una organización, mediante una adecuada gestión del riesgo, para obtener un rendimiento óptimo de los activos con la intención de lograr una estrategia competitiva de negocio, sin embargo, la norma (UNE - ISO 55001,2015) simplifica esta definición como las actividades coordinadas de una organización para obtener valor a partir de los activos y establece un marco de referencia para la gestión de los activos de una organización.

Adicionalmente, se define el sistema de gestión de activos de una organización, como el sistema que planifica y controla las actividades y sus relaciones para asegurar que el rendimiento de los activos, se adapte a la estrategia competitiva previsto por la organización, esta definición proporciona una visión holística e integrada del sistema de gestión de activos dentro de toda la organización.

De allí, que Campbell (2016) integra estas visiones y afirma que la gestión de activos es la interacción de las diferentes áreas habilitadoras de una organización (operaciones, mantenimiento, finanzas, RRHH, logística, compra, etc.) a través de actividades, que de forma coordinada les permite gestionar los riesgos de

forma adecuada para lograr generar valor a la organización. En la práctica estas interacciones y procesos de implementación deben estar documentados y suelen ser complejos, para las organizaciones tener claridad en cuanto a su desarrollo, debido, a las múltiples interacciones presente entre los elementos claves del sistema de gestión de activos tal como se muestra en la Figura 1.



**Figura 1.** Relación entre los términos claves de la gestión de activos.  
Fuente: UNE-ISO 55000,2015

## Sistema de Gestión de activos en el sector hospitalario público

La gestión de los activos físicos en el sector hospitalario puede verse con dos particularidades relevantes. Por un lado, los activos médicos, son un tipo de activo especializado, presentan algunos desafíos únicos. Muchos ítems mantenibles de los equipos médicos, son técnicamente complejos y requieren experiencia especializada para usarlos, administrarlos, evaluarlos y repararlos (MEAMF,2012). Adicionalmente suelen tener vidas más cortas que los activos tradicionales, como activos industriales, edificios e infraestructura, y por lo tanto, requieren una atención más centrada y frecuente. En un servicio de salud típico, representan una inversión y un costo operativo considerables, con consecuencias potencialmente graves tras un desempeño inadecuado o una falla.

En este sentido, la particularidad de la gestión de los activos del sector salud, ha conducido a que países como Australia y Nueva Zelanda, hallan desarrollado algunos estándares alineados a la normativa UNE ISO 55001, para su gestión, de hecho, en este escrito serán utilizados como referencia.

La gestión de los activos del sector hospitalario suele ser compleja, esto, debido a la diversidad de activos que son necesarios gestionar, por un lado se tiene una gran cantidad de activos médicos, que son esenciales para la prestación de asistencia sanitaria y representa una proporción significativa de la base total de los activos de los servicios de salud individuales, y por otro lado, se tienen un conjunto de servicio periféricos, necesarios para el buen desempeño de las instalaciones y prestación del servicio

al paciente. En este sentido, tal como, lo afirma McCarthy et al. (2017). La gestión de los activos médicos es uno de los principales problemas críticos de riesgo para mantener el funcionamiento de los servicios de salud, porque la falta de disponibilidad del equipo o la falla del equipo presenta inminentemente un alto riesgo para los pacientes, el personal y la prestación de servicios. Estos riesgos deben gestionarse de manera efectiva y eficiente (AMAF,2016).

El objetivo principal de la gestión de activos es permitir que una organización cumpla con sus objetivos de prestación de servicios de manera eficiente y efectiva, y minimizar el riesgo asociado con los fallos de los activos (ISO 55002,2018).

La gestión del riesgo incluye el mantenimiento de la capacidad del equipo existente y la planificación para el reemplazo oportuno. El riesgo de fallo del activo aumenta a medida que el equipo médico se acerca al final de su vida útil. La falta de información confiable y oportuna hace que sea difícil pronosticar y planificar adecuadamente los requisitos del equipo para satisfacer las necesidades de servicio y tener en cuenta los requisitos financieros.

La gestión eficaz de los activos, también maximiza el potencial de servicio de los activos, al aumentar la flexibilidad y utilizar economías de escala para una prestación de servicios más rentable (MEAMF,2012).

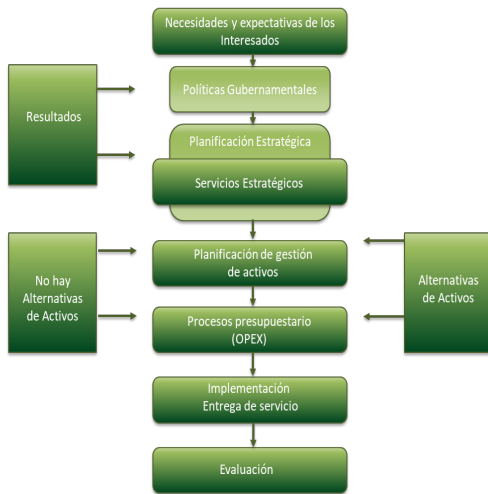
Una de las mayores restricciones a las que se enfrentan las organizaciones de salud pública a la hora de gestionar sus activos, es la dependencia de diversos entes gubernamentales, cuya coordinación suele estar limitada y condicionada a diferentes contextos políticos, socio económicos y adicionalmente los marcos regulatorios suelen ser muy complejos para facilitar la gestión (Kurland, 2015). Para hacer frente a estos grandes retos, en países como Australia desde el gobierno nacional y sus estados han desarrollado un marco de referencia que regula la gestión de los activos a todos los niveles públicos denominados (Marco de Responsabilidad para la Gestión de los activos, 2016. AMAF por sus siglas en ingles)



**Figura 2.** Conductores estratégico del sistema de gestión de activos en Hospitales. Fuente:v AMAF 2016

En este documento se plantea un marco regulatorio de gestión y un modelo para la gestión estratégica de los activos hospitalarios, perfectamente adaptable a cualquier país, con el propósito de visibilizar la gestión desde la perspectiva de la gestión pública.

En este sentido, este documento establece un marco de referencia e interacción del proceso de planificación y la prestación del servicio de salud en los hospitales públicos. Ver Figura 3.



**Figura 3.** Interfase de la planificación del servicio y la planificación de la gestión de activos. Fuente: AMAF 2016

## Proceso de evaluación del Sistema de Gestión de Activos en Hospitales

Como etapa inicial del proceso de implementación del sistema de gestión de activos alineado a los requisitos de la norma ISO 55001, se establece, el conocer e identificar las brechas existentes entre, el cómo se gestionan los procesos relacionados con la SGA UNE ISO 55001 y los requerimientos y buenas prácticas relacionadas, eso incluye la revisión de algunos marcos de referencias específicos a la gestión de activos hospitalarios públicos como: AMAF,2016 y AMEAF,2012.

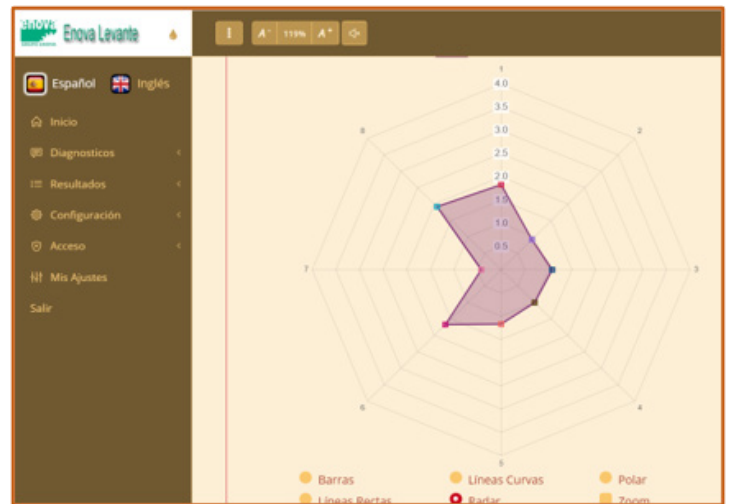
Este proceso de evaluación se lleva a cabo desde dos perspectivas o dos etapas, en primer lugar, un proceso de entrevistas con los responsables de los procesos y áreas habilitadoras del sistema de gestión de activos con la revisión de las evidencias objetivas evaluadas y por otro lado se aplica una herramienta estadística que permite medir el nivel de percepción del personal, en relación, a la gestión del mantenimiento dentro del sistema de gestión de activos.

La evaluación inicial del sistema de gestión de mantenimiento se desarrollará utilizando la metodología del Marshall Institute mejorada, complementada con la Norma UNE EN 16646,2015. Mantenimiento en la Gestión de Activos Físicos.

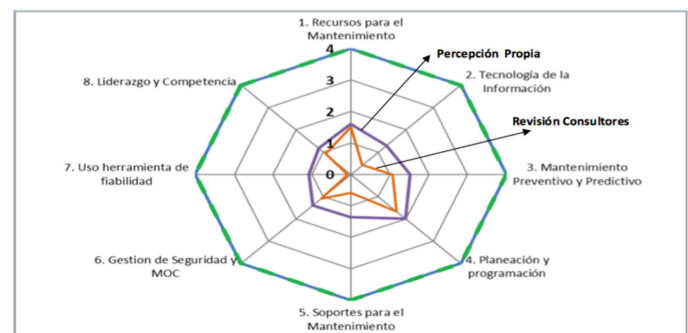
La evaluación que se aplica permite identificar y analizar la brecha en el sistema de gestión de mantenimiento de activos, con esta evaluación se identifican las oportunidades de mejora en las ocho (08) áreas claves, las cuales se describen a continuación:

1. Gestión del recurso para Mantenimiento y Operaciones.
2. Uso del Sistema de Información (GMAO, EAM o ERP).
3. Aplicación de mantenimiento preventivo y predictivo.
4. Planificación, Programación, ejecución y control del mantenimiento.
5. Uso de las herramientas de confiabilidad de activos.
6. Soporte para el Mantenimiento y las Operaciones.
7. Competencia, Organización y Liderazgo.
8. Gestión del cambio, Seguridad de los procesos y ambiente.

Como resultado de esta primera etapa se obtiene dos diagramas de radar, en el primero se muestra el resultado de aplicar la herramienta estadística (Gráfico 1), en el segundo (Gráfico 2) se superpone la percepción del personal con la revisión objetiva del sistema por parte del equipo evaluador.

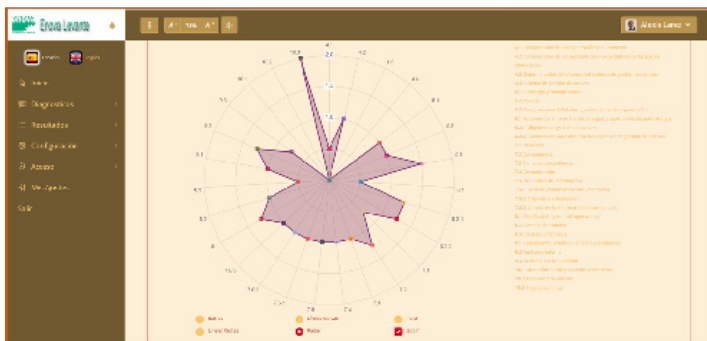


**Gráfico 1.** Nivel de madurez del SGM de la organización



**Gráfico 2.** Nivel de madurez del SGM comparat

La segunda etapa de la evaluación está soportada en las entrevistas y revisión del sistema de gestión de activos y su interacción con todas las áreas habilitadoras de la organización. En esta participan las siguientes áreas: Dirección médica, Dirección de enfermería, Dirección de suministro y compra, Ingeniería, Prevención y Riesgos laborales, Medio Ambiente, Almacenes, RRHH, Finanzas y Mantenimiento. Como resultado de la evaluación de los 27 requerimientos de norma UNE ISO 55001, se obtiene el diagrama de radar que se muestra en el Gráfico 2. Es importante mencionar que la información generada con la evaluación del sistema de mantenimiento es un insumo importante para esta segunda evaluación. Ver Gráfico 2.



**Gráfico 3.** Nivel de madurez del Sistema de gestión de activos

Esta evaluación permite identificar las brechas, que será utilizada para definir el mapa de ruta de la implementación del sistema de gestión de activos y el establecimiento del plan a mediano y largo plazo. Algunos de los resultados obtenidos son los siguientes:

- Identificación del nivel de Madurez del sistema de gestión de activos de la organización a través del análisis de evidencias objetivas para contrastar el cumplimiento de los 27 requerimientos de la norma ISO 55001.
- Diseñar el plan de acciones que permita cerrar la brecha del sistema de gestión de activos en cuanto a la conformidad con los requisitos de la norma.
- Jerarquizar las acciones a realizar, de acuerdo al impacto y oportunidad para lograr beneficios al mediano, corto y largo plazo.

## Conclusiones

- Las organizaciones dedicadas a la salud no son ajenas a las realidades con las que se enfrentan las organizaciones tradicionales, por ello la estandarización bajo los requerimientos ISO 55001, cada vez toma más fuerza en esta área.
- Estas organizaciones se topan con la barrera, de que normalmente los profesionales que toman decisiones sobre los activos no necesariamente tienen las competencias para ello.
- Estas organizaciones suelen tener limitaciones en cuanto a la estructura formal para la gestión de sus activos.
- Cada vez más instituciones de salud públicas se hacen consciente de la necesidad de eficientar la gestión de sus activos y para ello las normas UNE-EN 55001 y UNE -EN 16646 son un excelente marco de referencia.
- En España hay varios centros hospitalarios públicos, los cuales se han sometido a un proceso de revisión bajo los requerimientos de la ISO 55001.
- El desarrollo del diagnóstico permite establecer un mapa de ruta para la implementación del sistema de gestión de activos.

## Referencias

1. UNE-EN 55001. Gestión de Activos. Sistemas de Gestión – Requerimientos. AENOR. 2015.
2. UNE-EN 55000. Gestión de Activos. Aspectos generales, principios y terminología. AENOR. 2015.
3. A. K. Parlikad, M. Jafari. (2016). Challenges in infrastructure asset management. ScienceDirect, IFAC-PapersOnLine 49-28 (2016) 185-190.
4. MEAMF. Medical equipment asset management framework. Parts A and B. Department of health the Victorian Government. 2012.
5. El-Akruti, K., Dwight, R., & Zhang, T. (2013). The strategic role of Engineering Asset Management. International Journal of Production Economics, 146(1), 227-239.
6. Henderson, K. P., Georg, Kraska, Olaf. (2014). Integrated Asset Management – An Investment in Sustainability. Procedia Engineering, 83, 448-454. doi:10.1016/j.proeng.2014.09.077.
7. Campbell, J. J., A. McGlynn, J. (2016). Asset Management Excellence: Optimizing Equipment Life-Cycle Decisions, Second Edition: CRC Press.
8. McCarthy et al. (2017). Healthcare Technology Management - A Systematic Approach. CRC Press.
9. AMAF. Asset Management Accountability Framework. The Secretary Department of Treasury and Finance. 2016.
10. UNE-EN 55002. Gestión de Activos. Sistema de gestión de activos. Guía de implementación de ISO 55001. AENOR. 2015.
11. Kurland, Arthur. University Health System generates cost savings from ISO 55001. <https://business-benefits.org/>
12. Giscarmsa. Manual de Organización y Gestión de activos (MOGAF). 2012.
13. UNE-EN 16646. Mantenimiento. Mantenimiento dentro de la gestión de activos. AENOR. 2015.

# SAP



## Reliabytics

### Solución de APM Basada en Analíticas que permite lograr:



**3% - 35%**

Reducción de incidentes



**5% - 20%**

Aumento de Productividad



**2% - 6%**

Aumento de Disponibilidad



**5% - 10%**

Reducción de Costos de Inventario



**10% - 40%**

Reducción Mtto. Reactivo

# Aprende a calcular la rotación de inventario de refacciones críticas de tu almacén de mantenimiento en tu empresa

Conseguir un nivel óptimo del servicio que presta tu almacén de mantenimiento (MRO Warehouse) en lo que respecta a tener un adecuado inventario de refacciones críticas (critical parts turns), es esencial para el logro de las metas de confiabilidad operacional y de gestión de activos críticos (la definición de crítico o criticidad en este artículo se hace desde el punto de vista de la seguridad, ambiente, producción y mantenimiento, es decir de un algoritmo de criticidad previamente acordado por las partes interesadas del negocio). Para eso es importante saber evaluar la rotación de inventarios de este tipo de partes (Clasificadas como A por ser partes asociadas o que se tienen instaladas en los equipos críticos) todo lo anterior desde el punto de vista de confiabilidad.

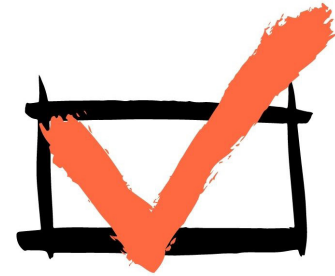
Conoce cuál es su importancia y aprende a calcularlo.



## Marcelo Reyes

Especialista en Gestión de Mantenimiento.  
Maintenance manager practitioner.  
reliability\_engineer@hotmail.com





## Rotación de inventarios de refacciones críticas, ¿Qué es?

Es un indicador que se utiliza para medir la capacidad del almacén de mantenimiento de atender o surtir solicitudes de refacciones consideradas como críticas y requeridas cuando se presentan fallas en los equipos que son vitales para el logro de los objetivos operacionales de la empresa. Es la cantidad de partes críticas de que dispone el almacén de mantenimiento y que salieron de (o fueron surtidas por) el almacén durante determinado periodo. La rotación del inventario crítico tiene una relación directa con el éxito de los líderes de confiabilidad en la aplicación apropiada de los análisis de criticidad de los equipos y criticidad de partes críticas.

## Cómo calcular la rotación del inventario de refacciones críticas

Para hacer el cálculo, basta sumar la totalidad de las refacciones críticas que salieron del almacén en un determinado período y dividir por el promedio de todas las partes críticas disponibles en inventario a lo largo de ese tiempo.

Por ejemplo: en un almacén MRO de una empresa de manufactura, solo hay un tipo de resina de intercambio iónico (almacenada en bidones de doscientos litros) para los lechos de pulido de un sistema de agua ultra pura (cuya operación y mantenimiento están bajo la responsabilidad de departamento de mantenimiento). Los tambores de resina

se clasifican como una parte crítica. A principios de mes, su inventario tiene 10 tambores de este tipo. Al final del primer período de una semana, se entregan 5 tambores al supervisor de mantenimiento (debido a la falla de la planta de agua que comprometió la calidad del proceso). Para reabastecer el inventario, el gerente de mantenimiento autoriza la compra de otros 5 tambores. En el transcurso de las siguientes tres semanas, emitió tres solicitudes de compra, acumulando un total de 20 tambores de resina que se entregaron al supervisor de mantenimiento, con otros 10 tambores restantes en el inventario.

Si sumamos el total de registros de salidas de almacén, 20, y lo dividimos por el promedio del inventario de tambos durante el mes, 10, el gerente de mantenimiento encontrará una rotación de inventario igual a 2.

Obviamente, el inventario de este almacén de mantenimiento no cuenta sólo con un tipo de partes críticas, entonces puede utilizar el valor total del inventario de todas las partes críticas para el cálculo. Por ejemplo: tiene un inventario valuado en USD\$20 mil a precio de compra y salen un equivalente a USD\$40 mil en refacciones entregadas para mantenimiento de equipo crítico (ambas cantidades al precio de compra). Dividiendo el segundo valor por el primero, encontrará nuevamente una rotación de inventario igual a 2.

## Conveniencia de monitorear la tendencia de la rotación de inventario de partes críticas del almacén de mantenimiento

Desde el punto de vista de la Confiabilidad Operacional, Gestión de Riesgos, Gestión de Inventario Crítico, Gestión de Mantenimiento, y todo esto como parte de un Sistema de Gestión de Activos Físicos (Muebles o Inmuebles [Flotilla Móvil o Equipo Estacionario]). En general, cuanto **menor** sea la cantidad de rotaciones en tu inventario de partes críticas es mejor, y si la tendencia periodo a periodo de la rotación es **a la baja**, entonces esto puede traducirse o interpretarse como:

1. Que la demanda de refacciones críticas es baja debido a que no se presentan fallas de equipos críticos de forma urgente (breakdowns).
  - a. Que el departamento de mantenimiento/confiabilidad cuenta con adecuados procesos de identificación de partes críticas, y un buen proceso de Análisis de Criticidad de Equipos.
  - b. Que las partes críticas existentes en el almacén son confiables por estar disponibles y en buenas condiciones de uso.
  - c. Que el **plan de mantenimiento** es exitoso en anticiparse a la ocurrencia de **modos de falla críticos**, es decir que se identifican de manera proactiva antes de aparecer como una falla urgente (breakdown).

2. Que el proceso de optimización del plan de mantenimiento es adecuado y que continuamente se están mejorando las estrategias de mantenimiento (buscando mejorar el intento de que sean proactivas y no reactivas).

3. Que el proceso de Análisis de Causa Raíz es bueno, por lo que se solucionan los eventos de **tiempos productivos muertos** ocasionados por **falta de refaccionamiento**, lo que hace que el inventario crítico se mejore continuamente para ser más confiable y por lo tanto no se hace necesario el uso frecuente de las refacciones críticas.

4. Que el área de mantenimiento es exitosa en sus esfuerzos para justificar el costo beneficio de mantener y conservar apropiadamente el inventario crítico, aún y cuando estas partes no se estén utilizando de manera frecuente, ya que ha hecho entender al negocio que **ante la aparición de una falla en un equipo crítico donde se requiere una refacción crítica, es mejor tener las partes en existencia que no tenerlas y estar enfrentando tiempos muertos extendidos mientras se consiguen dichas partes**. La gerencia general entiende que el costo o impacto al negocio por el tiempo muerto debido a la indisponibilidad de este tipo de refacciones supera por mucho el costo de mantenerlas y conservarlas en el almacén.

## ¿Qué problemas pudiesen existir si la tendencia de la rotación de inventario crítico está creciendo?

Hablando únicamente de refacciones críticas, a diferencia de un almacén de una empresa que vende refacciones (donde en este caso el negocio es tener una alta rotación que significa que un gran volumen de refacciones están saliendo del almacén porque hay clientes que las están comprando), en el caso de las operaciones de un almacén de mantenimiento y reparación de una planta industrial, quisiéramos jamás tener que usar las refacciones críticas (porque eso significaría que los equipos vitales para la producción están presentando fallas).

Una mala administración de su inventario de refacciones críticas del almacén de mantenimiento puede conducir a dos grandes problemas. El primero se refiere a una tendencia al alza en la rotación de inventarios de este tipo de refacciones, es decir muchas salidas de almacén que significa un alto consumo de refacciones críticas por fallas en los equipos vitales para las operaciones de producción.

Si ese es tu caso, lo ideal es llevar a cabo mejores procesos de análisis de fallas ACR o RCA, aplicar el proceso de optimización de estrategias de mantenimiento o revisar los reportes de análisis de efectos y modos de falla previos (FMEA o FMECA) almacenar menos mercaderías e intentar llegar lo más pronto posible a una tendencia a la baja en la rotación de inventario de partes críticas, lo que representaría que no se están teniendo fallas significativas de los equipos críticos donde se necesite retirar alguna refacción o componente crítico para reparar el equipo vital.

El segundo se refiere a un problema que pudiera no ser tan evidente que sería el caso opuesto: Una baja rotación de inventario de partes críticas, pero que ante la ocurrencia de una falla del equipo vital para las operaciones del negocio, **no se tiene en existencia la parte, refacción o componente** requerido, lo que crea una presión administrativa sobre el departamento de mantenimiento en la urgencia por **adquirir la refacción necesitada con urgencia y a sobre costos, además del tiempo muerto en la función del negocio donde dicho equipo vital esta instalado**. Para resolver este problema se debe replantear el proceso de **análisis de criticidad de equipo y de refacciones**. Existen organizaciones o empresas donde ni siquiera manejan el concepto de **parte crítica** (al menos desde la perspectiva de Confiabilidad Operacional). Esto se puede verificar o validar por estudios estadísticos de TPPR (MTTR), estudios estadísticos de **downtime** que se puedan asociar a **falta de refaccionamiento**, o un estudio de confiabilidad de almacén para validar las prácticas de **clasificación de inventario, precisión de almacenamiento de refacciones en físico versus en sistema y las practicas de documentación y disciplina de entradas y salidas versus el sistema de ordenes de trabajo**.

Lo ideal es que la el gerente de mantenimiento y/o los líderes de confiabilidad de la organización tengan siempre un ojo puesto en la rotación de inventarios de partes críticas de su almacén de mantenimiento y reparación (MRO-Warehouse) y en optimizar constantemente sus procesos de análisis de criticidad y de mejora continua a medida que aparecen síntomas de un mal nivel de servicio (desabasto, partes dañadas por un mal manejo o almacenamiento, sobre inventario de partes, entre otros. La rotación de partes críticas es una métrica esencial para el logro de los objetivos de una adecuada gestión de los activos físicos.





EDUARDO CALIXTO  
CONSULTING



EDUARDO CALIXTO

# INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA MANTENIMIENTO 4.0

**JUNIO**

**14TH - 16TH JUNIO 2021  
SINGAPORE**

**JULIO**

**4.0: 6TH - 7TH JULIO 2021  
AEA, DUBAI**

**OCTUBRE**

**11TH AND 12TH OCTOBRE 2021  
WASHINGTON D. C, USA**

**DICIEMBRE**

**09TH-10TH DECEMBRE 2021  
FLORIDA, USA**

**VER MÁS**



PARA MÁS INFORMACION:  
[EC@EDUARDOCALIXTO.COM](mailto:EC@EDUARDOCALIXTO.COM)



**José Contreras Márquez**  
Global Certified Instructor en ASME  
jocomarquez@yahoo.com



# La orden de Trabajo

El departamento de mantenimiento tiene varias responsabilidades que requieren el desarrollo de distintas funciones mediante en conjunto de procedimientos y un sistema de gestión. Dentro de ese sistema de gestión existen diversos subsistemas integrados al sistema general que deben funcionar correctamente para que la efectividad de los otros no se vea afectada negativamente y garantizar una gestión integral eficaz y eficiente. De esos subsistemas, el único que interactúa con todos los demás es el de la orden de trabajo. Todos los elementos esenciales de una buena gestión están vinculados en este documento único.

Las órdenes de trabajo activas comunican a todas las partes qué trabajos deben realizarse, cuándo, dónde y qué método. Las órdenes de trabajo sirven para comunicar las asignaciones de tiempo a las especialidades necesarias para completar los próximos trabajos. También sirven como una fuente de información de todas las solicitudes que representa toda la carga de trabajo de mantenimiento pendiente en la instalación.



## Sistema de orden de trabajo

En algunos departamentos de mantenimiento hay personas que se quejan de que producir una orden de trabajo para cada trabajo a realizar, crea una gran cantidad de papeleo, particularmente porque la mayoría de los trabajos son pequeños. Además, alegan que “lleva más tiempo preparar y documentar una orden de trabajo que hacer el trabajo”. El argumento para justificar la necesidad de desarrollar órdenes de trabajo es que ayudan a la dirección a:

- Garantizar la integridad de la planta, proteger las inversiones.
- Garantizar la seguridad.
- Cumplir con las regulaciones gubernamentales.
- Evitar problemas legales.
- Recopilar información del trabajo ejecutado.
- Registrar el historial del desempeño de los activos.

Y en general a promover buenos principios de gestión y orientación a la mejora continua. Estas y otras razones importantes respaldan el objetivo de tener la mayoría, si no todo, el trabajo administrado mediante un sistema de orden de trabajo bien diseñado.

La orden de trabajo permanece vigente durante todas las etapas del ciclo de trabajo, desde su creación hasta el cierre, cuando se documenta todo lo ocurrido durante su ejecución. Se utiliza para comunicar solicitudes de trabajos específicos, planificar, programar, controlar, registrar y rastrear la mayoría de las actividades de trabajo de mantenimiento. Autoriza la realización de un trabajo y por tanto que se puedan realizar los gastos atribuibles a esa orden. Indican la ubicación donde se debe realizar el trabajo, el equipo o área donde se debe trabajar y el método a seguir. El nivel de detalle del método específico depende de la complejidad del trabajo. Finalmente, la orden de trabajo indica la prioridad de cada trabajo.

La orden de trabajo no es simplemente un formato que hay que llenar, es un sistema que proporciona los medios para solicitar el servicio de mantenimiento que posteriormente se debe planificar, programar, ejecutar, controlar y finalmente registrar toda la información concerniente al trabajo realizado.

Un sistema de orden de trabajo efectivo:

- Elimina lo innecesario y sin importancia.
- Establece responsabilidad.
- Reduce errores.
- Facilita la preparación del trabajo.
- Expresa con gran claridad de lo que se debe hacer.
- Permite cargar mano de obra, materiales y servicios externos al propietario del equipo.
- Sirve como documento de autorización.
- Registra de costos de mantenimiento.
- Controla el desempeño.
- Es la base documental del historial de los activos.
- Aumenta la eficacia de los grupos de trabajo .
- Es el engranaje principal de la gestión integrada de mantenimiento.

Hay dos enfoques para administrar un sistema de órdenes de trabajo. El primero se caracteriza por el uso de solicitudes de trabajo, que se envían al planificador de mantenimiento, que luego es responsable de generar la orden de trabajo. En el segundo se captura el trabajo no previsto que surge día a día y la orden de trabajo se crea directamente, luego se envía al planificador para la codificación adicional y la entrada al CMMS.

La orden de trabajo es ante todo una herramienta de gestión de mantenimiento que además de especificar el trabajo a realizar, sirve para cumplir otras funciones como el control de costos y el control operativo del tiempo de mantenimiento.

## Funciones de las órdenes de trabajo

La orden de trabajo es un documento de control que cumple tres funciones básicas:

**1. Definición y autorización del trabajo a realizar. Selección sistemática y autorización del trabajo solicitado con respecto al tipo de trabajo, causa, ubicación y prioridad.**

**2. Planificación y control del trabajo a realizar.**

- Definir el alcance del trabajo.
- Asignar la prioridad.
- Proporcionar la información sobre programación, coordinación, métodos, materiales, mano de obra.
- Proporcionar a los supervisores y técnicos instrucciones de trabajo y estimaciones del tiempo requerido.
- Recopilar información sobre el progreso del trabajo.
- Registrar y medir la cantidad de trabajo completado (resultados).
- Controlar los niveles de personal involucrado.

**3. Historial de mantenimiento acumulado.**

- Desarrollar estimaciones de tiempo para el trabajo repetitivo.
- Recopilar información para la optimización del trabajo y análisis de fallas.
- Medición y mejora de costos y desempeño.
- Analizar los costos por trabajo, equipo y centro de costos.
- Mejorar la planificación y la programación.

## Ventajas de utilizar órdenes de trabajo

Las principales ventajas de los sistemas de órdenes de trabajo son:

- Proporcionan un medio eficiente para solicitar, asignar y dar seguimiento al trabajo realizado por el personal de mantenimiento.
- Proporcionan un método para transmitir instrucciones escritas sobre cómo se debe hacer el trabajo.
- Proporcionan un método para estimar y acumular costos de mantenimiento reales por máquina, instalación, centro de costos y departamento, y respaldan cuestiones de planificación, calidad y control de costos.
- Proporcionan los datos necesarios para preparar informes de gestión, sobre los cuales se pueden tomar medidas correctivas.



## Objetivos de las órdenes de trabajo

El alcance de las órdenes de trabajo se puede resumir en el logro de los siguientes objetivos:

- Identificar y hacer seguimiento del trabajo.
- Reconocer costos precisos para departamentos, equipos y todas las áreas de la empresa.
- Registrar la carga total de trabajo, trabajos pendientes, trabajos planificados, trabajos programados.
- Llevar historial de lo que se hizo, métodos y herramientas utilizados.
- Medir la efectividad de las estimaciones.
- Asignar de forma más precisa de trabajos por prioridad.
- Estimar de costos y aprobación técnica de la obra.

Es deseable tener todo el trabajo asignado cubierto por órdenes de trabajo formales ya que idealmente cada solicitud de trabajo debe convertirse en una orden de trabajo escrita. Para lograr esto se requeriría el compromiso de todos los niveles de gestión dentro de la instalación. Siendo realistas, este compromiso vendrá solo si se pueden demostrar las ventajas de usar órdenes de trabajo.

# Capacitación para empresas

## Cursos Línea y Presenciales

Descarga el catálogo de cursos

ver catálogo

### Índice de cursos

#### Área de Ingeniería de Mantenimiento

1. Estándares de Planeamiento y Control del Mantenimiento
2. Gestión de Costos de Mantenimiento (OCH)
3. Mantenimiento Productivo Total (TPM)
4. Administración de Mantenimiento
5. Gestión y Optimización de Inventario para mantenimiento
6. Auto-Evaluación de Mantenimiento
7. Estrategias de Gestión de Mantenimiento - ABC-RM y TIC
8. Gestión de Mantenimiento
9. Definición de Recursos de Mantenimiento
10. Inspecciones Rutinarias Autónomas
11. Planificación, Programación y Costos de Mantenimiento

#### Área de Ingeniería de Confiabilidad

1. Fundamentos de Ingeniería de Confiabilidad Operacional
2. Análisis de Confiabilidad, Disponibilidad y Disponibilidad (RAM)
3. Introducción a la Confiabilidad Humana
4. Aplicación de la Norma ISO 14224 en sistemas CMMS para gestión de Activos
5. Generación de Planes Óptimos de Mantenimiento Centrada en Confiabilidad
6. Mantenimiento por Condición para Equipos Estáticos y Dinámicos (Mantenimiento Predictivo)
7. Planificación, Gestión y Optimización del Mantenimiento enfocado en Confiabilidad
8. Técnicas de Análisis de Fallos y Solución de Problemas a través del Análisis de Causa Raíz
9. Taller de Análisis de Confiabilidad (Detección de Oportunidades)
10. Sistemas de Indicadores (KPI) para evaluar la Gestión del Mantenimiento

#### Área de Desarrollo Técnico

1. Pruebas de Eficiencia en Compresores Centrífugos y Turbinas a Gas
2. Análisis de Vibración Nivel I
3. Análisis de Vibración Nivel II
4. Lubricación como herramienta efectiva del mantenimiento de equipos dinámicos
5. Principios de funcionamiento, operación y mantenimiento de motores a gasolina

### Análisis RAM (Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad)

#### Descripción del curso

Este curso otorga al participante habilidades en los principales aspectos ligados con los análisis de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad de equipos e instalaciones complejas con el fin de dar soporte al mejoramiento y optimización de la gestión y vida útil de los activos productivos.

#### Modalidades en la que puede ser dictado:

Presencial en la Company -  
Presencia en línea con facilitador en vivo: 8 horas

#### A quién va dirigido el curso:

Ingenieros y Técnicos que se inicien en el campo del Mantenimiento Predictivo en plantas industriales.

#### Objetivo del curso:

El objetivo del curso es entender y desarrollar un caso práctico de análisis RAM durante las sesiones, para que el estudiante se encuentre en la capacidad de realizar estudios de este tipo por su cuenta.

#### Qué incluye el curso:

- Certificado de asistencia y participación de Predictivo
- Material Complementario del curso

#### Programa del curso

Definiciones y Conceptos. Relación de un RAM con la vida del Activo. Etapas para un Análisis RAM.

- Definiciones y conceptos básicos: TVER, TVE, Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad Eléctrica, Ejercicios.
- Análisis RAM y su relación con la gestión Eléctrica.
- Qué es el análisis RAM.
- Metodologías utilizadas para análisis RAM.
- Diagramas de bloques, Diagramas de Mantenimiento.
- Etapas para la implementación de un análisis RAM.
- Modelos: con diagrama de bloques como (serie, paralelo, serie-paralelo, etc.), Ejercicios.
- Mediciones determinísticas y probabilísticas.

#### Construcción del Modelo en el RAM

- Planificación y agenda del RAM.
- Documentación requerida para la construcción operativa, filosofía RAM para por emergencia, PBD.
- Construcción de modelo RAM.
- Cálculo de disponibilidad de activos.

#### Bases de Datos, Ajuste y Combinación de Fuentes

- Bases de datos: Excel, Access, Oracle, etc.
- Particulares (procedimientos, instalaciones).
- Operación de exportación.
- Combinación de fuentes de datos.
- Ajuste de los datos comerciales, Ejercicios.
- Distribución de datos.

#### Caso Práctico

- Simulación de un caso práctico.
- Análisis de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad (RAM).
- Identificación de oportunidades de mejora.
- Resultados.

# Cálculo para Recuperación de Nivel de Aditivos



José Páramo 

Presidente y Fundador del Grupo Techgnosis  
[www.grupo-techgnosis.com](http://www.grupo-techgnosis.com)

En cuanto un aceite empieza su trabajo en una máquina, se degrada (oxidación del básico, por ejemplo) y los aditivos se agotan, es decir, van reduciendo su concentración en el aceite.



## Ejemplos de Aplicación Práctica

### Ejemplo 1

Hace algunos años, tuve la oportunidad de apoyar a una empresa respecto a su gasto excesivo en lubricantes. Es una empresa que tiene equipos de los que más requieren aceite, se denominan Molinos Sendzimir (capacidad: 200,000 lts). Su aplicación es para laminado en frío de acero inoxidable. El caso era que, al ser un proceso en frío, el aceite básico no se deterioraba (viscosidad, oxidación, acidez) pero si en cambio, los aditivos de lubricidad que lleva ese aceite se agotaban rápidamente, pues se iban adheridos a la lámina de inoxidable.

El proveedor “X” que tenían, aprovechándose de la situación que el aceite ya no tenía el nivel adecuado de aditivos, suministraba cantidades enormes del aceite para reemplazar al aceite usado. Lo que se hizo entonces, fue validar que el básico estaba en buenas condiciones (el cual era la mayor parte de la formulación) y sólo hacer los cálculos del nivel necesario de aditivos que había que adicionar para llevar el aceite a un nivel adecuado de desempeño.

Obviamente, el proveedor “X” se resistió a hacer ese suministro, pero otro proveedor “Y” si lo hizo y se quedó con la cuenta. Cabe mencionar que en esa planta no hay uno, sino varios molinos Sendzimir, con lo cual el ahorro fue muy alto, así como se evitó daño al medio ambiente al generar mucho menos aceite usado (pasivo ambiental).

### Ejemplo 2

Hay otros casos (que mucho más comúnmente se nos han presentado para apoyar a nuestros clientes) en el sector de Generación de Energía, donde se tienen grandes turbinas de vapor, turbinas de gas y/o de ciclo combinado. Los volúmenes de aceite en este tipo de turbinas suele ser muy alto, por ejemplo: 10,000 lts, 20,000 lts, 30,000 lts.

Los aditivos clave de formulación de este tipo de aceites son del tipo antioxidante (como aminas y fenoles), aditivos antiderrumbre y antiespumantes.

Como el mantenimiento de estas turbinas se programa a intervalos de varios años (por ejemplo, cada 10 años) e implican un mantenimiento mayor y programación de paro, a veces el contenido de aditivos está acercándose (o ya está por debajo) del límite mínimo recomendado para el correcto desempeño del aceite y de la turbina y aún falta tiempo para el paro programado, pero la turbina tiene que seguir operando.

Entonces, verificando que el resto de las propiedades importantes para este tipo de aceites (RPVOT – ASTM D 2272, AN – ASTM D 664, VISCOSIDAD ASTM D 445, MPC- ASTM D 7843, etc., etc. que se indican en el Estándar ASTM D 4378) aún se encuentran en condiciones aceptables, es posible drenar una cantidad de aceite y adicionar aceite nuevo (fresco) a fin de recuperar el nivel deseado de aditivos por encima del límite permisible inferior.

Es posible determinar el contenido de aditivos como aminas y fenoles ya sea por análisis de FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) o por RULER (Remaining Useful Life).

## Software de Cálculo

Abrir archivo de Excel adjunto: <https://www.grupo-techgnosis.com/blog/188.xlsx>

Paso # 1. Capturar el volumen total de aceite usado en el tanque en litros. Celda en amarillo.

Paso # 2. Capturar la concentración de aditivos en el aceite usado (%). Celda en amarillo.

Paso # 3. Capturar la concentración de aditivos en el aceite nuevo (%). Celda en amarillo.

Paso # 4. Capturar el nivel deseado de aditivos después de adicionar el aceite nuevo. Celda en amarillo.

Paso # 5. Ver el resultado de la cantidad de aceite usado que debe de quedar en el tanque (aceite remanente), en litros. Celda en verde.

Paso # 6. Ver el resultado de la cantidad de aceite usado que deberá drenarse... (que, obviamente, corresponde a la cantidad de aceite nuevo que habrá de adicionarse).

Paso # 7. Una vez que ya se ha añadido el aceite nuevo, se recomienda dar 7 vueltas al aceite en el sistema (sin carga, antes de arrancar el equipo) para lograr su homogeneización a través de activar la bomba de circulación y tomar muestras de aceite de acuerdo con la Estrategia 4PM de Techgnosis para asegurar que se ha logrado el nivel deseado de aditivos.

### Referencias

1. Páramo, José. Tribología Centrada en Confiabilidad RCT - Análisis de Aceite de Clase Mundial bajo Metodología ABCDE publicado por Grupo Techgnosis.
2. Páramo, José. Gestión Tribológica de Activos. Publicado por Asset Tribological Management, S.A. de C.V.
3. Standard ASTM D 4378.



ONLINE  
EN VIVO

# CARRERA EN LUBRICACIÓN

## ESTÁNDAR INTERNACIONAL TICD-ED-1910/90

### RCT® CAT I

EXPERTO EN LUBRICACIÓN DE CLASE MUNDIAL Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN

## ESTÁNDAR INTERNACIONAL TICD-CF-1809/95

### RCT® CAT II

EXPERTO EN ANÁLISIS DE ACEITE DE CLASE MUNDIAL CON LA METODOLOGÍA ABCDE®

## ESTÁNDAR INTERNACIONAL TICD-JB-0506/93

### RCT® CAT III

EXPERTO EN LA EVALUACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA DE LOS BENEFICIOS DE UN PROGRAMA DE LUBRICACIÓN DE CLASE MUNDIAL

## ESTÁNDAR INTERNACIONAL TICD-AS-1207/16

### RCT® CAT IV

EXPERTO EN GESTIÓN TRIBOLÓGICA DE ACTIVOS Y CAMBIO DE CULTURA DE LUBRICACIÓN

## ESTÁNDAR INTERNACIONAL TICD-MT-3012/55

### RCT® CAT V

MASTER OF LUBRICATION ADMINISTRATION L55 LUBRICATION MASTER (CÁLCULOS TÉCNICOS, ESTABLECIMIENTO DE INDICADORES CLAVE DE DESEMPEÑO KPI'S Y CÁLCULOS DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA DE LOS BENEFICIOS OBTENIDOS POR LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE LUBRICACIÓN DE CLASE MUNDIAL)



TECHGNOSIS  
INTERNATIONAL  
CERTIFICATION  
DIVISION



# Detergencia en los aceites lubricantes de motores de combustión



**Carlos Vladimir Beltran Valero**  
MSc. Ing. Electromecánico, MLE  
carlos.beltran.ing@gmail.com

## Resumen



**Los aceites lubricantes usados en motores de combustión tienen como una de sus propiedades de importancia a la detergencia, esta propiedad tiene como fines principales el prevenir la formación de lodos y neutralizar la acidez en el aceite. La detergencia es una propiedad relacionada con la alcalinidad del lubricante y es alcanzada mediante el uso de aditivos. El presente documento refiere información relacionada con la propiedad detergente, su degradación, metodología de evaluación y comportamiento ante añadidos de aceite.**

## Introducción

En la industria, una de las funciones complementarias del aceite lubricante para motores de combustión es preservar la limpieza de sus partes mecánicas, la limpieza de estas partes es facilitada por el uso de aditivos dispersantes y detergentes.

Los aditivos detergentes en los aceites son aquellos cuya principal misión es la de evitar o minimizar la formación de depósitos (hollín, carbonilla y otros productos secundarios de la cámara de combustión) en las partes calientes del motor de combustión, principalmente en el pistón, los alojamientos de segmentos o anilla cilindros, los pistones y las válvulas. Estos aditivos, se encargan de reducir la tensión interfacial entre el aceite y el contaminante para desplazar a este último de la superficie del metal. Por su característica alcalina o básica también previenen

la oxidación del aceite con el consiguiente efecto anticorrosivo en el motor de combustión, sobre todo en los cojinetes.

La composición de los aditivos detergentes, comprende a fenatos sulfonizados de alta basicidad o silicatos, la estructura del fenato es la que proporciona propiedades antioxidantes, ayudado por el contenido de azufre (sulfonizado) además de las consecuentes propiedades anticorrosivas. Otro de los componentes de estas sales son los elementos metálicos, principalmente el calcio, bario o el magnesio que ayudan a tener una referencia base del contenido detergente en un aceite lubricante a partir del contenido en ppm (partes por millón) mediante un análisis de aceite.

## Relación de la reserva de alcalinidad y la detergencia en el aceite

La reserva de alcalinidad del aceite a través de la medición del TBN o reserva básica, guarda relación con el aditivo detergente, puesto que la alcalinidad, detergencia y dispersancia se seleccionan, con una mayor alcalinidad, en función del tipo combustible del motor, por ejemplo: un combustible diesel de elevado contenido de azufre requerirá un mayor nivel de alcalinidad.

Existe una relación de proporción directa entre la detergencia y alcalinidad del aceite como se ve en la Figura 1; sin embargo, hay que tener cuidado puesto que esta relación puede no ser determinante para afirmar la pérdida de detergencia del lubricante.

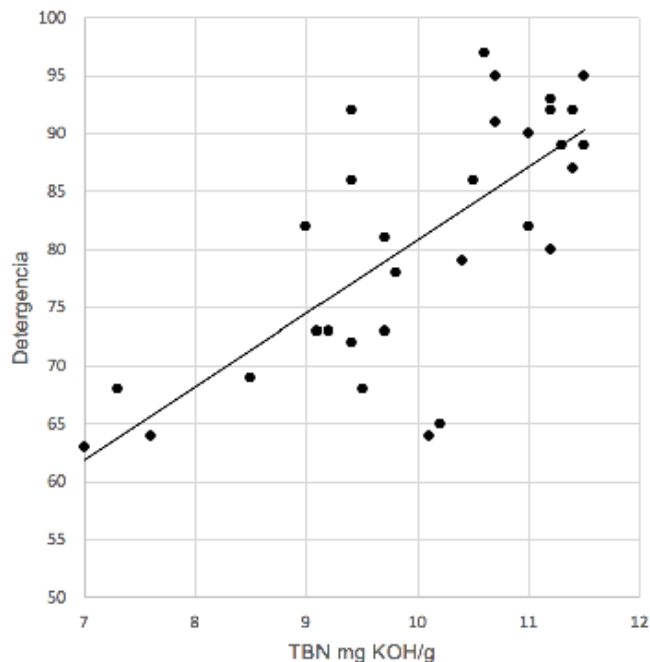


Figura 1. Relación entre la detergencia y el TBN. Fuente: Tormos

En un estudio sobre la reserva de alcalinidad en aceites lubricantes, se utilizan tres aditivos detergentes: fenato de calcio, sulfonato de calcio y sulfonato de magnesio, los tres lubricantes de formulación completa, similares en todo, excepto en la tecnología detergente. En este estudio se presentan dos de los métodos para medir la reserva de alcalinidad del aceite, la ASTM D2896, para aceites nuevos y la ASTM D4739 para aceites usados, consistiendo el método básicamente en la adición de cantidades de ácido al aceite hasta neutralizar la reserva alcalina. Una de las conclusiones de este estudio, es que, dependiendo del aditivo detergente, específicamente para el caso del sulfonato de magnesio, este podría preservar alcalinidad, conservar aún propiedades detergentes, pero aun así permitir el incremento de acidez y crear un medio corrosivo en el motor.

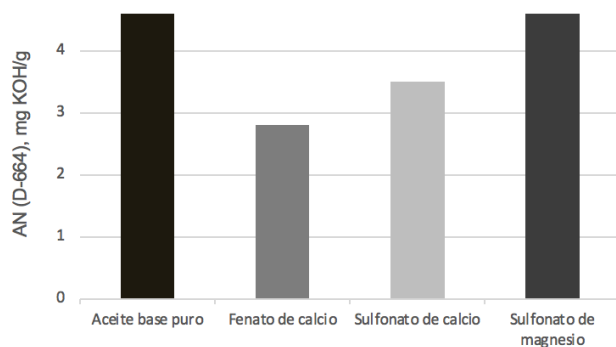


Figura 2. Incremento del AN (número ácido) en la prueba de neutralización ácida. Fuente: Van Dam (2002)

La capacidad del aceite de prevenir la corrosión de los cojinetes de motores de combustión es constantemente evaluada de acuerdo a protocolos estandarizados como la prueba Mack-T91 que es parte de la especificación API CH-4, que es una especificación para aceites de motores diesel. Esta prueba tiene la virtud de ser realizada durante 500 horas, en las cuales la mayor parte del BN (número básico) se pierde y el AN (número ácido) se incrementa, en muchos casos incrementando el contenido de plomo por la corrosión de los cojinetes.

Descripción del aceite de prueba	BN (D-4739)	Tipo de detergente
Referencia interna	6,08	Todo Ca
Bajo BN todo Mg	6,97	Todo Mg
Bajo BN Ca/Mg	6,09	Ca/Mg (3:1)
Alto BN Ca/Mg	9,83	Ca/Mg (6:1)

Tabla 1. Aceite de prueba Mack T-9

En la Tabla 1, se muestran las pruebas de número básico de acuerdo a la ASTM D4739, en las cuales los aceites con contenido de aditivo detergente con calcio presentan un mayor nivel de disminución del BN, mayor en comparación a un aceite con aditivo con contenido de magnesio.

A partir de estas pruebas es posible decir que el nivel de acidez o alcalinidad del aceite puede no ser determinante al momento de evaluar la detergencia o la dispersancia a pesar de ser ambas propiedades consecuencia de aditivos alcalinos.

El protocolo de prueba Mack T-9 es aplicado en la clasificación API CH-4, para un aceite CI-4 se usa la Mack T-10, con una duración de prueba menor, igual a 300 horas

## Causas de la degradación de la detergencia en el aceite

La degradación de la propiedad detergente se debe, de manera normal, al efecto de la combustión en los motores; sin embargo, una degradación anormal o acelerada de la detergencia puede deberse a otras causas.

Los aditivos detergentes de mala calidad o insuficientes, son evidencia de un aceite de baja calidad verificable mediante un análisis de aceite y comparable con el contenido de calcio u otro detergente. Un buen aceite API CI-4 para motores de combustión diésel tendría cerca de las 3000 ppm de detergente y un aceite para motores a gasolina SN, que incluye mezcla con aceites sintéticos, tendría un nivel de 2000 ppm de detergente.

Un combustible de mala calidad con alto o muy alto contenido de azufre (caso del diésel), principalmente por la formación ácido sulfúrico producto de la combustión, acelera la degradación de la detergencia en el aceite en función del tipo de aditivo

detergente. En este caso la selección adecuada de la alcalinidad y detergencia del aceite será determinante con referencia al combustible.

La mala combustión es otra causa de una degradación acelerada de la detergencia, por un lado, una mezcla demasiado rica en combustible producirá un sobrecalentamiento promoviendo la oxidación, así como una combustión incompleta producirán presencia de combustible no combustionado (dilución) que acelerará la degradación del detergente.

El realizar rellenos con aceites de menor contenido detergente o de aditivos detergentes de mala calidad, bajará el contenido detergente y en consecuencia acelerará la degradación de la detergencia del aceite.

## Evaluación de los niveles de detergencia

La línea base del aceite lubricante es importante para tener una percepción del contenido alcalino en el aceite y por tanto de los aditivos detergentes relacionados, ya sea mediante la medición del TBN o contenido de elementos metálicos en ppm; sin embargo, como ya se ha revisado en párrafos anteriores, estos pueden no ser determinantes para la determinación de la degradación de la propiedad específica de la detergencia.

Una metodología es hacer una evaluación de la detergencia a partir de los resultados de la medida de insolubles expresando el nivel de detergencia como cociente entre los insolubles en pentano con y sin coagulante.

Otra metodología es el ensayo de mancha de aceite, que es una técnica de campo rápida y sencilla de realizar.

Otro método más sofisticado es el análisis de mancha de aceite mediante la utilización de fotometría, que a partir de la digitalización de la imagen de la mancha de aceite permite calcular la detergencia en función de la homogeneidad de las áreas y de la proyección de la mancha.

## Análisis del ensayo de la mancha

El ensayo de la mancha de aceite, puede ser subjetiva; sin embargo, bien aplicada permite determinar las propiedades de un aceite de motor usado a partir de su dispersión en un papel absorbente. Las distintas partículas en el aceite lubricante son arrastradas por el frente de la mancha, pudiéndose determinar tanto los contaminantes del aceite como las propiedades de

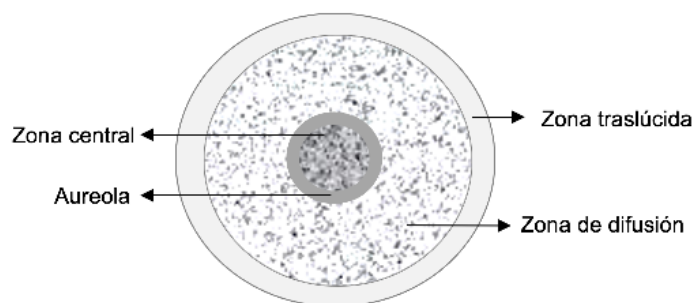
detergencia del lubricante.

La prueba se realiza a temperatura ambiente, en condiciones normales a 20 °C, teniendo el proceso varios pasos.

Se debe tomar una muestra representativa de aproximadamente 5 ml de lubricante.

Se introduce una varilla de unos 5 mm de diámetro en la muestra hasta que el extremo quede manchado de aceite.

Se deja caer una gota sobre papel absorbente y se observa la evolución de la mancha dejando el papel en posición horizontal durante 24 horas. Pasadas 24 horas la mancha presentará las zonas observables en la figura 3.



**Figura 3.** Estructura de mancha de aceite

En la mancha de la Figura 3 se distinguen las zonas cuya observación determinan la degradación de propiedades y contaminación del aceite.

- **La zona central** caracteriza la cantidad de materia carbonosa contenida en el aceite, por su color más o menos oscuro, pero uniforme.
- **La aureola indica**, con su mayor o menor grosor y coloración, caracteriza el contenido de partículas gruesas carbonosas o de contaminantes.
- **La zona intermedia o de difusión** es la característica de la dispersión del carbón en el aceite y por tanto de su poder de detergencia.
- **La zona exterior**, desprovista de materias carbonosas da idea del grado de oxidación del aceite, normalmente debe ser traslúcida y sin coloración alguna.

## Uso de la fotometría en análisis de la mancha de aceite

Para incrementar la precisión y repetibilidad de la evaluación de la mancha de aceite, se ha desarrollado el uso de la fotometría como técnica de evaluación de la mancha de aceite.

La compañía ISL (Instrumentation Scientifique de Laboratoire) ha desarrollado el método incorporando una cámara CCD (Charged Coupled Device) que mide la absorción de la luz a través de la mancha. Esto elimina la subjetividad y reduce los aspectos arbitrarios del método manual tradicional, produciendo resultados imparciales y de alta precisión. El fotómetro del ISL modelo VPH 5G CCD es un pequeño dispositivo de evaluación de la mancha de aceite que puede ser utilizado en aceites lubricantes de motores diesel y gasolina.

Para llevar a cabo la prueba, se calienta la muestra representativa a 240 °C por cinco minutos. Una vez que el aceite se enfría, aproximadamente 2 ml se deposita en papel cromatográfico y se deja por una hora a 80 °C por una hora.

El equipo mide la opacidad de cada mancha, calculando e índice de contaminación (IC) la dispersancia residual (MD) mediante la absorción de la luz en la parte central de la mancha, que proporciona una medida del hollín insoluble presente en las muestras y mediante una distribución radial de la absorbancia que está relacionada con la detergencia o dispersancia del aceite.

El índice de contaminación que representa la concentración de materia carbonosa insoluble presente en el aceite, está afectado por diversos factores como: aplicación, tiempo de servicio del lubricante, entorno de operación, etc. Esta medida es representada en una escala desde 0,1% hasta 3,5%.

La dispersancia o detergencia residual (MD) refleja la habilidad del aceite para separarse homogéneamente a lo largo de la mancha y depende de la calidad dispersante del aceite. Este parámetro es expresado mediante un índice que varía entre 100 (dispersancia ideal) y 0 (sin reserva dispersante).

La degradación ponderada (DP) es un índice que mide este equipo, el cual contiene a los parámetros MD e IC, que da una medida de la degradación de dichos parámetros.

$$DP=(100-MD)IC$$

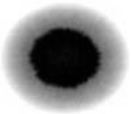
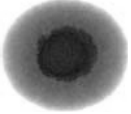

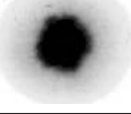

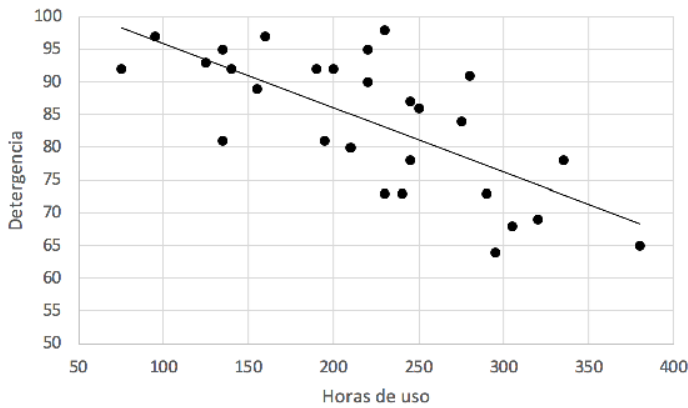
Mancha		Problemática
	IC=0,3	Baja dispersancia por fallo de refrigeración del motor
	MD=60	
	DP=12	
	IC=0,2	Pobre dispersancia por excesivo periodo de uso de aceite
	MD=65	
	DP=7	
	IC=0,8	Buena dispersancia
	MD=28	
	DP=4	
	IC=0,5	Pobre dispersancia debido a la contaminación con refrigerante proveniente de una fuga
	MD=28	
	DP=36	
	IC=1,1	Dispersancia ligeramente degradada debido a la oxidación del aceite como resultado de un mal funcionamiento del motor.
	MD=85	
	DP=16	

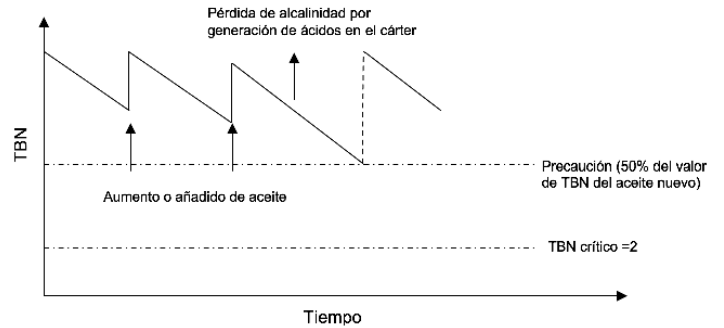
Tabla 2. Estructura de mancha de aceite. Fuente: Tormos

## Evolución de la detergencia en el periodo de uso del aceite

La detergencia es una propiedad que se pierde en el periodo de uso del aceite, considerando la degradación normal de los aditivos detergentes. El añadido de un aceite con elevada alcalinidad y detergencia a un aceite en proceso de degradación, generará una mezcla de mejores condiciones de detergencia que el aceite en degradación.



**Imagen 4.** Evolución de la detergencia en el periodo de uso del lubricante. Fuente: Tormos



**Figura 5.** Incremento de alcalinidad en función de añadidos de aceite en el tiempo

En la imagen 5, referida a la evolución del nivel de detergencia con el periodo de uso del aceite, se muestra el efecto de los añadidos de aceite en el periodo. El aumento de aceite crea una mayor dispersión de datos en la gráfica hasta alcanzar un nuevo valor de detergencia, manteniéndose el proceso de degradación.

De manera ideal el efecto del añadido de aceite tendrá un efecto de incremento y decremento en la alcalinidad (TBN) del lubricante formando un “diente de sierra” en función de los periodo de añadido de aceite similar a lo mostrado en la imagen 5.

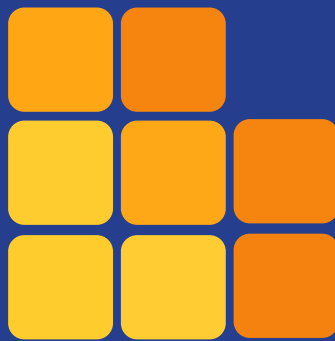
## Conclusiones

La detergencia como propiedad del aceite lubricante guarda una relación proporcional con la alcalinidad; sin embargo, el TBN no es determinante en la evaluación de la degradación de aditivos detergentes. Los aceites con una mayor alcalinidad y elementos metálicos (Ca, Mg) en ppm que son parte de los aditivos detergentes son usados en la lubricación principalmente de motores de combustión interna y estarán en función de la especificación API necesaria para cada caso. El método de mayor versatilidad para la evaluación de la detergencia es el método de la mancha de aceite, el cual puede ser subjetivo cuando se realiza de forma manual; sin embargo, esta característica es superable mediante el uso de la fotometría que aporta repetibilidad y precisión en la evaluación de la detergencia. Finalmente, el añadido de aceite lubricante durante la operación, tenderá a crear inicialmente una dispersión en los datos de detergencia hasta llegar a un nuevo valor; sin embargo, la tendencia a la degradación de la propiedad detergente prevalece.

## Referencias

1. Tormos, B. (s.f). *Diagnóstico de motores diesel mediante análisis de aceite usado*. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.
2. Troyer, D. (1999). *Using photometry to analyze engine oil soot*.
3. Widman, R. (2014). *La determinación de degradación de lubricantes por análisis de laboratorio*.
4. Van Dam, W. (2002). *Measuring Reserve of Alkalinity*. 34-37.

# PREDYC<sup>®</sup>

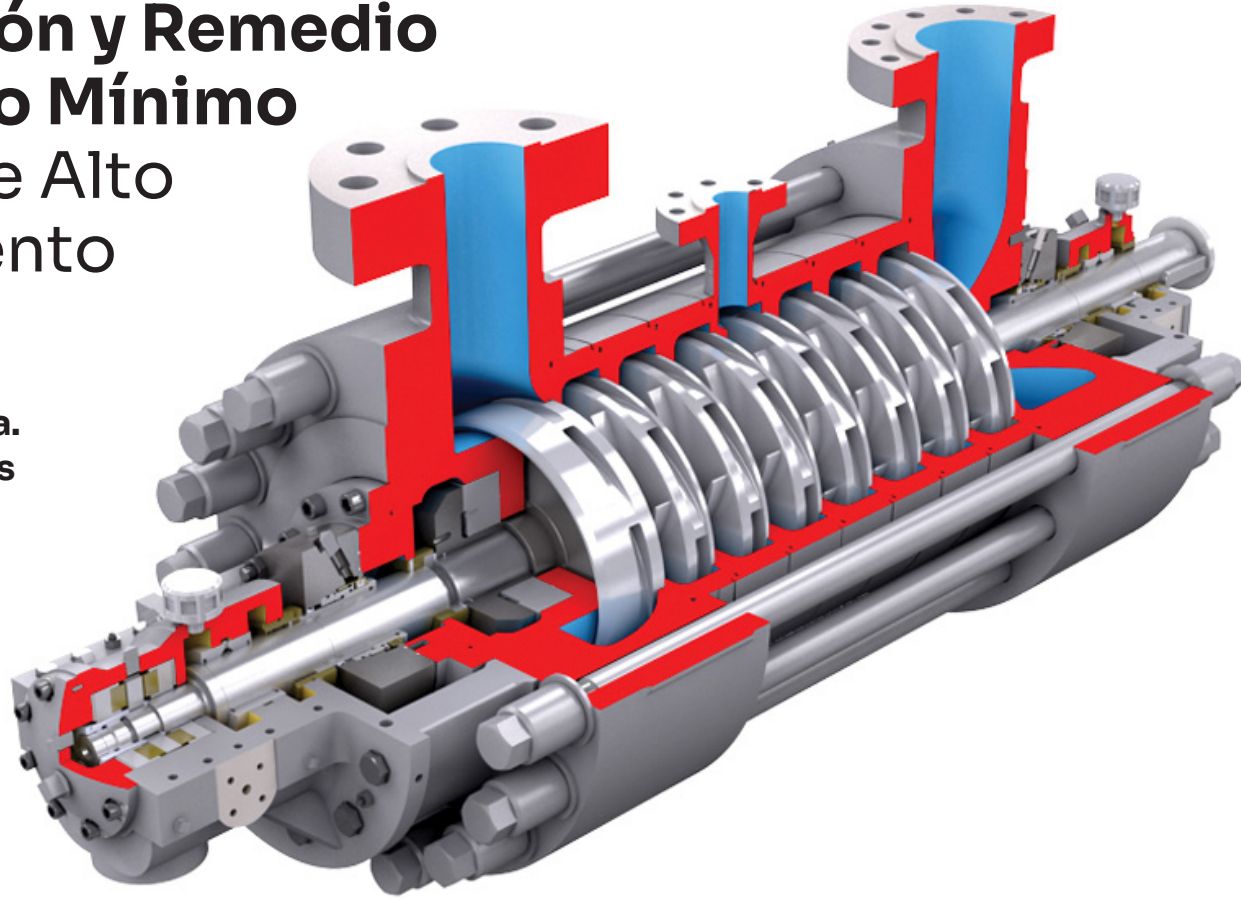


**SUITE DE CONFIABILIDAD**  
DISEÑADA PARA INGENIEROS DE  
CONFIABILIDAD

2021

# Investigación de Fallas, Reparación y Remedio Operativo Mínimo Bomba de Alto Rendimiento

**Estación de  
inyección de agua.  
El furrial, monagas**



**Luis Infante**

Director De Ingeniería



Ingeniero Mecánico / Especialista en Equipos Rotativos con más de 35 años de experiencia en Confiabilidad de Turbomaquinaria en la Industria Petrolera y Petroquímica.

infanteluis7@gmail.com



**Rodolfo Alvarado**

Ingeniero Mecánico Principal y Gerente de Proyectos



Ingeniero Mecánico Especialista en Proyectos Multidisciplinarios de Ingeniería con más de 20 años de experiencia en Gerencia de Proyectos en la Industria Petrolera y Minera.

## Introducción y antecedentes

Esta bomba de alto rendimiento sufrió una falla catastrófica durante el arranque inmediatamente después de un mantenimiento mayor. El haz hidrodinámico, el rotor y el cojinete DE se dañaron.

El operador solicitó reparar la bomba y permitir el funcionamiento de la bomba de alto rendimiento por un período de 4 a 6 meses, período que sería seguido por la actualización de cojinetes y acoplamientos.

Además, el operador solicitó una investigación de fallas y una justificación para el remedio prescrito.

La bomba de alto rendimiento es del tipo de alimentación de caldera de caja doble, 9 etapas, 750 gpm de agua, bomba centrífuga Ps 1800, Pd 5250 psi. El haz hidrodinámico es de tipo voluta. La velocidad nominal se incrementó de 6000 a 6600 RPM para mejorar el rendimiento hidráulico. Sin embargo, esto creó una especie de problema rotordinámico.

## Objetivo

El objetivo de este informe es brindar pautas para reparar el eje fallado, encontrar la causa raíz de la falla y diseñar un remedio operativo mínimo que permita operar la bomba de alto rendimiento a niveles vibratorios aceptables de 0.4 in / seg.

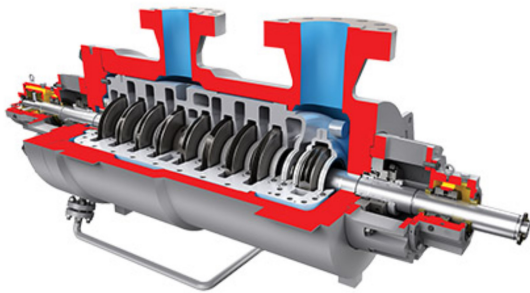
## Juego de sellos internos. La causa raíz más probable del fallo

La holgura recomendada para el sello central, el pistón de balance, el ojo y el cubo del impulsor se muestran en la Tabla 1 a continuación.

La Tabla 1 muestra la comparación entre las holguras internas (haz hidrodinámico) pertenecientes a tres fuentes diferentes, a saber:

- Bomba de alto rendimiento, diseño y medidas actuales el 10/02/17 en el Taller de la empresa O&G en Puerto La Cruz, VE.
- Holgura mínima según API 610.
- Típico de una bomba similar con problemas de vibración.

La Tabla 1 constituye la herramienta de diagnóstico clave de este informe en la medida en que se realiza esta investigación. La causa más probable de la falla son las holguras reducidas en los sellos internos. Las holguras libres ampliadas recomendadas se muestran en la Tabla 1.



Bomba de Alto Rendimiento – Aliment. Cald.

## Efecto dinámico de los sellos internos

Las Tablas 2 y 3 presentan un estudio comparativo de coeficientes dinámicos entre cojinetes existentes y sellos internos existentes como un intento de validar el análisis de respuesta sincrónica preliminar mostrado en las Figuras 3, 4 y 5.

Los sellos internos existentes se analizan con una holgura de diseño 1x y una holgura de diseño 2x como lo sugiere API 610. Las Tablas 2 y 3 comparan el efecto del sello con el efecto del cojinete en el comportamiento del rotor.

Una conclusión de las Tablas 2 y 3 es que el análisis de respuesta forzada necesita incorporar cuidadosamente el efecto de los sellos internos para ser confiable. Vea cómo los valores de los cojinetes (filas 5 y 84) tienen el mismo orden de magnitud que

los sellos (fila “tot”).

Otra conclusión es que un fuerte efecto desestabilizador tanto de los cojinetes como de los sellos está actuando sobre estos componentes y este efecto aumenta con cojinetes y sellos apretados.

Es evidente en este análisis que el efecto de los sellos sobre la respuesta forzada es predominante sobre el de los cojinetes existentes. Entonces, los sellos apretados están impulsando la respuesta del rotor.

Los sellos internos apretados empujan la primera velocidad crítica muy por encima del rango de operación (efecto lomakin) como se ve claramente en la Figura 4.

## Retrofit acoplamiento momento reducido en eje más corto

Se ha encontrado in situ que el eje es excesivamente largo en el lado opuesto al acople. Un acoplamiento de momento reducido junto con el acortamiento del eje sería beneficioso para mantener la respuesta sincrónica del rotor lejos de las resonancias. Ver Figura 1.

La Figura 1 muestra cómo el centro de gravedad del acoplamiento de momento reducido y los discos flexibles se acercan al rodamiento. El acoplamiento de retroadaptación es más ligero y, por lo tanto aumenta el promotor de velocidad crítica.

Consulte los detalles en un informe de análisis rotordinámico separado.

## Cojinete basculante de seis almohadillas para mejorar estabilidad y soporte

El cojinete de almohadilla basculante de seis almohadillas es una buena opción para la estabilidad y el soporte de este eje delgado de alta velocidad. La Figura 2 muestra especificaciones detalladas y análisis de distribución de las almohadillas que muestran cómo el aumento de las holguras libres descargan las almohadillas superiores y también por qué la disposición de 6 almohadillas ofrece el mejor soporte.

Consulte el análisis de estabilidad y rodamiento rotordinámico en un informe separado.

## Lecturas de vibración vs respuesta sincrónica simulada

Los altos niveles de vibración (20 mil de, 5 mil LA) en la Figura. 3 llevaron a simular el comportamiento rotordinámico de la



bomba con un peso desequilibrado de prueba ubicado en el acoplamiento, tomando en cuenta que el operador informó que el acople no ajustaba bien. El modelo matemático elastomástico se muestra en la Figura 4.

El efecto Lomakin proporcionado por los sellos internos ubica la primera velocidad crítica en la vecindad de 10,000 rpm muy por encima de 6,600 rpm, velocidad de operación cuando esta bomba se retroadapta con el cojinete y el acoplamiento prescritos en este informe. Consulte la Figura 5. Por lo tanto, es probable que esta bomba no resuene a pesar del trazo de vibración pronunciado obtenido (consulte la parte inferior de la Figura 5). Desafortunadamente, la respuesta rotodinámica con el rodamiento y el acoplamiento existentes no estaba disponible en el momento de redactar este informe.

La atención debe centrarse entonces en el equilibrio y la estabilidad dinámica del sistema de soporte de la subestructura del rodamiento del rotor y es la razón por la que recomendamos una modificación del rodamiento y el acoplamiento con un plano de equilibrio en el acoplamiento. Recortar el eje en la zona final de la transmisión (hay espacio disponible) también es un enfoque de mitigación previsible.

Un enfoque de calibración para el modelo matemático de masa elástica en la Figura 4 se presenta en el anexo 2 - configuración para prueba funcional.

### Destacando mitigación

La Tabla 4 a continuación presenta un compendio de la mitigación mínima necesaria para lograr el objetivo propuesto de tener un desempeño vibratorio aceptable, utilizando el cojinete y el acoplamiento existentes, dando así alivio mientras se lleva a cabo el Remedio prescrito (reacondicionamiento del cojinete y del acoplamiento).

### Especificaciones técnicas de reparación de la bomba

La Tabla 5 mas abajo presenta algunas especificaciones técnicas clave para el trabajo de reparación a realizar en el taller de máquinas.

Estas especificaciones técnicas han sido revisadas y comparadas con trabajos similares realizados por el mismo OEM en bombas de alimentación de calderas similares a nuestra bomba de alto rendimiento.

O&G Co debe discutir estas recomendaciones con el OEM y

consultar al autor en caso de discrepancias.

### Conclusiones y recomendaciones

En este informe se proporcionan abundantes conclusiones y recomendaciones en los capítulos individuales y las figuras y tablas respectivas. Vea el capítulo 7.

La causa más probable de la falla son las holguras reducidas de los sellos internos del haz hidrodinámico.

### Recomendaciones adicionales de reparación. Bomba centrífuga 9 etapas - procedimiento de taller

1. Verifique los centros del eje. Ajuste si es necesario.
2. Mida el runout a lo largo de todo el rotor.
3. Enderece el eje si el runout es superior a 2 milésimas de pulgada TIR.
4. Limpiar con lija 400 la zona de los anillos de sello de desgaste giratorios. En estacionaria, elimine las rebabas con limas.
5. Rectifique el manguito giratorio central del eje y la zona del pistón de balance con el metal base (elimine el metalizado y logre una superficie de metal base homogénea) y pula.
6. Equilibre dinámicamente MAX 4 W / N.
7. Fabrique el buje central y el buje de equilibrio del pistón con un material con una dureza 50 Brinell menor que la dureza del eje (eje pulido). El espacio libre del sello central debe estar entre 13 y 14 milésimas de pulgada de diámetro. El espacio libre en la balanza del pistón debe estar entre 12 y 14 milésimas de pulgada de diámetro.
8. Desbalance residual máximo permitido  $4 W / N = 4 \times 400/6600 \Rightarrow .24 \text{ oz-in}$  o  $0.12 \text{ oz-in}$  por plano. Dos planos de equilibrio.

**NOTA:** El presente método se ha desarrollado en base a las siguientes premisas:

- No hay repuestos (partes).
- Es urgente volver a poner la bomba en funcionamiento.

### Preparando la prueba de impacto sobre el eje

1. Rotor colgado muy horizontalmente con dos cuerdas por el medio de los muñones. Cuerdas del mayor largo posible. Longitud mínima de la cuerda = tramo en puente / 3. Registre la longitud de la cuerda.
2. Colocar un pequeño acelerómetro en un extremo del rotor, en posición horizontal.
3. Registrar la longitud total del rotor, la distancia entre ejes, el peso y el centro de gravedad CG del rotor completo. El CG se determinará colgando el rotor con una cuerda, hasta que quede horizontal. Luego mida la distancia desde un extremo hasta la cuerda.
4. Asegúrese de que estén instalados el collar, los manguitos de los sellos, el cubo del acople. Tome las medidas necesarias para unir / incorporar la mitad del peso del espaciador al cubo. Si es demasiado difícil, no importa, no lo haga (coloque el cubo solo).
5. Golpear con un martillo de latón en el otro extremo del rotor, golpeando exactamente en horizontal. Grabe un espectro con un promedio de 5 o 6 muestras. Repite dos veces. Obtenga la Tabla de picos del analizador. Luego golpee con un martillo de plástico duro y registre un espectro. Repite dos veces.
6. Repita el paso 5 golpeando en otro lugar y colocando también el acelerómetro en otro lugar.
7. Asegúrate de identificar todos los espectros con la configuración utilizada.
8. Proporcione el grado de acero para el eje. Turbodina, C.A. Bearing Failure High Energy Pump. Water Injection Stat. - O&G Co, C.A.

**Tabla 1.** Análisis De Juegos Internos. Bomba De Alto Rendimiento

	Diam - inch						Clearance - mils				C/D Ratio - mils/inch			
	Shaft	Imp.	Piston	Central	Eye	Hub	Piston	Central	Eye	Hub	Piston	Central	Eye	Hub
High Energy Pump API - Min	2.6	9.1	3.8	4.2	6.1	4.5	13	14	15	15	3.5	3.2	2.5	3.3
Typ	2.4	9.3	4.1	3.5	5.5	4.5	13	15	18	15	3.5	4.0	4.8	4.0
							15	12	19	19	3.7	3.4	3.5	4.2

Note: Some experts consider API clearances too tight

Conclusions on High Energy Pump Clearances:

Design clearances too tight.

Installed Clearances exaggeratedly tight.

Recomm.:

Enlarge clearances to API +50% impellers 1-4 ==>

Enlarge clearances to API + 25% impellers 5-9 ==>

Shop Measured: 13  
Shop Measured: 10

Piston	Central	Eye	Hub
23	27	23	
16	23	19	

**Tabla 2.** Efecto Rotodinámico de Los Sellos. Caso Duro - Holgura de Diseño 1X

	Kxx	Kxy	Kyx	Kyy	Cxx	Cxy	Cyx	Cyy
5 NDE Bearing	-926,926	4,439,774	-6,855,846	1,573,148	13,596	2,974	3,385	21,462
15 Small Seal HP	35,628	29,368	-32,335	45,086	140	-17	-17	154
18 Large Seal HP	351,470	362,731	-417,947	355,496	1,154	-222	-219	1,330
31 Equivalent Imp 5-9	164,710	120,685	-132,935	212,585	380	-25	-25	420
45 Central Seal	533,249	507,471	-583,257	541,156	1,615	-275	-271	1,856
55 Equivalent Imp 1-4	131,768	965,348	-106,348	170,068	304	-20	-20	336
68 LP Seal	28,034	31,897	-35,216	36,669	101	-10	-10	112
Tot Seals	1,244,859	2,017,500	-1,308,038	1,361,060	3,694	-569	-562	4,208
84 DE Bearing	-926,926	4,439,774	-6,855,846	1,573,148	13,596	2,974	3,385	21,462

**Tabla 3.** Efecto Rotodinámico de Los Sellos. Caso Suave - Holgura de Diseño 2X

	Kxx	Kxy	Kyx	Kyy	Cxx	Cxy	Cyx	Cyy
5 NDE Bearing	-91,307	8,623,42	-1,328,966	397,584	2,743	390	439	4,073
15 Small Seal HP	10,512	24,457	-27,363	14,925	78	-10	-10	87
18 Large Seal HP	181,893	2,086,99	-230,202	207,580	664	147	144	732
31 Equivalent Impellers 5-9	45,000	70,000	-75,000	65,000	225	-10	-10	225
45 Central Seal	271,949	292,667	-322,614	312,058	931	-181	-177	1,026
55 Equivalent Impellers 1-4	36,000	68,000	-80,000	52,000	180	-15	-15	180
68 LP Seal	7,856	17,492	-19,659	11,371	55	-5	-5	62
Tot Seals	553,210	681,315	-754,838	662,934	2,133	-74	-73	2,312
84 DE Bearing	-91,307	8,623,42	-1,328,966	397,584	2,743	390	439	4,073

Description	Value	Units
Model	Ameriflex RM or similar	
Shafts Separation	7-27/32	in
Speed	6600	rpm
Power	3000	HP
Driving shaft diam	3, keyed & taper	in
Driven shaft diam	2-5/8, keyed & taper	in
Dist. To Bearing	10 approx	In
Cplg total weight	35 or less	lbf
Existing cplg	KD 20 size 204 Lhub	

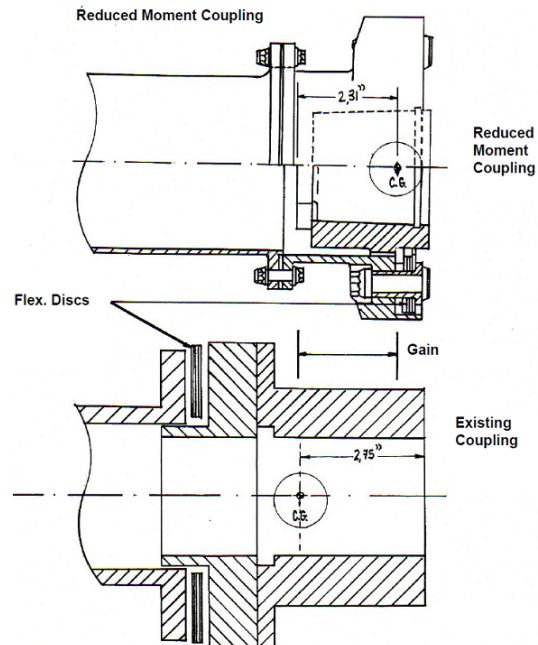


Figura 1. Especificaciones básicas de acoplamiento de momento reducido. fuente: Luis Infante

<b>Pads</b>	6 pads load on pad
<b>Nominal shaft Diameter</b>	2-5/8 inches
<b>L/D</b>	1
<b>Offset</b>	0.5 (centered pivot)
<b>Arc</b>	50 deg
<b>Outer diameter</b>	4-3/4
<b>Assembled clear. range</b>	4 to 6 mil – adjustable
<b>Machined (ground) clearance range</b>	19.5 TO 20.5 mils.
<b>Materials</b>	Standard steel backed babbitted pads. Hardened pivots to 60 RC.
<b>Tilting capability</b>	Both of axial and radial directions

**Recipient pump** Double Case Boiler Feed Type, 6600 rpm, 750 gpm of water, Ps 1800, Pd 5250 psi.

<b>Shaft diameter tolerance</b>	2-5/8 + 0.0000 / - 0.0005 inch
<b>Bearing Bore (assembled) tolerance</b>	2-5/8 + 0.0025/- 0.0000 inch
<b>Pad (babbit) diameter tolerance</b>	2.6452 +/- 0.0008 inch
<b>Oil grade ant inlet temp</b>	ISO46 @ 110 – 120 F

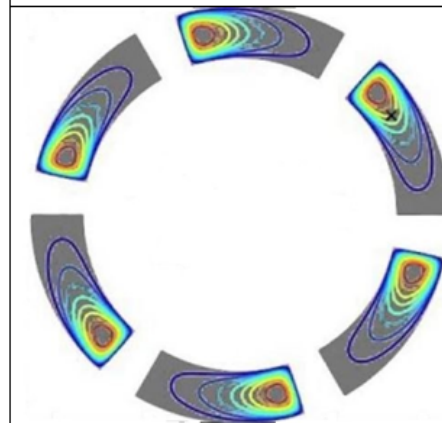
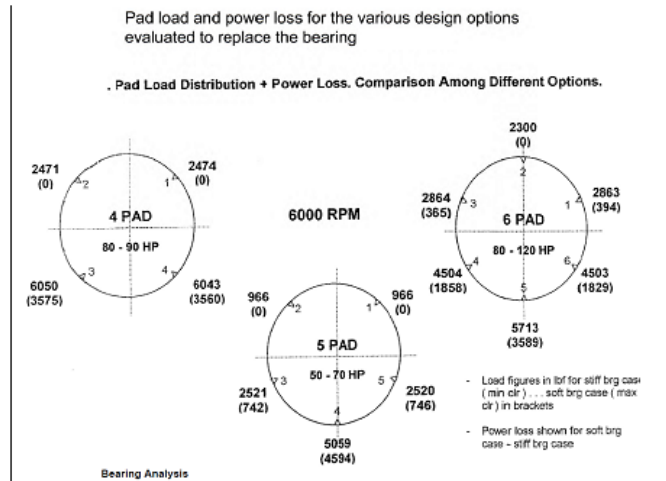
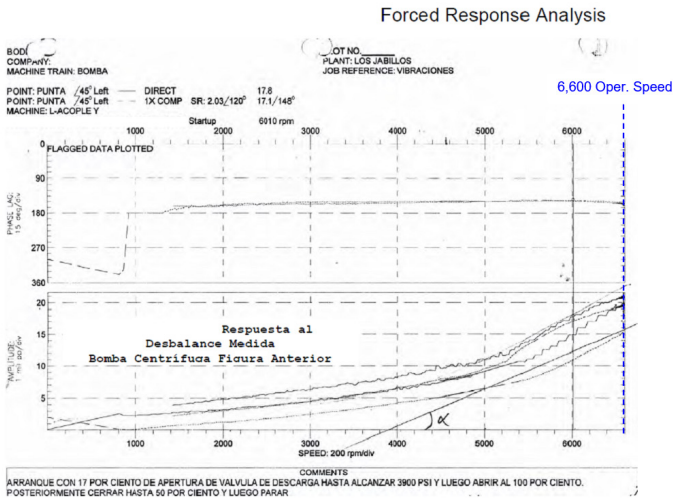
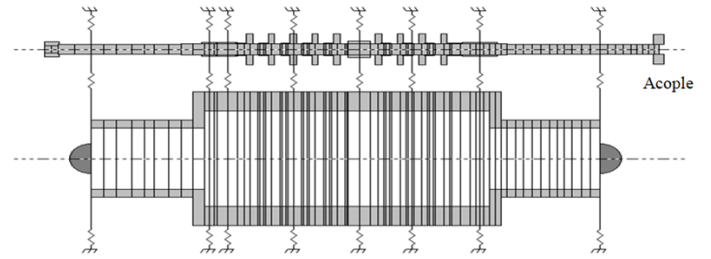


Image by Andreas Almquist – YouTube Amnimation

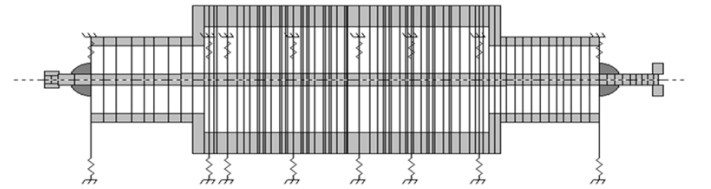
Figura 2. Especificaciones del cojinete de almohadillas basculantes. Fuente: Luis Infante Excepto imagen inferior derecha.



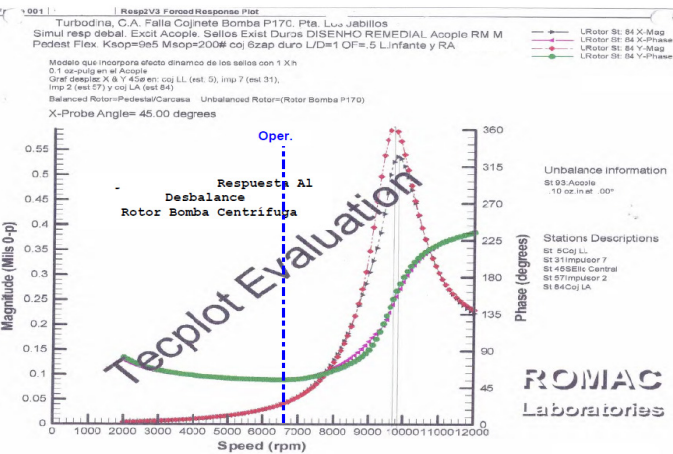
**Figura 3.** Diagrama de Bode. Medir la Respuesta a la Bomba de Alto Rendimiento del Rotor de Desequilibrio. Fuente: Luis Infante.



Turbodina, C.A. Falla Cojinete Bomba P170. Pta. Los Jabillos - Phoenix, C.A. Simulación de respuesta al desbalance. Excit Acople, Coj y Sellos Exist Duros acople exist. Pedest Flex. Rodolfo Alvarado & Luis Infante H.



**Figura 4.** Modelo rotodinámico concéntrico de masa elástica para bomba de alto rendimiento. Fuente: Luis Infante y Rodolfo Alvarado.



**Figura 5.** Respuesta Del Rotor Simulado Al Desequilibrio. Diseño De Remediación Con Retroadaptación Brg + Reduced Moment Cplg. Fuente: Luis Infante

**Tabla 4.** Destacando Mitigación. Cojinete Y Acople Existentes

PREMISES	Instability	Unsupported/light bearing housings. Tight Bearings Clearance. Shaft too long Misadjusted/unbalanced coupling. No field balancing planes.
	Resonance	Internal seal clearances too tight. Tight Bearings Clearance. Retrofit Reduced Moment Cplg. Anomalies in bearing housings. Misaligned bearing housings.
	General	Bearing housing running hot. Dismiss beating housing distortion.
RECOMMEND.	Minimal Mitigation	Trim the shaft on the drive end Add 150 Lb mass to bearing hsgng. Increase internal clearances. Increase brg clearance, max 6 mil. Fin current bearing housing ribs. Dismiss bearing housing distortion. Use coupling as balancing plane. Adjust/balance coupling. Correct brg housing anomalies

**Tabla 5.** Algunas Especificaciones Técnicas De Reparación Claves. Bomba De Alto Rendimiento.

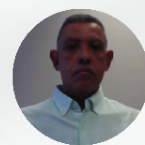
No	Concept	Concept
1	Wear Ring Material	AISI 410 Hardened
2	Hardness Stationary Wear Rings	28 HRc
3	Hardness Rotating Wear Rings	38 HRc
4	Overspeed test	7300 rpm
5	Balancing of individual components	Step by step assembly balancing
6	Two planes rotor balancing	0,1 oz-in per plane - 600 rpm
7	Axial play	10 mil
8	Central bushing material	Graphaloy
9	Shaft run out	1,5 mil
10	Rings run out	2,0 mil
11	Interfer. rot. wear rings	0,5 - 1,0 mil
12	Anti-rotation pin at rot wear rings	Yes
13	Coupling contact area	90%
14	Radial bearing contact area	90%
15	Check frame settlement with a pattern	

[Descarga todas las ediciones](#)

[haz click aquí](#)



# Introducción al análisis de fallas múltiples



**Arquímedes José Ferrera Martínez**

CMRP, CRL



[arquimedes.ferrera.m@gmail.com](mailto:arquimedes.ferrera.m@gmail.com)

## Resumen

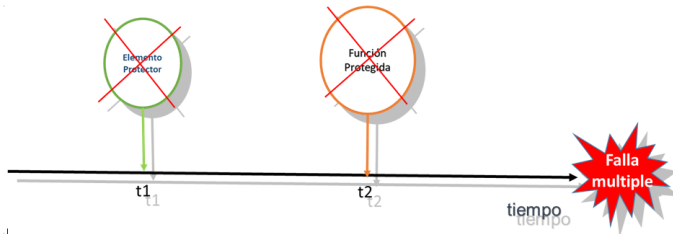
Las fallas múltiples son las principales causas de las fallas catastróficas, la mayoría de los accidentes que causan pérdidas humanas, daños al ambiente o instalaciones, generalmente están asociadas a errores humanos o fallas múltiples, es por eso que se hace indispensable su análisis detallado con el fin de prevenir sus ocurrencias y de no ser posible, minimizar sus consecuencias. El análisis de fallas múltiples está generalmente muy asociado a las **fallas no detectadas u ocultas** como lo indica la metodología de Análisis de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM). En este artículo se propone una metodología sencilla para su análisis basada en normas o estándares usados comúnmente.

## Introducción

La mayoría de las instalaciones, sistemas y equipos industriales están expuestos a sufrir fallas, las cuales se hacen más graves cuando están relacionadas a fallos múltiples, generalmente los daños asociados a este tipo de evento pueden provocar la destrucción total o parcial de instalaciones y/o equipos, daños ambientales irreversibles e incluso pérdidas humanas. Es por esta razón que se hace indispensable el análisis de las fallas múltiples con el fin de detectarlos a tiempo para prevenir su ocurrencia o mitigar sus consecuencias.

Una falla múltiple ocurre cuando falla la función protegida mientras el propio dispositivo de seguridad, protección o control está averiado o en falla, yo ampliaría esta definición de John Moubray de su libro RCMII, no solo cuando falla un dispositivo de

seguridad, protección o control asociados a la función protegida, sino también cuando falla al arranque un equipo de respaldo o de “spare”, como por ejemplo: bombas de respaldos de sistemas contra incendio, plantas generadoras de electricidad de respaldo para cubrir picos de consumo.



**Figura 1.** Ejemplo de Falla múltiple (FM)

Las fallas múltiples están asociadas principalmente a fallas ocultas:

- En el caso de los dispositivos de seguridad, solo se produce un fallo múltiple si falla la función protegida mientras el propio dispositivo de seguridad está averiado.
- Las Fallas ocultas están mayoritariamente constituidas por los dispositivos de seguridad que no disponen de seguridad inherente y las que se instalan para el respaldo de quipos.

Se llama **falla no detectada u oculta** a las fallas que no son detectables bajo circunstancias normales, haría falta un procedimiento para ser detectadas. De los cuales se estima que pueden ser hasta el 50% de los modos de falla en los sistemas y equipos modernos debido a su automatización. Se asume que no se hace ningún mantenimiento o prueba y que la detección es independiente del tiempo.

El monitoreo de los sistemas y equipos debido a la presencia de cambios dinámicos de los procesos operativos que afectan la operación normal, así como la presencia de variables externas ambientales o humanas, permiten un diagnóstico de fallas que es capaz de localizar el conjunto de modos de fallas involucrados en eventos de fallas múltiples. El método detecta los modos de fallas, el tipo de falla, el tiempo en el cual está presente la falla y la probabilidad de ocurrencia nos podrá ayudar a detectar o evitar un fallo múltiple.

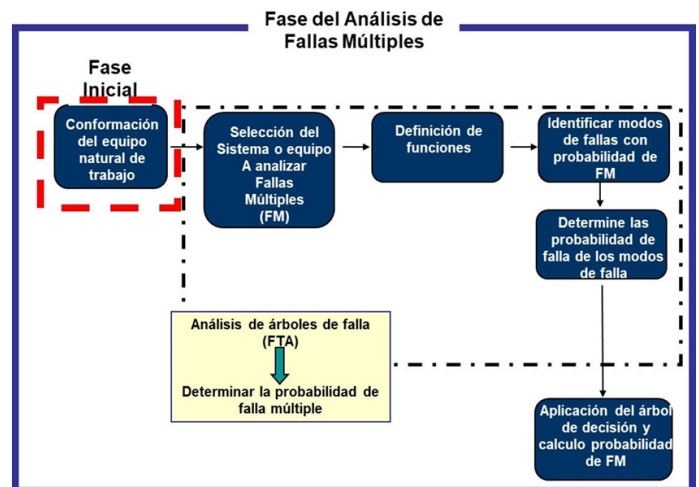
La detección de la fallas múltiples no es un proceso sencillo debido a la complejidad de los sistemas actuales, sin embargo su análisis nos permitirá identificar las posibles causas, efecto con el objetivo de determinar las tareas proactivas que permitan evitar su ocurrencia.

### Análisis de Fallas Múltiples

El método propuesto para el análisis de las fallas múltiples (Análisis de Fallas Múltiples Optimizado - AFMOp©) está compuesto de cinco (05) fases como se muestra en la figura 2, de las cuales las tres (03) primeras fases las podemos extraer de las normas SAE JA1011 “Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes”, y el punto 4.4.2 “FMEA process” de la metodología “Procedures for performing a Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis (FMECA)” de la norma MIL-STD-1629A. Para el punto 5, nos apoyamos en parte en la norma IEC 61025 – “Fault tree analysis (FTA)”.

Antes de determinar la probabilidad de falla múltiple de un sistema o equipo, debemos identificar los modos de falla ocultos y las probabilidades de falla individuales de cada elemento del sistema. El análisis de los datos, es el principal paso para poder determinar las funciones probabilísticas de falla, los datos estadísticos en la mayoría de los casos requieren un manejo y revisión previa, debido a que tienden a ser escasos, poco confiables o inexactos, por todo esto la recopilación de información, es sumamente crítica, ya que se van a procesar de una u otra forma para llegar a resultados confiables.

Recopilar datos significa obtenerlos mediante bases de datos de fallas o en bases de datos genéricas para equipos y componentes similares y contextos operacionales parecidos. Una vez que hemos recopilado los datos, tenemos que representarlos o expresarlos en forma de gráficos, tablas, texto, o combinando las anteriores, de manera que sea más fácil su análisis.



**Figura 2.** Metodología de Análisis de Falla múltiple (AFMOp©)

Resulta oportuno mencionar que la Metodología de **Análisis de Falla múltiple Optimizada (AFMOp©)** propuesta, requiere de conocimiento de los sistemas y/o equipos a analizar, por lo que es imprescindible realizar este tipo de análisis con un equipo multidisciplinario que incluya a personal de operación, mantenimiento y seguridad que está en las labores cotidianas de la planta o instalación.

## Selección del sistema y/o equipo

Existen varios métodos que podemos utilizar para determinar por donde iniciar este tipo de análisis, un método de jerarquización representa una excelente herramienta para tomar este tipo de decisiones y permite a su vez direccionar los recursos y esfuerzos, por lo que el Análisis de Criticidad (CA) permite establecer bajo criterios homologados, niveles jerárquicos en sistemas, equipos y componentes, para ser clasificados como de alta, media o baja criticidad, de acuerdo a su impacto total en el proceso, obtenido de la influencia combinada de la probabilidad de ocurrencia de fallas por sus consecuencias en la seguridad, ambiente, producción, operación y costos.

En esta etapa se deberá llevar a cabo una recopilación de datos de fallas de los sistemas o equipos, con sus impactos asociados, con el fin de realizar un tratamiento de los mismos, para determinar las probabilidades de fallas futuras y sus consecuencias. Aunque en este punto solo podemos determinar el impacto individual de las fallas, al desarrollar el punto 5 de la metodología nos permitirá establecer la probabilidad de falla múltiple.

Es fundamental identificar correctamente las fallas y sus probabilidades de ocurrencia, así como cuantificar su impacto utilizando elementos que incluyan el análisis cuantitativo de riesgo, con el objeto de focalizar los esfuerzos la atención en aquellas áreas que generen mayores riesgos o impactos a las operaciones.

En definitiva la selección del sistema y/o equipo que se analizará incluye su nivel de criticidad, identificando su impacto individual asociados a consecuencia en la seguridad, ambiente, operaciones y el desempeño esperado en todos los niveles del mismo, las restricciones del sistema.

De los valores obtenidos del Rango de Criticidad, se establecerá la Jerarquización de Criticidad del Activo (Instalación, Proceso, Sistema o Equipo). A continuación en la tabla No. 1, se muestra un ejemplo de tales niveles de Criticidad:

**Tabla 1**

Nivel de criticidad del equipo	Rango cualitativo	Color
ALTA (A)	CRITICIDAD "A" > 150	ROJO
MEDIA (B)	CRITICIDAD "B" 90-180	AMARILLO
BAJA (C)	CRITICIDAD "C" 0-90	VERDE

## Definición de las funciones del sistema y/o equipo

Las narrativas funcionales del sistema y/o equipos deben incluir descripciones de cada desempeño esperado en términos cuantitativos y cualitativos que permita identificar las tareas a realizar para cada misión, fase de la misión y modo operativo. Las narrativas deben describir los perfiles de seguridad, ambientales, los tiempos de esperados de operación normal y la utilización del equipo, y las funciones y propósito del sistema (razón por la cual existe). ¿Qué se necesita que haga? ¿De qué debe ser capaz?.

En la tabla No.2 se muestra un ejemplo de las funciones de un sistema de bombeo de aceite.

**Tabla 2**

Equipo/componente	Función	Modos de Fallas	Tipo de Modo de Falla	Potencial Efecto de las fallas
BOMBA PRINCIPAL DE ACEITE	Suministro de aceite al sistema de cojinetes y control			
MOTOR Y BOMBA AUXILIAR DE ACEITE	Suministro auxiliar de aceite al sistema de control y cojinetes			
MOTOR Y BOMBA DE EMERGENCIA DE ACEITE	Operar en caso de falla principal y auxiliar			

## Identificar los modos de fallas

La norma ISO 14224 define a los modos de fallas como: “Efecto por el cual una falla es observada en un ítem fallado”, sin embargo en nuestro caso no solo debemos identificar los modos de fallas visibles sino que también hay que determinar los modos de fallas no detectados cuando el sistema está en condiciones normales de operación. Estos modos de fallas están asociados a equipos o componentes con fallas no detectadas (UF - Undetected Failures) es decir, un “estado de un ítem caracterizado por la incapacidad para realizar una función requerida”, esto debido a que generalmente son los causantes de las fallas múltiples.

Mientras mayor sea el nivel de análisis de los modos de fallas, mayor será la cantidad de modos de falla a identificar. El proceso de avance en los niveles de detalle debe detenerse hasta el punto en el cual el equipo multidisciplinario que está efectuando el análisis tiene control sobre el modo de falla.

El nivel al cual debe ser identificado cualquier modo de falla es aquel que posibilita la identificación de una apropiada política para gerenciar la falla. En la tabla No.3 vemos un ejemplo de modos de fallas visibles y no detectadas en condiciones normales de operación.



Equipo/componente	Función	Modos de Fallas	Tipo de Modo de Falla	Potencial Efecto de las fallas
Bomba Principal de aceite	SUMINISTRO DE ACEITE AL SISTEMA DE COJINETES Y CONTROL	FALLA DE LA BOMBA O FALLA DE LA TUBINA	evidente	Esta falla es evidente cuando la alarma detecta baja presión de aceite lubricante. Podemos saber antes de que ocurra la falla al observar las tendencias de presión de suministro de aceite en el cabezal. Si la presión del aceite cae demasiado, hace que el equipo se detenga.
Motor y bomba Auxiliar de aceite	SUMINISTRO AUXILIAR DE ACEITE AL SISTEMA DE CONTROL Y COJINETES	FALLA DEL MOTOR O BOMBA	evidente	Esta falla es evidente cuando la alarma detecta baja presión de aceite lubricante. Podemos saber antes de que ocurra la falla al observar las tendencias de presión de suministro de aceite en el cabezal. Si la presión del aceite cae demasiado, hace que el equipo se detenga.
Motor y bomba de emergencia de aceite	OPERAR EN CASO DE FALLA PRINCIPAL Y AUXILIAR	FALLA DEL MOTOR O BOMBA	No detectado u oculto	Este es una falla oculta. En caso de falla de las bombas principal y auxiliar, no hay forma de saber que la falla se está poniendo en funcionamiento. Una bomba de emergencia averiada si el equipo está en funcionamiento, puede provocar daños en los cojinetes y una avería catastrófica de la turbina.

Tabla 3

## Determinar las probabilidades de falla

La probabilidad de que un componente sobreviva/funcione más allá de un instante t, viene determinada por la Función de Supervivencia, que en el ámbito de la confiabilidad recibe el nombre de Función de confiabilidad (Reliability Function):

$$R(t) = \Pr(T \leq t) = \int_t^\infty f(x)dx$$

El complemento de la confiabilidad  $F(t)=1-R(t)$  es la probabilidad de falla, o sea que no sobrevivan el mismo tiempo t.

La confiabilidad de un equipo o componente (por ejemplo, un motor o una bomba) o el sistema completo se miden por el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF). Es el tiempo promedio hasta que ocurre una falla y generalmente se mide en horas o en años. Un MTBF de 8760 horas significa que, en promedio, cada año ocurre una falla, según una muestra grande.

Uno de los problemas con este cálculo es que la aparición de fallos no sigue una distribución uniforme. La tasa de fallas es alta para equipos nuevos (mortalidad infantil) y si el equipo llega al final de su vida. Para nuestro análisis consideraremos que los equipos están en el tiempo intermedio, es cuando queremos utilizar el equipo para la producción.

La inversa del MTBF es la tasa de fallas (n). La tasa de falla anualizada (TFA) se define como el número promedio de fallas por año:

$$TFA = 1/MTBF \text{ años} = 8760/MTBF \text{ horas}$$

Por ejemplo una bomba de aceite de una turbina que ha operado 380,069.00 horas y ha tenido 6 fallas en ese periodo significa de

tiene un MTBF de 63,344.83 es decir en promedio cada 7.23 años, lo que significa una TFA de 0.1383 fallas al año.

Las tasas de falla de los diversos equipos se muestran en la Tabla No. 4. La confiabilidad y la probabilidad de falla se calculan para cada componente individual asumiendo un período de operación determinado.

## Árbol de falla y cálculo de probabilidad de falla múltiple

El análisis de árbol de fallas (FTA) nos permite la identificación y análisis de las condiciones y/o factores que causan o pueden causar o contribuir a la ocurrencia de un evento superior definido, en nuestro caso, una falla múltiple (FM). Con FTA, este evento suele ser una afectación a la seguridad o medio ambiente, degradación del rendimiento del sistema u otras condiciones operativas importantes.

El análisis del árbol de fallas (FTA) se fundamenta para el análisis de seguridad de sistemas (como sistemas de generación eléctrica, compresión de gas o cualquier otro sistema que pueda requerir una evaluación de la seguridad de su funcionamiento). El análisis del árbol de fallas también se puede utilizar para el análisis de disponibilidad y confiabilidad.

Uno de los principales usos que tiene un FTA son:

- Determinar la combinación lógica pertinente de eventos que conducen al evento principal y, potencialmente, su priorización;
- Para investigar un sistema en desarrollo y anticipar y prevenir, o mitigar, las causas potenciales de un evento superior no deseado;

Tabla 4

Equipo/componente	Tasa de falla $\lambda$ (fallas/año)	Confiabilidad $R(t)=e^{-\lambda t}$	Probabilidad de Falla $P(t)=1-R(t)$	Fuente
Bomba Principal de aceite	0.5251	59.15%	40.85%	OREDA DATA BASE
Motor y bomba Aux de aceite	0.5251	59.15%	40.85%	OREDA DATA BASE
Motor y bomba de emergencia de aceite	1.3480	25.98%	74.02%	AFMo DATA BASE

Continuando con nuestro ejemplo, en la figura siguiente se muestra el análisis de árbol de falla (FTA) de 3 niveles.

Tabla 5

No. Equipo/componente	Equipo/componente	Tasa de falla $\lambda$ (fallas/horas)	Confiabilidad $R(t)=e^{-\lambda t}$	Probabilidad de Falla $P(t)=1-R(t)$	Fuente
1	Bomba Principal de aceite	0.0003994	99.960%	0.03993%	OREDA DATA BASE
2	Turbina de la Bba de aceite	0.0008497	99.915%	0.08493%	OREDA DATA BASE
3	Motor de la Bba de aceite Aux	0.0000657	99.993%	0.00657%	OREDA DATA BASE
4	Bomba de aceite Aux	0.0003994	99.960%	0.03993%	OREDA DATA BASE
5	Motor diésel de la Bba de aceite de Emergencia	0.0018576	99.814%	0.18559%	OREDA DATA BASE
6	Bomba de emergencia de aceite	0.0003994	99.960%	0.03993%	OREDA DATA BASE

### Análisis cualitativo del árbol de fallos

El árbol de falla es una representación gráfica de cómo podemos llegar al evento tope (falla múltiple) a partir de las fallas individuales de cada componente descrito en el árbol. Sin embargo esta representación puede expresarse en forma de una ecuación equivalente de confiabilidad o probabilidad de falla, al sustituir las compuestas “AND” como componentes en serie y “OR” como componentes en paralelo por ejemplo.

Para los componentes que están en serie:

$$R_{Sist}(t) = R_1(t) \times R_2(t) = \prod R_i ; P_{sist}(t) = 1 - R_{Sist}(t)$$

Para los componentes que están en paralelo:

$$P_{Sist}(t) = P_1(t) \times P_2(t) = \prod P_i ; R_{sist}(t) = 1 - P_{Sist}(t)$$

En nuestro ejemplo, para que ocurra una falla múltiple que deje sin lubricación a los cojinetes de la turbina y por lo tanto una posible falla catastrófica asociada a costos operativos y de reparación, la probabilidad sería:

$$P_{FBP} = P1 \times P2;$$

$$P_{FBAux} = P3 \times P4;$$

$$P_{FBE} = P5 \times P6;$$

La probabilidad de falla general (falla múltiple) será entonces:

$$R_{FM} = (1 - P_{FBP}) \times (1 - P_{FBAux}) \times (1 - P_{FBE})$$

$$P_{FM} = 1 - R_{FM}$$

Sustituyendo los números proporcionados en la Tabla No. 5 y resolviendo la ecuación:

$$P_{FM} = 0.000111\%$$

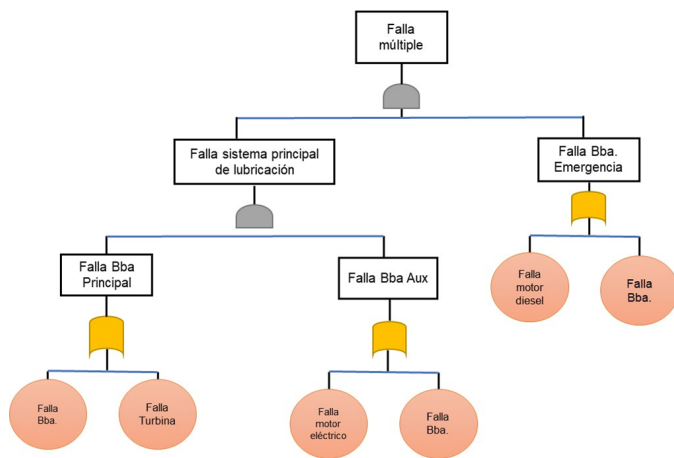


Figura 3. Análisis de Árbol de Falla

Desde luego, el árbol podría profundizarse más, analizando las causas de los eventos que hemos denominado principales. En cualquier caso, el grado de profundidad en el desarrollo de los eventos dependerá de los objetivos del estudio. En general, un nivel como el mostrado en el ejemplo podría ser suficiente para este análisis, pero como se mencionó anteriormente dependerá de la complejidad del sistema y/o equipo.

Una vez completado el árbol de falla, procedemos a determinar las probabilidades de fallas de los modos de fallas determinados de cada elemento tal como de la tabla 5, en la que se detalla la tasa de falla, la confiabilidad y probabilidad de falla, su denominación simplificada a efectos del dibujo del árbol, y una descripción más detallada, incluyendo el modo de fallo. Esto último es especialmente importante dado que la mayor parte de los componentes estudiados tienen más de un modo de fallo.

**Basados en los datos suministrados, para este ejemplo en particular la probabilidad de falla múltiple es muy pequeña pero existe.**

## Conclusiones

Dependiendo del sistema o equipo a analizar, la determinación de la probabilidad de falla múltiple puede ser compleja, sin embargo con la Metodología de Análisis de Falla Múltiple Optimizado (AFMOp©) propuesta, cada fase del análisis puede ser llevado en forma estructurada y ordena, lo que permitirá completarlo de manera factible.

## Referencias

- [1] John Moubray; - RCMII - Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.
- [2] ISO 14224:2016 - Petroleum, petrochemical and natural gas industries – Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment.
- [3] SAE JA1011 “Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes.
- [4] IEC 61025 - “Fault tree analysis (FTA)”.  
[5] Petroleum, petrochemical and natural gas industries – Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment (ISO 14224:2016).
- [6] Klaus Shemidt - High Availability and Disaster Recovery: Concepts, Design, Implementation (Inglés) 2006th Edición.
- [7] D. A. Crowl and J. F. Louvar, “Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications”, 2nd Ed., Prentice Hall, 2002.
- [8] MIL-STD-1629A “Procedures for performing a Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis (FMECA)”.  
[9] Arturo Trujillo - El Árbol de Fallos y el Análisis de Importancia, dos herramientas para la optimización de la gestión de distintos tipos de riesgos”.

## Abreviaturas y Acrónimos

Algunas abreviaturas específicas utilizadas son:

**AFMOp© Metodología de Análisis de Falla Múltiple Optimizado**

<b>FTA</b>	<b>Análisis del Árbol de Fallas</b>
<b>FM</b>	<b>Falla Múltiple</b>
<b>MTBF</b>	<b>Tiempo Promedio Entre Fallas</b>
<b>P(t)</b>	<b>Función de Probabilidad de Falla</b>
<b>RCM</b>	<b>Mantenimiento Centrado en Confiabilidad</b>
<b>R(t)</b>	<b>Función de Probabilidad de Confiabilidad</b>
<b>TFA</b>	<b>Tasa de Falla Anualizada</b>
	<b>Tasa de Falla</b>
<b>UF</b>	<b>Falla no Detectado u Oculta</b>

6 Ediciones

**240 USD**

Adquiere tu espacio  
publicitario en

**PREDICTIVA21**

[ventas@predictiva21.com](mailto:ventas@predictiva21.com)

**Anuncia tu  
Empresa  
aquí**

# Publica tu artículo

Consulta las pautas

<https://predictiva21.com/articulista/>

Artículo Técnico



## 2.1 Definición de las Fallas Funcionales y Base de Conocimiento

La primera tarea a realizar será el diseño de la base de conocimiento que permitirá definir el conjunto de reglas, necesarias para realizar las estrategias u operaciones de mantenimiento según el análisis RCM (realizado conjuntamente con los expertos de operación, mantenimiento e Ingeniería). En la Figura, se especifica las relaciones y dependencia que existen entre los diferentes elementos considerados por el RCM, tales como estados funcionales, fallas funcionales, equipos, modos de falla, entre otros.

## 2.2 Variable Difusas y Conjuntos Difusos

En esta sección, se define el conjunto de variables difusas que son usadas en las reglas de control.

Es necesario mencionar que para la definición de las variables difusas se tomó en cuenta las variables de interés analizadas por los operadores y mantenedores las cuales permiten describir el estado del sistema y/o equipo de gas de proceso, cada variable difusa está relacionada con una magnitud específica localizada en planta específicamente con un instrumento de medición en específico, creando las tablas que vinculan cada una de las variables lingüísticas con los instrumentos del sistema y/o equipo, con esta tabla es posible ubicar físicamente cada variable lingüística con ayuda de la identificación (TAG) de los instrumentos asociados. Así entonces se pueden tomar variables como:

1. Temperatura.
2. Presión.
3. Humedad.
4. Vibraciones Radial y Axial.

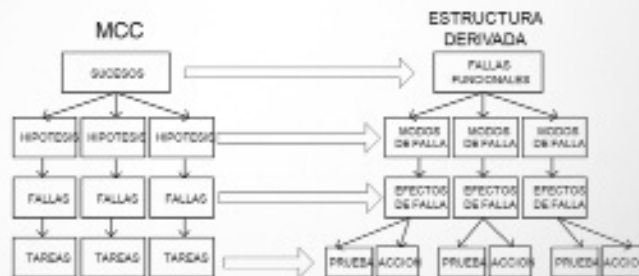


Fig. 9 Adaptación (RCM - BASE DE CONOCIMIENTO)

## 2.3 Reglas de Control

En esta sección se hace mención al grupo de reglas de control, que arrojarán de acuerdo a sus pesos la información a interpretar y así proceder a la obtención de las tareas de mantenimiento idóneas.

Debe mencionarse que la reducción de las reglas está orientada a la detección de estados anómalos (Anormalidades) en los sistemas y/o equipos de acuerdo a los valores lingüísticos que se van tomando las variables difusas, de este modo la estructura general que siguen las reglas es la siguiente:

Si <Prop.1> Opl.eg ... <Prop.N> entonces <Prop. Resultante>

Las reglas de control cumplen con la finalidad de tomar las variables lingüísticas de entrada y de acuerdo a su valor lingüístico, direccionar el suceso a la variable lingüística de salida.